



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA**

**MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“CARACTERIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN BASE  
DEL SISTEMA TETRA DE COMUNICACIONES.”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**P R E S E N T A**

**CARLOS LARA NAVA**

**ASESOR  
DR. JORGE R. SOSA PEDROZA**

*A mi querida madre, María de los Ángeles Nava Sánchez*

*AGRADECIMIENTOS*

Quiero dar las gracias a todos mis maestros de la ESIME por el tiempo que me han dedicado en el aula de clases como fuera de ella, por que con su apoyo incondicional y esfuerzo inconmensurable me han orientado para ser una persona profesional, responsable y comprometida con mis deberes.

También quiero agradecer a todas las personas que colaboraron de alguna manera en este proyectó y trabajo de investigación en especial al director del proyecto el Dr. Jorge R. Sosa Pedroza, ya que sin ellos este trabajo no hubiera sido posible.

A su vez agradezco también al Ing. Rubén Cisneros por sus sabias palabras y ese aliento que me dio durante mi formación profesional y a su esposa la Lic. Minerva González Nava que de igual manera me brindó incondicionalmente su apoyo.

A todos ellos, gracias.

***OBJETIVO GENERAL***

Caracterizar una radio base del sistema TETRA (sistema móvil digital de radio troncal) de comunicaciones para la Secretaría de Seguridad Pública del Distrito Federal.

***OBJETIVO PARTICULAR***

Caracterizar el área de cobertura del sistema TETRA de comunicaciones para una radio base.

.

## *JUSTIFICACIÓN*

Hoy en día las comunicaciones inalámbricas y no inalámbricas se han revolucionado gracias a los avances tecnológicos y científicos. La miniaturización de los componentes electrónicos han permitido también que los dispositivos de comunicaciones sean más pequeños y con ello sean transportables, tal como lo vemos con las comunicaciones personales.

Pero no solo las comunicaciones personales son importantes, en el Distrito Federal la población supera los 10 millones de habitantes, y las necesidades de comunicación entre organizaciones se incrementan cada día considerablemente, a su vez, grupos de seguridad como la Secretaría de Seguridad Pública del Distrito Federal también requiere de servicios de comunicaciones eficientes con una calidad y seguridad mayor a la ofrecida por las empresas de comunicaciones comerciales. Es por eso que la SSP ha elegido el sistema TETRA para su uso.

Las comunicaciones que requieren especial énfasis es cuando requerimos un tipo de auxilio, como el de un policía, y para esto necesitamos comunicarnos con un servicio de emergencia. En el Distrito Federal se esta implementando el sistema de comunicaciones para los servicios de seguridad pública denominado TETRA.

El Instituto Politecnico Nacional a lo largo de su existencia se ha destacado por ser una institución donde se genera, aplica, distribuye y transfiere el conocimiento científico y tecnológico, fundamentalmente tiene el compromiso social para el desarrollo económico, político y social de México, es por ello, que el IPN a través de la ESIME brindará el apoyo necesario a la SSP del DF para la caracterización del sistema TETRA de comunicaciones tanto mediante el análisis de cobertura de la estación base como pruebas de la misma, para que de esta manera la secretaría pueda hacer uso del sistema mas eficientemente.

***HIPÓTESIS***

Caracterizar una estación base del sistema TETRA de comunicaciones para la SSP del Distrito Federal mediante el análisis del sitio y diseño de cobertura basándose en mediciones en el área geográfica delimitada así como de simulaciones de cobertura, para de esta manera mantenerla funcionando en condiciones óptimas.

## *INTRODUCCIÓN*

La comunicación es el proceso por el cual se transmiten ideas, información y mensajes, en este sentido existen diversos sistemas capaces de realizar esta función, unos más especializados que otros pero todos con el mismo principio de funcionamiento y objetivo.

Podemos clasificar a los sistemas de comunicaciones en dos grandes categorías de acuerdo al canal por el cual transmiten la información, alámbricos e inalámbricos.

De los alámbricos tenemos, el sistema de telefonía mundial, sistemas de comunicaciones a través de redes de fibra óptica, etc.

De los inalámbricos tenemos sistemas de microondas como los satelitales, Sistemas Personales de Comunicación (PCS), Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), Sistema Global para comunicaciones Móviles (GSM), etc.

Dentro de los sistemas anteriores encontramos el sistema de comunicaciones TETRA, que es un estándar desarrollado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones ETSI; Este estándar define un sistema móvil digital de radio troncal con el objeto de unificar diversas alternativas de interfaces de radio digitales para la comunicación entre grupos de trabajo, como policías, bomberos, ambulancias y para transmisión de datos.

El proyecto presente trata sobre la caracterización de un sistema de comunicaciones TETRA específico. La caracterización parte de la descripción general de lo que es un sistema TETRA, sus estándares de comunicaciones, así como el análisis de cobertura a partir del conocimiento del terreno, de las mediciones de funcionamiento más importantes y de los equipos más comúnmente usados en estos sistemas.

El trabajo está dividido en cinco capítulos que se describen a continuación:

En el Capítulo I se abarcan los fundamentos teóricos del electromagnetismo, tal es el caso de las ecuaciones de Maxwell. Se obtiene la Ecuación de Onda en su forma homogénea



vectorial tanto para el campo eléctrico como para el campo magnético y la solución a la ecuación de onda. Otro tema de estudio dentro de este capítulo es la propagación electromagnética y los fenómenos que se presentan con ella: Polarización; Reflexión y Refracción.

Se incluye en este capítulo un tema completo sobre la propagación en áreas urbanas, se presenta un criterio de clasificación de las áreas de acuerdo y además se mencionan las características analizadas del uso de suelo para hacer dicha clasificación.

Para concluir este capítulo se presentan algunos de los modelos de propagación en áreas urbanas deducidos a partir de estudios y experimentos realizados por los científicos Okumura y Hata.

El contenido del Capítulo II es un estudio del sistema TETRA, iniciando con una definición de TETRA y de radio troncal. Se incluye una pequeña definición de esta tecnología, las técnicas de acceso y el tipo de canalización usada. Se describen las características: de seguridad, frecuencias de operación y la arquitectura del protocolo, de las cuales se incluye una breve explicación.

La arquitectura del protocolo se basa en capas tal como lo define el modelo para Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) para el diseño de redes. La configuración de la red define las interfaces con las cuales se comunica el sistema TETRA, aquí se mencionan las aplicaciones de cada interfaz. Se estudian también los modos de funcionamiento directo y troncal del sistema.

Una de las características principales para que se pueda transmitir la información por medio de una onda electromagnética, es mediante la modulación, por ende se incluye la descripción de la modulación que se emplea en el sistema y el ancho de banda del canal. Para concluir este capítulo se presentan las características técnicas del estándar TETRA de transmisión y recepción de radiofrecuencia.

Para el Capítulo III, se hace un análisis del terreno para la estación base propuesta, se presentan graficas que muestran el perfil del terreno y de las edificaciones circundantes en un radio de 7.5Km. Se analiza la cobertura mediante la simulación de la potencia recibida

en el receptor para diferentes niveles de la misma, obteniendo así un mapa de cobertura, todo esto mediante el modelo de propagación Hata y simulando en Matlab .

El Capítulo IV se hace la caracterización práctica de una estación base propuesta mediante mediciones de funcionamiento más importantes hechas en una estación base típica TETRA, validando de esta manera los datos que se tienen.

Dentro de las mediciones que se realizaron están: la Relación de Onda Estacionaria (ROE), verificación y ajuste del nivel de potencia nominal la estación base TETRA transmisora, medición de la longitud de las líneas de transmisión hacia las antenas así como su atenuación y para concluir las pruebas, se midió la Relación de Tasa de Error (BER).

Para finalizar el proyecto se incluye un último Capítulo en el que se encuentran las conclusiones de la realización del proyecto.

**CONTENIDO**

CAPÍTULO I LAS COMUNICACIONES MÓVILES.  
 CAPÍTULO II SISTEMA DE COMUNICACIONES TETRA.  
 CAPÍTULO III ANÁLISIS DEL SITIO.  
 CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN PRÁCTICA.  
 CAPÍTULO V CONCLUSIONES  
 GLOSARIO DE TÉRMINOS.  
 ANEXOS.  
 BIBLIOGRAFÍA.

**ÍNDICE**

ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
1.1 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO I.....	2
1.2 ECUACIONES DE MAXWELL .....	2
1.2.1 ECUACIÓN DE ONDA .....	4
1.2.2 SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DE ONDA .....	5
1.3 PROPAGACIÓN ELECTROMAGNÉTICA .....	6
1.4 FENÓMENOS DE PROPAGACIÓN .....	8
1.4.1 POLARIZACIÓN .....	9
1.4.2 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE ONDAS ELECTROMÁGNÉTICAS .....	13
1.5 PROPAGACIÓN EN MEDIOS URBANOS .....	16
1.5.1 LAS ZONAS EDIFICADAS: UN PROBLEMA DE CLASIFICACIÓN .....	18
1.5.1.1 UN CRITERIO DE CLASIFICACIÓN .....	18
1.5.2 CLASIFICACIÓN DE METODOS .....	19
1.6 MODELO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES EN AREAS URBANAS .....	24
1.6.1 MODELOS DE PROPAGACION PARA AMBIENTES ABIERTOS .....	25
1.6.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN PARA AMBIENTES URBANOS.....	25
1.6.2.1 MODELO OKUMURA.....	26
1.6.2.2 MODELO HATA (OKUMURA-HATA) .....	28
1.6.2.3 MODELO COST 231 (EXTENSION DEL MODELO HATA) .....	30
2.1 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO II .....	33
2.2 DESCRIPCIÓN DE TETRA.....	33
2.3 TECNOLOGÍA TETRA.....	35
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.....	35
2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD.....	35
2.4.2 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN.....	38
2.4.3 MODULACIÓN .....	38
2.4.4 CANALES LÓGICOS.....	39
2.4.5 ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO, CAPAS.....	40
2.5 CONFIGURACIÓN DE LA RED.....	42
2.5.1 TETRA LANZAMIENTO 1. ....	44
2.5.1.1 FUNCIONAMIENTO EN MODO DIRECTO (DMO). ....	49
2.5.2 TETRA LANZAMIENTO 2. ....	52

---

2.6 SERVICIOS OFRECIDOS.....	55
2.6.1 SERVICIO DE VOZ Y DATOS, REQUERIMIENTOS.....	55
2.6.2 APLICACIONES.....	57
2.6.3 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES .....	58
2.7 CARACTERÍSTICAS TECNICAS DEL ESTANDAR .....	59
2.7.1 RENDIMIENTO.....	60
2.7.2 TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE RADIOFRECUENCIA.....	60
2.7.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TRANSMISOR.....	61
2.7.2.2 ESTACIÓN BASE.....	62
2.7.2.3 ESTACIÓN MÓVIL.....	62
2.7.3 EMISIONES CONDUCIDAS NO DESEADAS .....	63
2.7.4 EMISIONES RADIADAS NO DESEADAS.....	64
2.7.5 ATENUACIÓN POR INTERMODULACIÓN .....	64
2.7.5.1 BS.....	65
2.7.5.2 MS.....	65
2.7.6 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR.....	66
2.7.6.1 TASA DE ERROR NOMINAL .....	67
2.7.6.2 FUNCIONAMIENTO PARA LA REFERENCIA DE SENSIBILIDAD DINÁMICA .....	67
2.7.6.3 REFERENCIA FUNCIONAMIENTO CON INTERFERENCIA.....	69
2.7.6.4 FUNCIONAMIENTO DE SENSIBILIDAD DE REFERENCIA ESTÁTICO .....	70
3.1 ANÁLISIS DEL PERFIL DEL TERRENO .....	73
3.2 ANÁLISIS DE COBERTURA.....	77
3.2.1 CONSIDERACIONES DEL BALANCE DE POTENCIA .....	77
3.2.2 POTENCIA RECIBIDA SIMULADA.....	77
4.1 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO IV .....	83
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS .....	84
4.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ESTACIÓN BASE TETRA, TBS .....	84
4.2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DXT CONMUTADOR DIGITAL TETRA.....	87
4.2.3 DETALLES TÉCNICOS DE LA ANTENA TRANSMISORA.....	88
4.2.4 DETALLES TÉCNICOS DE LA ANTENA RECEPTORA .....	91
4.2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE .....	93
4.3 MEDICIONES.....	95
4.3.1 MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN (ALIMENTADOR) .....	95
4.3.2 MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN (ALIMENTADOR) .....	98
4.3.3 MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE ONDA ESTACIONARIA (ROE) .....	101
4.3.3.1 MEDICIÓN DE LA ROE SOBRE CARGA 50 OHMS (SW50).....	101
4.3.3.2 MEDICIÓN DE LA ROE CON ANTENAS.....	105
4.3.4 AJUSTE DEL NIVEL DE POTENCIA DE LA ESTACIÓN BASE TRANSMISORA.....	107
4.3.5 MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE TASA DE ERROR (BER).....	108
5.1 CONCLUSIONES .....	111
ANEXOS .....	115

---

GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	117
REFERENCIAS.....	127
A) LIBROS .....	127
B) INTERNET .....	128

*ÍNDICE DE FIGURAS*

FIGURA	NOMBRE	PÁGINA
1.1	Campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética.	5
1.2	Onda electromagnética transversal TEM, propagándose en la dirección $x$ con E en dirección $y$ y H en el eje $z$ .	6
1.3	Sistema de coordenadas ortogonal.	8
1.4	Polarización elíptica.	9
1.5	Polarización circular.	10
1.6	Ondas planas incidentes, reflejadas y refractadas.	11
1.7	Polarización de una onda electromagnética por reflexión.	14
1.8	Propagación en medios urbanos.	15
1.9	Pérdida media en el espacio libre.	25
1.10	Ganancia de la estación base.	26
2.1	Sistema de comunicaciones TETRA, radio móvil y radio portátil.	31
2.2	Arquitectura típica TETRA.	40
2.3	Interfaces estándar TETRA.	46
2.4	Aplicación de comunicaciones de área local DMO.	44
2.5	Aplicación típica de red TMO rango de extensión.	47
2.6	Definición de servicios portadores y teleservicios.	54
2.7	Referencia de interconexión de transmisores y receptores en la BS.	57
2.8	Representación esquemática de los estados de transmisión	60
3.1	Ubicación del Sitio	69
3.2	Perfil del terreno	70
33	Programa Delegacional de Desarrollo Urbano Venustiano Carranza.	71
3.4	Perfil del terreno más altura de las edificaciones	71
3.5	Potencia recibida.	73
3.6	Mapa de cobertura, sin consideraciones para la potencia de salida	74
3.7	Mapa de Cobertura, tomando en cuenta 10dB de margen y ganancia de la antena.	75
4.1	Site Master S332D	77
4.2	Aeroflex 3901	77
4.3	TBS3 TETRA	80
4.4	Conmutador Digital TETRA.	82
4.5	Patrón de radiación horizontal antena transmisora	83
4.6	Patrón de radiación vertical antena transmisora	83
4.7	Montaje de la antena transmisora.	83
4.8	Antena transmisora	83

4.9	Patrón horizontal antena Rx	84
4.10	Patrón vertical antena Rx	84
4.11	Montaje de la antena receptora	85
4.12	Antena receptora tipo panel	85
4.13	Torre auto soportada y antenas.	86
4.14	Longitud de la línea 1	87
4.15	Longitud de la línea 2	87
4.16	Longitud de la línea 3	88
4.17	Longitud de la línea 4	89
4.18	Atenuación de línea 1	90
4.19	Atenuación de línea 2	90
4.20	Atenuación de línea 3	91
4.21	Atenuación de línea 4	91
4.22	ROE Línea 1, con caga de $50\Omega$	92
4.23	ROE Línea 2, con caga de $50\Omega$	93
4.24	ROE Línea 3, con caga de $50\Omega$	93
4.25	ROE Línea 4, con caga de $50\Omega$	94
4.26	ROE Línea 1, con antena Tx1	95
4.27	ROE Línea 2, con antena Rx1	95
4.28	ROE Línea 3 con antena Rx2.	96
4.29	ROE Línea 4 con antena Rx3	96
4.30	Ajuste del nivel de potencia nominal de la estación base transmisora	97

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	NOMBRE	PÁGINA
1.1	Ecuaciones de Maxwell.	1
1.2	British Telecom (BT) categorías de uso de tierra.	19
1.3	Comparación de BT y otras categorías de uso de tierra..	19
1.4	Parámetros descriptivos de ambientes de clase 3 y 4.	22
2.1	Frecuencias de operación para el sistema TETRA.	35
2.2	Anchos de banda de canal RF y TEDS y velocidad de los datos.	35
2.3	Potencia nominal de la BS transmisora.	58
2.4	Potencia nominal de un transmisor ms.	58
2.5	Niveles de control de potencia nominal de la ms.	59
2.6	Razón de error nominal.	63
2.7	Funcionamiento del receptor BS (sensibilidad dinámica).	64
2.8	Funcionamiento del receptor MS (sensibilidad dinámica).	64
2.9	Funcionamiento del receptor BS (interferencia).	65
2.10	Funcionamiento del receptor MS (interferencia).	66
2.11	Funcionamiento del receptor BS (sensibilidad estática)	67
2.12	Funcionamiento del receptor MS (sensibilidad estática).	67
3.1	Código de colores, altura promedio de edificios.	70
3.2	Potencia recibida y radio de cobertura 50% del tiempo y 50% de los lugares	74
3.3	Potencia recibida y radio de cobertura 90% del tiempo y 90% de los lugares	75
3.4	Código de colores potencia recibida	76
4.1	Características técnicas TBS3 TETRA	79
4.2	Especificaciones técnicas DXT	81
4.3	Características DXT	81
4.4	Especificaciones técnicas antena transmisora <i>KATHREIN K751637</i>	82
4.5	Especificaciones técnicas antena receptora <i>KATHREIN K741517</i>	84
4.6	Especificaciones de la torre Super Titan	86
4.7	Medición de BER.	95



---

# *CAPÍTULO I*

## *LAS COMUNICACIONES MÓVILES*

---



## 1.1 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO I

A finales del siglo XIX el físico alemán Henrich Hertz (1857-1894) demostró que el campo electromagnético se propaga en el vacío con una velocidad igual a  $c^1$ . Las propiedades de las ondas electromagnéticas descubiertas por Hertz se siguen estudiando en la actualidad. Hoy en día gracias a la gran cantidad de información que poseemos de las ondas electromagnéticas: cómo se producen, cómo se propagan y absorben por ejemplo, han posibilitado tener las comunicaciones que conocemos actualmente.

Antes que Hertz realizara sus experimentos, la existencia de las ondas electromagnéticas había sido predicha por Maxwell (1831-1879) de un minucioso análisis de las ecuaciones del campo electromagnético.

Las ondas electromagnéticas han existido desde que existe el universo, pero la humanidad tuvo que esperar a que Maxwell reconociera que la luz es radiación electromagnética.

## 1.2 ECUACIONES DE MAXWELL

Al extender las leyes de la física clásica con la inducción de corriente de desplazamiento, Maxwell fue capaz de expresar la magnitud del campo eléctrico y magnético en cualquier punto del espacio por una serie de relaciones fundamentales, conocidas como ecuaciones de Maxwell.

Las ecuaciones de Maxwell son:

<i>TABLA 1.1 ECUACIONES DE MAXWELL</i>		
<i>LEY</i>	<i>Forma integral</i>	<i>Forma diferencial</i>
<i>Gauss para Campo eléctrico</i>	$\oint_s \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$ (1.1)	$\text{div } \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ (1.2)
<i>Gauss para Campo magnético</i>	$\oint_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$ (1.3)	$\text{div } \mathbf{B} = 0$ (1.4)
<i>Faraday</i>	$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \oint_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ (1.5)	$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ (1.6)
<i>Ampere-Maxwell</i>	$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \mathbf{I} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \oint_s \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ (1.7)	$\text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ (1.8)

<sup>1</sup> Velocidad de la luz en el espacio libre =  $2.99792 \times 10^8$  m/s

Donde:

**B**=campo magnético [T]

**E**=campo eléctrico [V/m]

**J**=densidad de corriente [A/m<sup>2</sup>]

q=carga eléctrica

$\epsilon$  =permitividad

$\mu_0$  =permeabilidad magnética del vacío.

$\sigma$  =conductividad

$\rho$  =densidad de carga eléctrica [C/m<sup>3</sup>]

La Ley de Gauss para campo eléctrico explica la relación entre el flujo del campo eléctrico que atraviesa una superficie dada; la ley dice que *“el flujo del campo eléctrico a través de una superficie cerrada es igual al cociente entre la carga (q) o la suma de las cargas que hay en el interior de la superficie y la permitividad eléctrica del vacío”* [26], ecuación 1.1.

La ley de Gauss para el campo magnético expresa que los campos magnéticos, a diferencia de los eléctricos, no comienzan y terminan en cargas diferentes, es decir, las líneas de los campos magnéticos deben ser cerradas. En otras palabras, *“sobre una superficie cerrada, no seremos capaces de encerrar un campo magnético”*[26], ecuación 1.4

La ley de Faraday nos habla de la inducción electromagnética, la que origina una fuerza electromotriz en un campo magnético y enuncia que *“un campo magnético que depende del tiempo implica la existencia de un campo eléctrico, del que su circulación por un camino arbitrario cerrado es igual a menos la derivada temporal del flujo magnético en cualquier superficie limitada por el camino cerrado”* [26], ecuación 1.5.

Ley de Ampere-Maxwell de manera general expresa que la intensidad de un campo magnético rotando produce una corriente de conducción más una corriente de desplazamiento.

Las ecuaciones de Maxwell constituyen las relaciones iniciales experimentales de la investigación de la propagación de las ondas electromagnéticas.

Tanto las ecuaciones integrales como las diferenciales nos permiten resolver una gran cantidad de problemas de electromagnetismo, siendo las ecuaciones en forma diferencial las que ofrecen una clase mucho más amplia de soluciones.

### ***1.2.1 ECUACIÓN DE ONDA***

Las soluciones de campo **E** y **B**, en el espacio vacío deben satisfacer las ecuaciones 1.2, 1.4, 1.6 y 1.8 de divergencia y rotacional, mediante un proceso que con frecuencia se puede facilitar combinando las ecuaciones de Maxwell de tal manera que se elimine uno de los campos, para dar lugar a una ecuación diferencial parcial, conocida como la ecuación de onda.

Esto se logra como sigue, para eliminar **B** tomamos el rotacional en ambos lados de 1.6, con lo cual obtenemos:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{B})$$

Sustituimos esta expresión en el lado derecho de la ecuación 1.8, después de pasar a lado izquierdo los términos con **E**, queda de la siguiente manera

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t} \quad (1.9)$$

La cual es una ecuación diferencial parcial vectorial que se conoce como ecuación inhomogénea vectorial de onda para el espacio vacío.

Se puede obtener una ecuación de onda semejante a la ecuación 1.9 en función de **B**.

Es decir, tomamos el rotacional de la ecuación 1.8 y la sustituimos en la ecuación 1.6, reacomodando términos obtenemos la ecuación inhomogénea vectorial de onda para el campo **B**

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{B}) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = \mu_0 \nabla \times \mathbf{J} \quad (1.10)$$

Si el campo  $\mathbf{E}$  de la ecuación 1.9 no tiene divergencia ( $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$ ), el término  $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E})$  se simplifica a  $-\nabla^2 \mathbf{E}$ .  $\mathbf{E}$ , no tiene divergencia si no tiene cargas, es decir,  $\rho = 0$ , más aun de la ecuación 1.4,  $\mathbf{B}$  es siempre sin divergencia debido a que no existen los monopolos magnéticos. Por consecuencia, en una región libre de cargas, las ecuaciones 1.9 y 1.10 se escriben como:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t} \quad (1.11)$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = -\mu_0 \nabla \times \mathbf{J} \quad (1.12)$$

Que son las ecuaciones de onda vectoriales inhomogeneas para la región libre de cargas

Si la región donde se propagan las ondas electromagnéticas es el espacio libre (vacío), es decir no hay cargas ni corriente ( $\rho = \mathbf{J} = 0$ ) es posible hacer otra simplificación adicional.

“Lo que nos conduce a las ecuaciones homogéneas vectoriales de onda” [9] más simples:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.13)$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.14)$$

### **1.2.2 SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DE ONDA**

“Las soluciones de onda más simples de las ecuaciones de Maxwell son ondas planas uniformes, caracterizadas por los campos uniformes sobre superficies planas infinitas en instantes fijos” [9]. Las propiedades de simplificación son: que las soluciones se presentan en coordenadas rectangulares, y que el número de componentes de campo se reducen a solo dos.

Las ondas planas uniformes tienen la propiedad de que en cualquier instante fijo, los campos  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{B}$  son uniformes sobre superficies planas. Estos planos se escogen arbitrariamente y definidos por las superficies  $z = \text{constante}$ , lo que equivale a expresar

que las variaciones espaciales de  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{B}$  son cero sobre planos  $z = \text{constante}$ ; por lo tanto suponemos que:

1. La onda viaja sobre el eje  $z$ , por tanto los campos no dependen de  $x$  ni de  $y$ ; es decir

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} = 0 \text{ para todas las componentes de campo.}$$

2. Las densidades de carga y corriente son cero en todas partes de la región, es decir,  $\rho = \mathbf{J} = 0$ .

Con estas consideraciones y haciendo los cálculos matemáticos correspondientes obtenemos la ecuación diferencial siguiente:

$$\frac{d^2 \hat{E}_x}{dz^2} + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \hat{E}_x = 0$$

La solución es una superposición de exponenciales compleja de la siguiente manera:

$$\hat{E}_x(z) = \hat{C}_1 e^{-i\beta_0 z} + \hat{C}_2 e^{i\beta_0 z} \quad (1.15)$$

Donde:

$\hat{C}_1 e^{-i\beta_0 z}$  y  $\hat{C}_2 e^{i\beta_0 z}$  son representaciones de ondas de amplitud constante que viajan en las direcciones positiva y negativa del eje  $z$ .

$\beta_0$  se denomina constante de fase y está dado por:

$$\beta_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \quad (1.16)$$

### **1.3 PROPAGACIÓN ELECTROMAGNÉTICA**

*“Una carga en reposo produce únicamente un campo eléctrico, una carga en movimiento produce tanto un campo eléctrico como uno magnético”* [9], relacionados por la ecuación 1.17. Los campos eléctrico y magnético son entonces simplemente dos aspectos de una propiedad fundamental de la materia, siendo más apropiado emplear el término campo electromagnético para describir la situación física que involucra cargas en movimiento.

$$\mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \mathbf{v} \times \mathbf{E} = \frac{1}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{E} \quad (1.17)$$

“En una onda electromagnética, un campo eléctrico cambiante produce un campo magnético cambiante, que a su vez genera un campo eléctrico, y así sucesivamente, lo que produce como resultado la propagación de la energía” [1].

“Un campo es el espacio en que los cuerpos manifiestan su interacción y es diferente de la materia en un aspecto importante, la materia es tangible, el campo sea magnético, nuclear, gravitacional, no lo es” [15].

Las ondas de campo eléctrico y magnético, provienen de los campos eléctrico y magnético dispuestos perpendicularmente entre sí y con la dirección de propagación. En la figura 1.1 se representa los dos tipos de campos.

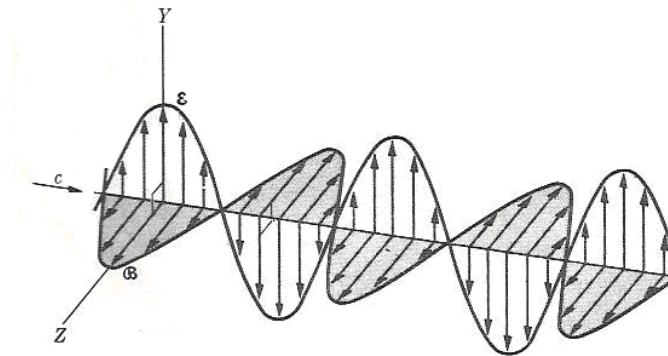


Figura1.1 Campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética.

Para una onda en el espacio, las líneas de campo eléctrico y magnético, **E** y **B**, se encuentran en todas partes y son perpendiculares una con la otra y perpendiculares con la dirección de la onda, ver la figura 1.2. **E** y **H** están en fase también. Una onda de este tipo se denomina onda Electromagnética Transversal (TEM) con su ecuación de onda

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu\epsilon} \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2}.$$

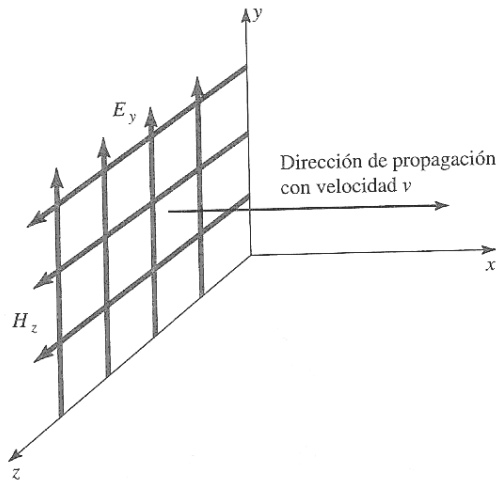


Figura 1.2 Onda electromagnética transversal TEM, propagándose en la dirección  $x$  con  $E$  en dirección  $y$  y  $H$  en el eje  $z$

La razón de  $E_y$  y  $H_z$  es una impedancia  $Z_0$ , dada por:

$$Z_0 = \frac{E_y}{H_z} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = [\Omega] \quad (1.18)$$

Que en el espacio libre es  $Z_0 = 377\Omega$

“El producto de  $E_y$  y  $H_z$  tiene dimensiones de potencia por unidad de área y se denomina vector de Poynting” [10].

$$|\vec{P}| = E_y H_z = [\text{Watts} / \text{m}^2] \quad (1.19)$$

## 1.4 FENÓMENOS DE PROPAGACIÓN

En general la velocidad de las ondas electromagnéticas dependen de la permitividad ( $\epsilon$ ), de la permeabilidad del medio ( $\mu_0$ ) y de la conductividad ( $\sigma$ ), a través del cual se propagan.



*“El hecho de que la velocidad de propagación de una onda dependa de propiedades del medio, da lugar a los fenómenos de reflexión y refracción” [1], que ocurren cuando una onda incide en la superficie de separación de dos medios en los cuales la onda se propaga con diferentes velocidades.*

La onda refractada es una nueva onda que se transmite al segundo medio. La energía de la onda incidente se divide entre la onda reflejada y la onda refractada; En muchos casos la onda reflejada recibe mayor energía, como sucede en los espejos, en otros, la onda refractada transporta la mayor parte de la energía.

### **1.4.1 POLARIZACIÓN**

Cuando una onda transversal esta polarizada, la polarización queda generalmente afectada por la reflexión y por la refracción.

Aunque las ondas de luz pueden estar polarizadas o no, *“las ondas electromagnéticas de interés siempre lo están. La variación en el tiempo del vector de campo eléctrico de una onda electromagnética en un punto fijo en el espacio determina la polarización de una onda plana” [14].*

Las ondas electromagnéticas están generalmente polarizadas de manera elíptica con su vector campo eléctrico variable periódicamente en magnitud y dirección. *“Las polarizaciones lineal y circular son casos especiales del caso general de la polarización elíptica” [14].* La polarización lineal puede ser vertical u horizontal, dependiendo de si la magnitud del vector del campo eléctrico, que varía periódicamente con el tiempo, es siempre en el plano vertical u horizontal. Una polarización elíptica y circular se denomina vertical u horizontal respecto de un plano de referencia.

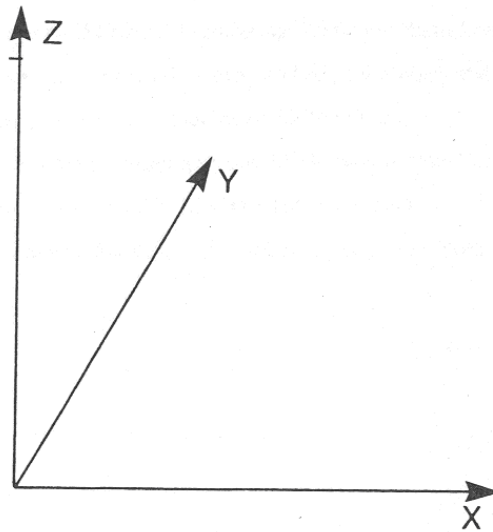


Figura 1.3 Sistema de coordenadas ortogonal.

Considerando en primer lugar el caso general de la polarización elíptica y suponiendo que las dos componentes variables en el tiempo:

$$E_y = A \cos \omega t$$

$$E_z = -B \sin \omega t$$

de una onda que viaja en la dirección  $x$  del sistema ortogonal mostrada por la figura 1.3 difieren en la amplitud, las variables en el tiempo sobre el terreno puede estar representado por el vector complejo

$$\mathbf{E} = \mathbf{j}A \cos \omega t - \mathbf{k}B \sin \omega t \quad (1.20)$$

donde  $\mathbf{j}$  y  $\mathbf{k}$  son los vectores en la dirección  $y$  o  $z$ . Luego, entonces

$$\frac{E_y^2}{A^2} + \frac{E_z^2}{B^2} = 1$$

define una elipse, el punto final del vector  $\mathbf{E}$  traza una elipse tal y como se muestra en la figura 1.4.

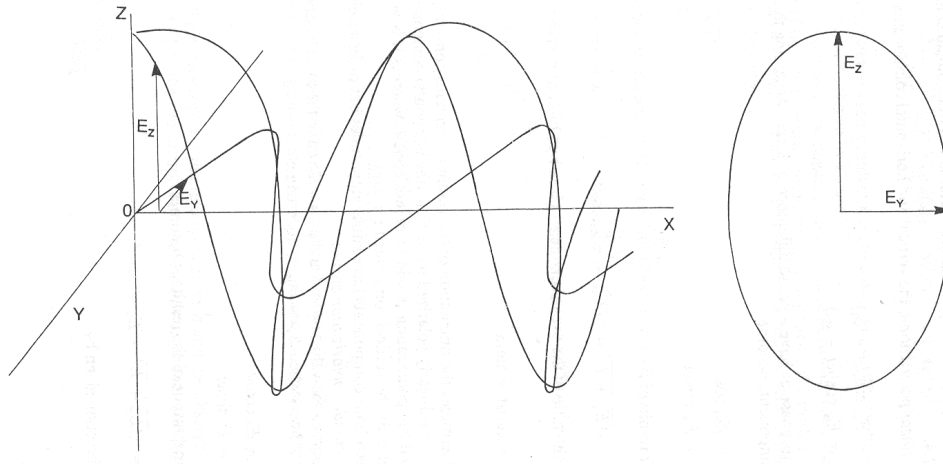


Figura 1.4 Polarización Elíptica.

En la polarización lineal, vertical y horizontal las componentes están dadas por

$$\begin{aligned} E_y &= E_{y0} \cos(\omega t - \varphi_1) \\ E_z &= E_{z0} \sin(\omega t - \varphi_2) \end{aligned} \quad (1.21)$$

pueden estar en fase o tener una diferencia de fase de  $\pi$  radianes. Aceptando que

$\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ , los componentes son:

$$E_y = E_{y0} \cos \omega t$$

$$E_z = E_{z0} \sin \omega t$$

Y su resultante es

$$E = \sqrt{E_y^2 + E_z^2} = \sqrt{E_{y0}^2 + E_{z0}^2} \cos \omega t \quad (1.22)$$

El radio de las dos componentes esta dado por la ecuación (1.21)

$$\frac{E_z}{E_y} \text{ const} = \tan \alpha \quad (1.23)$$

La expresión anterior determina la orientación de la resultante, se mantiene constante, esta satisface la definición de una onda polarizada linealmente. Únicamente existe la componente horizontal cuando  $\alpha = 0$  y la polarización se dice que es horizontal y que es

vertical para  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ , cuando existe sólo la componente vertical.

Cuando ambas componentes tienen amplitudes iguales pero difieren en fase de  $\frac{\pi}{2}$  o  $\frac{3\pi}{2}$  radianes, se produce la polarización circular.

Asignando los valores de  $\varphi_1 = 0$  y  $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$  radianes a los dos ángulos de fase, los dos componentes de campo cuando  $E_{y0} = E_{z0} = E_0$ , obtenemos:

$$\begin{aligned} E_y &= E_0 \cos \omega t \\ E_z &= E_0 \sin \omega t \end{aligned} \quad (1.24)$$

Y la magnitud de la resultante es

$$E = \sqrt{E_y^2 + E_z^2} = E_0 = \text{const } \omega \quad (1.25)$$

Con su dirección dada por

$$\tan \alpha = \frac{E_z}{E_y} \tan \omega t \quad (1.26)$$

El resultado entonces tiene una magnitud constante, así como una orientación periódica variable en el tiempo. Girando con una frecuencia angular constante. El sentido de giro depende de si la diferencia de fase de los componentes del campo es  $\frac{\pi}{2}$  o  $\frac{3\pi}{2}$  radianes. Los dos sentidos de rotación de las ondas polarizadas circularmente se muestran en la figura 1.5.

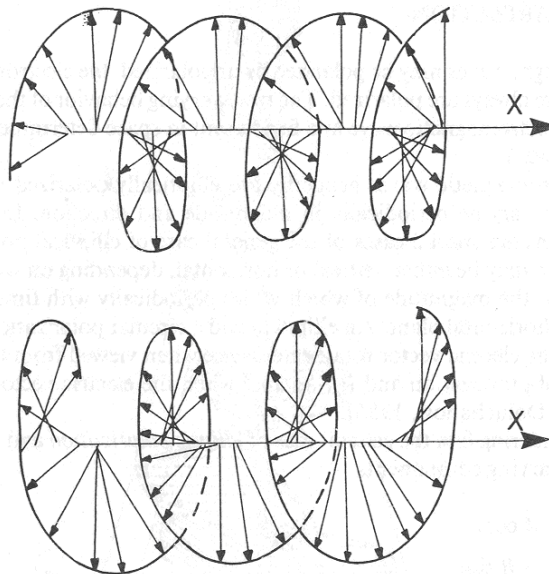


Figura 1.5 Polarización circular.

En polarización lineal, encontramos que, aunque la orientación de la resultante es constante, su magnitud varía periódicamente con el tiempo; en una polarización circular sucede todo lo contrario. Ambos, la magnitud y orientación de la resultante varían periódicamente con el tiempo en la polarización elíptica.

### 1.4.2 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

En el caso de ondas planas que es un comportamiento particular de las ondas electromagnéticas, cuando las ondas chocan con un material de diferente densidad por el cual viajan, sufren un cambio de dirección, ver figura 1.6.

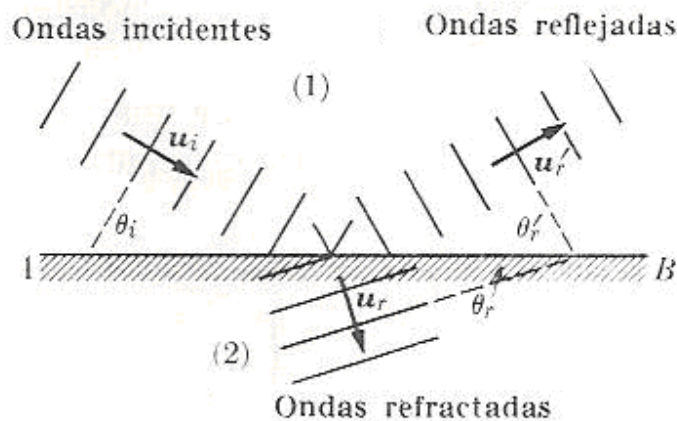


Figura 1.6 Ondas planas incidentes, reflejadas y refractadas.

Donde:

$\theta_i$  ángulo de incidencia

$\theta_r$  ángulo de refracción

$\theta_r$  ángulo de reflexión

Designemos con los vectores  $u_i$   $u_r$   $u_r$ , a la dirección de las ondas incidentes, ondas reflejadas y ondas refractadas, respectivamente. “Las direcciones de los tres vectores están relacionadas por las siguientes leyes experimentales” [1].

1. Las direcciones de incidencia, refracción y reflexión están en un mismo plano, que es normal a la superficie de separación y por tanto contiene la normal  $N$  a la superficie.
2. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, esto es  $\theta_i = \theta_r$ . (1.27)
3. El cociente entre el seno del ángulo incidencia y el seno del ángulo de refracción es constante. Esto se denomina Ley de Snell y expresa como  $\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = n_{21}$  (1.28)

“A la constante  $n$  se le llama índice de refracción” [1], este índice nos indica la relación de velocidades entre la onda incidente y la onda reflejada tal como lo muestra la ecuación 1.29.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.29)$$

Las ecuaciones de Maxwell suministran ciertas relaciones entre las componentes paralela y perpendicular de los campos eléctrico y magnético a ambos lados de superficie que separa los medios, lo que nos permite establecer las relaciones entre las componentes del campo eléctrico en las ondas incidente, reflejada y refractada. A partir de ellas podemos calcular los coeficientes de reflexión y de refracción.

Al estudiar la reflexión y refracción de ondas electromagnéticas, es conveniente imaginar a cada campo (eléctrico y magnético) formado de una componente paralela al plano de incidencia, designada por el subíndice  $\pi$ , y una componente perpendicular al mismo, designada por el subíndice  $\sigma$ . “Debido a la perpendicularidad entre  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{B}$ , tenemos una componente  $\mathbf{E}_\pi$  asociada con  $\mathbf{B}_\sigma$  y una componente  $\mathbf{E}_\sigma$  asociada con  $\mathbf{B}_\pi$ ” [1].

Cuando  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$ , que es valido en gran número de casos, los resultados que se obtienen son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 R_{\pi} &= \frac{E'_{r,\pi}}{E_{i,\pi}} = \frac{n_1 \cos \theta_r - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_r + n_2 \cos \theta_i} \\
 R_{\sigma} &= \frac{E'_{r,\sigma}}{E_{i,\pi}} = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_r}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_r} \\
 T_{\pi} &= \frac{E_{r,\pi}}{E_{i,\pi}} = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_r + n_2 \cos \theta_i} \\
 T_{\sigma} &= \frac{E_{r,\sigma}}{E_{i,\sigma}} = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_r}
 \end{aligned} \tag{1.30}$$

Donde:

$T$  es el coeficiente de transmisión.

$R$  es el coeficiente de reflexión.

Hay una situación muy importante que corresponde a  $R_{\pi} = 0$ . Entonces la onda reflejada no tiene la componente eléctrica del tipo  $E'_{r,\pi}$ , sino solo la  $E'_{r,\sigma}$ . Luego, la onda reflejada está totalmente polarizada en un plano perpendicular al plano de incidencia. Esto ocurre cuando, de acuerdo con la ecuación 1.30,  $n_2 \cos \theta_i = n_1 \cos \theta_r$ . Como la ley de Snell, ecuación 1.28 requiere que  $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$ , tenemos que  $\sin \theta_i \cos \theta_i = \sin \theta_r \cos \theta_r$ , o  $\sin 2\theta_i = \sin 2\theta_r$ . La solución de esta ecuación da  $2\theta_i = \pi - 2\theta_r$  ó  $\theta_i + \theta_r = \frac{\pi}{2}$  y esto implica que los rayos reflejado y refractado son perpendiculares. En consecuencia *“cuando los rayos reflejado y refractado son perpendiculares, el rayo reflejado está totalmente polarizado, estando el campo eléctrico perpendicular al plano de incidencia”* [1].

Esta situación se muestra en la figura 1.7, donde solo se indican las componentes de campo eléctrico, omitiéndose las componentes del campo magnético.

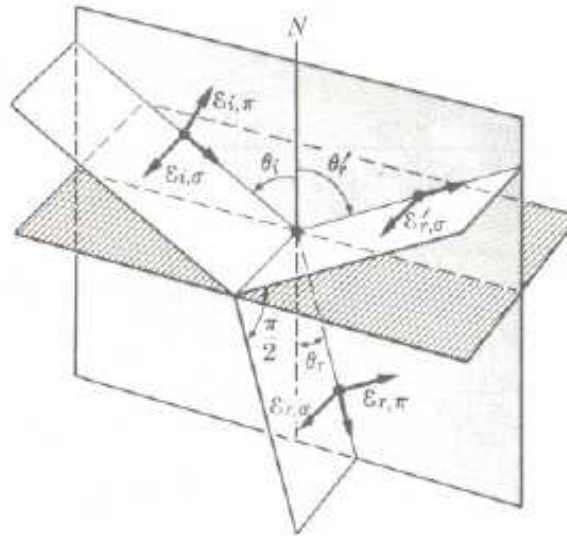


Figura 1.7 Polarización de una onda electromagnética por reflexión.

### ***1.5 PROPAGACIÓN EN MEDIOS URBANOS***

Tenemos el propósito de discutir la predicción de la intensidad de señal en áreas urbanas. Este tema trata principalmente de la propagación entre las estaciones base y los móviles localizados en las calles, así como la propagación en edificios.

Aunque las pérdidas causadas por construcciones y otros obstáculos producidos por el hombre son de gran preocupación, hay que destacar que el terreno también desempeña un papel importante en muchos casos.

Dentro de las áreas edificadas, los efectos de sombra por las construcciones, y la canalización de las ondas de radio a lo largo de las calles hace que la predicción de la intensidad media de la señal sea una tarea muy difícil. La trayectoria de propagación es a menudo la más difícil, no la más accesible o la más directa. Por ejemplo, el caso donde existe un móvil localizado entre edificios, la onda electromagnética en cuestión sufre los fenómenos de multitrayectoria de acuerdo a la figura 1.8.



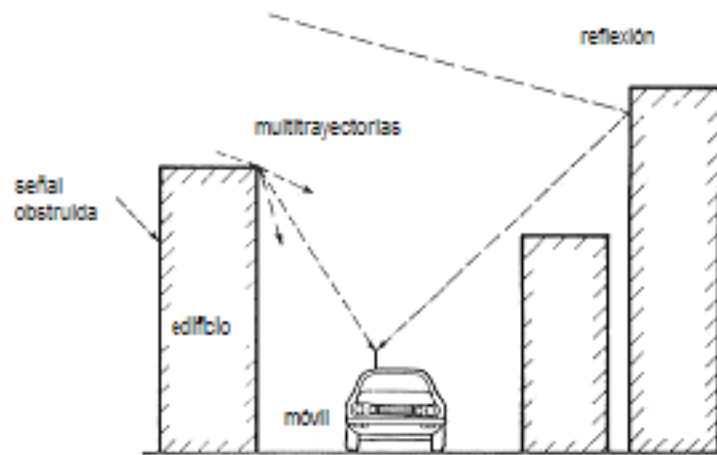


Figura 1.8 Propagación en medios urbanos.

En áreas suburbanas hay pocas construcciones altas y los efectos de canalización son menos importantes sin embargo el follaje que puede ser insignificante en el centro de las ciudades, puede ser muy importante en las zonas suburbanas. En general los efectos de los árboles son similares a los efectos de los edificios, introduciendo una pérdida adicional en la trayectoria y produciendo un desvanecimiento espacial.

La estimación de la señal recibida en radios móviles es un proceso de dos estados que involucra:

1. La predicción de la señal promedio en una región pequeña de área de servicio, y
2. Que describe la variabilidad de ese valor promedio.

Cuantificar la magnitud de la variación de la señal dentro de un área bajo consideración es también un problema en el cual contribuyen dos factores.

1. Variaciones en torno al valor medio local.
2. Variaciones en las medidas debido al perfil del terreno entre el móvil y la estación base, conforme se desplaza el móvil, es decir, por los cambios en la topografía local.

### **1.5.1 LAS ZONAS EDIFICADAS: UN PROBLEMA DE CLASIFICACIÓN**

La propagación de las ondas de radio en áreas edificadas están fuertemente influenciadas por la naturaleza del medio ambiente, en particular de la medida y densidad de construcciones.

*“Generalmente en estudios de propagación, una descripción cualitativa de la descripción del ambiente es a menudo empleado en términos tales como el rural, urbano y suburbano”* [11].

Las áreas urbanas son generalmente definidas como lugares donde predominan las construcciones altas, oficinas y otros locales comerciales, mientras las áreas suburbanas comprenden casas residenciales, parques y jardines. El término rural define tierras de cultivo con espacios para construir, bosques y selvas.

#### **1.5.1.1 UN CRITERIO DE CLASIFICACIÓN**

Por razones de interés de práctico, el ambiente puede ser considerado por muchas o varias clases de dispersores según su composición, los elementos son independientes entre si. Debido a varias interacciones ambientales, las características del terreno -como los edificios y los árboles- que son comúnmente encontrados alrededor de muchos centros de población.

*“Desde esta perspectiva el paisaje del terreno es visto como un conglomerado de numerosos objetos agrupados, por ejemplo: una ciudad aparece como una colección de construcciones al azar, cada construcción como un dispersor. Del mismo modo en un bosque los árboles aparecen de manera aleatoria”* [11].

Si las propiedades estadísticas de grupos de dispersores son conocidas, entonces es posible obtener descripciones cuantitativas derivadas del medio ambiente utilizando la estadística.

Un método de clasificación del ambiente puede ser basado en esta aproximación. Cualquier área de servicio de radio móvil dada puede ser vista como una mezcla de ambientes (mezcla de rural y suburbano).

*“Siguiendo las descripciones de Ordnance Survey (OS)<sup>2</sup> de Reino Unido, el área de servicio puede ser dividido en cuadrados de dimensiones de 500m por 500m, algunas áreas son elegidas como un conjunto compuesto por diferentes tipos de terreno”* [11]. Aunque las células muestra en un conjunto no son idénticas, son suficientemente similares para permitir una descripción estadística. Considerando la relevancia y efectos del ambiente en propagación de radio, es claro que las siguientes características pudieran ser usadas en los tipos de clasificaciones terrestres.

- 1.- Densidad de construcciones (porcentaje de área cubierta por construcciones).
- 2.- Tamaño de construcciones (área cubierta por una construcción).
- 3.- Altura de construcción.
- 4.- Lugar de la construcción.
- 5.- Densidad de la vegetación.
- 6.- Ondulación del terreno, perfil.

Usando algunas o todas estas características, varias investigaciones han revisado las clasificaciones por el ambiente en el cual desarrollaron sus experimentos.

### ***1.5.2 CLASIFICACIÓN DE METODOS***

Kozono y Watanabe trabajando en Tokio en 1977 referente a la descripción cuantitativa del ambiente urbano como parte de su investigación de la influencia de las construcciones en la intensidad media de campo electromagnético recibido.

---

<sup>2</sup> Ordnance Survey OS, Agencia Nacional de Cartografía de Gran Bretaña  
<http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/>

Ellos propusieron cuatro parámetros los cuales son:

- Factor área de construcciones,  $\alpha$
- Factor, área extendida de construcciones,  $\alpha'$
- Volumen de construcción, alrededor del área muestra,  $\beta$
- Volumen de construcción, alrededor de un área extensa,  $\beta'$

En sus estudios de la influencia de las construcciones en la intensidad media de señal recibida, concluyeron que aunque  $\beta$  a menudo correlaciona mejor con la media de la señal recibida,  $\alpha$  fue más conveniente de usar, ya que es más fácil de extraer de los mapas.

*Ibrahim y Parsons* [7] caracterizando las áreas de prueba para sus experimentos en Londres, Inglaterra, introdujeron dos parámetros, Factor de Uso Terrestre **L** y el Factor de Grado de Urbanización **U**. El Factor de Uso Terrestre es definido como el porcentaje de 500m por 500m de prueba que es cubierto por construcciones considerando su altura, éste factor es esencial al igual que  $\alpha$  usado por Kozono y Watanabe. Una buena correlación fue observada entre el valor pérdida por trayectoria y **L**.

El factor de grado de urbanización **U** se define como el porcentaje de área de construcción, dentro del cuadro de muestra, ocupado por las construcciones teniendo cuatro o más pisos. La decisión de usar cuatro pisos como referencia fue tomado después de haber graficado la distribución acumulativa de frecuencias de área de construcción de nuevo el número de pisos, para un largo numero de mapas (celdas) de OS.

Comparando a la pérdida de propagación desde la estación base a un radio móvil en movimiento en el cuadro, reveló que el porcentaje de construcciones que tienen cuatro o más pisos correlacionan mejor con los datos de propagación medidos. **U** podría variar entre cero y 100%, una evaluación aproximada a cero indica un suburbio mientras que una evaluación aproximada a 100 indica un alto desarrollo de área urbana.

*“British Telecom (BT) propuso uno de diez puntos para la clasificación del uso de tierra basándose en una descripción cualitativa”* [11], mostrado en la tabla 1.2. Estas categorías,

aunque amplias, pueden ser interpretadas de diferente forma por otros proveedores de servicios.

Categoría	Descripción
0	Ríos, mares, lagos y océanos
1	Áreas rurales abiertas, tierras altas con pocos árboles
2	Áreas rurales similares a las anteriores pero sin algunas áreas arboladas
3	Bosques de áreas rurales
4	Áreas rurales empinadas o montañosas
5	Áreas suburbanas con baja densidad y estaciones industriales modernas
6	Áreas suburbanas con densidad altas
7	Áreas urbanas con algunos espacios abiertos
8	Áreas con densidad urbana alta en las cuales algunas construcciones tiene mas de cuatro pisos
9	Áreas de densidad urbana en las cuales las construcciones tienen mas de cuatro pisos y algunas puede ser clasificadas como rascacielos (estas categorías están restringidas en los centros de algunas ciudades)

En la tabla 1.3 muestra como BT comparó a las categorías usadas por otras organizaciones.

BT(UK)	Alemania	BBC(UK)	Holanda	Okumura (Japón)
0	4	-	-	Islas
1	2	1	0-2	-
2	3	1	1-2	-
3	2	1	4	-
4	2-3	2	-	Ondulatoria
5	1	2	3	Suburbana
6	1	3	6	Suburbana
7	1	3	7	Urbana
8	1	3	8	Urbana
9	1	4	9	Urbana

Las comparaciones en la tabla 1.3 indican claramente lo incierto de emplear principalmente las descripciones cualitativas en clasificación terrestre dentro del área de servicio de radio móvil.

La necesidad de una clasificación estándar más precisa y universal por tanto, es muy evidente.

Hasta hace poco, la obtención de datos de uso del suelo, lo cual es esencial para la clasificación del uso de la tierra, involucraba trabajo manual costoso y se consumía mucho tiempo en los procedimientos.

Ahora, con el advenimiento de los “*Sistemas de Información Geográfica (GIS)*” [21] que utilizan la tecnología de “base de datos digital” para facilitar el almacenamiento y recuperación de información geográfica indexada a algunos sistemas de coordenadas, datos de uso del suelo en última instancia, estarán disponible en forma legible en computadoras. El conjunto de mapas digitalizados están disponibles en rejillas divididas de 500m por 500m, mientras que mapas del perfil de terreno están disponibles para áreas mucho más grandes.

En el futuro, por tanto, será más apropiado adoptar categorías estandarizadas de uso terrestre las cuales se refieren a los estándares empleados en un GIS y que se aplican en todo el mundo.

De un mapa digitalizado es posible extraer los siguientes parámetros de uso terrestre:

1. Ubicación de construcción (con respecto a algunos puntos de referencia)
2. Tamaño de construcción o área de la construcción.
3. Área total ocupada por construcciones
4. Número de construcciones en el área
5. Altura del terreno
6. Parques y jardines con árboles y vegetación

Cuando esta información está disponible es posible desarrollar parámetros como:

1. Distribución de las Medidas de Construcción (BSD) -Una Función de Densidad de Probabilidad (PDF) definida por la media y desviación estándar. La desviación estándar es un indicativo de homogeneidad, un valor pequeño indica un área donde las construcciones son regularmente de una medida uniforme.
2. Índice de Construcción en el Área (BAI)- similar a  $\alpha$  o  $L$

3. Distribución de Construcciones Altas (BHD) -Una PDF de la altura de todas las construcciones dentro del área concernida.
4. Distribución Local de la Construcción -Una PDF describe el lugar de construcción en el área.
5. Índice de Vegetación (IV) -El porcentaje de área cubierta por árboles, etc.
6. Índice ondulatorio del terreno ( $\Delta h$ )

Tres clasificaciones del ambiente son también propuestos, con subclases como apropiadas, las cuales son:

Clase1 (rural)

- a- Plano
- b- Empinado
- c- Montañoso

Clase2 (suburbano)

- a- Residencias con algunos espacios abiertos
- b- Residencias con pocos o sin espacios abiertos
- c- Residencias con altas elevaciones

Clase3 (urbano y densidad urbana)

- a- Área de tiendas
- b- Área comercial
- c- Área industrial

Mapas digitalizados se suministran con el software que permite al usuario crear un archivo de salida para dibujar el mapa. Además el software ha sido desarrollado para extraer la información necesaria para calcular las Funciones de Densidad de Probabilidad e índices necesarios para producir una clasificación de área apropiada. Basada en la observación estadística de los datos obtenidos, evaluaciones que han sido propuestas por los parámetros asociados con las subclases en ambientes clase 2 y 3, que están en la tabla 1.4.

**TABLA 1.4 PARAMETROS DESCRIPTIVOS DE AMBIENTES DE CLASE 3 Y 4**

Clase	BAI (%)	BSD( $m^2$ )		BHD Numero de tiendas		VI (%)
		$\mu_s$	$\sigma_s$	$\mu_H$	$\sigma_H$	
2 A	12-20	95-115	55-70	2	1	>2.5
2 B	20-30	100-120	70-90	2-3	1	<5
2 C	>12	>500	>90	>4	1	<2
3 A	>45	200-250	>180	>4	1	0
3 B	30-40	150-200	>160	3	1	0
3 C	35-45	>250	>200	2-3	1	<1

### **1.6 MODELO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES EN AREAS URBANAS**

La ruta que sigue la señal desde el transmisor hasta el receptor puede ser desde una simple y sencilla línea de vista hasta un ambiente en el cual tengamos una gran cantidad de obstáculos como edificios, montañas o árboles que lo interfieran. *“La predicción y el modelo de los canales de radiocomunicación son una de las partes mas complicadas que interviene en el diseño de sistemas de comunicación, por lo general esta parte se hace de manera estadística”* [11], tomando como base mediciones realizadas en una zona especifica y para un determinado sistema o parte del espectro.

Los modelos de propagación han puesto su mayor interés en predecir la potencia por medio de una señal para cualquier distancia de separación entre el transmisor y receptor, son conocidos como modelos de propagación a gran escala y son de gran utilidad para el cálculo de áreas de cobertura para sistemas de radio.

Los modelos que predicen los cambios rápidos en la intensidad de la señal recibida en distancias pequeñas de unas cuantas longitudes de onda, se conocen como modelos a pequeña escala.



### **1.6.1 MODELOS DE PROPAGACION PARA AMBIENTES ABIERTOS**

*“Los modelos de propagación de radiofrecuencia surgen por la necesidad de modelar una zona geográfica de terreno irregular para así poder predecir las pérdidas por trayectoria hacia el móvil”* [16], existe una gran cantidad de factores que se deben tener en cuenta:

- Un perfil del terreno de la zona a modelar (zona de cobertura)
- Presencia de obstáculos como: edificios, árboles, montañas, etc.

Para este fin a lo largo de la historia muchos científicos han propuesto varios modelos, los cuales apuntan a predecir la potencia de la señal en un punto específico de recepción dentro de un área, pero estos métodos varían en su enfoque, complejidad y precisión. En su mayoría éstos están basados en la interpretación de mediciones en diversos tipos de áreas de servicio.

### **1.6.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN PARA AMBIENTES URBANOS**

Los estudios de modelos de propagación urbana tienen sus orígenes en Japón, aproximadamente en la década de los setentas, siendo uno de los primeros el científico Okumura que basó sus estudios en mediciones experimentales realizadas en su país. Sus estudios tienen un inconveniente, sus resultados son representativos de la propagación electromagnética en el área urbana de Japón.

*“El método Okumura se baso en la aplicación de cartas cartográficas”* [16].

Este método era laborioso ya que requería la correcta interpretación de la información obtenida de las graficas de acuerdo a la zona donde se aplicaran, sin embargo continuaron los estudios por parte de los investigadores como Hata, otro científico de origen Japonés. Masaharu Hata definió por medio de ecuaciones matemáticas las características de propagación encontradas por Okumura.

Hata basó sus investigaciones en la consideración de que “*las señales de Radio Frecuencia se comportaban de manera logarítmica*” [16], así mismo propuso ecuaciones para ambientes suburbanos y rurales, para sus ecuaciones consideró un terreno ligeramente montañoso con elevaciones menores a veinte metros. A partir de estos desarrollos surgió el primer modelo de propagación: Okumura-Hata.

### **1.6.2.1 MODELO OKUMURA**

“*El modelo Okumura es uno de los más ampliamente usados para la predicción de señales en áreas urbanas*” [11]. Este modelo es aplicable para frecuencias en el rango de 150MHz a los 1920MHz, es decir, comprende las bandas de frecuencias VHF y UHF (Sin embargo es extrapolado para frecuencias arriba de 3000MHz entrando en la banda de SHF) y distancias de 1Km a 100Km. Puede ser usado para alturas de la antena, en la estación base, en el rangos de 30m a 1000m.

Okumura desarrolló un conjunto de curvas, de acuerdo a la figura 1.9, de la atenuación relativa media en el espacio libre (que se usa como nivel de referencia) en función de la frecuencia, para una zona urbana sobre terreno casi-plano, en base a extensas mediciones, además de basarse en parámetros predefinidos.

Los valores de cada curva fueron obtenidos experimentalmente usando antenas verticales, tanto en la base como en el móvil y graficas en función de la frecuencia en el rango de los 100MHz a los 1920MHz y como una función de la distancia.

El modelo puede expresarse como:

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{tx}) - G(h_{rx}) - G_{AREA} \quad (1.35)$$

$L_{50}(dB)$  Atenuación mediana por trayectoria

$L_F$  Atenuación por espacio libre

$A_{mu}(f, d)$  Atenuación relativa promedio.

$G(h_{tx})$  Ganancia de altura de la antena transmisora

$G(h_{rx})$  Ganancia de la altura de la antena receptora

$G_{AREA}$  Ganancia debido al tipo de ambiente

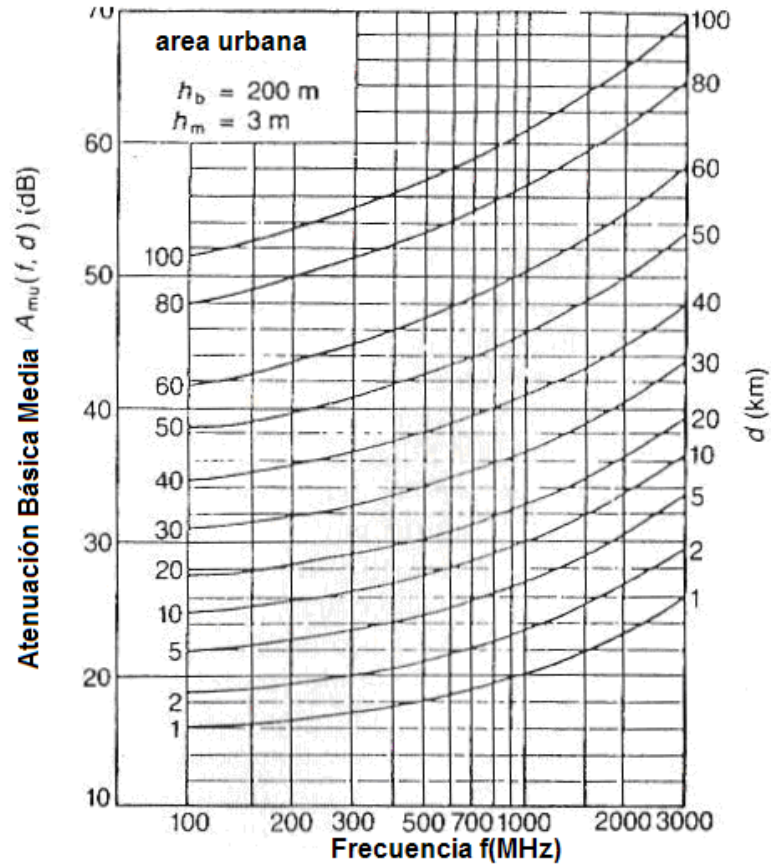


Figura 1.9 Pérdida media en el espacio libre.

Okumura encontró que “ $G(h_{tx})$  varía a un índice de 20dB/década y  $G(h_{rx})$  varía a un índice de 10 dB/década, para alturas menores que 3m” [16], tal como lo indica la figura 1.10.

Las ganancias se definen como:

$$G(h_{tx}) = 20 \log(h_{tx} / 200) \quad 30m < h_{tx} < 1000m \quad (1.36)$$

$$G(h_{rx}) = 10 \log(h_{rx} / 3) \quad h_{rx} < 3m \quad (1.37)$$

$$G(h_{rx}) = 20 \log(h_{rx} / 3) \quad 3m < h_{rx} < 10m \quad (1.38)$$

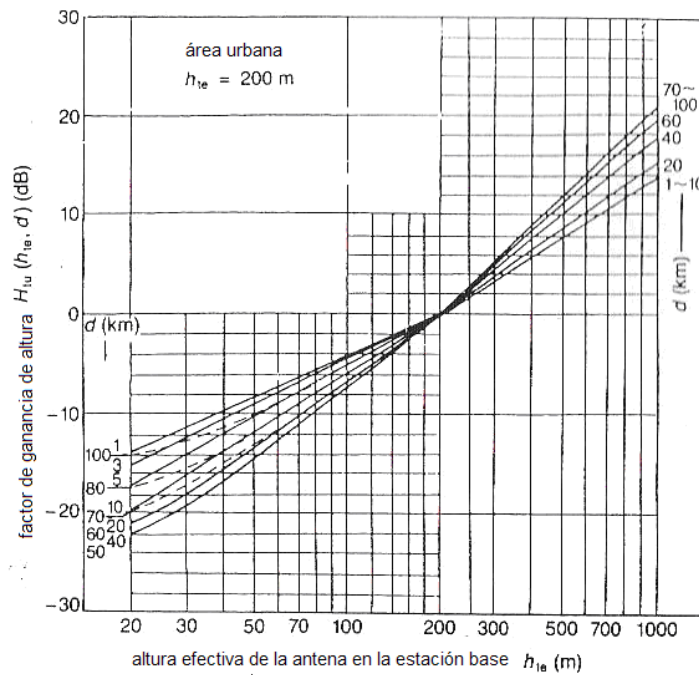


Figura 1.10 Ganancia de la estación base.

En base a esto pudo desarrollar un modelo de las pérdidas del enlace considerando factores de corrección dependiendo del tipo de terreno, aunque no es un modelo analítico.

Es uno de los modelos más simples y adecuados para las predicciones de atenuación para sistemas celulares y sistemas de radio terrestre en ambientes poblados. En las mediciones de la atenuación a diferencia con la predicción, presentan errores con una desviación estándar entre los 10dB a 14dB.

Su desventaja es que a pesar de ser bueno en zonas urbanas, no lo es en zonas rurales.

### 1.6.2.2 MODELO HATA (OKUMURA-HATA)

*“Es una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de VHF y UHF, de los 150MHz a los*

1500MHz. Aunque Hata presentó las pérdidas dentro de un área urbana como fórmula estándar” [21].

$$L_{50(\text{urbano})}(dB) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{tx} - a(h_{rx}) + (44.9 - 6 - 55 \log h_{tx}) \log d \quad (1.39)$$

Tomando en cuenta que

$$150MHz < f_c < 1500MHz$$

$$30m < h_{tx} < 200m$$

$$1m < h_{rx} < 10m$$

Se debe considerar que las definiciones son las mismas que para el modelo Okumura, incluyendo:

$f_c$  Frecuencia de portadora [MHz]

$h_{tx}$  Altura de antena transmisora en [m] en rango de 30 a 200 metros

$h_{rx}$  Altura de la antena receptora en [m] en rango 1 a 10 metros

$a(h_{rx})$  factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que es función del tipo de área de servicio

$d$  distancia entre transmisor y receptor [Km.]

Como se puede observar, involucra una nueva variable que es el factor de corrección de la antena móvil y se define según el tamaño de ciudad.

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a(h_{rx}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{rx} - (1.56 \log f_c - 0.8) [dB] \quad f_c < 300MHz \quad (1.40)$$

Para ciudades grandes:

$$a(h_{rx}) = 8.29(\log 1.54 h_{rx})^2 - 1.1 [dB] \quad f_c < 300MHz \quad (1.41)$$

$$a(h_{rx}) = 3.2(\log 11.75 h_{rx})^2 - 4.97 dB \quad f_c > 300MHz \quad (1.42)$$

Para utilizar la ecuación en un ambiente suburbano se utiliza como:

$$L(dB) = L_{50(\text{urbano})} - 2[\log(f_c / 28)]^2 - 5.4 \quad (1.43)$$

Para áreas rurales

$$L(dB) = L_{50(urbano)} - 4.78[\log(f_c)]^2 - 18.33 \log f_c - 40.94 \quad (1.44)$$

Este modelo se adapta muy bien para el diseño de sistemas de gran escala, pero no para sistemas PCS<sup>3</sup>, los cuales tiene células de orden de 1Km de radio. Para este efecto se hace una formulación numérico-empírica de los datos entregados por Okumura de atenuación para zonas urbanas.

A pesar de que el modelo Hata no tiene correcciones específicas para distintas rutas, que en cambio si existen para el modelo Okumura, las predicciones de Hata son muy similares a las predicciones de Okumura para distancias Transmisor-Receptor mayores a 1Km.

### **1.6.2.3 MODELO COST 231 (EXTENSION DEL MODELO HATA)**

*“La Cooperativa Europea para investigación Científica y Técnica (EURO-COST) desarrollo el modelo COST 231, en el cual extiende el modelo de Hata hasta el rango de los 2GHz cubriendo la banda VHF y UHF” [16].*

El modelo se expresa como:

$$L_{50(urbano)} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 18.82 \log h_{tx} - a(h_{rx}) + (44.9 - 6.55 \log h_{tx}) \log d + C_M [dB] \quad (1.45)$$

Donde

$C_M$  Cm. es un factor de corrección para adecuar el modelo extendiendo al rango de frecuencia con el cual trabaja el modelo Hata.

$$C_M = 0[dB] \text{ para ciudades medianas y áreas suburbanas}$$

$$C_M = 3[dB] \text{ para centros metropolitanos}$$

$a(h_{rx})$  corresponde a las ecuaciones presentadas en el tema anterior (modelo Hata)

---

<sup>3</sup> PCS: Sistema Personal de Comunicaciones.

Una de las aportaciones de este modelo es que considera pérdidas por dispersión.

Se define además el siguiente rango:

$f : 1500\text{MHz} : 2000\text{MHz}$

$h_{tx} : 30\text{m} : 200\text{m}$

$h_{rx} : 1\text{m} : 10\text{m}$

$d : 1\text{Km} : 20\text{Km}$

---

# *CAPÍTULO II*

## *SISTEMA DE COMUNICACIONES TETRA*

---





## **2.1 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO II**

La organización TETRA esta formada por el TETRA MoU (Memorando de Entendimiento). Asociación formada en diciembre de 1994. La Asociación TETRA ha crecido considerablemente y ahora es un foro que actúa en nombre de sus miembros, por ser organizaciones de usuarios, fabricantes, proveedores de aplicaciones, integradores, operadores, casas de prueba, reguladores y consultores. Los principales objetivos de la Asociación TETRA son promover el estándar TETRA para asegurar interoperabilidad de los equipos de los múltiples proveedores.

La interoperabilidad, *“como sucede, al momento de una emergencia, todos los integrantes de las diversas entidades encargadas de prestar auxilio desearían comunicarse con todas las demás personas involucradas con el simple cambio del botón de canales. Existirían ciertos candados para aquellos no autorizados y, desde luego, algunos radios estarían autorizados para intervenir en una o dos vías con varios o todos los grupos involucrados en la emergencia. A esto se le conoce como interoperabilidad”* [13].

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE TETRA.**

*“Terrestrial Trunked Radio (TETRA) es un radio móvil digital troncalizado, estándar desarrollado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI)”* [24].

*“Una red con gran número de terminales y que utiliza técnicas de multi-acceso que se basan en la compartición de las frecuencias disponibles, se denominan sistemas troncales (trunking) o de compartición de accesos”* [6], que a su vez pueden tener enlaces con otros sistemas públicos, fijos o móviles.

Un sistema troncal, en general, consta de un sistema de control de conmutación, estaciones base y los correspondientes terminales de usuario. Este tipo de sistemas están orientados a la comunicación entre usuarios pertenecientes a un mismo grupo, tal es el caso de:

- Flotas de vehículos.
- Servicios de emergencia.
- Compañías de servicio.

Y el servicio prestado se concibe para corta duración, por lo que el sistema puede acomodar un gran número de ellos, con un grupo muy reducido de frecuencias.

En la figura 2.1 podemos ver un radio móvil TETRA y un radio de mano.



Figura 2.1 Sistema de comunicaciones TETRA, radio móvil y radio portátil.

*“La aplicación de este sistema esta orientado a todos los usuarios PMR (Radio Móvil Privado) y PAMR (Radio Móvil de Acceso Público) de creciente uso aunque no comparado con los sistemas celulares” [2].*

Debido a que la norma TETRA se ha desarrollado específicamente para satisfacer las necesidades de una amplia variedad de organizaciones de usuarios PMR tradicionales, tiene una arquitectura escalable y permite el despliegue de la red económicamente, que va desde un sólo sitio de cobertura de área local, a varios sitios de área amplia de cobertura nacional.

*“El estándar TETRA es en la práctica, un conjunto de normas que abarcan diferentes aspectos de tecnología, por ejemplo, interfaces de aire, interfaces de red y sus servicios e instalaciones” [24].*

### **2.3 TECNOLOGÍA TETRA.**

*“La tecnología utilizada en TETRA es TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) 4:1 con canalización de 25 KHz para dos frecuencias de trabajo que proporciona cuatro canales independientes de comunicación, lo que es equivalente a una ocupación de 6.25KHz por canal, considerado altamente eficiente. En la transmisión de datos permite llegar a 28.8 Kbps” [2].*

TETRA permite además la utilización de la misma frecuencia en áreas de cobertura permitidas mediante el funcionamiento del canal de control en TDM (Multiplexaje por División de Tiempo).

### **2.4 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.**

Dentro de las características más sobresalientes del sistema tenemos que destacar la seguridad en la red, las frecuencias de operación, modulación y la arquitectura del protocolo.

#### **2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD.**

Cubre principalmente dos aspectos:

1. Evitar el acceso a la red a personas no autorizadas

2. Evitar la escucha de información enviada vía radio durante las fases de señalización y conmutación.

Se consideran diferentes niveles de seguridad:

*“El empleo de modulación digital, la técnica TDMA, y la posibilidad de Salto de Frecuencia reducen el acceso a la información enviada vía radio” [2].*

La zona de seguridad TETRA es amplia, ya que tiene que proporcionar diferentes niveles de seguridad que van desde lo que es aceptable en las redes comerciales hasta lo que es aceptable en una red nacional de seguridad pública.

Los mecanismos de seguridad en la norma están cubiertos a través Autenticación, Encriptación en la Interfaz de Aire (AIE) y Encriptación entre terminales. Las amenazas a la confidencialidad, autenticidad, integridad, disponibilidad, así como la responsabilidad están cubiertas de los tres mecanismos.

La autenticación se lleva a cabo por la red que comprueba la identidad del móvil en el momento que se registra en la célula por primera vez. Cabe la posibilidad de aplicar el procedimiento de autenticación cada vez que el móvil accede a la red, pero a costa de un tiempo de establecimiento de llamada considerablemente mayor.

El estándar basado en los servicios se está ampliando constantemente por un subgrupo de la Asociación llamado: Grupo de Seguridad y Lucha Contra el Fraude (SFPG).

La autenticación mutua es un servicio necesario para garantizar que un sistema TETRA puede controlar el acceso a la misma y por un terminal de radio para comprobar si hay una red en la que se puede confiar. En TETRA, la autenticación es la base de gran parte de la cantidad total de la seguridad de la red, y puede proporcionar las bases de un canal de distribución para obtener información “sensible”, como los demás, las claves de cifrado. Los mecanismos de autenticación mutua de seguridad protegen los servicios de voz y datos.

El estándar TETRA soporta cuatro Algoritmos de Cifrado AIE-TETRA (TEA's), que son TEA1, TEA2, TEA3 y TEA 4. Presentándose diferencias en el uso de estos cuatro algoritmos. Así por ejemplo el TEA1 es usado para la seguridad pública en algunas ciudades de Europa, mientras los otros son usados en comercio general y seguridad pública.

El beneficio principal de cifrado en la interfaz de aire, es que se protege a todas las identidades y señalización, así como al usuario de voz y datos. Esto proporciona un excelente nivel de protección del análisis de tráfico, así como del espionaje.

El sistema de encriptación está estrechamente vinculado a los protocolos de señalización y los algoritmos TETRA, puede (si se desea) aplicarse software dentro de los terminales de radio y las estaciones base, en lugar de utilizar los módulos de cifrado, lo que podría consumir espacio e incrementar los costos.

El estándar TETRA también soporta cifrado entre terminales, usando una variedad de algoritmos de encriptación como se considere necesario por las organizaciones de seguridad nacional. Además de estas capacidades básicas de seguridad, TETRA también puede apoyar una amplia gama de capacidades de gestión de la seguridad, como los que se utilizan para controlar, administrar y operar los distintos mecanismos de seguridad en una red.

La más importante de estas es: la gestión de claves de cifrado, que está totalmente integrada en las funciones estándar de TETRA.

Aunque las funciones de seguridad están integradas en una red, esto no implica automáticamente que una red sea completamente segura.

Sin embargo, lo que normalmente se obtiene, es que los riesgos de seguridad sean condensados, es decir, se concentran a elementos específicos de la red, que pueden ser controlados de forma adecuada.

### 2.4.2 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN.

Las bandas civiles consideradas para los productos TETRA se muestran en la tabla 2.1.

<i>TABLA 2.1 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN PARA EL SISTEMA TETRA.</i>	
Frecuencias	Aplicación
380 – 430MHz	Fuerzas de Seguridad
410 – 430MHz	PAMR
450 – 470MHz	PAMR
870/876 – 915/921MHz	PAMR

### 2.4.3 MODULACIÓN

“Los esquemas de modulación para TETRA con Servicios de Datos Mejorado (TEDS) se basan en” [4]:

- $\pi/4$  -DQPSK (común para TETRA V + D y control de canal para TEDS)
- $\pi/4$  D8PSK (para principios de la migración que requieren modesto aumento de la velocidad)
- 4 QAM (para enlaces eficientes en los límites de la cobertura)
- 16 QAM (para velocidades moderadas)
- 64 QAM (para alta velocidad)

La tabla 2.2 es una matriz de los diferentes anchos de banda del canal RF y tipos de datos apoyado en TEDS.

<i>TABLA 2.2 ANCHO DE BANDA DEL CANAL RF PARA TEDS Y VELOCIDADES DE LOS DATOS</i>				
Rendimiento de procesamiento de paquetes de datos. (Enlace descendente kbits/s)				
Modulación	Tipo de canal			
	25Khz	50KHZ	100KHz	150KHz
$\pi / 4$ -DQPSK	15.6	-	-	-
$\pi / 8$ -D8PSK	24.3	-	-	-
4-QAM	11	27	58	90
16-QAM	22	54	116	179
64-QAM	33	80	175	269
64-QAM	44	107	233	359
64-QAM	66	160	349	538

### 2.4.4 CANALES LÓGICOS

Un canal lógico es definido como “*un camino lógico de comunicación entre dos o más partes*” [4]. Los canales lógicos representan la interfaz entre el protocolo y el subsistema de radio.

Los canales lógicos pueden ser separados en dos categorías:

1. Los canales de tráfico de voz que llevan información o datos en el modo de conmutación de circuitos y,
2. Los canales de control que llevan los mensajes de señalización y paquetes de datos.

#### Canales de tráfico

Los canales de tráfico llevan la información del usuario. Diferentes canales de tráfico se definen para voz o datos y para diferentes velocidades:

- Canal de tráfico de voz (TCH/S).
- Modo de circuito de canales de tráfico de la siguiente manera:
  - 7,2 kbit / s tasa neta (TCH/7.2);
  - 4,8 kbit / s tasa neta (TCH/4.8);
  - 2,4 kbit / s tasa neta (TCH/2.4).

Se pueden utilizar velocidades netas mayores a 28,8, 19,2 y 9,6 kbit / s y son obtenidos mediante la asignación de hasta 4 canales de tráfico físicos (TP) a la misma comunicación.

#### Canales de control (CCH)

Los CCH llevan los mensajes de señalización y de paquetes de datos, se definen cinco categorías de canal de control:

1. Canal de Difusión y Control de (BCCH);
2. Canal de Linealización (LCH);
3. Canal de Señalización (SCH);
4. Canales de Asignación de Acceso (AACH), y
5. Canal de robo (STCH).

### **2.4.5 ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO, CAPAS.**

La especificación del protocolo utiliza una estructura en capas, de acuerdo con el modelo para Interconectar Sistemas Abiertos (OSI). De este modo se consiguen grupos aislados de funciones que permiten su descripción como una sucesión de capas independientes, en la que cada una de ellas ofrece su servicio de comunicación a la capa superior en diferentes puntos de servicio.

Las capas se definen a continuación:

**CAPA 1 FÍSICA**, Define los parámetros de RF, tipo de modulación y codificación de datos. Representa las funciones necesarias para transferir las ráfagas de bits sobre los enlaces físicos de radio.

**CAPA 2 ENLACE DE DATOS**, Esta subdividida en capa baja Control de Acceso al Medio (MAC) y la capa de Control de Enlace Lógico (LLC).

- **MAC**: En ella se definen: El método de acceso TDMA y la codificación de canal. Ofrece un conjunto de canales lógicos a las capas superiores, Cada uno de ellos tienen su propio punto de acceso al servicio.
- **LLC**: Esta capa proporciona un enlace fiable entre el móvil y la base. A cada canal lógico de control se le asigna una entidad separada. La señalización esta basada en los principios del protocolo ISDN/LAPD. No obstante, se modifica basándose en requisitos celulares específicos.

**CAPAS SUPERIORES 3-7**: El ámbito de la normalización TETRA abarca las capas de la 1 a la 3, de la arquitectura del modelo OSI.

De hecho, los protocolos en las capas 4 a 7 tienen prácticamente nada que ver con la infraestructura directamente, ya que éstas sólo se refieren a la comunicación de entidades tales como terminales de uso o aplicaciones. Estos son esencialmente, blindado de infraestructura de protocolo de de la capa 3 que proporcionan los servicios portadores.

*“Los protocolos de las capas superiores tienen algunos trabajos adicionales que hacer, por ejemplo proporcionar un vínculo de comunicación fiable a través de reconocimiento*



*extremo a extremo, y/o para manipular los datos de usuario para algunos objetivos de comunicación (por ejemplo, la compresión y encriptación de datos)” [8].*

Todas estas actividades son totalmente transparentes para el protocolo de capa 3. Por ejemplo, en lo que respecta al protocolo de la capa 3 el reconocimiento de datos podría aparecer al igual que cualquier otro dato con distinción hecha sólo por los protocolos de capa superior. Similarmente, no es para el protocolo de capa 3 saber si son datos comprimidos o encriptados; su trabajo es simplemente para encaminar los datos hacia su destino de acuerdo con algunas políticas de comunicación definidas en función de su protocolo.

**CAPA 4 PROTOCOLO DE LA CAPA DE TRANSPORTE:** Aplicaciones de usuario creadas sobre los servicios portadores generalmente requiere de transmisiones extremo a extremo de paquetes de datos con una determinada calidad de servicio. En particular, las capas de transporte y de sesión trabajan juntas para supervisar la entrega de datos de extremo a extremo.

La capa de transporte, se encarga de la administración de la transferencia de información de extremo a extremo, a continuación se mencionan algunas de las funciones principales:

- Fragmentación de paquetes de datos, re-secuenciación y control de flujo.
- Intercambio de parámetros de conexión.
- Multiplexaje de conexiones en tándem o puertos virtuales (por ejemplo, para emular varios puertos de usuario sobre línea de datos cuando se conecta a una red de datos como al igual que X.25).
- Retraso en el descarte de copias de paquetes, cuando la demora alcanza algún umbral máximo.

**CAPA 5 PROTOCOLO DE LA CAPA DE SESIÓN:** En esta capa el trabajo no es tan intenso como la de red o capa de transporte e incluso podría ser nulo para algunos servicios de comunicación. Su tarea principalmente tiene que ver con la coordinación de los períodos de sesiones entre terminales. Esencialmente, establece la conexión y supervisa la transferencia de datos. El comienzo de sesión posiblemente requiera alguna sincronización,

es decir con el inicio-final, reanuda el tipo de procedimientos. Es posible que las funciones de sincronización de tramas multimedia (por ejemplo, videoconferencia) o cifrado de extremo a extremo de voz TETRA, podría ser implementado con funcionalidades de la capa de sesión. Contrariamente a este criterio, también es posible que las funcionalidades de sincronización deseada pudieran realizarse en la capa de aplicación. La decisión en cual aplicar la capa, se convierte en un problema importante, por lo general cuando se trabaja con otros sistemas de hardware/software.

**CAPA 6 PROTOCOLO DE LA CAPA DE PRESENTACIÓN:** La capa de presentación realiza la conversión de sintaxis, cifrado y la compresión de datos. Ejemplos incluyen la encriptación de datos y protocolos de descifrado. Por ejemplo, las funciones de descifrado de extremo a extremo en cifrado de voz TETRA, puede ser manejado en esta capa o en su caso en la capa de aplicación.

**CAPA 7 PROTOCOLO DE LA CAPA DE APLICACIÓN:** Capa de aplicación, como el nombre sugiere, define la tarea o la aplicación a realizar y representa la culminación de todas las capas para proporcionar un servicio inmediato de comunicación para el usuario (o software de aplicación). Por ejemplo, un servicio de voz TETRA o servicios de datos representan un protocolo de capa de aplicación. Otros ejemplos incluyen, servicio de mensajería (SMS), correo electrónico, Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP) y Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP) ampliamente utilizado para monitoreo de red y control.

## ***2.5 CONFIGURACIÓN DE LA RED***

Las funciones necesarias de control están distribuidas entre los diferentes elementos de la red y se realizan mediante los protocolos de señalización.

Las figuras 2.2 y 2.3 muestran la configuración funcional de la red, en la que se definen todas las interfaces sujetas a especificación, y la arquitectura típica TETRA respectivamente.

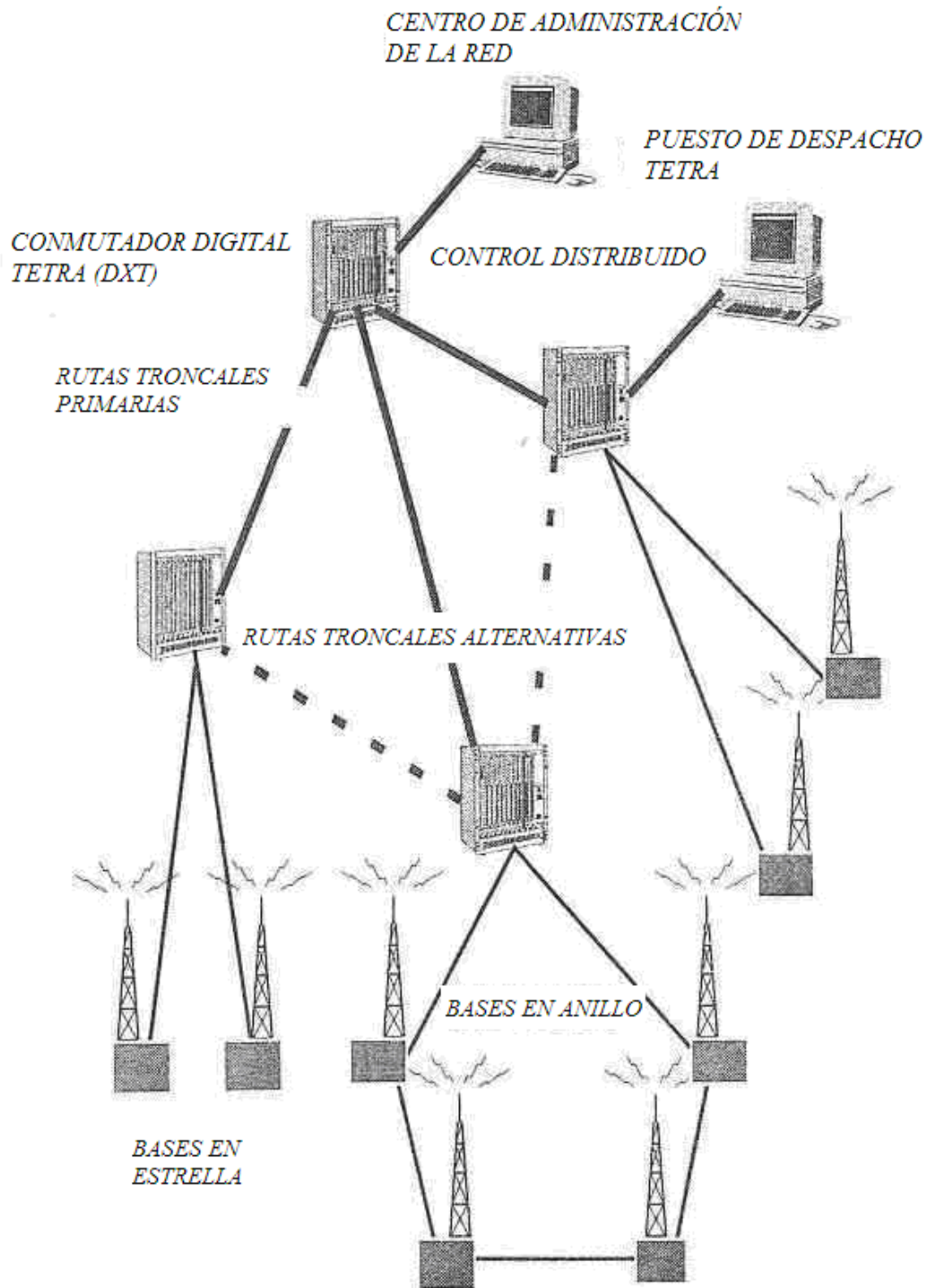


Figura 2.2 Arquitectura Típica TETRA.

### **2.5.1 TETRA LANZAMIENTO 1.**

Originalmente el primer estándar TETRA, prevista en la norma ETSI fue conocida como TETRA voz más datos (V+D) estándar. Debido a la necesidad de seguir evolucionando y mejorar TETRA, el estándar original V+D hoy en día se conoce como TETRA lanzamiento1.

Una visión general de los elementos de la red incluidas en el estándar TETRA se muestran en la figura 2.2.

Y sus elementos básicos del sistema se enumeran a continuación.

10.- Conmutador y Administración de Infraestructura

11.-Interfaz de Aire (AI)

12.-Interfaz Modo Directo (MD)

13.-Interfaz Hombre-Maquina

14.-Interfaz Datos Periféricos de Radio (PEI)

15.-Interfaz de Despacho Local

16.-Interfaz de Acceso a Red Externa (RTC / RDSI / PABX)

17.-Interfaz Línea de Despacho Remoto

18.-Interfaz Entre Sistemas (ISI).

19.-Interfaz de Gestión de Red

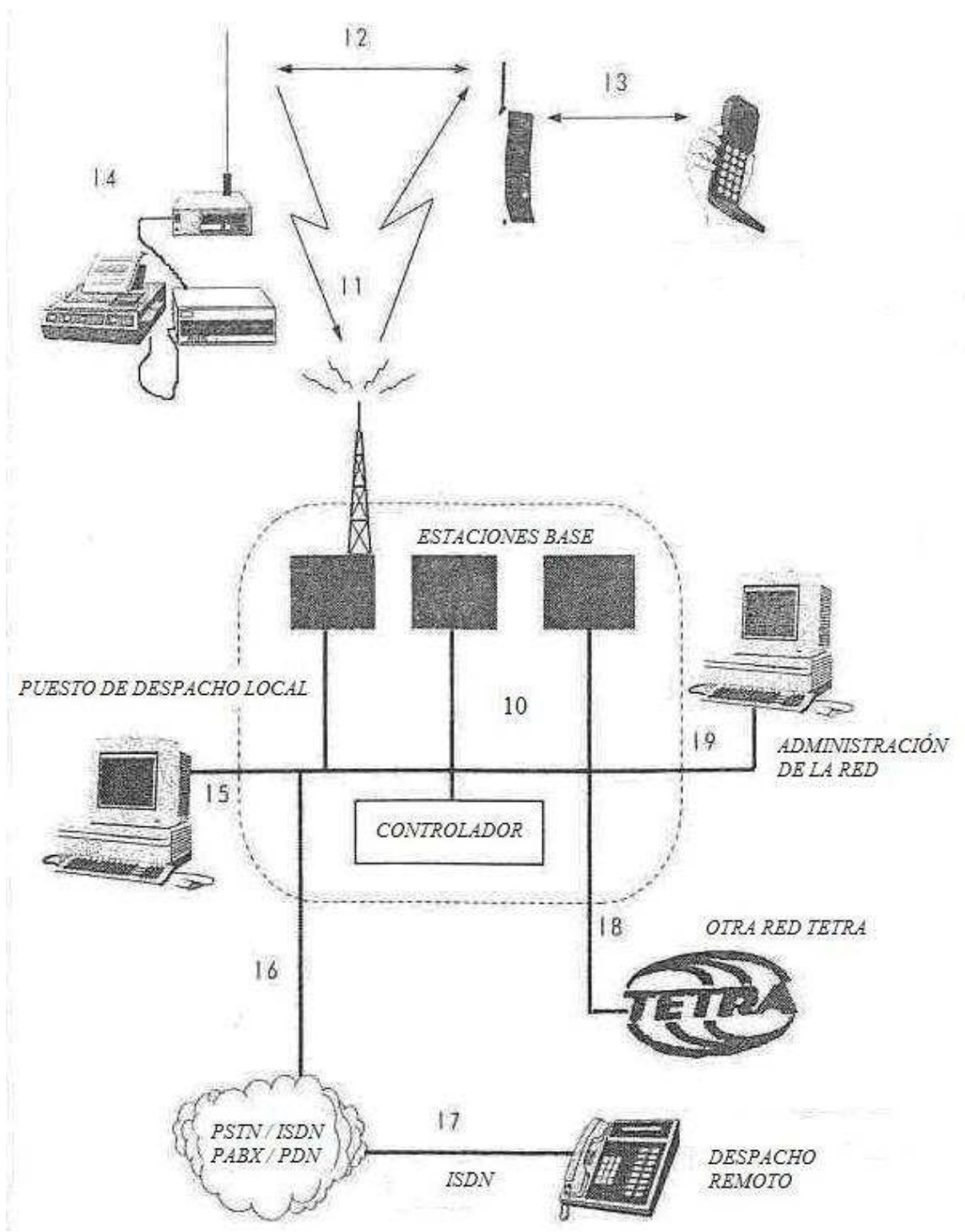


Figura 2.3 Interfaces estándar TETRA

### **10.-Conmutador y administración de Infraestructura (SwMI):**

La abreviatura SwMI se utiliza para clasificar todos los equipos y los subsistemas que integran una red TETRA, incluyendo las estaciones base. Aunque algunos miembros del Comité Técnico (CT) de ETSI TETRA estimaron que una interfaz estándar para estación base sería útil, se decidió que, debido a la forma en que los distintos fabricantes configuran sus redes para mejorar el rendimiento y la flexibilidad de diseño, sería poco práctico para la aplicación. Se acordó también, por las mismas razones que la interfaz de la estación base, todo lo que figura en el interior de la SwMI, no sería normalizado, permitiendo así flexibilidad en el diseño para los fabricantes de infraestructura TETRA. Esto también significa que las nuevas tecnologías en los ámbitos de la transmisión y la creación de redes pueden utilizarse sin tener que pasar por un largo proceso de normalización.

### **11 y 12.- Interfaz de Aire e Interfaz en Modo Directo:**

Las interfaces más importantes y complejas, son las interfaces entre la estación base y los terminales de radio y la interfaz del modo de operación directo (DMO) es una instalación que permite a los terminales operar en redes locales de radio independiente de la infraestructura principal de la red TETRA.

### **13.- Interfaz Hombre-Maquina:**

Es la interfaz que permite la comunicación entre el usuario y los radios móviles.

### **14.- Interfaz Datos Periféricos de Radio (PEI):**

Esta interfaz normaliza la conexión de la terminal de radio a un dispositivo externo, y soporta la transmisión de datos entre las aplicaciones residentes en el dispositivo conectado

y de la terminal de radio TETRA. PEI también soporta ciertos elementos de control dentro de la terminal de radio desde un dispositivo externo y/o aplicaciones como:

- Reporte de alarmas.
- Telemetría.
- Maquinas de Boletos para transporte en autobús.
- Localización automática de vehículos.
- Terminales de datos móviles.
- Consolas de escritorio fijas para control remoto de móviles.
- Control y comandos

#### **15.- Interfaz de Despacho Local:**

Esta interfaz inicialmente estaba destinada a permitir la conexión a un cable de la línea de control remoto, como consolas ubicadas en las principales salas de control. Lamentablemente, el trabajo en esta interfaz se redujo en el TC ETSI TETRA ya que la complejidad para proporcionar una interfaz universal sin degradar el rendimiento era poco práctica. Por ello únicamente TETRA manufactura interfaces específicas disponibles para apoyar a las numerosas aplicaciones de voz y datos que requieren el acceso a las infraestructuras de TETRA.

#### **16.- Interfaz de Acceso a Red Externa (RTC / RDSI / PABX):**

Esta interfaz estándar TETRA permite conexión con: Redes Telefónicas Privadas (PABX), Redes Digitales de Servicios Integrados (RDSI) y Redes Telefónicas Conmutadas (RTC).

### **17.- Interfaz de Línea de Despacho Remoto:**

Interfaz no normalizada, solo algunas de las especificaciones de la interfaz son disponibles para algunos fabricantes de la norma TETRA, diseñada para soportar la gran cantidad de datos y voz que requieren acceso a las infraestructuras de TETRA.

### **18.- Interfaz Entre Sistemas (ISI):**

Esta Interfaz Estándar entre Sistemas (ISI) permite inter-operar entre sí a las diferentes infraestructuras suministradas por fabricantes TETRA para proporcionar interoperabilidad entre dos o más redes. Hay dos métodos de interconexión en la norma, uno referente a la transferencia de información en modo de circuitos y otro utiliza el modo de paquetes.

### **19.- Interfaz de Gestión de Red**

Al igual que la Interfaz de Control Local, se reconoció durante las actividades de normalización de que una interfaz de gestión común de la red fue poco práctica. Afortunadamente, esta normalización no se desperdició, ya que más tarde se convirtió en una guía completa para ayudar a los usuarios en la definición de las necesidades de gestión de red.

Además de estas normas de los elementos de red, los numerosos servicios e instalaciones disponibles en TETRA también están normalizados. El más importante de estos objetivos es:

- Servicios Avanzados de Llamada Rápida a Grupos- claro y cifrados
- Llamadas Individuales - claro y cifrados
- Servicios de Datos Cortos - claro y cifrados
- Servicios de Paquetes de Datos - claro y cifrados



### **2.5.1.1 FUNCIONAMIENTO EN MODO DIRECTO (DMO).**

DMO es el término utilizado por la industria TETRA para describir la capacidad de los terminales de radio TETRA para comunicarse directamente entre sí (transmisor-receptor portátil) independiente del Modo de Funcionamiento Troncal (TMO).

DMO no es nuevo y ha sido un modo de funcionamiento fundamental por muchos usuarios PMR de organizaciones tradicionales de durante varias décadas. La exigencia principal para DMO en TETRA ha sido creada por la necesidad de equilibrar la cobertura de RF, Grado de Servicio (GoS) y fiabilidad de una red con la de la red global de los abonados.

#### **Aplicaciones típicas DMO.**

Las aplicaciones típicas para DMO son para comunicaciones de área local fuera de la red TMO y ampliación del rango de red TMO. Para mejorar la capacidad de comunicación cuando se utilizan estas aplicaciones, se ofrecen servicios de DMO para permitir a los usuarios establecer contacto con los usuarios de la red TMO cuando operan fuera de la red así como de las instalaciones para mejorar el rango de cobertura de RF en área local.

#### **Comunicaciones de área local DMO.**

Las comunicaciones de área local DMO se utilizan principalmente para proporcionar capacidad adicional fuera de la red de TMO para actividades de trabajo localizadas, incidentes mayores y/o eventos periódicos. En menor medida, se utilizan las comunicaciones de área local en zonas de cobertura donde la señal de RF es pobre y/o cuando el servicio de una estación de base local está fuera de servicio. Para proporcionar esta capacidad de comunicación de área local, prácticamente todos los terminales TETRA, ya sean móviles o terminales de mano, están equipados tanto con TMO y DMO.

La figura 2.4 muestra dos policías haciendo uso de sus radios en la misma zona de operación, que es una aplicación típica de las comunicaciones de área local DMO. Debido a la naturaleza del trabajo, no hay necesidad de utilizar la red principal TMO.

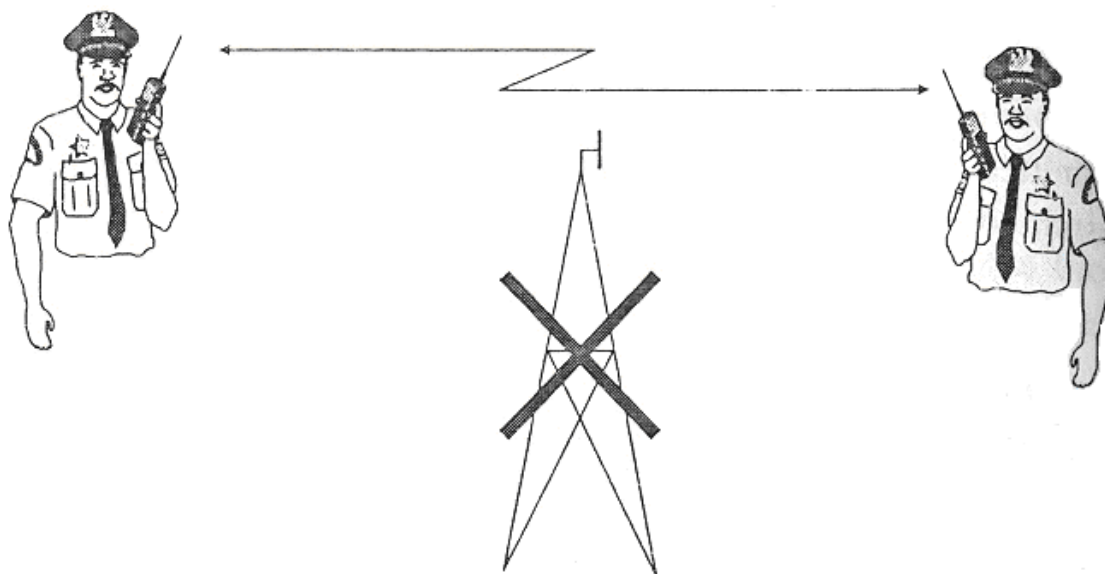


Figura 2.4 Aplicación de comunicaciones de área local DMO

Para este tipo de las comunicaciones locales una cobertura de RF de aproximadamente 250 metros, se considera más que aceptable.

### **Extensión de alcance de la red TMO**

El uso más frecuente para DMO es proporcionar un rango de extensión TMO permitiendo comunicaciones de radios en zonas de la red TETRA en que sólo la cobertura de radio móvil es compatible. Para ofrecer este rango de extensión de red TMO es necesario un vehículo montado con una terminal de radio móvil TETRA, equipado con Gateway<sup>4</sup> operación necesaria para enlazar una radio de mano o terminales de radio que operan en DMO con la red TMO.

En la figura 2.5 muestra un policía solicitando red TMO en rango de extensión. De la figura 2.5 se puede ver que un oficial de policía esta solicitando información al centro de control, en este caso puede ser que el policía haya detenido un vehículo en una carretera en el interior del país, donde sólo cuentan con el apoyo de comunicaciones móviles. En este ejemplo, el agente de la policía necesita este tipo de comunicación para verificar el registro del

<sup>4</sup> Elemento de hardware y/o software con capacidad para traducir un protocolo de alto nivel a otro. Puerta de acceso. Dispositivo que permite conectar entre si dos redes normalmente de distinto protocolo a un host o red.

vehículo, permiso de conducción, y otros datos del vehículo. Con este fin es más eficiente para el oficial utilizar una terminal de radio de mano para mantener comunicación con el centro de control de la policía y además poder permitirle caminar hacia adelante y hacia atrás, cerca del vehículo y su patrulla. Además, tener acceso directo a las comunicaciones lejos de la patrulla es importante para la salud y seguridad del oficial.

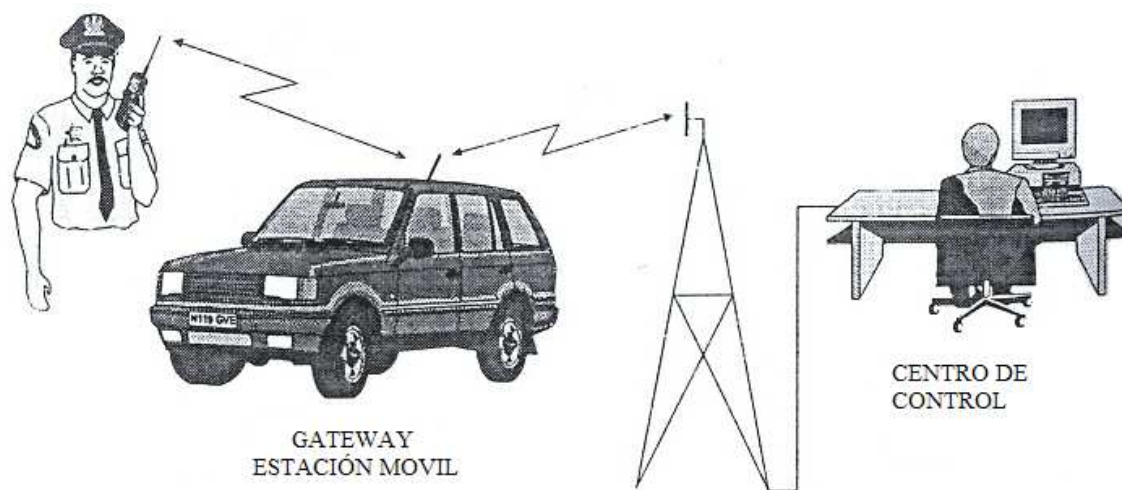


Figura 2.5 Aplicación Típica Red TMO rango de extensión.

Una vez más, para este tipo de aplicación de comunicación local, una cobertura de RF de aproximadamente 250 metros, se considera más que aceptable.

### Las comunicaciones entre los usuarios de DMO y TMO

Como se mencionó anteriormente, las comunicaciones entre usuarios de DMO y TMO se puede proporcionar usando Gateways DMO. Aunque las Gateways se utilizan normalmente para ampliar la cobertura de la red TMO, también se puede utilizar para conectar redes de comunicación de área local DMO en la red TMO cuando sea necesario. Esta forma de vinculación se puede utilizar independiente del tipo de cobertura de RF ofrecida por la red TMO. Otra forma de proporcionar a las comunicaciones entre los usuarios que operan en DMO y de los usuarios que operan en TMO es el uso de un servicio llamado "Dual Watch" que, al ser activado, periódicamente escucha fuera las llamadas ya sea TMO o DMO dependiendo de la modalidad seleccionada. Por ejemplo, si el modo de operación fuera

DMO la terminal de radio escucharía las llamadas de TMO, y viceversa si el modo de operación fuera TMO. Esta funcionalidad “Dual Watch” se puede proporcionar a ambos radio de mano móviles y terminales de radio. Evidentemente, para operar en “Dual Watch” en terminales de radio de mano, la cobertura de RF necesitaría de la red TMO.

### **Aumento de área local de cobertura de RF DMO, funcionamiento**

Aunque el rendimiento de la cobertura de RF en DMO es más que suficiente para la mayoría de aplicaciones, hay casos en los que la cobertura de RF se necesita mejorar, por ejemplo, en zonas localizadas donde hay una cantidad importante de construcciones desordenadas en una zona relativamente amplia, causando pérdidas de señal inaceptables. Estos casos, el aumento de la cobertura de RF puede ser proporcionada incorporado un “repetidor” montado en un vehículo terminales móviles de radio TETRA, o una unidad de radio transportable, situados convenientemente a fin de brindar cobertura de la zona. Por razones prácticas, este “repetidor” esta sólo disponible en terminales de radio móviles. También, los repetidores pueden ser dotados con un servicio de “gateway” para comunicaciones DMO y TMO cuando sea necesario.

### **2.5.2 TETRA LANZAMIENTO 2.**

TETRA lanzamiento 1 (Voz + Datos) ya ofrece una muy amplia gama de servicios e instalaciones pero a medida que el tiempo avanza existe la necesidad de evolucionar y mejorar todas las tecnologías para satisfacer mejor las necesidades de los usuarios y asegurar la longevidad. Al igual que GSM se transforma a GPRS, EDGE, Y UMTS/3G, TETRA también debe evolucionar en nuevos servicios y facilidades para satisfacer el aumento de la demanda de los usuarios así como obtener los beneficios de la nueva tecnología.

Ya en 1999, grupos de interés que comprenden tanto usuarios como los fabricantes del Comité Técnico (CT) de TETRA y la asociación TETRA identificando la necesidad de mejorar TETRA en varias áreas. Aunque el número inicial de las áreas identificadas fueron

muy amplias, hechos significativos en la industria de las telecomunicaciones, en combinación con las necesidades cambiantes del mercado, dio lugar a los siguientes servicios e instalaciones:

1. Modo de Operación Troncal (TMO) Rango de extensión
2. Velocidad Múltiple Adaptable (AMR), “códec” de voz
3. Codificador Predictivo Lineal Excitado por Mezclador mejorado (MELPe), “códec” de Voz
4. Servicio de Datos mejorado(TEDS).

### **1.- Modo de Operación Troncalizado (TMO) Rango de extensión:**

La capacidad de TETRA para operar más allá del límite de 58 kilómetros (una función de la estructura TDMA de TETRA) fue requerido por ciertas organizaciones de usuarios para permitir comunicaciones Aire-Tierra-Aire (AGA) eficientes, mientras se este operando en la red principal TMO. Al modificar “ráfagas” de enlace ascendente y descendente, así como los tiempos de guardia, la gama de TETRA TMO se extiende hasta 83 km para aplicaciones de AGA. (Nota: DMO no tiene limitación de la gama de la estructura TDMA como la sincronización se lleva a cabo en DMO al inicio de cada transmisión).

### **2.- Velocidad Múltiple Adaptable (AMR) “códec” de voz:**

El “códec” AMR, que opera en 4.75kbps en modo único, ha sido elegido para posibles aplicaciones futuras en TETRA. Sin embargo, la complementación de la Interfaz de Aire Estándar para dar cabida a el códec AMR se suspende en TC TETRA hasta tanto no se identifica la necesidad del mercado.

### **3.- Codificador Predictivo Lineal Excitado por Mezclador mejorado (MELPe), “códec” de voz**

El STANAG (Acuerdo de Estandarización) 4591, se ha normalizado por la OTAN para sus propias aplicaciones de comunicaciones militares debido a su baja tasa de bits (2400 bits/s), la inmunidad al ruido de fondo y desempeño aceptable en la calidad de voz. A causa de la adecuación de TETRA para determinadas aplicaciones de las comunicaciones militares TC

TETRA llevó a cabo un estudio de viabilidad técnica para comprobar si puede ser soportado en TETRA. Los resultados de este estudio indican posibles beneficios tales como:

- Trabajar en conjunto con sistemas de gobierno (sin operación tándem).
- Eliminación de ruido de fondo.
- Mejora de la cobertura de RF usando bits de repuesto disponibles para FEC extra.
- V + D simultáneos utilizando recambios bits disponible para datos.

Sin embargo, la forma en que el “codec” MELPe debe aplicarse en TETRA incrementa la demora de voz extremo a extremo, que necesita equilibrarse con sus posibles beneficios.

#### **4.- Servicio de Datos mejorado (TEDS):**

TEDS es un servicio nuevo de TETRA para datos en Alta Velocidad (HSD) con diferentes canales de anchos de banda RF y tipos de datos para la utilización flexible en las bandas de frecuencia PMR. TEDS es plenamente compatible con TETRA lanzamiento 1 y permite la facilidad de migración. Se ha optimizado para el uso eficiente de las bandas de frecuencia PMR y diseñado para todas las aplicaciones TETRA. El ancho de banda RF de canal TEDS se basa en:

- 25kHz.
- 50kHz.
- 100kHz.
- 150kHz.

Con la selección de adaptación de los esquemas de modulación, anchos de banda del canal de RF y codificación de acuerdo a las condiciones de propagación, el usuario puede esperar velocidad de bits en la región de 10 a 500kbps. Para facilitar la evolución y la migración de TETRA lanzamiento 1 la reutilización del conjunto de protocolos TETRA y la estructura TDMA han sido maximizados. TEDS también permite hasta ocho aplicaciones multimedia y de la negociación de QoS en tiempo real para aplicaciones de clases de datos, tales como voz, vídeo y la telemetría, con los atributos QoS que se negoció: rendimiento, retardo,

prioridad y fiabilidad. Proporciona apoyo sectorial de las celdas posibilitando además el uso de las actuales Estaciones Base de TETRA lanzamiento 1 para TEDS sin necesidad de sitios adicionales. Aunque TEDS es capaz de proporcionar datos de alta velocidad en canales de RF de 150kHz, la limitación actual causada por la insuficiencia del espectro RF para apoyar el crecimiento de TETRA probablemente limite el desarrollo temprano a canales de RF asignados de 50kHz únicamente.

## ***2.6 SERVICIOS OFRECIDOS.***

### ***2.6.1 SERVICIO DE VOZ Y DATOS, REQUERIMIENTOS.***

Servicios e interfaces están normalizados, lo cual no implica que se proporcionen todos. Esto es privativo del operador; no obstante en caso de dar un determinado servicio, se debe hacer de acorde a la norma.

En este caso se aplica a los servicios portadores, a los tele-servicios y servicios suplementarios para sistemas de voz y datos.

#### **Interoperabilidad**

La Interfaz Aire asegura que todos los servicios proporcionados por el sistema son utilizables por cualquier equipo móvil conforme a la norma, sea cual sea el fabricante. Un móvil será capaz de operar en cualquier red, de modo que los usuarios puedan migrar de una a otra. Así el sistema ofrece los mismos servicios a un usuario visitante que a uno residente, sin diferencias.

#### **Canal Abierto**

En este modo de funcionamiento un canal de tráfico dedicado es asignado por el sistema a usuarios preestablecidos para una comunicación multipunto bidireccional. Cualquier

usuario implicado tiene la posibilidad de acceder o abandonar el canal abierto en cualquier momento.

El sistema TETRA permite esta operación de modo que, desde la perspectiva del usuario, se obtiene una capacidad operacional y prestación equivalente a la del funcionamiento con canal abierto sin el requisito de recursos dedicados.

### **Modo Directo**

Se consigue disponiendo canales fuera de control de la red. Es un modo de operación simplex donde las unidades móviles se comunican entre sí, generalmente en distancias cortas, fuera del control de la red y sin intervención de la estación base. Es uno de los factores que facilita la reutilización de canales simplex.

### **Funcionamiento Dúplex**

Básicamente, el modo de operación previsto es semiduplex, no obstante se incluye la operación dúplex.

### **Traspaso (“Handover”)**

Puede darse un restablecimiento automático de las llamadas, sin embargo, esta facilidad en el sentido de la telefonía celular no es un requisito.

### **Acceso a redes datos**

Se necesita un acceso X.25. Así mismo, se requiere acceso a redes IBM/SNA, que puede conseguirse vía X.25-IBM/SNA. Debe hacerse reserva para acceso a redes DEC/DNA y otras redes con arquitectura OSI.

### **Autonomía de Terminal**

El sistema debe diseñarse en orden a optimizar la autonomía del terminal utilizando las soluciones técnicas idóneas como modalidad de ahorro de batería y control de potencia radiada.



## **Transportabilidad**

El sistema contempla el uso de unidades portátiles. La interfaz radio permite cobertura dentro de edificios.

### **2.6.2 APLICACIONES.**

Cualquier aplicación puede desarrollarse soportada por los servicios disponibles de telecomunicación de acuerdo con la demanda usuario-operador. Estas aplicaciones pueden conseguirse utilizando software y hardware adicional en los terminales y en los centros, debiendo ser soportados por los servicios adecuados de telecomunicación.

La relación de aplicaciones previstas en este momento, si bien puede ampliarse es el siguiente:

- Secrafonía.
- Encriptación.
- Datos de transporte en carretera.
- Procesamiento interactivo de textos.
- Transferencia de archivos.
- Transmisión de imágenes fijas.
- Acceso a bases de datos.
- Administración de flotas.
- Detección de vehículos a través del requisito de localización.
- Localización de vehículos utilizando equipos auxiliares de localización.
- Transmisión de fax.
- Administración de mensajes.
- Administración de claves.

### 2.6.3 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

Los servicios de telecomunicación están divididos en:

1. Servicios Portadores.
2. Teleservicios.
3. Servicios Suplementarios.

#### 1.- Servicios Portadores

Son aquellos que permiten la transmisión de señales entre puntos de acceso (en RDSI se denominan interfaces de usuario/red). Los servicios portadores se realizan hasta la capa de red del modelo OSI.

#### 2.- Teleservicios

Son servicios de telecomunicación que permiten la comunicación entre usuarios basándose en protocolos establecidos por acuerdo entre los operadores de red, incluyendo funciones de los equipos terminales. Los teleservicios hacen uso normalmente de las capas más altas del modelo OSI, así como los definidos por los servicios portadores. Es conocido también como una característica operacional de usuario. La figura 2.6 nos muestra estas definiciones.

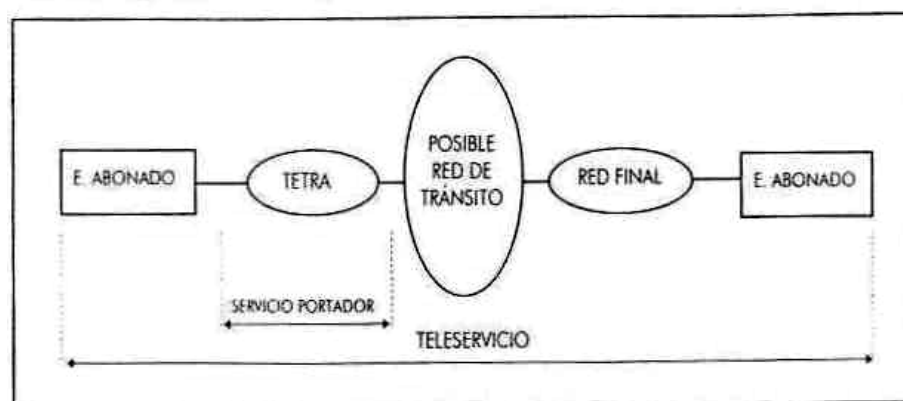


Figura 2.6 Definición de servicios portadores y teleservicios

### **3.- Servicios suplementarios**

Son aquellos que modifican o complementan un servicio portador o un teleservicio. En consecuencia, no puede ofrecerse a un usuario por sí solo. Debe ofrecerse junto a un portador o teleservicio. El mismo servicio complementario puede ser aplicable a un cierto número de servicios de telecomunicación.

## **2.7 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ESTANDAR**

El equipo deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Radio Frecuencia (RF).
2. Compatibilidad Electromagnética (CEM).
3. Conservación de instalaciones eléctricas de seguridad y la salud.

Algunas funciones relacionadas con la transmisión de radiofrecuencia son:

- Modulación.
- Codificación y Decodificación.
- Control de Errores
- Canalización.

La transmisión implica otras funciones. Estas funciones, lo que pueden requerir es el manejo de protocolos específicos entre BS y MS, tales son, el subsistema de sincronización de radio, el subsistema de radio de adaptación y control de potencia, para D8PSK QAM y canales, el subsistema de radio enlace de control adaptativo.

La sincronización:

- Incorpora la frecuencia y el tiempo de adquisición por el receptor;
- Incorpora ajuste de tiempo de las MS's.

El control de potencia adaptativo:

- Ajusta la transmisión de potencia de RF, con el fin de garantizar que la calidad requerida de transmisión se logra con la menor potencia radiada posible;
- Esta función es administrado por las MS durante el acceso inicial, y por las MS o BS en uso operativo;
- Esta función está prevista para el ahorro de batería y la reducción de los niveles de interferencia.

El vínculo de control adaptativo:

- Ajusta la modulación y codificación para lograr la calidad del servicio necesaria.

### **2.7.1 RENDIMIENTO.**

En virtud de las condiciones urbanas el desvanecimiento típico (es decir, múltiples retrasos no superior a 5 $\mu$ s), la calidad de los umbrales para el habla usando plenamente el “códec” ACELP con la modulación DQPSK  $\pi/4$ - se alcanza una C/Ic (co-canal de interferencia) con valor de 19dB, y una referencia dinámica de nivel de sensibilidad de -106dBm para BS y -103dBm para equipos móviles.

### **2.7.2 TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE RADIOFRECUENCIA.**

Los puntos que se describen a continuación definen los requisitos para la MS y la BS del sistema TETRA V+D y es aplicable a los sistemas TETRA de radio que operan en frecuencias de 380MHz a 520MHz.

*“Nota: Los valores especificados se basan en cálculos, simulaciones, o normas ya existentes” [4].*

A los efectos de las pruebas, todas las estaciones TETRA tendrán, como mínimo, un conector de antena. Las mediciones se llevarán a cabo en el conector de antena del equipo, tal como se especifica por el fabricante (1T, 1R o 2 en la figura 2.7). Si el equipo está provisto de un filtro doble o de un filtro asociado separado, los requisitos se cumplen cuando las mediciones se llevan a cabo mediante el conector de antena de este filtro. En el caso del equipo integrado por varios transmisores, sólo un transmisor estará transmitiendo durante las mediciones, excepto para la medición de atenuación por intermodulación.

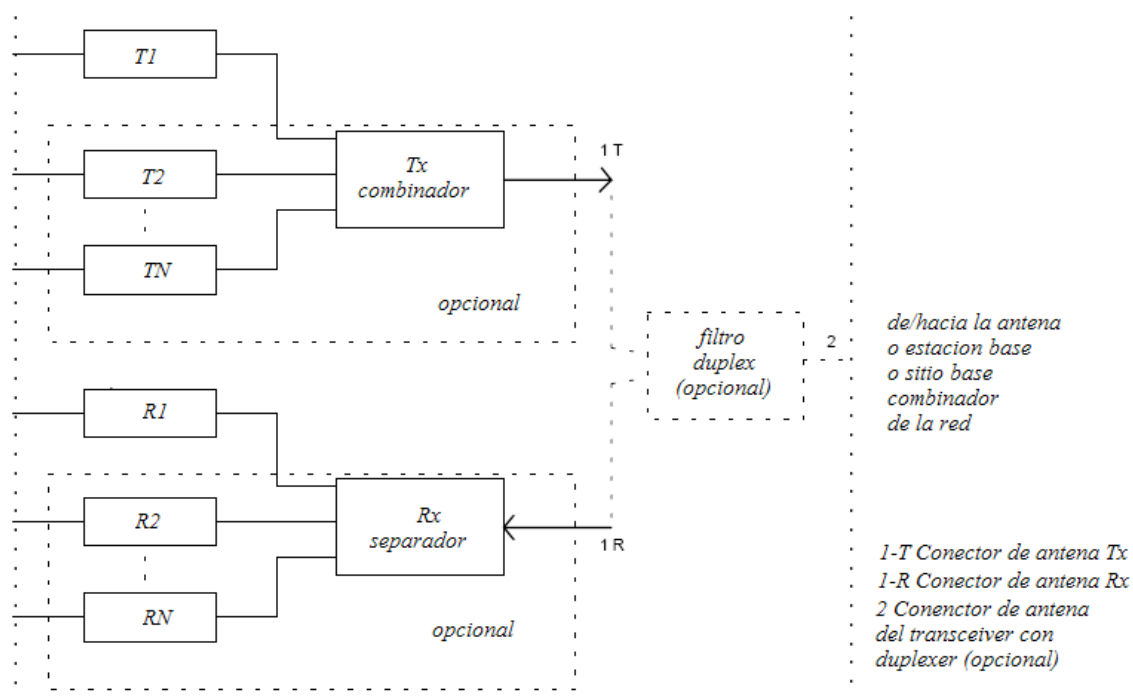


Figura 2.7 Referencia de interconexión de de transmisores y receptores en la BS.

### 2.7.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TRANSMISOR.

#### Potencia de salida para la etapa de modulación

En texto consecuente, la potencia se define como “la potencia media, medida por la raíz cuadrada del coseno insertado en el filtro, de la señal modulada” [4].

### 2.7.2.2 ESTACIÓN BASE.

“La potencia nominal de la estación base transmisora es tal como se describe en la tabla 2.3, de acuerdo a su clase de potencia” [4].

<i>TABLA 2.3 POTENCIA NOMINAL DE LA BS TRANSMISORA</i>	
Clase de potencia	Potencia nominal por portadora
1 (40W)	46dBm
2 (25W)	44dBm
3 (15W)	42dBm
4 (10W)	40dBm
5 (6.3W)	38dBm
6 (4W)	36dBm
7 (2.5W)	34dBm
8 (1.6W)	32dBm
9 (1W)	30dBm
10 (0.6W)	28dBm

### 2.7.2.3 ESTACIÓN MÓVIL.

“La potencia nominal de la estación móvil será tal como se definen en la tabla 2.4 de acuerdo a su clase de potencia” [4].

<i>TABLA 2.4 POTENCIA NOMINAL DE UN TRANSMISOR MS.</i>	
Nivel de paso	Potencia
1 (30W)	45dBm
1L (17.5W)	42.5dBm
2 (10W)	40dBm
2L (5.6W)	37.5dBm
3 (3W)	35dBm
3L (1.8W)	32.5dBm
4 (1W)	30dBm
4L (0.56W)	27.5dBm

Los diferentes niveles de potencia necesarios para el control de potencia adaptativo tendrá los valores tal como se define en la tabla 2.5, a partir del mínimo nivel de control de potencia de 15dBm hasta el nivel de potencia nominal correspondiente a la clase particular de la MS como se indica en la tabla 2.4.

Nivel de paso.	Potencia.
1	45dBm.
2	40dBm.
3	35dBm.
4	30dBm.
5	25dBm.
6	20dBm.
7	15dBm.

### **2.7.3 EMISIONES CONDUCCIDAS NO DESEADAS**

Las emisiones no deseadas se definen como “*las emisiones conducidas en las frecuencias o intervalos de tiempo fuera del canal asignado*” [4]. Los límites especificados se cumplen en condiciones realistas, por ejemplo, en diversos desajustes de la antena. Salvo indicación en lo contrario, las emisiones no deseadas se especifican para un equipo en transmisión activa (Tx activa), es decir, siempre que el equipo transmite ráfagas.

La transmisión no activa (Tx no activa es un estado ocurriendo durante dos duraciones de división de tiempo, aproximadamente 28ms) antes y después de cualquier estado de transmisión activo.

Un equipo se dice que esta en la no transmisión (Tx-no) siempre que el estado no está en activo o no transmisión en estado activo (véase el gráfico 2.8).

*“La potencia máxima emitida por el equipo no podrá ser superior a -57dBm en frecuencias entre 9kHz y 1GHz, y -47dBm a frecuencias de 1GHz a 4GHz, medido en un ancho de banda de 30kHz”* [4].

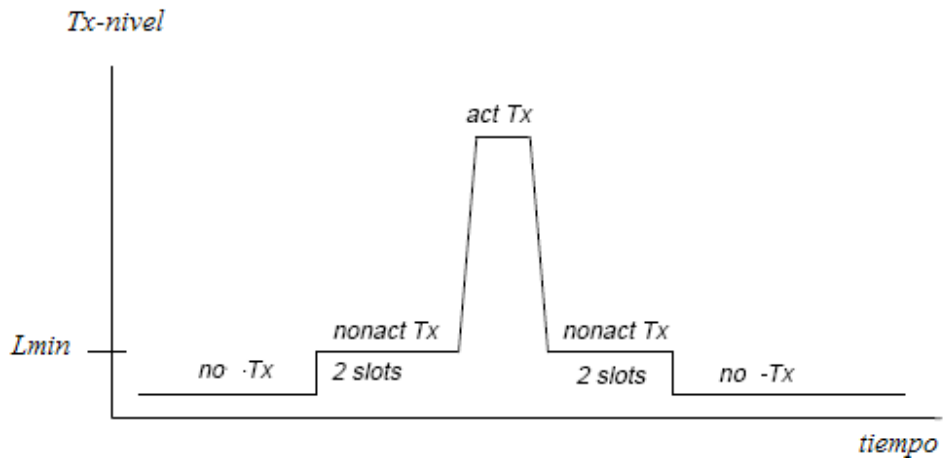


Figura 2.8 Representación esquemática de los estados de transmisión

#### 2.7.4 EMISIONES RADIADAS NO DESEADAS

“Las emisiones radiadas no deseadas se definen como emisiones radiadas por los gabinetes y estructuras del equipamiento (MS o BS) cuando se encuentra en un estado donde no se está transmitiendo” [4], estas emisiones son conocidas también como radiaciones del gabinete, los límites son los especificados en el punto 2.7.3.

#### 2.7.5 ATENUACIÓN POR INTERMODULACIÓN

“La atenuación de intermodulación es la relación entre el nivel de potencia de la señal deseada al nivel de potencia de intermodulación de un componente” [4]. Se trata de una medida de la capacidad del transmisor para inhibir la generación de señales en sus elementos no lineales (como amplificadores) provocados por la presencia de una portadora útil y una señal de interferencia alcance al transmisor a través de su antena.



### **2.7.5.1 BS**

En el caso del equipo de la BS con un solo transmisor, no debe colocarse con otros equipos radioeléctricos que operan en la banda de frecuencias TETRA, la atenuación de intermodulación será de al menos 40dB para cualquier componente de intermodulación cuando se mide en un ancho de banda de 30kHz. La señal de interferencia será sin modular y tienen una frecuencia de desplazamiento de por lo menos 100kHz de la frecuencia portadora. El nivel de potencia de la señal de interferencia será de 30dB por debajo del nivel de potencia de la señal de salida modulada del transmisor bajo prueba.

Para todos los demás casos, la atenuación de intermodulación del equipo de la BS será de al menos 70dB para cualquier componente de intermodulación cuando se mide en un ancho de banda de 30kHz. La señal de interferencia será sin modular y tiene una frecuencia de desplazamiento de por lo menos 100kHz de la frecuencia portadora. El nivel de potencia de la señal de interferencia será de 30dB por debajo del nivel de potencia de la señal de salida modulada del transmisor bajo prueba. Si la atenuación de intermodulación es lograda por el aislamiento de los dispositivos, internos o externos, ellos deben incluirse en las mediciones. En cualquier caso, ningún requisito más estricto que -36dBm se aplicará a los componentes de intermodulación.

Todos los niveles de potencia que se indican en los casos anteriores se refieren al conector de antena de la BS descrito en el punto 2.7.2.

### **2.7.5.2 MS**

En una MS, la intermodulación puede ser causada cuando los transmisores operan en la vecindad cercana el uno del otro. Para un transmisor MS que operan en la potencia nominal definida por su clase, la atenuación de intermodulación será de al menos 60dB para cualquier componente de intermodulación cuando se mide en ancho de banda de 30kHz. La señal de interferencia será sin modular y tiene un desplazamiento de frecuencia de por lo menos 100kHz de la frecuencia portadora. El nivel de potencia de la señal de

interferencia será de 50dB por debajo del nivel de potencia de la modulación de señal de salida del transmisor bajo prueba.

### **2.7.6 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR**

Este punto especifica el rendimiento mínimo necesario del receptor de en términos de tasa de bit errónea (BER), tasa de mensajes con tachadura (MER) o Probabilidad de no percibir mensajes erróneos (PUEM), según sea el caso, teniendo en cuenta que no se producen errores en el transmisor, y que el transmisor se prueba por separado.

Los niveles de las señales de prueba se dan en términos de niveles de potencia (dBm) en el conector del receptor de la antena.

Para la definición del nivel de potencia nos referimos a la potencia de salida de la raíz cuadrada del coseno filtrado en la modulación.

El rendimiento del receptor para el canal de voz no se especifica aquí.

Se especifican tres clases de equipos, distinguiendo sus entornos de funcionamiento y condiciones de prueba. Las clases se han establecido de acuerdo a las condiciones de funcionamiento, de la siguiente manera:

1. Clase B: el equipo está optimizado para su uso en áreas urbanas. Las especificaciones garantizan buen desempeño para referencia de sensibilidad y el nivel de interferencia en estático así como condiciones TU50, pero no en condiciones de propagación extremo (terreno montañoso).
2. Clase A: el equipo está optimizado para su uso en las zonas urbanas y en áreas con colinas o terreno montañoso. Es resistente a condiciones extremas de propagación (terreno montañoso) y esta especificado en estático, TU50 y condiciones HT200.
3. Clase E: Equipo compuesto por un ecualizador y como se especifica en estático, TU50 y condiciones EQ200. Este no se aplicará a los equipos de BS.

### 2.7.6.1 TASA DE ERROR NOMINAL

Se describen los requerimientos de transmisión en términos de proporciones de error en condiciones nominales, es decir, sin interferencias y con un nivel de entrada de - 85dBm. Con las siguientes condiciones de propagación, el BER del número de los bits no protegidos, equivalente a la TCH / 7,2 tendrá los límites indicados en la tabla 2.6

<i>TABLA 2.6 RAZÓN DE ERROR NOMINAL</i>		
Modelo De Propagación	BER (%)	Clase de equipo
ESTATICO	0.01	A, B, E
TU50	0.40	A, B, E
HT200	3.0	A
EQ200	2.0	E

Este desempeño se mantendrá hasta - 40dBm nivel de entrada para las condiciones estáticas, y múltiples condiciones. Además, para condiciones estáticas, un BER de <0,1% se mantendrá hasta - 20dBm.

### 2.7.6.2 FUNCIONAMIENTO PARA LA REFERENCIA DE SENSIBILIDAD DINÁMICA

El mínimo requerimiento para el funcionamiento de la referencia de sensibilidad dinámico se especifica de acuerdo al canal lógico, la condición de propagación y la clase de receptor para el nivel de referencia de sensibilidad dinámica. *El nivel de referencia de sensibilidad dinámico serán los siguientes [4]:*

- Para la MS: -103dBm
- Para la BS: -106dBm

La tablas 2.7 y 2.8 da el mínimo requerido de referencia de sensibilidad dinámica para el desempeño TU50, HT200 o EQ200 y sus condiciones de propagación. Para BSCH, SCH/HD, SCH/HU, SCH/F y BNCH, un PUEM < 0001% se logrará en el nivel de referencia de sensibilidad dinámica. Para AACH, un PUEM <0,01% es logrado en el nivel de referencia de sensibilidad dinámica.

**TABLA 2.7 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR BS  
(SENSIBILIDAD DINÁMICA)**

Canal lógico		Clase A (%)		Clase B (%)
		Condición de propagación		
		TU50	HT200	TU50
SCH/HU	MER	8	9.5	8
SCH/F	MER	11	11	8
TCH/7.2	BER	2.5	4	2.2
TCH/4.8 N=1	BER	4	4	2
TCH/4.8 N=4	BER	1.2	4	0.4
TCH/4.8 N=8	BER	0.4	4	0.06
TCH/2.4 N=1	BER	1.2	1.3	0.35
TCH/2.4 N=4	BER	0.02	0.3	0.01
TCH/2.4 N=8	BER	0.01	0.15	0.01
STCH	MER	9	11	8

Nota: N da a la intercalación de profundidad en número de bloques

**TABLA 2.8 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR MS  
(SENSIBILIDAD DINÁMICA)**

Canal lógico		Modo, descarga continua			Modo, descarga discontinua		Condición de Propagación
		Condiciones de propagación					
		TU50	HT200	EQ200	TU50	HT200	TU50
		Clase A, E (%)	Clase A (%)	Clase E (%)	Clase A (%)	Clase A (%)	Clase B (%)
AACH	MER	10	17	16	10	17	11
BSCH	MER	8	11	22	8	11	8
SCH/HD	MER	8	11	21	9	11	8
BNCH	MER	8	11	21	9	11	8
SCH/F	MER	8	11	22	11	11	8
TCH/7.2	BER	2.5	4	4.5	2.5	4	2.2
TCH/4.8 N=1	BER	2	4	6.4	4	4	2
TCH/4.8 N=4	BER	0.4	3.3	2.7	1.2	4	0.4
TCH/4.8 N=8	BER	0.06	3	1.5	0.4	4	0.06
TCH/2.4 N=1	BER	0.35	1.1	0.82	1.2	1.3	0.35
TCH/2.4 N=4	BER	0.01	0.4	0.01	0.02	0.4	0.01
TCH/2.4 N=8	BER	0.01	0.13	0.01	0.01	0.2	0.01
STCH	MER	8	11	21	9	11	8

Nota: N da a la intercalación de profundidad en número de bloques

### 2.7.6.3 REFERENCIA FUNCIONAMIENTO CON INTERFERENCIA

El requerimiento mínimo de referencia de funcionamiento de interferencia (por co-canal, C/IC, o canal adyacente, C /Ia) se especifica de acuerdo al canal lógico, la condición de propagación y la clase de receptor para la referencia de radio de interferencia. *La referencia de radio de interferencia será, para BS y todos los tipos de MS [4]:*

- Para interferencia de co-canal  $C/I_c = 19\text{dB}$ ;
- Para interferencia de canal adyacente  $C/I_a = -45\text{dB}$ .

En el caso de co-canal de interferencia estas especificaciones se aplican para una señal de entrada con un nivel deseado de  $-85\text{dBm}$ , y en caso de la interferencia de canal adyacente para una señal de entrada un nivel de  $3\text{dB}$  por encima del nivel de sensibilidad de referencia dinámica

<i>TABLA 2.9 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR BS (INTERFERENCIA)</i>				
Canal lógico		Clase A (%)		Clase B (%)
		Condición de propagación		
		TU50	HT200	TU50
SCH/HU	MER	6.5	9.5	6.5
SCH/F	MER	6	7.5	6
TCH/7.2	BER	2	3.7	2
TCH/4.8 N=1	BER	4	4	2
TCH/4.8 N=4	BER	1.2	4	0.4
TCH/4.8 N=8	BER	0.4	4	0.06
TCH/2.4 N=1	BER	1.2	1.3	0.35
TCH/2.4 N=4	BER	0.02	0.3	0.01
TCH/2.4 N=8	BER	0.01	0.15	0.01
STCH	MER	7	9.2	7

Nota: N da a la intercalación de profundidad en número de bloques

En cualquier caso, la interferencia será una señal continua modulada aleatoriamente sometida a una realización independiente de la misma condición de propagación como la señal deseada.

En la tabla 2.9 y 2.10 el desempeño TU50, HT200 o EQ200 condiciones de propagación se da por el nivel de referencia de interferencia. Para BSCH, SCH / HD, SCH/HU, SCH/F,

BNCH, un PUEM  $<10^{-5}$  se logra para el nivel de referencia de interferencia. Para AACH un PUEM  $<10^{-4}$  se alcanza para el nivel de referencia de interferencia.

<i>TABLA 2.10 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR MS (INTERFERENCIA)</i>							
Canal lógico		Modo, descarga continua			Modo, descarga discontinua		Condición de Propagación
		Condiciones de propagación					
		TU50	HT200	EQ200	TU50	HT200	TU50
		Clase A, E (%)	Clase A (%)	Clase E (%)	Clase A (%)	Clase A (%)	Clase B (%)
AACH	MER	9	16	14	9	16	9
BSCH	MER	6	10	20	6	10	6
SCH/HD	MER	7	9.2	20	7	9.2	7
BNCH	MER	7	9.2	20	7	9.2	7
SCH/F	MER	6.5	7.5	20	6.5	7.5	6.5
TCH/7.2	BER	2	3.8	4.2	2	3.8	2
TCH/4.8 N=1	BER	2	4	6.2	4	4	2
TCH/4.8 N=4	BER	0.4	3.3	2.5	1.2	4	0.4
TCH/4.8 N=8	BER	0.06	3	1.2	0.4	4	0.06
TCH/2.4 N=1	BER	0.35	1.1	0.84	1.2	1.3	0.35
TCH/2.4 N=4	BER	0.01	0.4	0.01	0.02	0.4	0.01
TCH/2.4 N=8	BER	0.01	0.13	0.01	0.01	0.2	0.01
STCH	MER	7	9.2	7	7	9.2	7

Nota: N da a la intercalación de profundidad en número de bloques

#### **2.7.6.4 FUNCIONAMIENTO DE SENSIBILIDAD DE REFERENCIA ESTÁTICO**

El requerimiento mínimo del funcionamiento de sensibilidad de referencia estático es especificado según el canal lógico y la clase de receptor en el nivel de sensibilidad de referencia estático. *El nivel de sensibilidad de referencia estático será [4]:*

- Para MS: -112dBm
- Para BS: -115dBm

La tabla 2.11 y la 2.12 dan el requisito mínimo de funcionamiento de referencia de sensibilidad. Para BSCH, SCH/HD, SCH/HU, SCH/F, BNCH, UN PUEM <el 0,001 % será alcanzado en el nivel de sensibilidad de referencia estático. Para AACH UN PUEM<0,01% será alcanzado en el nivel de sensibilidad de referencia estático.

<i>TABLA 2.11 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR BS (SENSIBILIDAD ESTÁTICA)</i>			
Canal lógico		Clase A (%)	Clase B (%)
SCH/HU	MER	3	3
SCH/F	MER	10	10
TCH/7.2	BER	3	4
TCH/4.8 N=1	BER	3.3	0.3
TCH/4.8 N=4	BER	1	0.2
TCH/4.8 N=8	BER	0.4	0.2
TCH/2.4 N=1	BER	0.2	0.01
TCH/2.4 N=4	BER	0.01	0.01
TCH/2.4 N=8	BER	0.01	0.01
STCH	MER	8	5

Nota: N da a la intercalación de profundidad en número de bloques

<i>TABLA 2.12 FUNCIONAMIENTO DEL RECEPTOR MS (SENSIBILIDAD ESTÁTICA)</i>				
Canal lógico		Modo, Descarga continua	Modo, Descarga descontinúa	Clase B (%)
		Clase A, E (%)	Clase A (%)	
AACH	MER	28	28	38
BSCH	MER	3	3	3
SCH/HD	MER	2.5	8	5
BNCH	MER	2.5	8	5
SCH/F	MER	4.5	9	9
TCH/7.2	BER	3.5	3.5	4
TCH/4.8 N=1	BER	0.3	2	0.3
TCH/4.8 N=4	BER	0.2	0.8	0.2
TCH/4.8 N=8	BER	0.15	0.4	0.15
TCH/2.4 N=1	BER	0.01	0.01	0.01
TCH/2.4 N=4	BER	0.01	0.01	0.01
TCH/2.4 N=8	BER	0.01	0.01	0.01
STCH	MER	2.5	8	5

Nota: N da a la intercalación de profundidad en número de bloques

---

## *CAPÍTULO III*

# *ANÁLISIS DEL SITIO*

---





### 3.1 ANÁLISIS DEL PERFIL DEL TERRENO

El análisis del terreno está fundamentado en que es el punto de partida para el diseño de la torre (altura), permite calcular la altura a la cual se van a colocar las antenas y además permite definir el área de cobertura que se obtendrá.

El procedimiento para analizar el comportamiento del perfil del terreno es el siguiente:

1. Proponer la ubicación de la estación base, de acuerdo a sus coordenadas
  - Longitud  $99^{\circ} 06' 50.7''$  N
  - Latitud  $19^{\circ} 25' 33.7''$  W
2. Se define el área de cobertura posible, que en este caso se propone un radio de cobertura de 7500 metros.
3. Existen diversas maneras de obtener la altura del terreno circundante a la estación base, por medio de una base de datos y un GIS, por medio de una carta topográfica o algún tipo de software como ArcGIS o Google Earth. Para este proyecto se usa Google Earth en su versión 4.3.7191.6508 (beta).
4. El siguiente paso consiste en ubicar la estación base propuesta en el Google Earth mediante la herramienta de “añadir marca de posición” y las coordenadas del sitio, para posteriormente centrar la estación base y referenciada con el norte y con la herramienta “superponer imágenes”, superponer una circunferencia dividida previamente en intervalos de  $10^{\circ}$  la cual servirá de referencia para hacer las mediciones del terreno tal como lo ilustra la figura 3.1.
5. Ya que coincidió el centro de la estación base con el centro de la circunferencia que se superpuso, mediante la herramienta “regla” del software se tomaron medidas del perfil del terreno, desde la ubicación 0 (estación base) hasta el radio propuesto de 7500 metros y tomando la medición cada 100 metros para los  $360^{\circ}$  y con separaciones de  $10^{\circ}$ , tal como lo muestra la figura 3.1.



Figura 3.1 Ubicación del Sitio

De acuerdo a los datos obtenidos del perfil del terreno se obtuvo una base de datos la cual se graficó con Matlab como lo muestra la figura 3.2.

La estación base se encuentra en la coordenada 0,0; hacia la derecha de la grafica se pueden observar los 36 vectores que se obtuvieron cada 10° y hacia el fondo de la misma se graficó la distancia a la cual se hicieron las mediciones con intervalos de 100 metros.

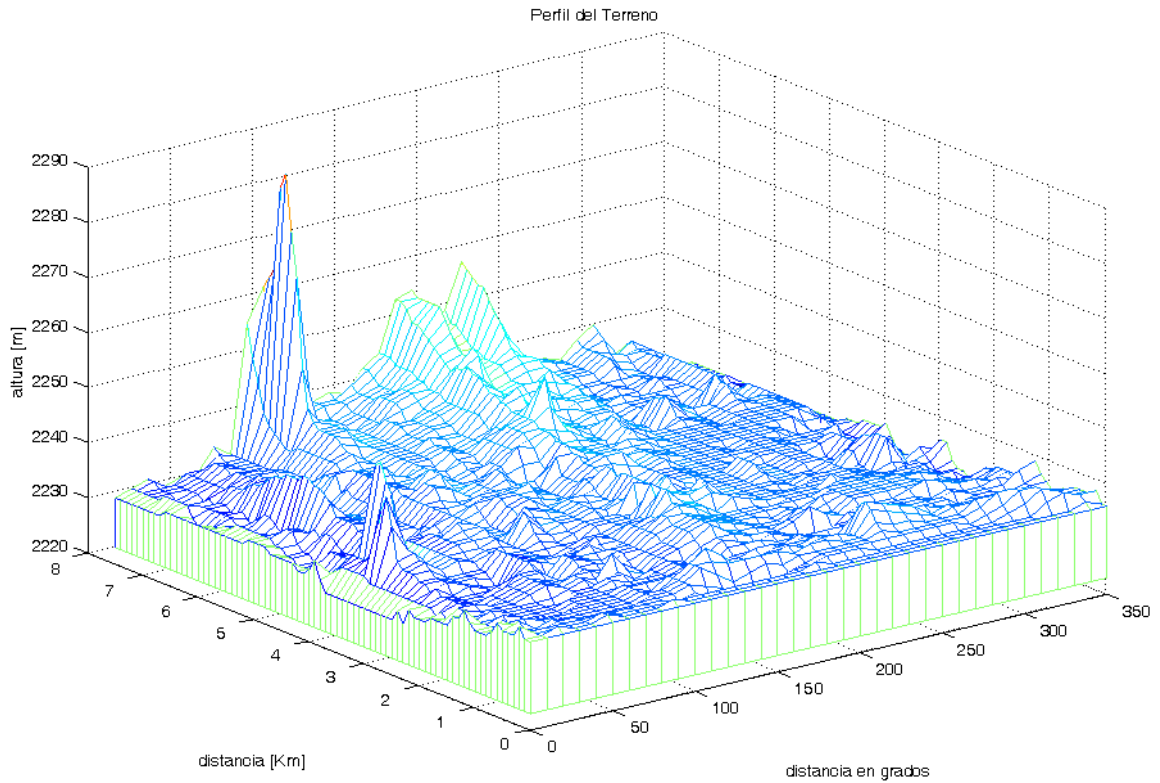


Figura 3.2 Perfil del terreno.

Para obtener la altura de la torre, se debe tomar en cuenta la altura promedio de los edificios de acuerdo al “*programa delegacional de desarrollo urbano*” [17] de las delegaciones en las cuales se contempla haya cobertura, se muestra el mapa de la delegación Venustiano Carranza donde se propone la estación base, figura 3.3.

La tabla 3.1 muestra el código de colores de las alturas promedio de edificios [17].

TABLA 3.1 CÓDIGO DE COLORES, ALTURA PROMEDIO DE EDIFICIOS		
Color	Numero De Pisos	Altura (m)
	2	7.2
	3	10.8
	4	14.4
	5	18
	6	21.6
	Reserva ecológica	10

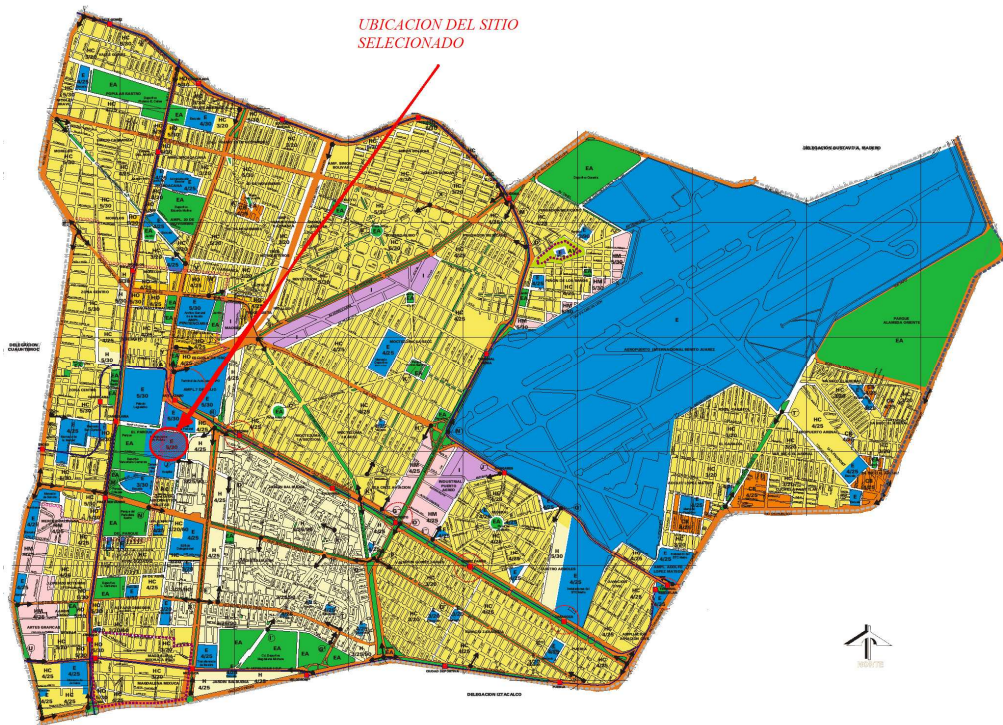


Figura 3.3 Programa Delegacional de Desarrollo Urbano Venustiano Carranza.

Se muestra a continuación el perfil con la altura del terreno más la altura de los edificios que se encuentran en el área de estudio, figura 3.4.

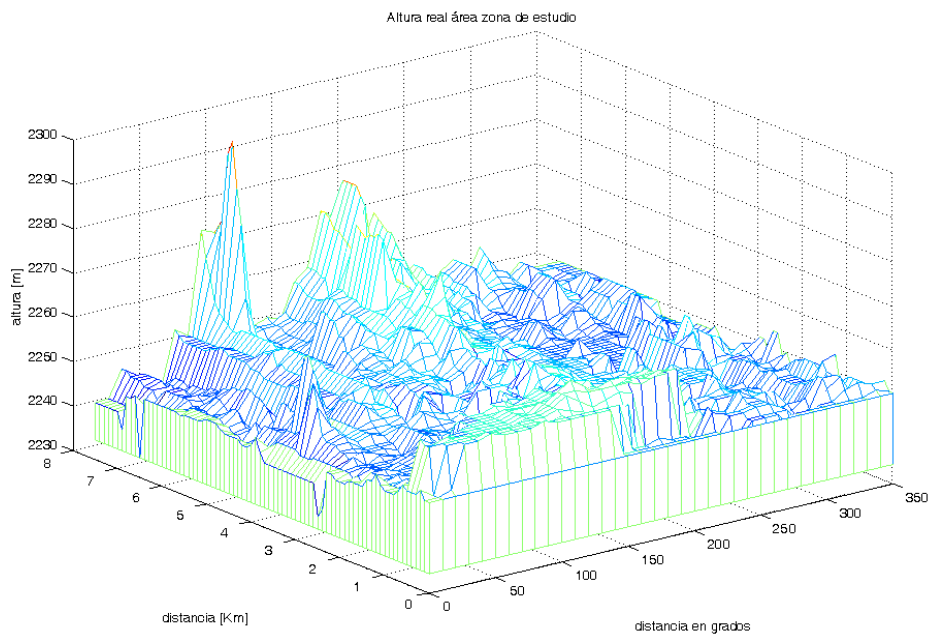


Figura 3.4 Perfil del terreno más altura de las edificaciones.

Haciendo un análisis a los datos y de las gráficas, se obtuvo la diferencia de altura máxima entre el nivel mas bajo y la obstrucción más alta es de 67.8 metros. Pero si tomamos como referencia la altura de la estación base, entonces la diferencia de altura con el obstáculo mas alto es de 60.8 metros, por lo que propone colocar la antena transmisora a 65m..

## **3.2 ANÁLISIS DE COBERTURA**

### **3.2.1 CONSIDERACIONES DEL BALANCE DE POTENCIA**

El balance de potencia es cómo se distribuye la potencia desde el transmisor hasta la antena transmisora. Y considera lo siguientes aspectos:

- 1- La pérdida para el portátil en la estación base de: 7.0dB.
- 2- Los modelos matemáticos utilizados para efectos de planeación radio son validos para el 50% del tiempo y en 50% de los lugares. Se restan adicionalmente 10dB de margen con el fin de asegurar los resultados para un uso operativo de la red, es decir, 90% del tiempo 90% de lugares.
- 3- Los estudios para cobertura en interiores consideran un margen por pérdidas de: 15dB.
- 4- En el balance de potencia se utiliza una antena omnidireccional<sup>5</sup> en transmisión, debido a que representa un caso ideal.
- 5- Se considera una pérdida del alimentador y conectores para el bastidor de -2.5dB y de -1dB para la radio base.

### **3.2.2 POTENCIA RECIBIDA SIMULADA**

La simulación de la potencia recibida en el receptor se realizó utilizando el modelo de propagación Hata estudiado en el capítulo uno mediante la ecuación 1.39 y 1.42 y usando Matlab (en el anexo se coloca el programa); Los datos que se usan son:

---

<sup>5</sup> Ver capitulo IV, punto 4.1.5 Características de la antena transmisora.

Altura de la antena transmisora de 65 metros<sup>6</sup> (dato obtenido mediante el estudio del perfil del terreno) y una altura del móvil receptor de 1 metro, que es la altura promedio a la cual se usará un radio móvil y un radio portátil TETRA, frecuencia de operación 395MHz, distancia entre transmisor y receptor de 15Km.

Las gráficas se muestran en la figura 3.5, la gráfica en color azul indica la potencia recibida sin tomar en cuenta algún tipo de consideración en cuanto a la potencia de salida.

La grafica en color verde indica la potencia recibida considerando que a la potencia de salida se le restan 10dB de margen para que se de la comunicación con el móvil y con el radio de mano en el 90% de los lugares y el 90% del tiempo, como se menciono en las consideraciones de balance de potencia.

Y la grafica en color rojo indica la potencia recibida tomando en cuenta la consideración anterior y además la ganancia de la antena<sup>7</sup>.

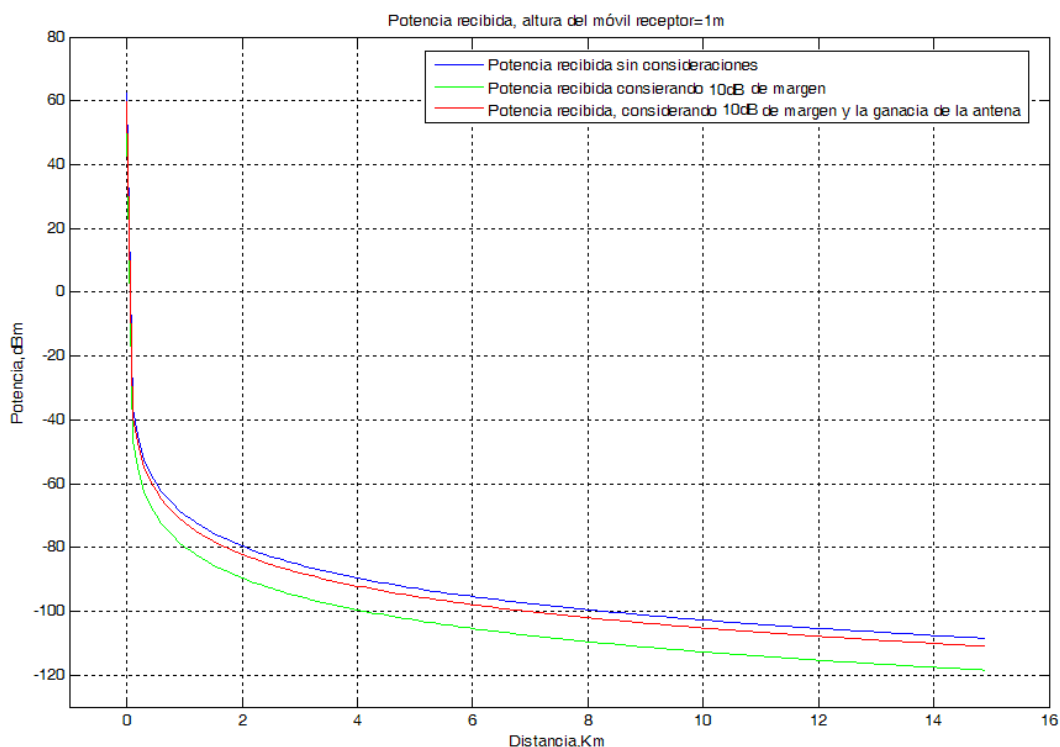


Figura 3.5 Potencia recibida

<sup>6</sup> Ver capítulo III, punto 3.1.

<sup>7</sup> Ver capítulo IV, punto 4.1.5 Características de la antena transmisora.

La tabla 3.2 indica el radio de cobertura y la potencia recibida cuando la altura del receptor es de 1m, datos obtenidos mediante la simulación anterior y la gráfica de la figura 3.3. En este caso no se toma cuenta alguna consideración para la potencia de salida, es decir, solo se toma la potencia del transmisor clase 2 de acuerdo al estándar TETRA<sup>8</sup>.

<i>TABLA 3.2 POTENCIA RECIBIDA Y RADIO DE COBERTURA 50% DEL TIEMPO Y 50% DE LOS LUGARES.</i>		
Color	POTENCIA (dBm)	radio de cobertura(m)
Rojo	>-62	0-590
Anaranjado	-62 a -70	590-1025
Amarillo	-70 a 78	1025-1775
Verde	-78 a -86	1775-3110
Azul	-86 a -94	3110-6245

Para el caso anterior se presenta el mapa de cobertura de acuerdo a la figura 3.4.

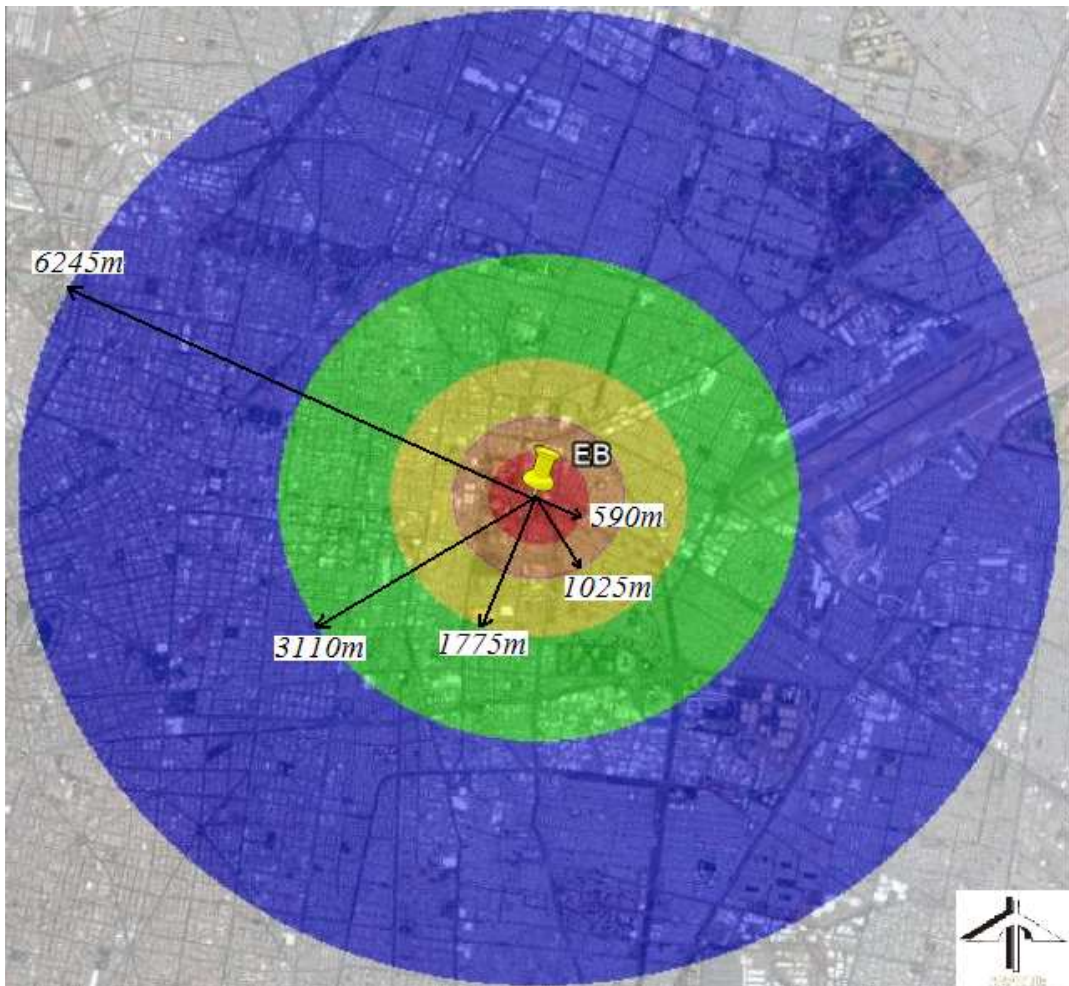


Figura 3.6 Mapa de cobertura, sin consideraciones para la potencia de salida.

<sup>8</sup> Ver Capítulo II, Punto 2.7.2.2 tabla 2.3.

La tabla 3.3 indica el radio de cobertura y la potencia recibida cuando la altura del receptor es de 1m, estos datos son obtenidos a partir de la simulación de potencia recibida y la figura 3.3. Comparado con la tabla 3.2, aquí se toma en cuenta los 10dB de margen (consideración en el balance de potencia) y se toma en cuenta la ganancia de la antena.

<i>TABLA 3.3 POTENCIA RECIBIDA Y RADIO DE COBERTURA 90% DEL TIEMPO Y 90% DE LOS LUGARES.</i>		
Color	Potencia recibida en el móvil(dBm)	Radio de cobertura(m)
Rojo	>-62	0-495
Anaranjado	-62 a -70	495-855
Amarillo	-70 a -78	855-1495
Verde	-78 a -86	1495- 2610
Azul	-86 a -94	2610-5245

Se muestra a continuación el mapa de cobertura, figura 3.7

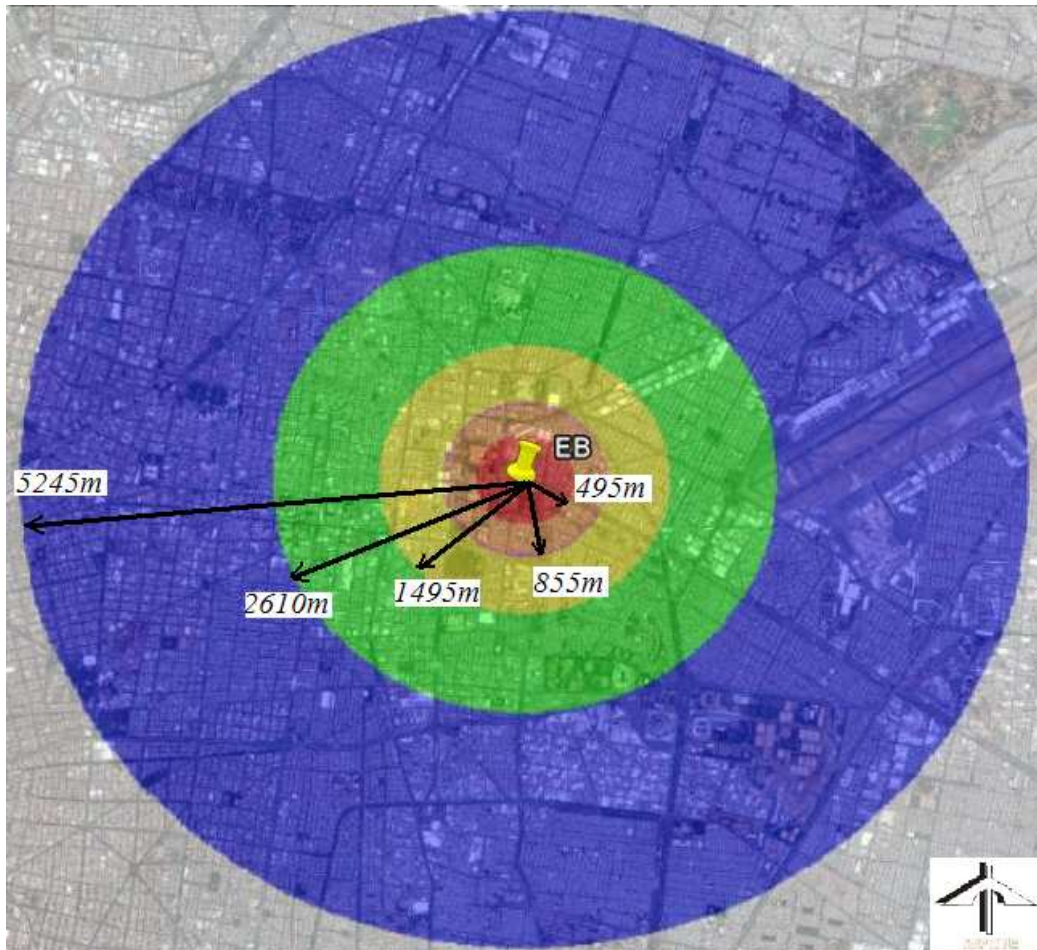


Figura 3.7 Mapa de Cobertura, tomando en cuenta 10dB de margen y ganancia de la antena.



Se definen 5 niveles de potencia recibida con respecto a la “sensibilidad dinámica del receptor”<sup>9</sup>, Los 5 diferentes niveles de potencia recibida se definen conforme a la tabla 3.4 a continuación:

<i>TABLA 3.4 CÓDIGO DE COLORES, POTENCIA RECIBIDA</i>		
Color	Potencia recibida en el móvil(dBm)	Definición
Rojo	>-62	Excelente
Anaranjado	-62 a -70	Muy buena
Amarillo	-70 a -78	Buena
Verde	-78 a -86	Aceptable
Azul	-86 a -94	Suficiente

De las figuras 3.6 y 3.7 se observa que la cobertura que se obtiene en el primer caso (sin consideraciones para la potencia de salida) es mayor a la que se obtiene con respecto a considerar los 10dB de margen y la ganancia de la antena, pero en este último la cobertura obtenida es para el 90% de lugares y 90% del tiempo.

Para el intervalo de -86dBm a -.94dBm del mapa de la figura 3.7 y el mapa de la figura 3.6 hay una diferencia de cobertura de 1000m.

Para el intervalo de -78dBm a -.86dBm del mapa de la figura 3.7 y el mapa de la figura 3.6 hay una diferencia de cobertura de 500m.

Para el intervalo de -70dBm a -.78dBm del mapa de la figura 3.7 y el mapa de la figura 3.6 hay una diferencia de cobertura de 325m.

Para el intervalo de -62dBm a -.70Bm del mapa de la figura 3.7 y el mapa de la figura 3.6 hay una diferencia de cobertura de 170m.

Para el último valor >-62dBm del mapa de la figura 3.7 y el mapa de la figura 3.6 hay una diferencia de cobertura de 95m.

Por lo que existe un comportamiento no lineal en cuanto a la potencia recibida.

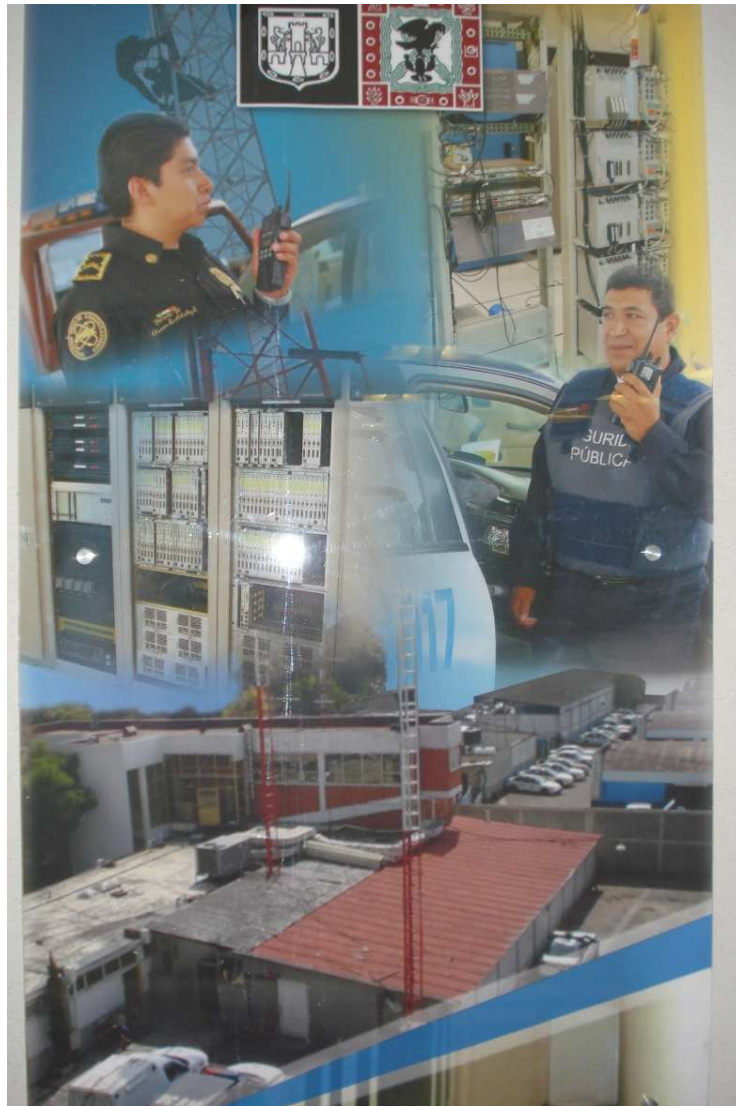
<sup>9</sup> Ver Capítulo II, Punto 2.7.6.2 Funcionamiento para la referencia de sensibilidad dinámica.

---

# *CAPÍTULO IV*

## *CARACTERIZACIÓN PRÁCTICA*

---



### **4.1 INTRODUCCIÓN CAPÍTULO IV**

La caracterización práctica define las principales características de la estación base seleccionada con el fin de distinguirla de otra y consiste de dos partes:

1. Descripción de las principales características técnicas del equipo (Estación Base TETRA, Conmutador Digital, Antenas, Torre.)
2. Realizar pruebas, mediciones, configuración del equipo y comparación con el diseño y datos de los distintos fabricantes y el estándar.

Las pruebas básicas que se realizan en sistemas TETRA consisten en medir la longitud de cada línea de transmisión (alimentador) y su atenuación, medición de la relación de onda estacionaria de cada línea y cálculo del coeficiente de reflexión, medición de la relación de tasa de error y configuración de potencia del transmisor.

Para este fin se necesita un analizador de espectros (de cables y antenas) en el dominio de la frecuencia (FDR),

Los equipos usados son: Site Master de Anritsu modelo S332D mostrado en la figura 4.1.



Figura 4.1 Site Master S332D

También se ocupó un instrumento llamado Aeroflex 3901 de National Instruments, el cual nos permite medir el BER., Este equipo se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.2 Aeroflex 3901

## ***4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS***

La caracterización de los elementos está basada en el equipo y soluciones de la Compañía Europea Aeronáutica de Defensa y Aeroespacial<sup>10</sup> (EADS), tal como la estación base, los conmutadores, radios de mano y los radios móviles.

El equipo de radio como la antena, línea de transmisión, torre y montaje de la antena, son de diversos fabricantes, entre ellos Harris, Kathrein, Trylon.

### ***4.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ESTACIÓN BASE TETRA, TBS***

Proporcionar cobertura de la red en todas partes, en cualquier momento, para un pequeño o gran número de oficiales que se suelen utilizar una red TETRA es sin duda un desafío. Pero esto es sólo algunas características que la estación base TETRA TBS3 de EADS esta encaminada a lograr. Con el enlace ascendente mejorado, un operador utilizando el TBS3 puede mejorar la calidad del servicio, proporcionar más cobertura, o lograr una combinación de los dos.

La estación base TETRA TBS3 de EADS es extremadamente sensible, ofrece hasta cuatro veces el área de cobertura de una estación base TETRA convencional, combina los beneficios de omnidireccionalidad y sectorización. Esto significa cobertura más amplia que

---

<sup>10</sup> Ver <http://www.eads.com/1024/es/businet/defence/dcs/solutions/pmr/pmr.html>

una convencional y tiene más capacidad con el mismo número de portadoras que un sitio sectorizado.

La administración de la de la Estación base TETRA TB3 de EADS se hace mediante software NetAct, este es una solución de administración centralizada, ya que habilita un control efectivo sobre la gestión de los conmutadores, estaciones base y sistemas de despacho. Las funciones principales del NetAct incluyen una administración eficiente de fallos, medición de desempeño del sistema y administración de la red y sus elementos.

Las características técnicas de la estación base TETRA tercera generación se muestran en la tabla 4.1 y en la figura 4.3 la imagen del equipo.



Figura 4.3 TBS3 TETRA

<b>TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TBS3 TETRA</b>	
Bandas de frecuencia <ul style="list-style-type: none"> <li>Rx: 380-390MHz</li> <li>Tx: 390-400MHz.</li> </ul>	Consumo de potencia <ul style="list-style-type: none"> <li>Nominal 0.4KW con un TTRX a 65W/100% de ciclo de trabajo.</li> <li>El consumo de potencia varía de acuerdo al volumen de tráfico.</li> </ul> Modo de transmisión <ul style="list-style-type: none"> <li>Enlace descendente continuo (D-CT)</li> </ul> Solo las portadoras que se necesitan para llevar trafico tienen clave                     Transmisión <ul style="list-style-type: none"> <li>Cuatro interfaces E1 con multiplexor incorporado y capacidad de protección de bucle con configuración remota</li> <li>Apoyo para la transmisión por satélite</li> </ul> Funciones de O& M                     Configuración local y remota. <ul style="list-style-type: none"> <li>Manipulación local y remota de la alarma.</li> <li>Descarga SW, local y remota.</li> <li>Pruebas de servicios locales y remotos.</li> </ul> Ocho salidas remotas                     Administrador inteligente de los recursos de radios.                     Control automático del canal principal del paso                     Diseño modular redundante para la estación base principal.                     Detección de atascos.                     Cifrado dinámico en la interfaz aire con dos algoritmos simultáneos de cifrado.                     Acceso aleatorio adaptativo de ventana para control de congestión.                     Canal de señalización adicional para localización automática de vehículos.                     Asignación dinámica de canal de voz o entre paquetes de datos.                     Listo Para TETRA mejorado de datos.
Máxima potencia a tope de gabinete <ul style="list-style-type: none"> <li>25W</li> <li>40 W(Con configuración by-pass combinador y duplexer)</li> </ul>	
Máxima Potencia a la salida del TTRX <ul style="list-style-type: none"> <li>65W</li> </ul>	
Sensibilidad Dinámica a tope de gabinete <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;-112dBm (TCH 7.2, BER 4%, TU50) sin diversidad</li> </ul>	
Sensibilidad estática a tope de gabinete <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;-119dBm (TCH 7.2, BER 4%) sin diversidad</li> </ul>	
Clase de Receptor <ul style="list-style-type: none"> <li>Clase A y B en EN 300 392-2</li> </ul>	
Diversidad de Recepción <ul style="list-style-type: none"> <li>Combinación de Radio Máximo (MRC), mejoramiento del presupuesto de enlace de subida de 3...8dB en comparación con la única solución de antena receptora.</li> </ul>	
Numero de Receptoras por radio <ul style="list-style-type: none"> <li>6 receptoras con MRC</li> </ul>	
Recepción Sectorizada <ul style="list-style-type: none"> <li>Topología de tres sectores mejora la recepción C/I de 5dB, en comparación con la solución omnidireccional.</li> </ul>	
Espaciamiento Dúplex <ul style="list-style-type: none"> <li>10MHz</li> </ul>	
Rango de Conmutación <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;5MHz</li> </ul>	
Espaciamiento de Portadora <ul style="list-style-type: none"> <li>25KHz</li> </ul>	
Opciones del combinador <ul style="list-style-type: none"> <li>Cavidad auto-sintonizada.</li> <li>Cavidad Sintonizada manualmente.</li> </ul>	
Opciones de suministro de Voltaje <ul style="list-style-type: none"> <li>230 VAC (184 VAC...276 VAC)</li> <li>-48 VDC (-36 VDC...-60 VDC)</li> </ul>	

### **4.2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DXT CONMUTADOR DIGITAL TETRA**

En general existen dos tipos de conmutadores:

1. El Conmutador Principal (DXTip): Es capaz de controlar y administrar a todos los usuarios de la red y a sus propios equipos (Estaciones Base TBS); además permite realizar un enlace de estos hacia otros conmutadores del sistema a redes externas.
2. El Conmutador de Transito (DXTTip): Tiene como función principal interconectar conmutadores entre si para lograr un extensión de la red.

Por otro lado, los conmutadores DXTip pueden crecer en capacidad de procesamiento y conectividad externa; esto mediante gabinetes de extensión. Existen dos gabinetes de extensión, el primero da un incremento en la capacidad de procesamiento adicionando cuatro unidades de procesamiento y en la capacidad de interconexiones externas. En la tabla 4.2 y 4.3 se muestran las especificaciones técnicas y las principales características del conmutador digital TETRA.

<i>TABLA 4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DXT</i>	
Portadoras y estaciones base (máximo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 256 portadoras, 1024 canales.</li> <li>• Equipados en 128 TBS máximo</li> </ul>
Llamadas a grupos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10,000</li> </ul>
Suscribers(HLR/VLR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40000/40000</li> </ul>
Canales de Voz(conexiones con otras DXTips)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 960 8Kbits/s canales de voz por DXT</li> <li>• 90 MPT enlaces de señalización</li> </ul>
Conexiones para R2 / sistemas PMR convencionales (G4WIF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 240 Interfaces</li> </ul>
ISDN PARA (30B+D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 480 Canales-B</li> </ul>
Peso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 374-450Kg</li> </ul>
Ancho x Alto x Profundidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200cm x 120cm x 60cm</li> </ul>
Consumo de potencia (promedio)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2KW</li> </ul>
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -40 a -72V</li> </ul>

**TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS DXT**

- Establecimiento rápido de llamadas, en menos de un tercio de un segundo.
- Comunicación instantánea uno a muchos.
- Comunicaciones que abarcan toda la gama de operaciones (perfeccionamiento).
- Llamadas prioritarias garantizando las comunicaciones de usuarios críticos en todas las circunstancias.
- Autenticación de usuarios.
- Llamada a grupos de manera dinámica y en tiempo real.
- Servicios de datos seguros y rápidos (SDS y paquetes de datos IP)
- Administrador de red remoto.
- Comunicación encriptada para prevenir la escucha.
- Esquemas versátiles de numeración para todas las necesidades operativas.
- Servicios de carga.
- Estadísticas.
- Fácil y bajo costo de mantenimiento.
- Nuevas funciones introducidas sin la necesidad de actualizar el hardware.

Se muestra la imagen de un conmutador digital TETRA DXT en la figura 4.4



Figura 4.4 Conmutador Digital TETRA.

### **4.2.3 DETALLES TÉCNICOS DE LA ANTENA TRANSMISORA**

Para la parte transmisión, se tiene una antena omnidireccional Kathrein de “Scala division” con las siguientes características:



Rendimiento eléctrico superior, con bajo VSWR, amplio ancho de banda, respuesta de frecuencia plana, y extremadamente baja "interferencia" de intermodulación.

Mástil y accesorios integrados, se compone de sólo dos cerrojos en V, que se conectan directamente a la base.

Además de las características anteriores se presenta la tabla 4.4 con las especificaciones técnicas.

<i>TABLA 4.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ANTENA TRANSMISORA KATHREIN K751637</i>	
Rango de Frecuencia	380-400 MHZ
Ganancia	7.5dBi
Impedancia	50Ohms
VSWR	<1.5:1
Intermodulación (2x20W)	IM3:<-150dBc
Polarización	Vertical
Potencia máxima de entrada	500Watts @ 50°C
Haz Plano-H	Omni
Haz Plano-E	17 grados (potencia media)
Tipo de conector	N o 7-16 DIN hembra
Peso	8Kg
Altura	2840mm
Área equivalente a plato plano	0.179m2
Viento máximo	200Kmh
Montaje	Para mástil de 50 a 90mm

Sus correspondientes graficas del patrón de radiación son mostradas en a figura 4.5 Y 4.6

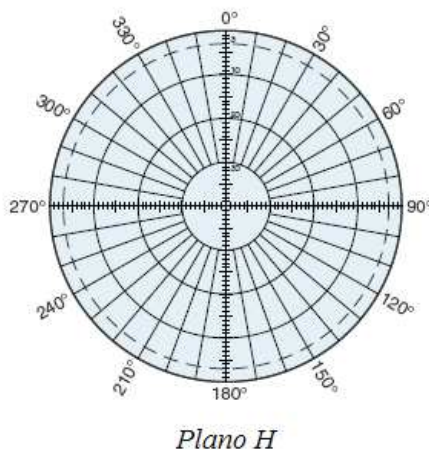


Figura 4.5 Patrón de radiación horizontal antena transmisora

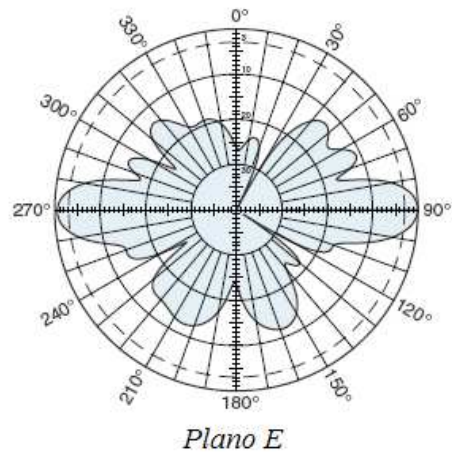


Figura 4.6 Patrón de radiación vertical antena transmisora

La imagen de la antena transmisora se muestra en la figura 4.7 y la figura 4.8 ilustra los aditamentos para su montaje en la torre.

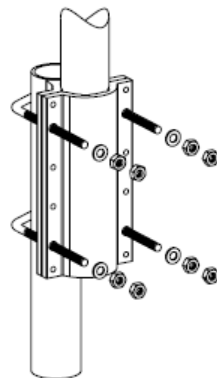


Figura 4.7 Montaje de la antena transmisora.

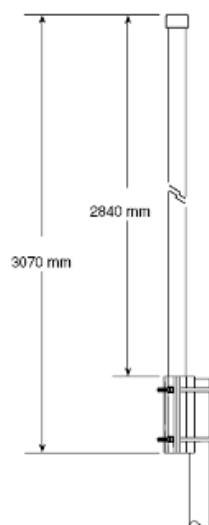


Figura 4.8 Antena transmisora

#### **4.2.4 DETALLES TÉCNICOS DE LA ANTENA RECEPTORA**

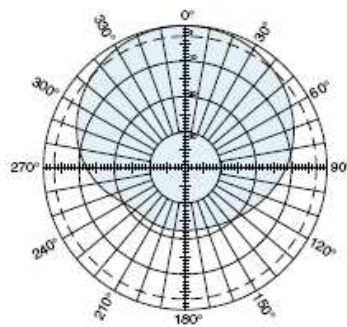
Para la parte de recepción, se proponen se tienen 3 antenas de panel direccionales Kathrein de “Scala division” con las siguientes características:

Antena de panel direccional con doble polarización destinada para uso profesional en estaciones base cuya frecuencia de operación comprende la banda 380-500 MHz. Excelente ancho de banda y bajo VSWR.

Además de las características anteriores se presenta la tabla 4.5 con las especificaciones técnicas.

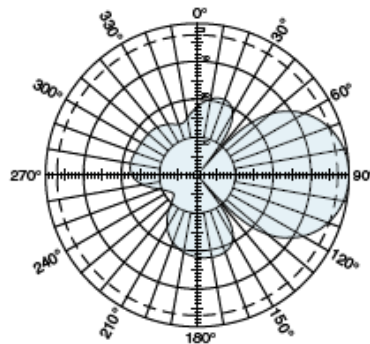
<i>TABLA 4.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ANTENA RECEPTORA KATHREIN K741517</i>	
Rango de Frecuencia	380-500 MHz
Ganancia	380-430MHz 10dBi 430-500MHz 10.5dBi
Impedancia	50Ohms
VSWR	<1.5:1
Intermodulación (2x20W)	IM3:<-150dBc
Polarización	+45° & -45°
Potencia máxima de entrada	500Watts @ 50°C
Radio de frente hacia atrás	>20dB(co-polar)
Aislamiento	>30Db
Haz Plano-H	polarización ± 45° 380-430MHz 88° (potencia media) 430-500MHz 86° (potencia media)
Haz Plano-E	polarización ± 45° 380-430MHz 40° (potencia media) 430-500MHz 35° (potencia media)
Tipo de conector	2x7-16 DIN hembra
Peso	10.5Kg
Dimensiones	1007 x 317 x 193mm
Área equivalente a plato plano	0.321m <sup>2</sup>
Viento máximo	200Kmh
Montaje	Sobre un tilt fijo, con opciones de fijación de 50 a 115mm sobre el mástil

Las correspondientes graficas del patrón de radiación se muestran en la figura 4.9 y 4.10



*Patron horizontal  
polarizacion  $\pm 45^\circ$*

Figura 4.9 Patrón horizontal antena Rx.



*Patron Vertical  
Polarización  $\pm 45^\circ$*

Figura 4.10 Patrón vertical antena Rx

A continuación se muestra el montaje de la antena receptora figura 4.11 y la imagen de la antena receptora propuesta, figura 4.12.

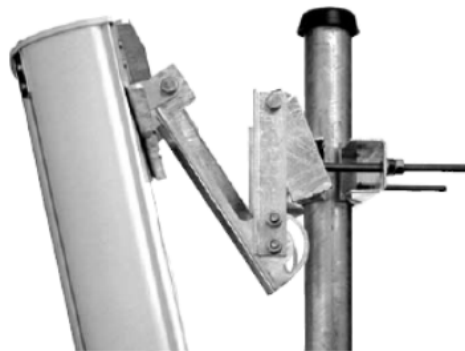


Figura 4.11 Montaje de la antena receptora



Figura 4.12 Antena receptora tipo panel

#### **4.2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE**

Dentro de las características más importantes para el diseño de de la torre es su altura debido a que aquí se montaran las antenas de transmisión y recepción.

Del Capitulo III, se estudio el perfil del terreno y se demostró que la diferencia de altura máxima entre el perfil del terreno más bajo y el obstáculo más alto es de 67.8 metros, con respecto a este dato se tiene una torre auto soportada con altura de 72 metros del fabricante Trylon cuyo diseño se denomina Súper Titan, la cual cumple con las especificaciones del estándar EIA/TIA 222-F.

Esta torre posee 3 caras con un sistema modular que consta de doce secciones estándar, cada sección de 3 metros. La sección más grande disponible es el número 12, que cuando se utiliza en la base produce la forma más energética posible para la configuración de la torre.

A continuación se muestra la tabla 4.6 con las especificaciones de la torre.

<i>TABLA 4.6 ESPECIFICACIONES DE LA TORRE SUPER TITAN</i>
Código: ASCE (ráfaga de viento 3 segundos)
velocidad del viento: 145Kmh
Carga: Una turbina de viento.
Empuje lateral máximo: 223Kg/m a 193Kmh.
Material: galvanizado para una mayor protección ambiental

La figura 4.13 ilustra la imagen de la torre y la ubicación de las antenas receptoras y transmisora,

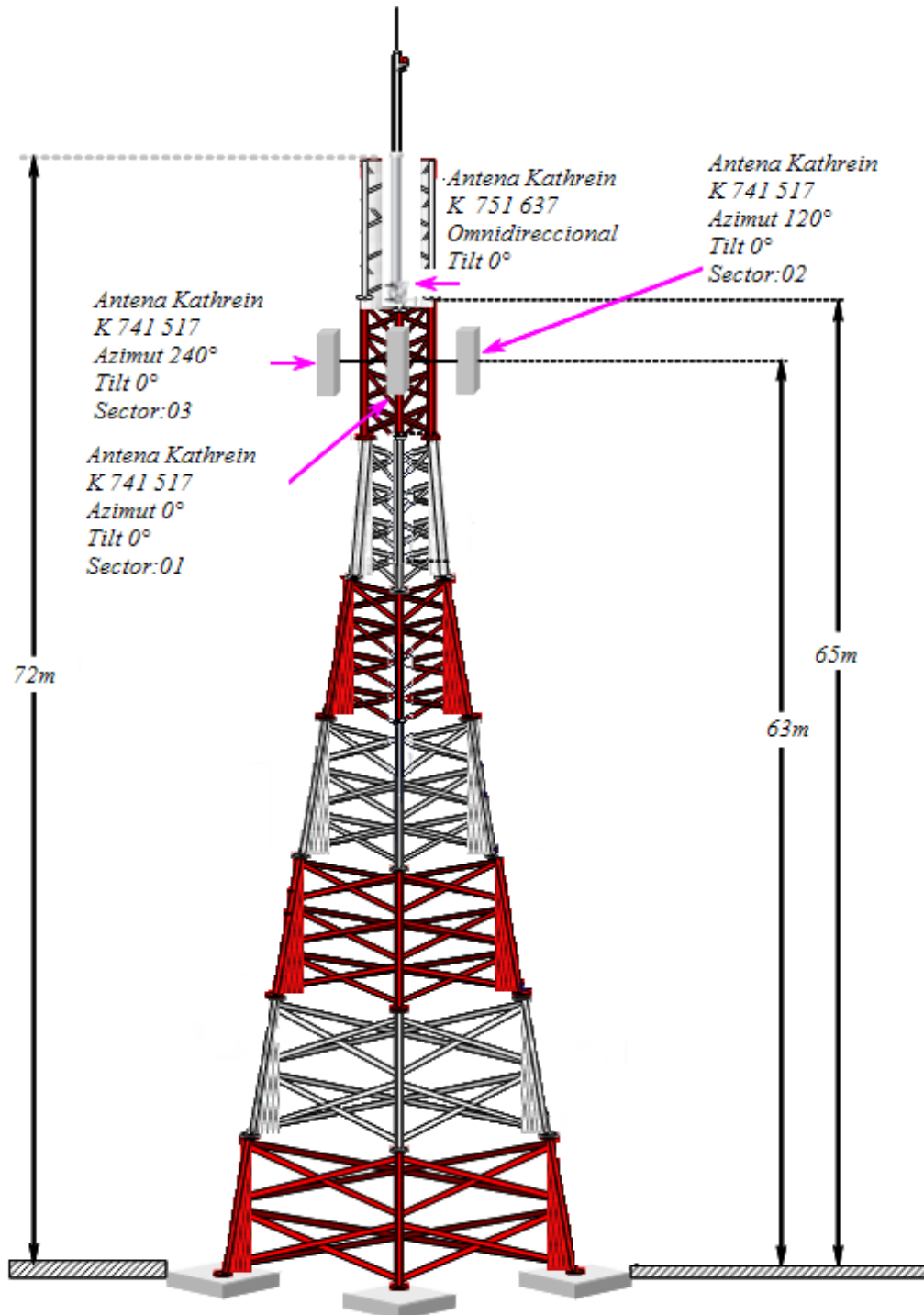


Figura 4.13 Torre auto soportada y antenas.

### **4.3 MEDICIONES**

Las mediciones son una parte fundamental de la caracterización de la estación base debido a que permite obtener información del funcionamiento del sistema de comunicaciones.

Tales mediciones se realizaron en una Estación Base TETRA (TBS) típica denominada Constituyentes, de la SSP. Tales pruebas son:

- Medición de la longitud de las líneas de transmisión.
- Medición de la atenuación de dichas líneas.
- Medición de VSWR (con carga resistiva y antenas) y cálculo del coeficiente de reflexión.
- Medición de la Relación de Bit Erróneo.
- Verificación y ajuste de la potencia nominal del transmisor

#### **4.3.1 MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN (ALIMENTADOR)**

Esta prueba consiste en medir la longitud de las líneas de transmisión que van desde la TB3 hasta la antena transmisora (línea 1) y las antenas receptoras (líneas 2, 3 y 4).

El procedimiento que se llevo a cabo es el siguiente:

1. Mediante una conmutadora portátil prevista con el software NetAct y un cable serial conectado a la TBS, se define el comando con el cual se le indica a la TBS que no habrá transmisión, es decir, se desconectan las líneas de transmisión de la estación base.
2. Posteriormente de ese extremo de las líneas, se conecto el Site Master.
3. Del otro extremo se desconectaron temporalmente de las antenas, para de esta manera provocar una falla en las líneas, es decir circuito abierto.
4. Mediante el Site Master se eligió la opción para medir VSWR.
5. Lo que hace el instrumento es mandar una onda de voltaje, y cuando detecta alguna falla, en este caso el circuito abierto, nos da la medida a la cual esta dicha falla.
6. Con tal procedimiento se pudo obtener la longitud de las líneas de transmisión 1, 2, 3, 4.

Los datos obtenidos son los siguientes.

- Longitud de línea 1 instalada, hacia Tx de 73.95m.
- Dato medido con el Site Master, 73.95m como lo muestra la figura 4.14

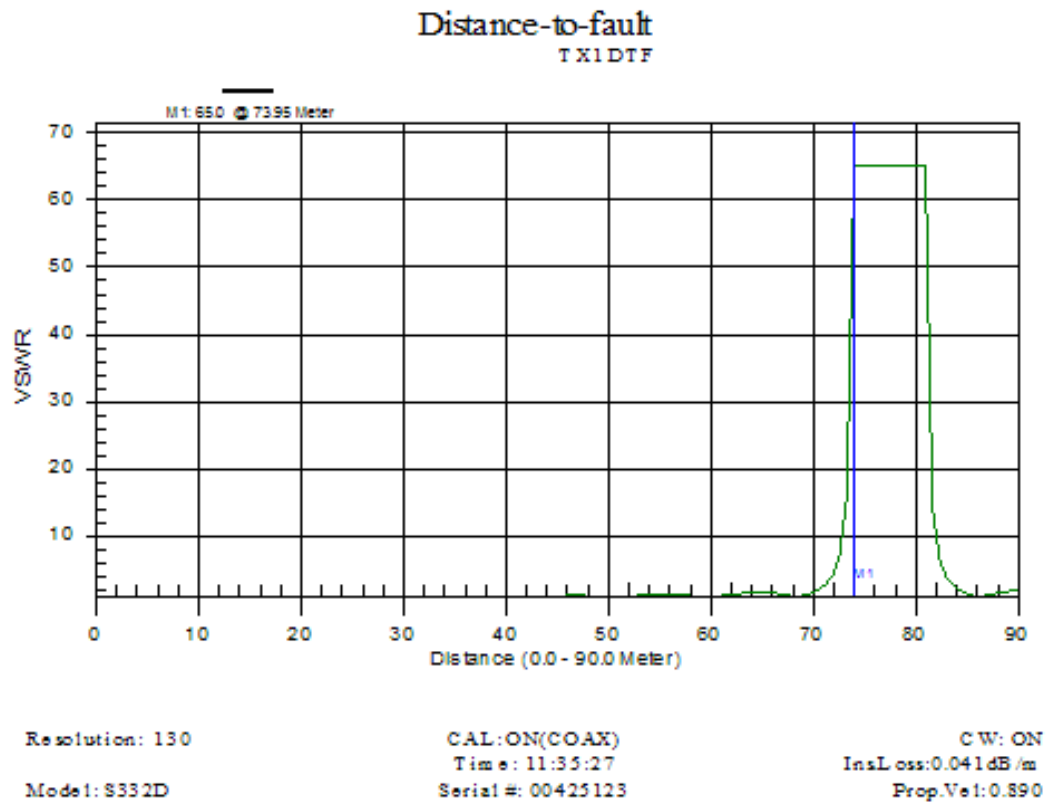


Figura 4.14 Longitud de la línea 1.

- Longitud de línea 2 instalada, hacia Rx1 es de 71.16m.
- El dato medido con el Site Master es de 71.16m, figura 4.15.



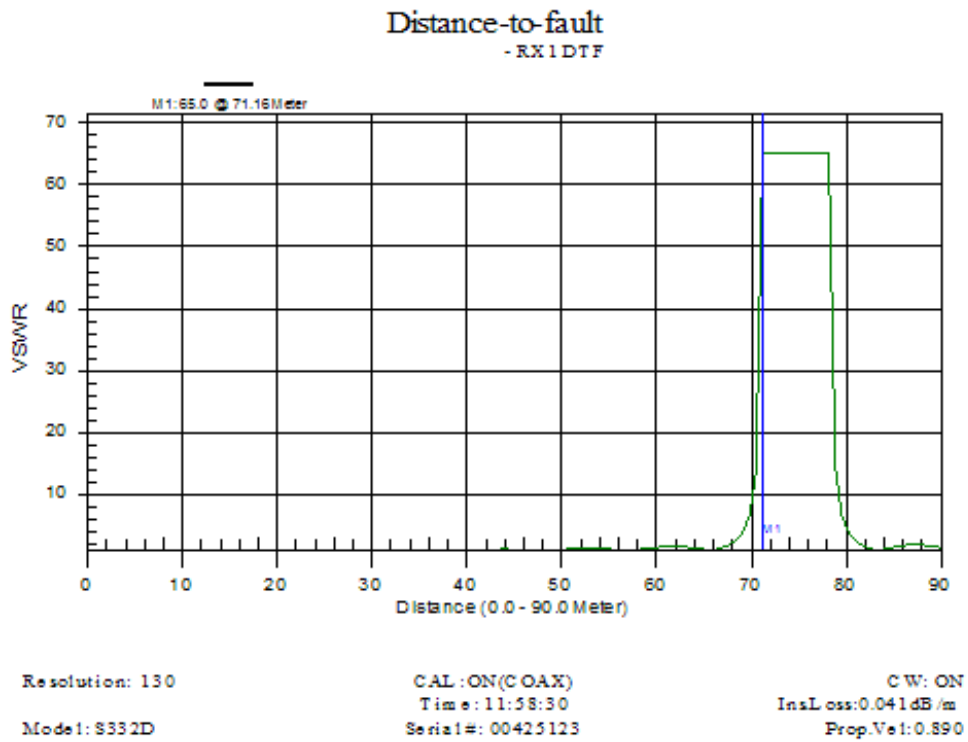


Figura 4.15 Longitud de la línea 2.

- Longitud de la línea 3 instalada, Hacia Rx2 es de 68.37m.
- El dato medido con el Site Master es de 68.37m, figura 4.16.

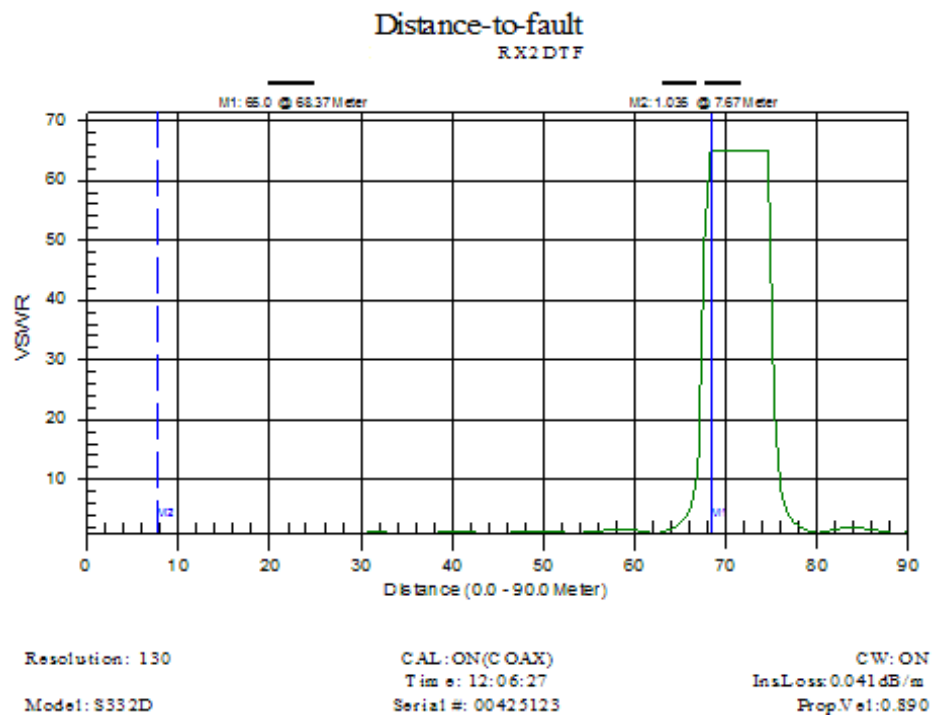


Figura 4.16 Longitud de la línea 3.

- Longitud de la línea 4 instalada, Hacia Rx3 es de 71.86m.
- El dato medido con el Site Master es de 71.86m, figura 4.17.

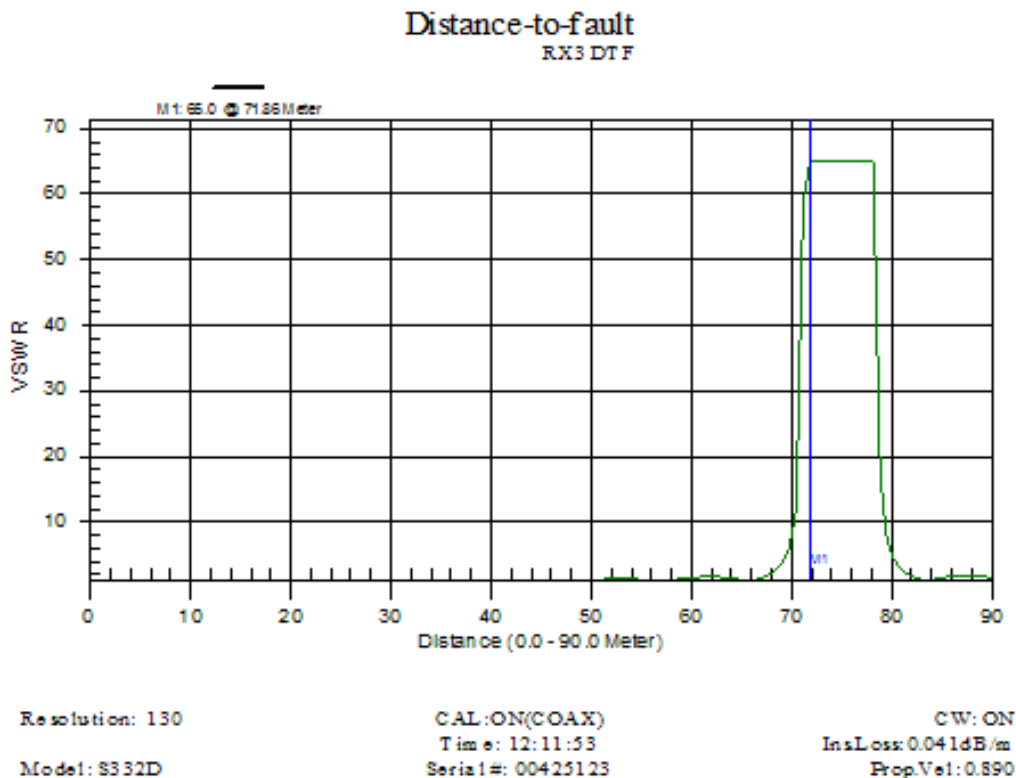


Figura 4.17 Longitud de la línea 4.

### **4.3.2 MEDICIÓN DE LA ATENUACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN (ALIMENTADOR)**

De los datos técnicos del fabricante Andrew para cables coaxiales heliax, da una pérdida de 0.87dB/30m a 450MHz para un cable coaxial VXL5-50 extra flexible de 22.2mm (7/8"), que es el cable instalado en la radio base y por lo tanto se tendrá que comprobar dicho valor.

El procedimiento para las 4 líneas, se describe a continuación:

1. Mediante una computadora portátil prevista con el software NetAc y un cable serial conectado a la TBS y,

2. Mediante una instrucción se indicó a la TBS que no hay transmisión, para posteriormente,
3. Se desconecto cada una de las líneas de transmisión y se conecto al Site Master.
4. Este instrumento, previamente se debió configurar para hacer la medición de atenuación, dando los datos de frecuencia y voltaje de prueba.
5. Teniendo ya una línea conectada, se mandó el voltaje de prueba y automáticamente se grafica la onda de prueba para valores de frecuencia cercanos al valor preestablecido.
6. Con los cursores verticales se desplazó hasta el valor de frecuencia insertado previamente, y en la pantalla aparece el valor de la atenuación (eje y)
7. Se repitió el proceso para las otras tres líneas.

Los datos obtenidos son los siguientes:

- Perdida calculada para la longitud de la línea 1, Hacia Tx1 -2.27dB.
- Medición con el Site Master, -1.94dB como lo indica la figura 4.18.

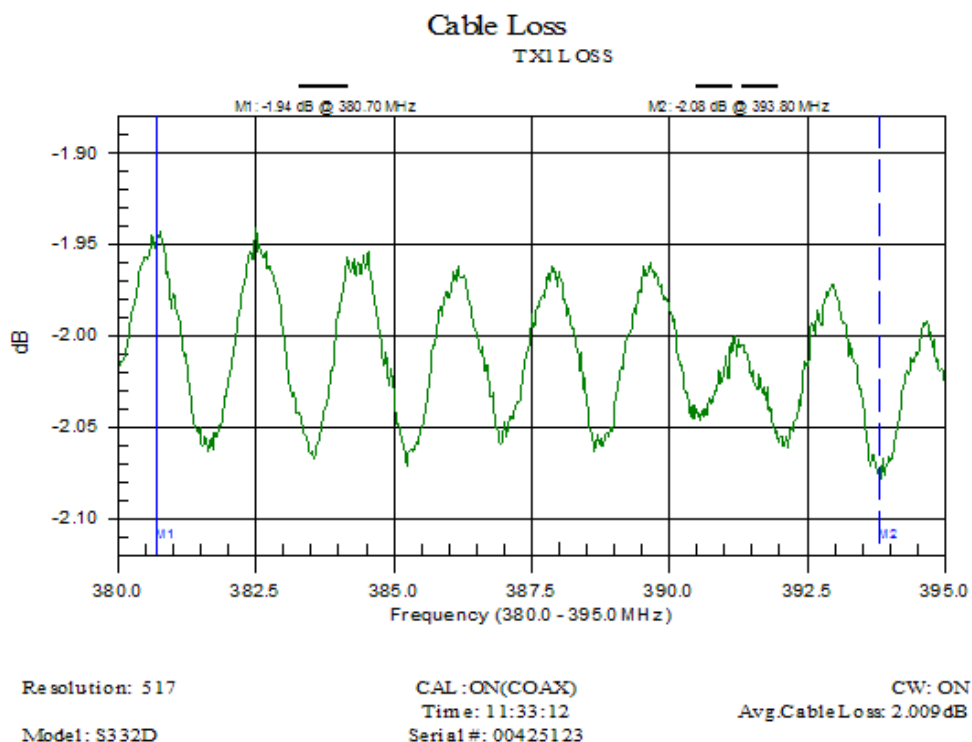


Figura 4.18 Atenuación de línea 1.

- Perdida calculada para la longitud línea 2, Hacia Rx1 -2.27dB.
- Medición con el Site Master, -1.87dB como lo indica la figura 4.19.

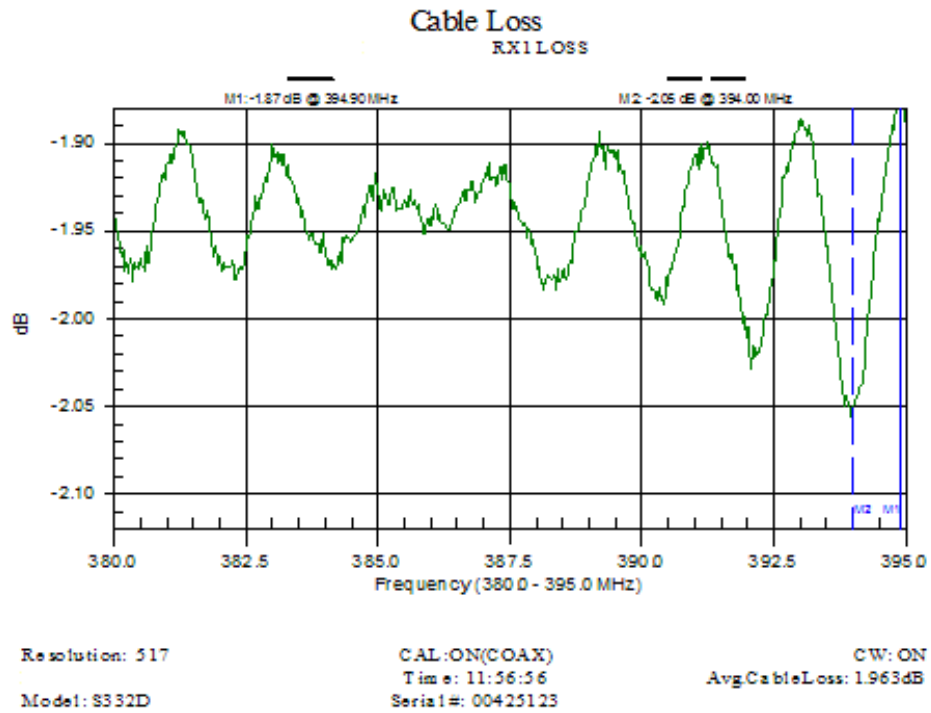


Figura 4.19 Pérdida línea 2.

- Perdida calculada para la longitud línea 3, Hacia Rx2 -2.20dB.
- Medición con el Site Master, -1.65dB como lo indica la figura 4.20.

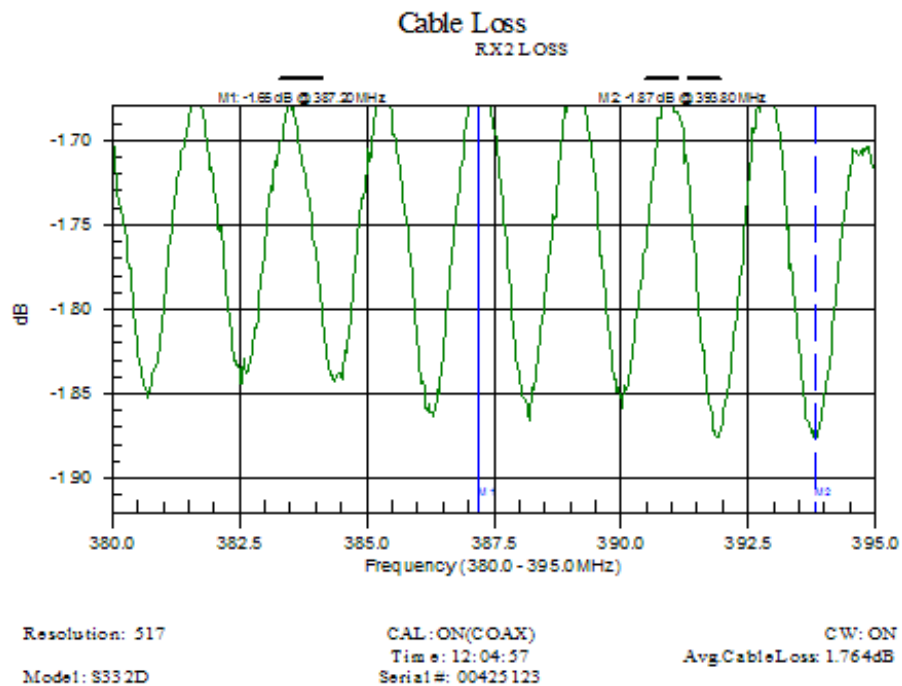


Figura 4.20 Pérdida línea 3.

- Pérdida calculada para la longitud línea 4, Hacia Rx3 -2.27dB.
- Medición con el Site Master, -1.83dB como lo indica la figura 4.21.

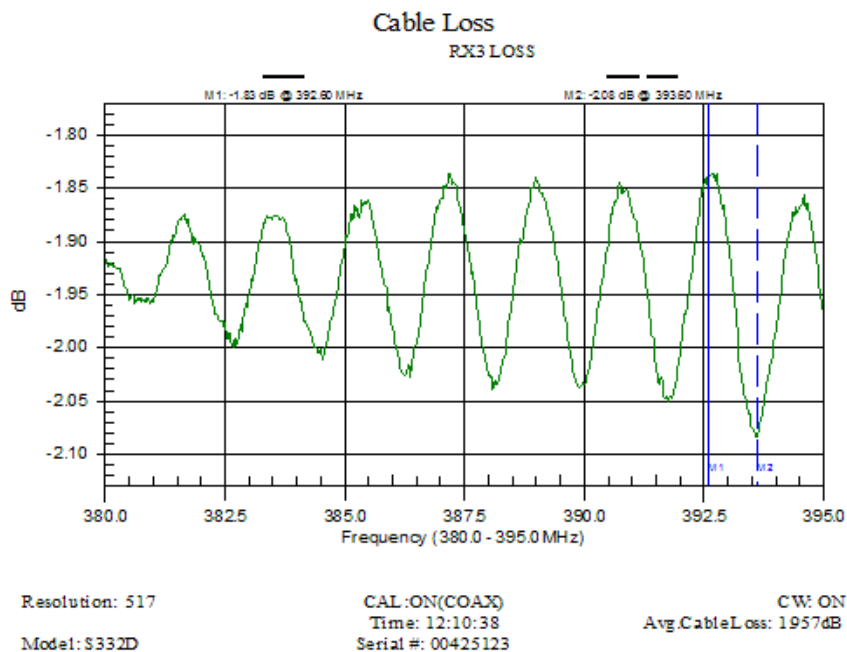


Figura 4.21 Pérdida Línea 4.

Como se puede observar todas las mediciones están dentro del rango que da el valor del fabricante, el cual es de -3dB/100m para nuestra frecuencia de trabajo. Cabe señalar que aquí se esta tomando en cuenta la atenuación solo para la longitud de cada línea.

### **4.3.3 MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE ONDA ESTACIONARIA (ROE)**

Este valor depende del valor de la impedancia de la carga, por lo que se analizaron dos casos:

- Con una carga resistiva de 50Ohms.
- Con las antenas, cuya impedancia nominal que menciona el fabricante es de 50Ohms.

#### **4.3.3.1 MEDICIÓN DE LA ROE SOBRE CARGA 50 OHMS (SW50)**

El procedimiento para realizar esta medición se describe a continuación:

1. Como primer paso, las líneas de transmisión debían estar desconectadas de la TBS y de las antenas. Es decir, la estación base no debe estar en funcionamiento.

2. Se colocó la carga a cada línea de transmisión, en este caso una resistencia patrón de 50 Ohms.
3. Se programó el Site Master para medir VSWR, es decir, se eligió un voltaje de prueba y una frecuencia de 390 MHz en promedio.
4. Se conectaron cada una de las líneas (una a la vez) al instrumento y posteriormente se mandó la señal de prueba.
5. Automáticamente el instrumento grafica la señal, para de esta manera hacer la medición.
6. El proceso se repite para cada una de las líneas.

Los datos obtenidos se muestran a continuación.

- ROE Teórico para línea 1, <1.2.
- ROE Medido con Site Master, 1.04 como lo muestra la figura 4.22
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.02$ ,  $\rho_{\%} = 2\%$

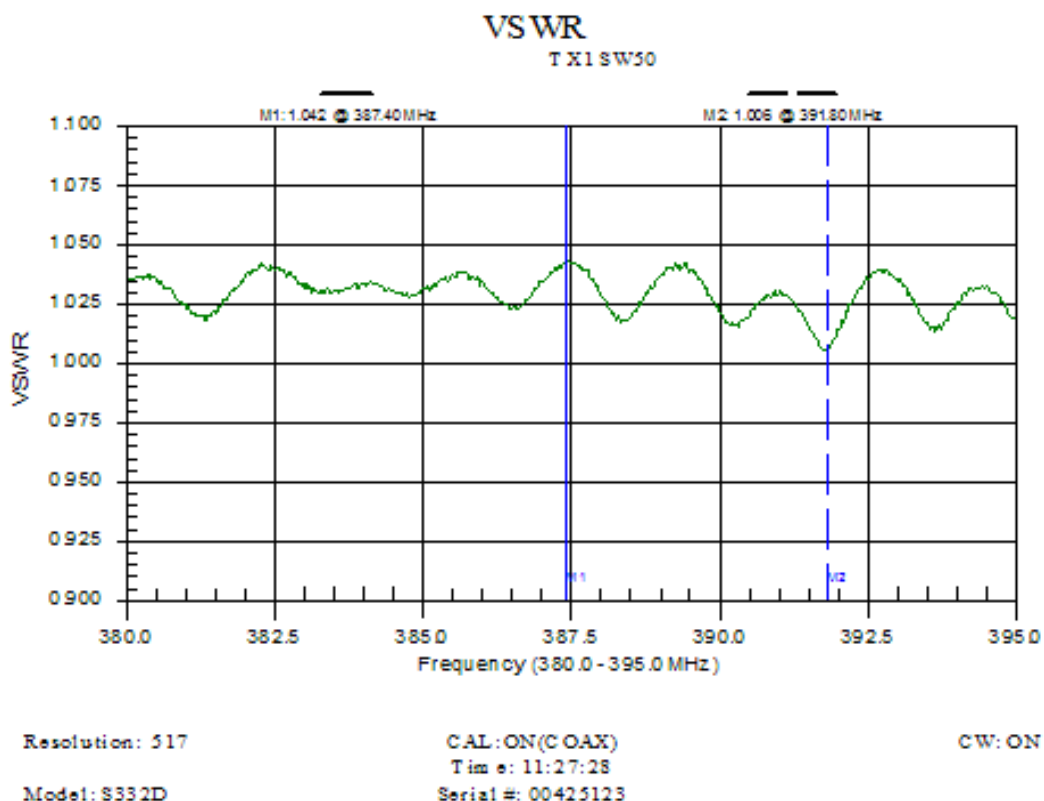


Figura 4.22 ROE Línea 1, con carga de 50 Ω .

- ROE Teórico para línea 2, <1.2.
- ROE Medido con Site Master, 1.06 como lo muestra la figura 4.23
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.031$ ,  $\rho_{\%} = 3.1\%$

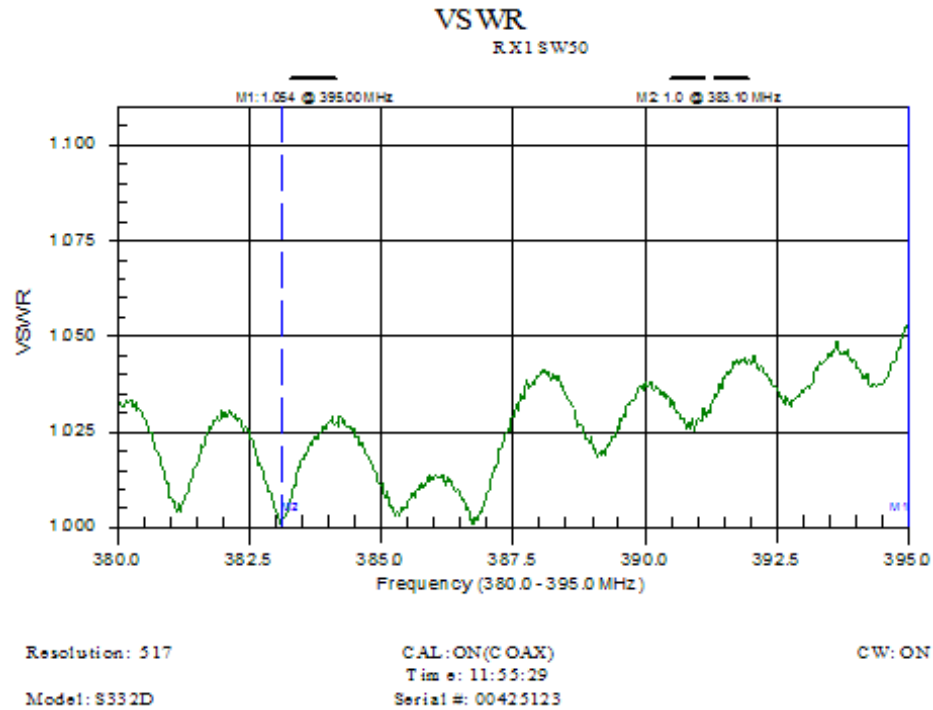


Figura 4.23 ROE Línea 2, con caga de 50  $\Omega$

- ROE Teórico para línea 3, <1.2.
- ROE Medido con Site Master, 1.07 como lo muestra la figura 4.24
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.035$ ,  $\rho_{\%} = 3.5\%$

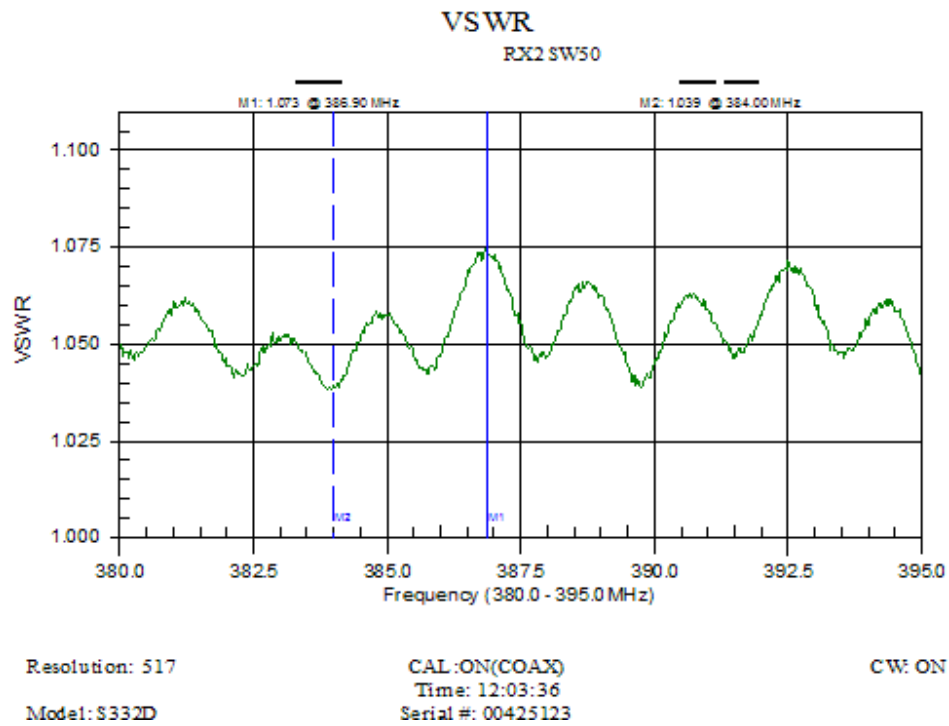


Figura 4.24 ROE Línea 3, con caga de 50 Ω

- ROE Teórico para línea 4, <1.2.
- ROE Medido con Site Master, 1.06 como lo muestra la figura 4.25.
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.032$ ,  $\rho_{\%} = 3.2\%$

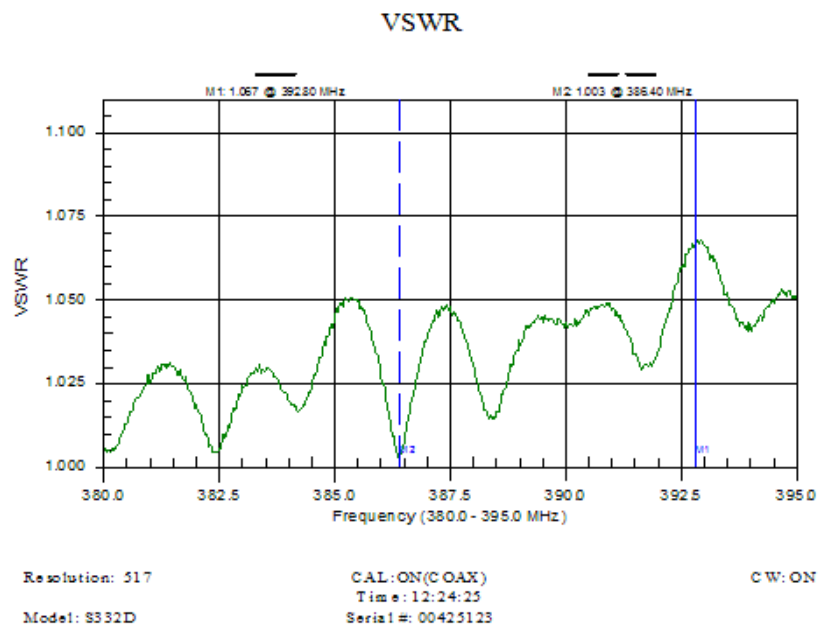


Figura 4.25 ROE Línea 4, con caga de 50 Ω



### 4.3.3.2 MEDICIÓN DE LA ROE CON ANTENAS

El procedimiento para realizar esta medición se describe a continuación:

7. Como primer paso, las líneas de transmisión debían de estar desconectadas de la estación base. Es decir, la estación base no debía estar en funcionamiento.
8. Se colocó la carga a cada línea de transmisión, en este caso sus respectivas antenas.
9. Se programó el Site Master para medir VSWR, es decir, se eligió un voltaje de prueba y una frecuencia de 380MHz en promedio.
10. Se conectaron cada una de las líneas (una a la vez) al instrumento y posteriormente se mandó la señal de prueba.
11. El instrumento automáticamente grafica la señal para posteriormente realizar las mediciones
12. El proceso se repite para cada una de las líneas.

Observaciones, de las características de las antenas se tiene una ROE <1.5:1, por tal motivo se pretende comprobar dicho valor.

Los datos obtenidos se muestran a continuación:

- ROE Teórico para línea 1, <1.5.
- ROE Medido con Site Master, 1.25 como lo muestra la figura 4.26.
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.112$ ,  $\rho_{\%} = 11.2\%$

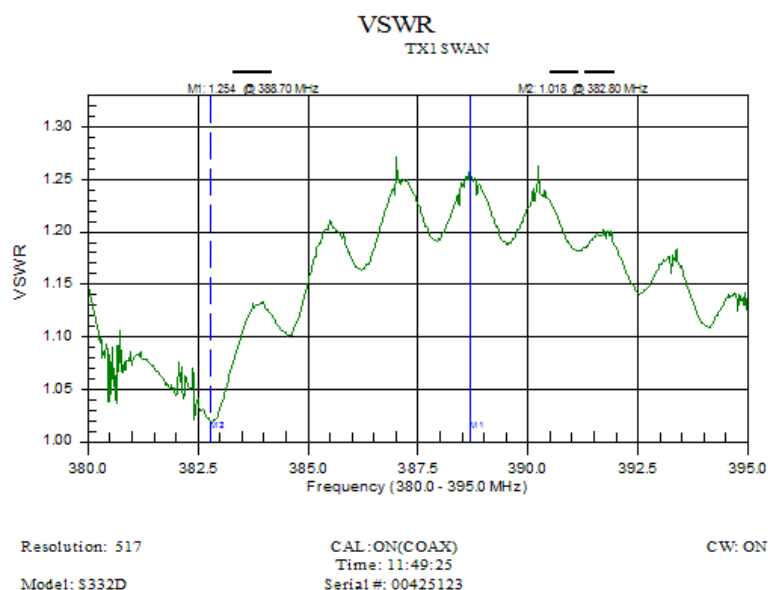


Figura 4.26 ROE Línea 1, con antena Tx1.

- ROE Teórico para línea 2,  $< 1.5$ .
- ROE Medido con Site Master, 1.206 como lo muestra la figura 4.27.
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.093$ ,  $\rho_{\%} = 9.3\%$

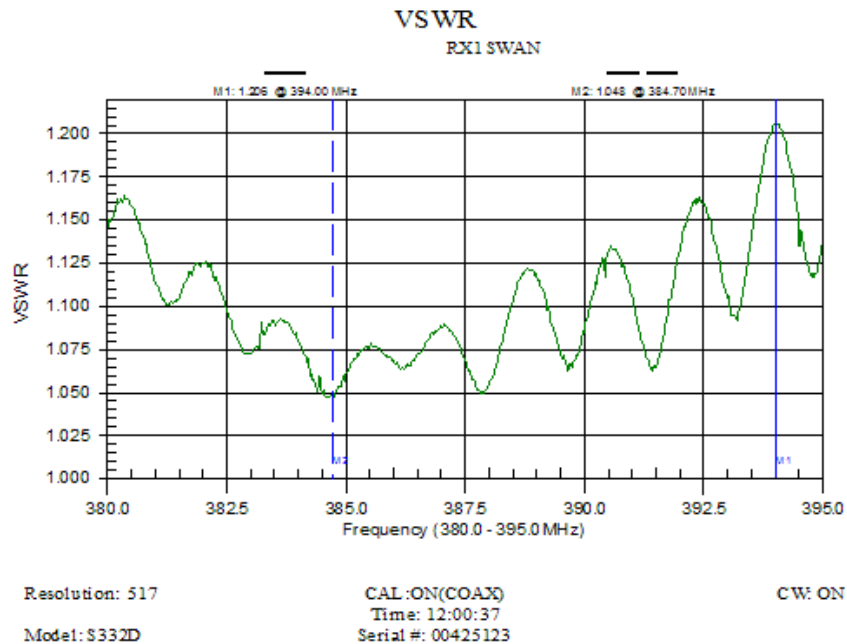


Figura 4.27 ROE Línea 2 con antena Rx1.

- ROE Teórico para línea 3,  $< 1.5$ .
- ROE Medido con Site Master, 1.18 como lo muestra la figura 4.28.
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.085$ ,  $\rho_{\%} = 8.5\%$

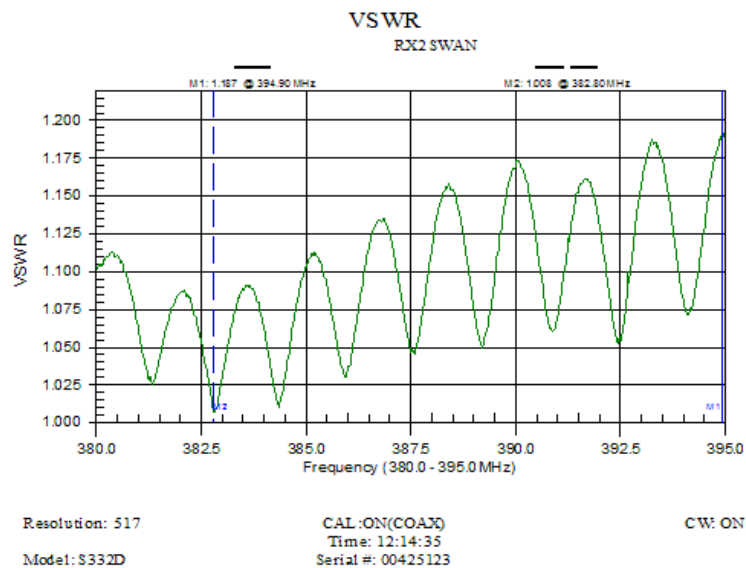


Figura 4.28 ROE Línea 3 con antena Rx2.

- ROE Teórico para línea 4, < 1.5.
- ROE Medido con Site Master, 1.18 como lo muestra la figura 4.29.
- Coeficiente de reflexión calculado:  $\rho = 0.086$ ,  $\rho_{\%} = 8.6\%$

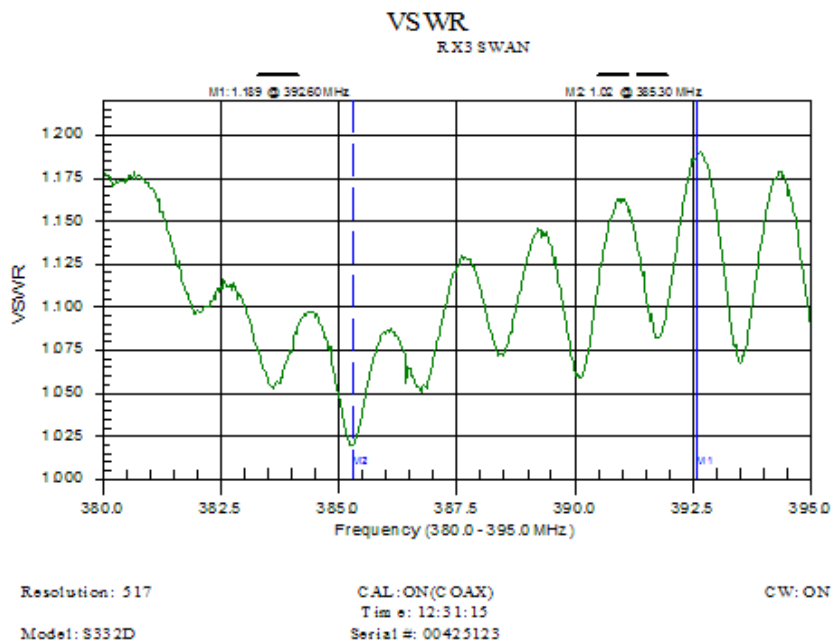


Figura 4.29 ROE Línea 4 con antena Rx3.

#### **4.3.4 AJUSTE DEL NIVEL DE POTENCIA DE LA ESTACIÓN BASE TRANSMISORA**

Para efectuar este ajuste es necesario disponer privilegios de administrador en el puesto de despacho o en su defecto en un puesto de control y de una Interfaz Hombre Maquina con el software NetAct.

Esta prueba de ajuste de potencia de igual manera que las anteriores se realizo para la estación base típica TETRA estudiada.

Tales valores se pueden observar en la figura 4.30 tuvieron que ser declarados previamente con el mismo software y en este caso se comprobó que se mantuvieran de acuerdo al estándar TETRA<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Ver Capítulo II, Tabla 2.3 Potencia nominal de la BS transmisora.

```

CELL INDEX ..... 10
CELL MNEMONIC ..... CONSTITUYENTES
LOCATION AREA IDENTIFIER ..... 2010
LOCATION AREA MNEMONIC ..... CONSTITUYENTES

***** BASE STATION DATA OF THE CELL *****
BASE STATION NUMBER ..... 10
COMBINER TYPE ..... CAVITY COMBINER
OPTIONAL TBC LAPD ..... NO
BASE STATION SYNCHRONISED.... YES
ISI SPEECH FRAME TYPE ..... 2
TBS FALLBACK MODE ALLOWED ... NO
LINK DOWN TIMEOUT PERIOD .... 10
DXT-TBS INTERFACE LEVEL ..... 3

***** TRANSCIEVER DATA OF THE BASE STATION *****

```

TRANSCIEVER	POWER CLASS	CARRIER FREQ. (kHz)	CARRIER NUMBER	FR. BAND INDEX	RANK	WCD
TTRX-10-0	2 (<44 dBm/25 W)	395212.50	3000	3	0	YES
TTRX-10-1	2 (<44 dBm/25 W)	395562.50	3022	3	0	NO
TTRX-10-2	2 (<44 dBm/25 W)	395912.50	3036	3	0	NO
TTRX-10-3	2 (<44 dBm/25 W)	396612.50	3064	3	0	NO
TTRX-10-4	2 (<44 dBm/25 W)	396962.50	3078	3	0	NO
TTRX-10-5	2 (<44 dBm/25 W)	397312.50	3092	3	0	NO
TTRX-10-6	2 (<44 dBm/25 W)	397662.50	3906	3	0	NO

```

COMMAND EXECUTED
CELL CONFIGURATION AND PARAMETER HANDLING COMMAND (PC_)

```

Figura 4.30 Ajuste del nivel de potencia nominal de la estación base transmisora.

Además de los valores de potencia, se pueden configurar las frecuencias de cada una de las portadoras.

#### 4.3.5 MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE TASA DE ERROR (BER)

El procedimiento para realizar dicha medición fue el siguiente:

Se realizó sobre cada uno de los módulos multiacopladores de recepción (DRMC), la medición se realizó sobre los conectores de la antena de dicho modulo; Para poder ejecutar esta prueba fue necesario que cada uno de los módulos TTRX de la TBS emita de forma independiente, tomando de esta manera la lectura del BER sobre cada uno de los conectores de antenas del modulo multiacoplador de recepción en cuestión.

Observaciones: A diferencia de las mediciones anteriores aquí se utilizo el Instrumento AeroFlex.

Dichas pruebas se tienen que realizar para diferentes sensibilidades de acuerdo al estándar TETRA<sup>12</sup>.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.7

<i>TABLA 4.7 MEDICIÓN DE BER</i>				
Sensitividad Estática de Recepción: -115dBm.				
	No de Tramas	Tramas Perdidas	BER	BER LIMITE
DRMC1				
ANT1	1,000,200	320	0.032%	<4%
ANT2	1,002,500	240	0.024%	<4%
DRMC2				
ANT1	1,005,000	400	0.04%	<4%
Sensitividad Estática de Recepción: -85dBm.				
DRMC1				
ANT1	10,000	1	0.01%	<0.01%
ANT2	10,030	0	0.0%	<0.01%
DRMC2				
ANT1	10,200	0	0.0%	<0.01%
Sensitividad Estática de Recepción: -20dBm.				
DRMC1				
ANT1	10,100	0	0.0%	<0.01%
ANT2	10,050	0	0.0%	<0.01%
DRMC2				
ANT1	10,600	0	0.0%	<0.01%

Si se comparan estos valores con los del estándar, observamos que están dentro de los valores permisibles.

<sup>12</sup> Ver Capítulo II, Tabla 2.11

---

# *CAPÍTULO V*

## *CONCLUSIONES*

---

## **5.1 CONCLUSIONES**

Las comunicaciones que conocemos en la actualidad han sido posibles gracias a la investigación y experimentación que se ha llevado a cabo por un largo periodo de tiempo, se puede decir que los pioneros en el electromagnetismo fueron: Gauss, Hertz, Ampere y sobre todo Maxwell quien fue el científico que revolucionó esta disciplina de la física debido a sus ecuaciones.

Entender estas expresiones es el primer paso para comprender porque las ondas electromagnéticas pueden viajar en el espacio, en segunda instancia discernir el fenómeno de propagación electromagnética y el de transmisión de información que se da gracias a las diferentes técnicas de modulación y a un radiador electromagnético. Es decir aquí se conjuntan las comunicaciones con el electromagnetismo, lo que resulta en un sistema de comunicaciones básico.

De aquí se inició el estudio para planear y caracterizar una estación base del sistema de comunicaciones TETRA.

El estándar TETRA desde su aparición en 1996 se ha ido modificado debido a la convergencia tecnológica en las redes y a la necesidad de mejorar sus servicios. Dentro de los servicios que ofrece están el de datos de alta velocidad, acceso a Internet, transmisión de imágenes, entre otros.

Esto ha permitido que corporaciones y grupos de trabajo sean más eficientes al momento de trabajar en conjunto.

Pero para que se pueda dar el proceso de transmisión de información desde un centro de operaciones hasta los receptores es necesario dar cobertura a cierta región y para ello es necesario hacer su análisis de propagación y predicción de la cobertura.

Es evidente que la predicción de la cobertura en medios urbanos como en la Ciudad de México es una tarea muy difícil debido al grado de urbanización y además que está en constante movimiento, es decir, continuamente se hacen construcciones cambiando el panorama urbano; Los modelos de propagación estudiados son la herramienta básica en la predicción del comportamiento de la atenuación y la propagación, pero es necesario continuar con su investigación y pruebas de campo para hacer predicciones más precisas. También es necesario disponer de otras herramientas de ingeniería poderosas o en su defecto diseñarlas, con las cuales disminuir la complejidad del diseño del sistema

Algunas de ellas son las informáticas como GIS, bases de datos, modelado de obstáculos a partir de información preliminar sobre la zona, entre otras. Sin embargo, la realización de mediciones experimentales es completamente necesaria para validar los modelos y proporcionar confianza a los resultados de las predicciones y del modelado.

Posteriormente al diseño, el siguiente paso es seleccionar el equipo adecuado con el cual se va a solucionar el problema. Es importante que se tome en cuenta diversos factores como el costo, escalabilidad e integración, por tal motivo se eligieron fabricantes de marcas reconocidos a nivel mundial.

Ya que se cuenta con el equipo la siguiente etapa es validar el funcionamiento del mismo, para que se cumpla este objetivo fue necesario hacer mediciones más importantes en las partes críticas del sistema, como ya se menciono en el Capítulo IV, tales pruebas consistieron en medir la longitud de las líneas de transmisión que van desde la TBS hasta las antenas receptoras y transmisora, la atenuación de las mismas, VSWR y cálculo del coeficiente de reflexión, así como potencia nominal de la estación base transmisora TBS, la Relación de Tasa de Error (BER) y la Relación de Onda Estacionaria (ROE).

Para las mediciones de la longitud de las cuatro líneas de transmisión, en todos los casos los valores obtenidos del Site Master coinciden con los valores reales.

En el caso de la atenuación no se presentó problema alguno ya que todos los valores obtenidos están dentro del rango.



Para la parte de la medición de la ROE, fue en dos versiones, una con una carga de 50 ohms y otra con las antenas.

Para ambos casos todos los valores están dentro de los valores prescritos por el fabricante y coinciden con los datos técnicos

El caso del ajuste y comprobación de la potencia nominal de la estación base TB3 transmisora coincide con el estándar TETRA y esta dentro de su valor nominal como lo muestra la figura 4.30.

Para la medición de BER también se cumple la tolerancia permitida en el estándar TETRA del capítulo dos por lo que la estación base típica funciona en condiciones optimas.

En general el desarrollo de este proyecto me ha permitido observar y llevar a cabo el proceso para la caracterización de un sistema de comunicaciones, partiendo de un problema y postulando una o unas posibles soluciones del mismo por medio del planteamiento de un programa de trabajo y siguiendo las estrategias necesarias.

Tales estrategias en este caso consistieron principalmente en analizar un sistema de comunicaciones TETRA típico, haciendo simulaciones de cobertura y posteriormente comparar con mediciones. Teniendo presente que para poder desarrollar todas estas actividades el requisito previo fue el estudio teórico del sistema de comunicaciones TETRA, del electromagnetismo, modelos de propagación, etc.

---

---

# ***ANEXOS***

---

---

## ANEXOS

```

% *****
% *****

% Programa para calcular la potencia recibida en el receptor para la
% estación base propuesta haciendo uso del modelo Hata ecuación 1.39
% y la ecuación 1.42 de factor de corrección

% *****
% *****
% *****
clc, clear all, clf;

Ps = 14% potencia de salida en dB =25W=44dBm
hrx = 1% Altura del móvil receptor en metros
htx = 65% Altura de la antena receptora en metros
fc = 395 %Frecuencia de operación en Megahertz
a = 3.2*(log10(11.75*hrx)^2)-4.97
d=.0001:.1:15
L = 69.55+26.16.*log10(fc)-13.82*log10(htx)- a + (44.9-6.55.*log10(htx)).*log10(d);

Pr = (Ps - L+7.5) + 30% potencia recibida sin consideraciones en dBm

Pr1= (Ps-10-L)+ 30% 15.31potencia recibida en dBm, considerando 10 dB de tolerancia

Prg = (Ps+7.5-10 -L) +30% potencia recibida en dBm considerando 10dB de tolerancia y la
ganancia de la antena que es 7.5dBi

figure(1)
plot(d,Pr,'b',d,Pr1,'g',d,Prg,'r')
title('Potencia recibida, altura del móvil receptor=1m')
xlabel('Distancia,Km')
ylabel('Potencia,dBm')
grid
axis([-1 16 -130 80])

```

---

---

# ***GLOSARIO DE TÉRMINOS***

---

---

## ***GLOSARIO DE TÉRMINOS***

### **A**

**ACELP.**- Codificación Predictiva Lineal Excitada por Código Algebraico - método de predicción lineal de baja velocidad de bits para codificación y decodificación de voz.

**AI.**- Interfaz de Aire.

**AIE:** Encriptación en la Interfaz de Aire - Conexión vulnerable entre la estación base y el terminal.

**AL:** Ambiente de Escucha - Servicio suplementario de TETRA, para permitir a un usuario autorizado, por ejemplo un despachador, cambiar desde el interruptor remoto el modo de transmisión de un radio móvil y controlar su entorno sin la intervención del usuario del radio móvil.

**Alimentador.**- Alimentador de la antena.

**AMR.**- Códec de Multi-Velocidades Adaptable - Que en los entornos de errores bajos opera a una velocidad de bits más altas para dar mayor calidad del habla, mientras que en entornos de error mayor, cuando la calidad de habla superior no puede prolongarse, el códec reduce su velocidad operacional de bits.

**API.**- Interfaz de Aplicación de Programación: Interfaz de software, publicación de especificaciones para el diseño de aplicaciones en la parte superior de algunas capas inferiores de software.

**Autenticación.**- Un mecanismo de seguridad en TETRA, basado en pregunta-respuesta entre una MS y la infraestructura, a fin de garantizar la legitimidad de cada una de las partes.

### **B**

**BER.**- Tasa de Bit Erróneo.

**BS.**- Estación Base.

## C

**Cifrado.**- Método de codificación/aleatorización de la información (voz o datos) a fin de que no pueda ser entendido o descifrado sin equipo especial (clave) o software.

**Clave de Cifrado.**- Un número pseudo aleatorio usado para insertar un generador de flujo de claves.

**Clave Secreta (K).**- La única clave segura incrustada en la terminal, que se utiliza para la autenticación.

**C/N.**- Relación de potencia Portador/Ruido.

**CNM.**- Gestor Central de Red.

**CNMI.**- Interfaz de Gestor Central de Red.

**CODEC.**- Llamado también Co-dec, Codificador y Decodificador Combinado.

**Comunicaciones de Radio Troncalizadas.**- Una computadora controla el sistema de comunicaciones, asignando un canal de comunicación para una llamada (ya sea de voz o datos) de "fondo común" de los canales disponibles, y al final de la llamada, devuelve al mismo depósito el canal para ser reasignado a otra llamada.

**Convencional.**- Comunicaciones no troncales por radio, donde los recursos de comunicación (Canales RF y sitios de Estación Base) son seleccionados manualmente.

**CRC.**- Código de Redundancia Cíclica (Bloque de codificación).

## D

**Desvanecimiento.**- Debilitamiento esporádico o prolongado de la señal, causado por ciertas perturbaciones atmosféricas o electromagnéticas.

**DGNA.**- Asignación Dinámica de Números a Grupos: Servicio suplementario definido en los estándares TETRA, que son usados para la gestión dinámica (creación y término) llamada a grupos de usuarios.

**DM.**- Modo Directo (DM o DMO) - facilidad de terminales TETRA para comunicarse directamente entre sí sin necesidad de utilizar la infraestructura TETRA.

**DMO.**- Modo de Operación Directo - facilidad de terminales TETRA para comunicarse directamente entre sí, sin necesidad de usar la infraestructura TETRA.

**DMO EF.-** Modo de Operación Directo con Eficiencia en Frecuencia - Una variante de DMO, protocolo que utiliza cada una de las cuatro divisiones de tiempo, permitiendo así dos conversaciones en una sola portadora.

**DMO Estándar.-** Funcionamiento en Modo Directo, usando dos de cuatro divisiones de tiempo disponibles en una trama (una para enlace ascendente y otra para enlace descendente), lo que permite una única conversación con la portadora.

**DMR.-** Radio Móvil Digital, estándar ETSI siendo desarrollando para aplicaciones PMR convencionales.

**DQPSK.-** Modulación Por Cambio de Fase Diferencial Cuaternaria.

**DSS 1.-** Abonado Digital de Señalización 1.

## **E**

**E2E.-** Cifrado Fin a Fin: Cifrado total en un enlace de comunicación (de un extremo a otro) sin descifrado intermedio, requerido para máxima seguridad.

**EN.-** Norma Europea: Una norma como TETRA aprobada mediante procedimiento de votación nacional.

**Encriptación:** Ver cifrado.

**Enlace Ascendente.-** Conexión desde una terminal de radio hacia la estación base.

**Enlace Descendente.-** Transmisión de la estación base a un radio.

**Es/No.-** Energía por Símbolo/Densidad Espectral de Potencia de Ruido.

**ETS.-** Norma Europea de Telecomunicaciones.

**ETSI.-** Instituto de Normas de Telecomunicaciones Europeo.

## **F**

**FCC.-** Comisión Federal de Comunicaciones, Regulador de Telecomunicaciones de EE.UU.

**FDMA.-** Acceso Múltiple por División de Frecuencia.

**FEC.-** Corrección de Error Hacia delante.

**FRS.-** Familia de Servicios de Radio.

**Funcionamiento Libre:** Un dispositivo no requiere ninguna intervención humana o de control para su funcionamiento, por ejemplo un repetidor en DM .

## **G**

**Gateway.-** Un dispositivo que intercomunica la red TETRA con otras redes privadas o públicas de telecomunicaciones, por ejemplo, PSTN, ISDN, etc.

**GCK.-** Cifrado de Claves de Grupos, una clave utilizada (en relación con CCK) para dar cripto-separación de grupo entre grupos.

**GoS.-** Grado de Servicio: Utilizado para especificar el nivel de acceso a una red de radio.

**GPS.-** Sistema de Posicionamiento Global.

**GPRS.-** Servicio de Radio de Paquetes General.

**GW.-** Gateway.

## **I**

**IDEA.-** Algoritmo Internacional de Cifrado de Datos.

**I/F.-** Interfaz.

**Infraestructura.-** Estaciones base, interruptores, conexiones, y diversos gestores de equipos (todos los equipos que forman la red y que permiten a los radios móviles operar en una zona geográfica determinada).

**IOP.-** Interoperabilidad de Equipo TETRA.

**ISDN.-** Red Digital de Servicios Integrados.

**ISI.-** Interfaz Inter-Sistemas: Interfaz abierta estándar, utilizado para conectar dos redes TETRA.

## **K**

**Keystream.-** Datos pseudo aleatorios derivados de KSG que se utilizan para mezclar con texto sin formato para producir flujo de datos cifrados.



## **L**

**LAN.**- Red de Área Local.

**LLC.**- Control de Enlace Lógico.

**LNМ.**- Gestor de Red Local.

**LPC.**- Codificación Lineal Predictivo.

**LS.**- Estación de Línea, fija, terminal de usuario alámbrica, a diferencia de una terminal de radio móvil, conectado a una red TETRA, provee servicios e instalaciones disponibles para un usuario móvil, pero sin la necesidad de estar operando en el rango de funcionamiento del sistema.

**LSI.**- Interfaz de Estación de Línea.

## **M**

**MAC.**- Control de Acceso al Medio.

**Marcación.**- Mecanismo de intercambio entre el usuario y la terminal; El acto de selección de llamada.

**Master DMO terminal/radio.**- La radio que inicia una conversación DMO y, en ausencia de la señal de sincronización desde la infraestructura, está actuando como un control de la sincronización de cronometraje.

**MELPe.**- Mezcla de Excitación de Predictivo Lineal, mejorado, tipo de códec de voz aprobado por NATO.

**Mensajes de Estado.**- Palabras o frases concisas de una lista predeterminada que esta residida en un terminal, la cual se transmite como un simple código de referencia y, cuando es decodificado por el dispositivo receptor y se muestra como palabras de un mensaje, por ejemplo “En la escena”.

**MM.**- Gestor de Movilidad.

**MMI.**- Interfaz Hombre-Maquina.

**MS.**- Estaciones móviles, terminales de radio TETRA, entre ellos de mano, móviles y fijos.

**MS-PD.**- Paquetes de Datos Multi-Ranura, Servicios de datos IP que utilizan varias divisiones de tiempo.

## **N**

**NATO.**- Organización del Tratado del Atlántico Norte.

**NMS.**- Gestor de Subsistemas de Red.

**Numero.**- Dígitos decimales marcados por el usuario, representación decimal de interfaz de aire direcciones como ha visto por el usuario, es decir, número visible de usuario.

## **P**

**PABX.**- Conmutador Telefónico Automático Privado.

**PAMR.**- Radio Móvil de Acceso Público.

**PCM.**- Modulación por Codificación de Pulso.

**PCN.**- Red de Comunicaciones Personales.

**PCS.**- Sistema Personales de Comunicación.

**PD.**- Paquetes de Datos (Modo), un modo de transmisión de datos donde los mensaje de datos se dividen en pequeños "pedazos" o paquetes, transmisión de paquete por paquete para el destino final (sin necesidad de conexión dedicada en un punto intermedio, como para los datos en circuito-ida y regreso-), y ensamblarlos de nuevo en orden correcto.

**PDN.**- Red de Datos Pública.

**PDO.**- Optimización de Paquetes de Datos, otra variante de las normas establecidas en TETRA originalmente desarrollado, que no fue considerado por el mercado, debido en gran parte de su ventaja marginal en términos de eficiencia de comunicaciones en los paquetes de datos en comparación con V + D TETRA combinado con una importante desventaja de no ofrecer el servicio de voz

**PEI.**- Interfaz entre Equipo Periférico, interfaz estándar definido en TETRA para la conexión de un terminal de datos a una terminal de radio TETRA.

**PIRE.**- Potencia Isotrópica Radiada Efectiva, Valor relativo a la potencia de la emisión satelital recibida en el suelo; A la vez resulta de la potencia de emisión y de la ganancia de al antena de emisión.

El PIRE se expresa en dBW, a cuanto mayor es este valor más simplificada será la recepción. También podemos calcular el tamaño ideal de las antenas de recepción en función del PIRE y de la localización geográfica de la antena de recepción.

**PMR.**- Radio Móvil Privado.

**Portador.-** Un canal de radio que pudiera ser portador de uno o más canales de comunicación.

**Prioridad.-** Un servicio que, en caso de congestión del sistema ofrece uno o más niveles de "saltar la cola de llamadas", para aquellos usuarios que están permitidos este servicio, en base de que sus necesidades de comunicación o de solicitudes se consideran más importantes. La llamada de máxima prioridad es una llamada de emergencia.

**PSS 1.-** Sistema de Señalización Privado Integrado de No.1

**PSTN.-** Red Telefónica Pública Conmutada.

## Q

**QAM.-** Modulación de Amplitud de Cuadratura, utilizadas en régimen de TETRA lanzamiento 2, para la Mejora de Servicio de Datos (TEDS).

**QoS.-** Calidad de Servicio.

## R

**Radio Portable.-** Termino viejo para un radio de mano.

**Repetidor DM.-** Un dispositivo de radio diseñado para retransmitir cada llamada y, por tanto, aumentar el área de operaciones de terminales en modo directo.

**RF:** Radio Frecuencia

**Roaming.-** Facilidad para ofrecer de una MS un servicio dentro de una red de visita, es decir, no de su propia red de origen.

## S

**SDS.-** Servicio de Datos Cortos, un servicio en las normas TETRA para entregar los mensajes de datos cortos entre terminales de usuario. Un mensaje se compone de un número de caracteres y/o números, hasta un máximo predeterminado.

**Secrafonía.-** Permite encriptación de la señal (de voz) para que sea inteligible a una red externa de comunicaciones.

**SIM.-** Modulo de Identidad de Abonado, un módulo utilizado para almacenar la información de personalización del usuario que puede ser movida de una terminal a otra.

**STANAG.-** Acuerdo de Estandarización (NATO).

**SwMI.-** Conmutador y Administrador de la Infraestructura.

## **T**

**TC.-** Comité Técnico, un cuerpo de ETSI formado para desarrollar estándares como TETRA.

**TDMA.-** Acceso Múltiple por División de Tiempo, Una tecnología para la prestación del servicio de radio digital que trabaja dividiendo una frecuencia de radio en divisiones de tiempo y, asignando, las divisiones para múltiples llamadas. De esta manera, una sola frecuencia puede soportar múltiples, simultáneamente, canales de comunicación.

**TEA 1/2/3/4.-** Algoritmos de Encriptación TETRA 1, 2,3 y 4.

**TEDS TETRA.-** Servicio de Datos Mejorado TETRA.

**Terminal.-** También terminal de radio o un móvil o terminal de radio TETRA una estación móvil (MS) - un equipo de mano, móviles de radio fijos unidad conectada al sistema TETRA a través de interfaz aéreo.

**TETRA MoU Asociación.-** La Asociación TETRA MoU, fundada en 1994 para apoyar la promoción del estándar ETSI TETRA en todo el mundo, ahora conocida como la Asociación TETRA.

**TETRA V+D.-** TETRA Voz + Datos, la suite de TETRA, normas que normalmente se denominan "TETRA".

**TETRA.-** Radio Troncalizado Terrestre, norma ETSI de enlaces digitales para las comunicaciones por radio.

**Tilt.-** Inclinación, de la antena.

**TM.-** Modo Troncal.

**TMN.-** Gestor de Redes de Telecomunicaciones.

**TMO.-** Abreviación para el Modo de Operación Troncal a diferencia de DMO, Modo de Funcionamiento Directo.

**Transceptor.-** Dispositivo que recibe la potencia de un sistema mecánico, electromagnético o acústico y lo transmite a otro, generalmente de forma distinta. En comunicaciones es un transmisor/receptor de señales de radiofrecuencia, sirve para interconectar dispositivo por vía inalámbrica.

**TS.-** Ranura de Tiempo.

## **U**

**UMTS .-** Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

## **V**

**V + D.-** Voz más Datos.

**VoCoder.-** Codificador-Decodificador de Voz.

## **W**

**WAP.-** Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas, protocolo abierto para la entrega de contenido a través de Internet Inalámbrico en un formato condensado.

---

---

# ***BIBLIOGRAFÍA***

---

---

**REFERENCIAS**

**A) LIBROS**

- [1] Alonso Marcelo y J.Finn Edward.  
Física Volumen II  
Campos Y Ondas  
Fondo Cultural Interamericano
- [2] Climent Beneyto, Francisco Schaar, Michel  
Telecomunicaciones Móviles  
Serie Mundo Electrónico  
2ª Edición, Marcombo  
Boixareo Editores, Barcelona  
Artículo “Radiotelefonía Móvil Digital de Grupo Cerrado. Sistema TETRA”
- [3] Elías de los Reyes Davó et al  
Campos Electromagnéticos II  
Universidad Politécnica de Madrid
- [4] ETSI EN 300 392-2 V3.2.1 (2007-09)  
Terrestrial Trunked Radio (TETRA);  
Voice plus Data (V+D);  
Part 2: Air Interface (AI)  
Disponible en [www.etsi.com](http://www.etsi.com)
- [5] ETSI EN 300 119-2 V2.1.1 (2004-09)  
Environmental Engineering (EE)  
European telecommunication standard for equipment practice;  
Part 2: Engineering requirements for racks and cabinets.  
Disponible en [www.etsi.com](http://www.etsi.com)
- [6] Huidoboro Moya, José Manuel  
Comunicaciones Móviles  
Ed Thomson Parainfo
- [7] Ibrahim M.F y Parsons J.D.  
Signal Strength prediction in built-up áreas.  
Part 1, Median signal strength.
- [8] Jhon Dunlop, Demmessie Girma, James Irvine.  
Digital Mobile Communications and the TETRA System.  
Jhon Wiley & Sons

- [9] Johnk, Carl T.A  
Teoría Electromagnética  
Campos Y Ondas  
Ed LIMUSA  
Noriega Editores 1997
- [10] Kraus John D y Fleisch Daniel A.  
Electromagnetismo Con Aplicaciones  
ED McGrawHill  
5ª Edición 1999.
- [11] Parsosn J.D  
The Mobile Radio Propagation  
Pentech Press
- [12] Reitz Milford Christy  
Foundations of Electromagnetic Theory.
- [13] Revista Radio Flash, Imágenes de Syscom.  
Numero 3, Febrero 2008.  
Pag 1.  
Editorial, LA INTEROPERABILIDAD EN LA RADIOCOMUNICACIÓN
- [14] Rohan Paul  
Introduction to Electromagnetic Wave Propagation  
Artech House , Inc
- [15] Vitali. Rydnic  
El ABC de la Mecánica Quántica  
Ediciones de Cultura Popular.
- B) INTERNET**
- [16] Modelos de propagación capítulo 5  
Tesis Licenciatura. Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Departamento de Ingeniería Electrónica, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla.  
Propagación de RF en las bandas: LF, MF, HF, VHF, UHF y VHF.  
Treviño Cortes, Javier Teodoro.  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/trevino\\_c\\_jt/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf)
- [17] Programa de Desarrollo Delegacional de Desarrollo Urbano, PDDU  
[www.seduvi.com](http://www.seduvi.com)



- [18] Productos Kathrein de Scala.  
<http://www.kathrein-scala.com/catalog/>
- [19] Productos TETRA de EADS.  
[http://www.eads.com/1024/es/eads/eads\\_websites/products/pmr/pmr.html](http://www.eads.com/1024/es/eads/eads_websites/products/pmr/pmr.html)
- [20] Productos de Infraestructura, Torres de TRYLON.  
<http://www.trylon.com/lightdutytowers/supertitantowers.asp>
- [21] Sistema de Información Geográfica.  
<http://www.gis.com/>
- [22] Telecomunicaciones Inalámbricas.  
Universidad Tecnica Federico Santa María, 18 Agosto 2003.  
[www.elo.utfsm.cl/~elo346/](http://www.elo.utfsm.cl/~elo346/)
- [23] Telecommunications industry association, TIA  
<http://www.tiaonline.org/index.cfm>
- [24] TETRA Association.  
<http://www.tetra-association.com/>
- [25] The European Telecommunications Standards Institute.  
<http://www.etsi.com/>
- [26] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)