

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“EVALUACION DE LAS RADIACIONES NO
IONIZANTES DE ESTACIONES
TRANSMISORAS DE TV DIGITAL UBICADAS
EN LA CIUDAD DE LIMA”**



TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Presentado por:

ELVIS ELTON NAVARRO CORONADO

LIMA – PERÚ

AÑO: 2013

DEDICATORIA *A nuestro todopoderoso Dios, que me dio la bendición y fuerza de realizar este trabajo. A mis padres, por la semilla de superación que sembraron en mí. A mi esposa, por su apoyo y estímulo. A mi hijo, quien es la mayor recompensa y premio en la vida.*

Contenido

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	13
1.1 ANTECEDENTES.....	13
1.2 OBJETIVO	13
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3 MARCO TEÓRICO GENERAL	14
1.3.1 RADIACIÓN NO IONIZANTE	15
1.3.2 RADIACIÓN IONIZANTE.....	15
CAPÍTULO II. CONCEPTOS TEÓRICOS DE RADIACIONES NO IONIZANTES	16
2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	16
2.1.1 Campo Eléctrico	16
2.1.2 Campo Magnético	17
2.1.3 Ondas y Radiación.....	17
2.1.4 Campos Cercanos (Región de Fresnel).....	21
2.1.5 Campos lejanos (Región de Fraunhofer)	23
2.1.6 Interacción de los campos electromagnéticos de televisión digital con el tejido biológico	25
2.2 Recomendaciones ICNIRP para limitar los campos electromagnéticos	27
2.2.1 Restricciones Básicas	28
2.2.2 Niveles de Referencia.....	32
2.3 NORMAS FCC.....	40
2.3.1 Recomendaciones Básicas	40
2.3.2 Niveles de Referencia.....	40
2.4 UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT).....	43
2.4.1 Recomendación K.52.....	43
2.4.2 Determinación de la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones: (UIT-T, 2000).....	44
2.4.3 Procedimientos de evaluación de la exposición al CEM (UIT-T, 2000)....	44
2.4.4 Procedimiento de evaluación del nivel de exposición (UIT-T, 2000).....	45

CAPÍTULO III. CONCEPTOS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	56
3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES SEGÚN EL MEDIO DE PROPAGACIÓN	56
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA	59
3.3 PATRÓN DE RADIACIÓN HORIZONTAL DE UNA ANTENA (Cruz V., 1986)	63
3.4 PATRÓN DE RADIACIÓN VERTICAL DE UNA ANTENA (Cruz V., 1986)	65
3.5 PREDICCIÓN DE LA POTENCIA RADIADA EFECTIVA (ERP) (Cruz V., 1986)	68
3.6 INTRODUCCIÓN AL VIDEO DIGITAL.....	70
3.7 TELEVISIÓN DIGITAL (Asociación de Radio y Televisión Digital, 2007)..	70
3.7.1 Características de la Televisión digital:	71
3.7.2 Niveles de Calidad: (DTV, 2009 a,b,c)	71
3.8 COMPRESIÓN DE SEÑALES (MPEG-2):	72
3.9 MODULACIÓN COFDM:.....	73
3.10 ESTANDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL:.....	74
3.10.1 DVB-T:	74
3.10.2 ISDB-T:.....	76
3.11 Sistema Típico de antenas de TV Digital	79
CAPÍTULO IV. CÁLCULOS DE INGENIERÍA.....	83
4.1 CÁLCULOS TEÓRICOS:	83
4.1.1 DEFINICIÓN DE LA PIRE DE LOS SISTEMAS DE TV DIGITAL - ISDB – Tb.....	83
4.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS REGIONES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO	84
4.1.3 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TEÓRICOS	89
4.2 MEDICIONES REALIZADAS	115
4.2.1 OBJETIVO.....	115
4.2.2 DIRECTRICES GENERALES PARA LA MEDICIÓN	116
4.2.3 INSTRUMENTAL UTILIZADO	117
4.2.4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	118

4.2.5 RESULTADOS OBTENIDOS	119
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
5.1 CONCLUSIONES:	125
5.2 RECOMENDACIONES:	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1	Onda Electromagnética y sus características	20
Figura 2-2	Distribución del Espectro Radioeléctrico	22
Figura 2-3	Niveles de Referencia ICNIRP para Campo Eléctrico	38
Figura 2-4	Niveles de Referencia ICNIRP para Campo Magnético	39
Figura 2-5	Límites FCC para exposición máxima permisible	47
Figura 2-6	Ilustración figurada de las zonas de exposición	51
Figura 2-7	Gráfica del comportamiento de una onda reflejada	57
Figura 2-8	Categoría de accesibilidad 1	59
Figura 2-9	Categoría de accesibilidad 2	60
Figura 2-10	Categoría de accesibilidad 3	60
Figura 2-11	Categoría de accesibilidad 4	60
Figura 2-12	Categoría de accesibilidad 5	61
Figura 3-1	Estructura de una torre de Transmisión de Tv analógica	70
Figura 3-2	Antenas superpuestas verticalmente	74
Figura 3-3	Composición Vectorial de la Radiación de Campo Resultante	75
Figura 3-4	Patrón de Radiación Resultante	76
Figura 3-5	Transmisión de COFDM	84
Figura 3-6	Sistema DVB-T	85
Figura 3-7	Sistema de codificación de canal de DVB-T	87
Figura 3-8	Diagrama General de ISDB-T	88
Figura 3-9	Sistema de Codificación de canal y jerarquización	89
Figura 3-10	Forma y estructura de disposición de antenas	90
Figura 3-11	Patrón de Radiación Horizontal de la antena de estudio	92
Figura 3-12	Patrón de Radiación Vertical de la antena de estudio	93
Figura 4-1	Medidor Isotrópico marca NARDA modelo 8716 Electromagnetic Monitor	117
Figura 4-2	GPS marca GARMIN, modelo ETREXH	118
Figura 4-3	Vistas de la Torre y Antenas	123

Figura 4-4	Fotos del proceso de medición	123
Figura 4-5	Plano de ubicación de la estación medida	124

Tabla 2-1	Restricciones Básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz para exposición ocupacional/controlada	37
Tabla 2-2	Restricciones Básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para público general no controlada	37
Tabla 2-3	Restricciones básicas para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz	37
Tabla 2-4	Niveles de Referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos	40
Tabla 2-5	Niveles de Referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos	41
Tabla 2-6	Niveles de Referencia de contacto a corrientes provenientes de objetos conductores	42
Tabla 2-7	Niveles de Referencia para corrientes inducidas en cualquier extremidad a frecuencias entre 10 y 110 MHz	42
Tabla 2-8	Niveles de Referencia FCC para EMP ocupacional/controlada a CEM en el rango de frecuencias de 0.3 MHz a 100 MHz	47
Tabla 2-9	Niveles de Referencia FCC para EMP poblacional/no controlada a CEM en el rango de frecuencias de 0.3 MHz a 100 MHz	47
Tabla 2-10	Límites FCC para exposición localizada (partes del cuerpo) en el rango de frecuencias de 0.1 MHz a 6 MHz	48
Tabla 2-11	Categorías de accesibilidad	59
Tabla 2-12	Categorías de directividad	62
Tabla 2-13	Cobertura Horizontal	63
Tabla 3-1	Usos del Espectro Radioeléctrico	66
Tabla 3-2	Tabla de Datos de Antena de Estudio para el presente proyecto	91
Tabla 4-1	Cálculo del límite entre campo reactivo y campo cercano radiante	97

Tabla 4-2	Cálculo del límite entre campo cercano radiante y campo lejano	97
Tabla 4-3	Cálculo de la densidad de potencia en el campo cercano reactivo	98
Tabla 4-4	Cálculo de la densidad de potencia en el campo cercano radiante	99
Tabla 4-5	Cálculo de la densidad de potencia en el campo lejano	100
Tabla 4-6	Cálculo de la intensidad de campo eléctrico en el campo lejano	100
Tabla 4-7	Cálculo de la intensidad de campo magnético en el campo lejano	100
Tabla 4-8	Límites máximos permisibles según D.S. 038-2003-MTC	101
Tabla 4-9	Resultados para la densidad de potencia poblacional	101
Tabla 4-10	Resultados para el campo eléctrico poblacional	102
Tabla 4-11	Resultados para el campo magnético poblacional	102
Tabla 4-12	Resultados para la densidad de potencia ocupacional	103
Tabla 4-13	Resultados para el campo eléctrico ocupacional	103
Tabla 4-14	Resultados para el campo magnético ocupacional	103
Tabla 4-15	Análisis Azimut vs Pire	105
Tabla 4-16	Resultados de las mediciones realizadas	120

INTRODUCCIÓN

La televisión digital no es nueva, lleva años entre nosotros, es un sistema de transmisión que permite comprimir la información televisiva. El estándar de compresión masificado es el MPEG2 y se usa en la transmisión satelital como VIA DIGITAL, DIRECTV o SKY entre otros; además, lo emplean los estándares de televisión digital terrestre como el ATSC, DVB-T, ISDB-T. Sin embargo, el estándar de televisión digital terrestre brasileño (una variante del ISDB-T japonés) emplea compresión de video MPEG-4 ó H.264 con tasas de compresión bastante más agresivas que el MPEG-2.

En la actualidad la tecnología de compresión ha evolucionado sobre nuevos estándares, uno de los más populares es el MPEG-4 lo cual no significa que sea el último sino que permite enviar la señal con mayor compresión que el MPEG-2. Es por ello que la frontera de transmisión se ha roto pues los canales de televisión pueden enviarse masivamente por Internet o incorporarse a través de la Televisión digital en forma masiva, incorporamos así el término masivo porque mientras se especula de la cantidad de licencias a otorgar para la televisión digital, lo cierto es que la posibilidad tecnológica permite incorporación de canales en forma masiva, ya que no solo se va transmitir televisión bajo los estándares MPEG-2 y MPEG-4, como es el caso de la televisión digital terrestre, sino que se puede hablar de televisión digital interactiva sea ésta abierta, por cable, codificada o no codificada, o por Internet.

Durante los últimos treinta años la densidad electromagnética del ambiente se ha multiplicado, generando un nuevo tipo de polución, intangible e inmaterial, que algunos autores han dado en llamar "contaminación electromagnética". Estas radiaciones electromagnéticas se dividen en dos tipos: La Radiaciones Ionizantes (RI) y la Radiaciones No Ionizantes (RNI).

A pesar de que durante las últimas décadas se han realizado numerosos estudios e investigaciones en todo el mundo, los efectos provocados por las Radiaciones No Ionizantes (RNI), se encuentran todavía en el campo de la discusión científica, en la que algunos denuncian riesgos y efectos en el ser humano y otros los contradicen definitivamente, quedando en duda aún cuál es la dimensión real del fenómeno y el verdadero alcance de los efectos de este tipo de radiación en el ser humano.

La Organización Mundial de la Salud se ha expresado con respecto a este tema, estableciendo límites de exposición ocupacional para los trabajadores y el límite para el público en general, que son aceptados internacionalmente y que aportan cierta tranquilidad a aquellos que están tan preocupados por el tema.

Por otro lado el ICNIRP (International Commission Non-Ionizing Radiation Protection), tiene entre sus principales funciones las de investigar los riesgos asociados a las RNI, el desarrollo de normas y pautas internacionales de protección y en general tienen el propósito de avanzar en el campo de la protección contra las RNI para beneficio de la población y el medio ambiente.

En este trabajo se presenta el marco normativo que regula la toma de medidas de exposición radioeléctrica en nuestro país, y como se pueden llevar a la práctica dichas medidas.

Su importancia radica, en que se pretende dar un enfoque de campaña en bien del avance de la ciencia como desarrollo de un país y asimismo campaña de información a la población temerosa de la instalación de una antena de televisión digital, muy cerca de su entorno físico.

En tal sentido, el presente trabajo de investigación busca determinar los valores de las Radiaciones no Ionizantes, que emiten las antenas de televisión digital instaladas

en la ciudad de Lima, y demostrar que estos valores no sobrepasan los límites permitidos por organismos internacionales.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 ANTECEDENTES

El crecimiento de la TELEVISIÓN DIGITAL en el mundo, significa un nuevo desafío para el estudio de las Radiaciones No Ionizantes. La TELEVISIÓN DIGITAL es un medio masivo de comunicación, cuyos transmisores también generan radiaciones no ionizantes de campos electromagnéticos pudiendo en el futuro cercano generar preocupación en la población que observa cada día cómo se instalan nuevas estaciones de transmisión de telecomunicaciones, y consecuentemente la instalación de numerosas antenas que irradian campos electromagnéticos, los cuales podrían afectar su salud en el corto plazo.

La preocupación de la población mayormente es referida a la consecuencia de la exposición a los campos electromagnéticos generados por las antenas instaladas, la cual derivaría en la generación de cáncer en el ser humano, así como también a la reglamentación existente para protección de la comunidad.

La frecuencia de la radiación no ionizante determinará en gran medida el efecto sobre la materia o tejido irradiado; por ejemplo, las microondas portan frecuencias próximas a los estados vibracionales de las moléculas del agua, grasa o azúcar, al 'acoplarse' con las microondas se calientan. La región infrarroja también excita modos vibracionales; esta parte del espectro corresponde a la llamada radiación térmica. Por último la región visible del espectro por su frecuencia es capaz de excitar electrones, sin llegar a arrancarlos.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las radiaciones no ionizantes emitidas por las antenas de las estaciones que emiten señal de televisión digital en la ciudad de Lima, instaladas en el cerro

Marcavilca, distrito de Chorrillos, a través del análisis teórico y las pruebas de campo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar cálculos teóricos de radiación no ionizante emitida por las antenas de las estaciones televisoras, instaladas en el cerro Marcavilca, que están emitiendo señales de televisión digital en la ciudad de Lima.
- Realizar mediciones de radiación no ionizante emitida por las antenas de las estaciones televisoras, instaladas en el cerro Marcavilca, que están emitiendo señales de televisión digital en la ciudad de Lima.
- Verificar si los valores de las radiaciones emitidas por las antenas de las estaciones televisoras, instaladas en el cerro Marcavilca, no exceden los valores establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Analizar, en base a la información teórica, los efectos a la salud de la población, de los niveles de radiación no ionizante, que producen las antenas de las estaciones de televisión digital, instaladas en el cerro Marcavilca.

1.3 MARCO TEÓRICO GENERAL

LA RADIACIÓN: Es el proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio. Las ondas y las partículas tienen muchas características comunes, por lo cual la radiación suele producirse predominantemente en una de las dos formas.

- La radiación mecánica corresponde a ondas que sólo se transmiten a través de la materia, como las ondas de sonido.
- La radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influenciados por la presencia de materia. A su vez la Radiación Electromagnética se divide en dos grandes tipos, de acuerdo al tipo de cambios

que provocan sobre los átomos en los que actúa: radiación no Ionizante y radiación Ionizante

1.3.1 RADIACIÓN NO IONIZANTE

Son aquellas que no son capaces de producir iones al interactuar con los átomos de un material. Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Los campos electromagnéticos:** se pueden distinguir aquellos generados por las líneas de corriente eléctrica o por campos eléctricos estáticos. Otros ejemplos son las ondas de radiofrecuencia, utilizadas por las emisoras de radio, y las microondas utilizadas en electrodomésticos y en el área de las telecomunicaciones (**Cruz V., 2006**).
- **Las radiaciones ópticas:** se pueden mencionar los rayos láser y la radiación solar, como son los rayos infrarrojos, la luz visible y la radiación ultravioleta. Estas radiaciones pueden provocar calor y ciertos efectos fotoquímicos al actuar sobre el cuerpo humano. (**Cruz V., 2006**).

1.3.2 RADIACIÓN IONIZANTE

Son radiaciones con energía necesaria para arrancar electrones de los átomos. Cuando un átomo queda con un exceso de carga eléctrica, ya sea positiva o negativa, se dice que se ha convertido en un ión (positivo o negativo). Entonces son radiaciones ionizantes los rayos X, las radiaciones alfa, beta y gamma. Las radiaciones ionizantes pueden provocar reacciones y cambios químicos con el material con el cual interactúan. Por ejemplo, son capaces de romper los enlaces químicos de las moléculas o generar cambios genéticos en células reproductoras (**Cruz V., 2006**).

CAPÍTULO II. CONCEPTOS TEÓRICOS DE RADIACIONES NO IONIZANTES

2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

2.1.1 Campo Eléctrico

El campo eléctrico \mathbf{E} , es una cantidad vectorial que se debe especificar en magnitud y dirección. Un sistema de cargas eléctricas produce un campo eléctrico en todos los puntos del espacio y cualquier otra carga colocada en el campo experimentará una fuerza debido a dicho campo; pero también podría haber un efecto de la carga sobre el campo pudiendo distorsionarlo si la carga es lo suficientemente grande. La fuerza \mathbf{F} , ejercida sobre un punto de un cuerpo infinitamente pequeño conteniendo una carga q positiva colocada en un campo eléctrico \mathbf{E} está dado por:

$$\mathbf{F} = q \times \mathbf{E} \quad (2.1)$$

Sin embargo, la intensidad de campo eléctrico puede expresarse también en términos del potencial eléctrico V que con frecuencia es más fácil y más útil medir, debido a que es mucho menos dependiente de la geometría física de un sistema dado.

La diferencia de potencial V entre dos puntos, en un campo eléctrico \mathbf{E} , está definido por $V = W/q$, donde W es el trabajo realizado por el campo para causar el movimiento de una carga q entre dos puntos. El trabajo realizado es $W = Fd$, donde d es la separación entre dos puntos; lo que utilizando la ecuación anterior da $W = qEd$. De $V = W/q$, se deduce que:

$$\mathbf{E} = \frac{V}{d} \quad (2.2)$$

La unidad utilizada para la intensidad de campo eléctrico es el voltio por metro (Vm^{-1}). (Cruz V., 2006)

2.1.2 Campo Magnético

Los campos magnéticos también son producidos por cargas eléctricas, pero sólo cuando estas cargas están en movimiento. Los campos magnéticos a su vez ejercen fuerzas sobre otras cargas, sólo cuando están en movimiento. Las cantidades vectoriales fundamentales que describen un campo magnético son la intensidad de campo magnético \mathbf{H} y la densidad de flujo magnético \mathbf{B} (también llamada inducción magnética).

La magnitud de la fuerza \mathbf{F} , que actúa sobre una carga eléctrica \mathbf{q} en movimiento, con una velocidad \mathbf{v} , en dirección perpendicular a un campo magnético de densidad de flujo \mathbf{B} , está dada por:

$$\mathbf{F} = \mathbf{q} \times \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.3)$$

Donde, la dirección de \mathbf{F} , \mathbf{v} y \mathbf{B} son mutuamente perpendiculares. En el caso de que la dirección de \mathbf{v} fuera paralela a \mathbf{B} , \mathbf{F} sería cero, lo que significa que un campo magnético no realiza un trabajo físico, porque la fuerza de Lorentz, generada por su interacción con una carga en movimiento, es siempre perpendicular a la dirección del movimiento. Las unidades básicas de la densidad de flujo magnético, son derivadas a partir de la ecuación anterior, dando como resultado para el sistema MKS el Newton segundo por Coulomb metro [$\text{N s C}^{-1} \text{m}^{-1}$], que de acuerdo al SI es el tesla (T) y la unidad CGS es el Gauss que equivale a 10^{-4} T.

Los campos magnéticos, tal como se puede ver de la ecuación anterior, ejercen fuerzas sobre las partículas cargadas en movimiento, induciéndose cargas en los materiales eléctricamente conductivos, como es el caso de los tejidos vivos, lo que dará origen al flujo de una corriente eléctrica. (Cruz V., 2006)

2.1.3 Ondas y Radiación

Las ecuaciones de Maxwell, son el fundamento de la teoría clásica de los campos electromagnéticos. Estas ecuaciones, son la base de la teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, en el aire, en el agua, en la tierra, en las

líneas de transmisión y en guías de ondas; y explican el funcionamiento de las antenas.

Las ideas básicas de la propagación de onda, están ilustradas en la siguiente figura.

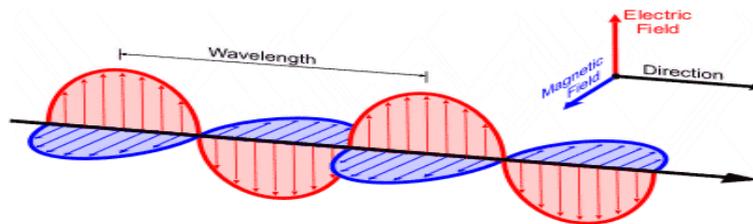


Fig. 2.1 Onda electromagnética y sus principales características físicas

Fuente: Cruz V., 2006

La distancia entre las crestas o entre los valles de una onda sinusoidal, está definida como la longitud de onda. La longitud de onda y la frecuencia (número de ondas que pasan a través de un punto dado en una unidad de tiempo), están relacionadas inversamente y determinan las características de la radiación electromagnética. La longitud de onda y la velocidad de propagación están relacionadas directamente y a excepción de la frecuencia dependen de las características eléctricas del medio en que la onda se propaga.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.4)$$

Donde, λ es la longitud de onda, f es la frecuencia y v es la velocidad de propagación, que es igual a la velocidad de la luz; además, la velocidad de la luz en el vacío o en el aire es $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

Comúnmente se utilizan dos modelos aproximados de la propagación de las ondas: el modelo de onda esférica y el modelo de onda plana. (Cruz V., 2006)

La radiación electromagnética, se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencia muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta

frecuencias muy bajas (longitudes de onda muy altas), cuyo espectro electromagnético presenta diversos usos, tal como se describe en la Figura 2.2.

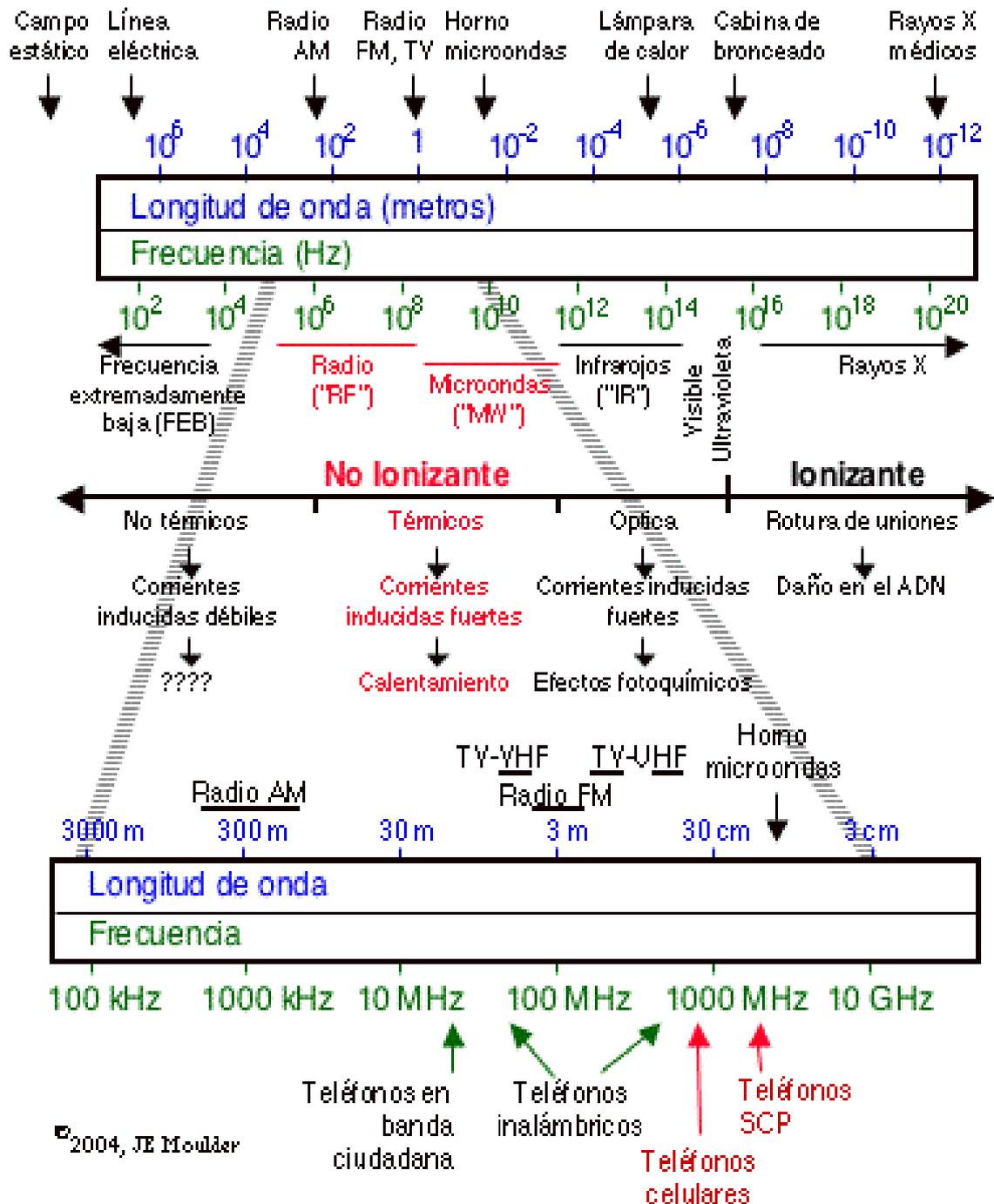


Fig. 2.2 Distribución del Espectro Radioeléctrico

Fuente. Moulder Jhon E., Antenas de Telefonía y Salud

Una onda esférica, es una buena aproximación a algunas ondas electromagnéticas que ocurren. Sus frentes de onda tienen superficies esféricas y cada cresta y depresión tiene una superficie esférica. En cada superficie esférica, los campos **E** y **H** son constantes. Los frentes de ondas se propagan radialmente hacia fuera de la fuente, y **E** y **H** son ambos tangenciales a las superficies esféricas. Este modelo de propagación es utilizado básicamente para distancias medias con respecto a la longitud de onda de la fuente.

Las características de una onda esférica son:

- a) **E**, **H**, y la dirección de propagación **k** son mutuamente perpendiculares.
- b) El cociente $\eta = \mathbf{E}/\mathbf{H}$ es constante y es llamado impedancia de la onda y se mide en unidades de resistencia eléctrica en ohmios. Para el espacio libre $\eta_0 = E/H = 377 \Omega$. Para otros medios y para campos sinusoidales en estado estacionario, la impedancia de onda incluye pérdidas en el medio en el cual la onda se desplaza.
- c) Tanto **E** y **H** se atenúan en forma proporcional a $1/r$, donde r es la distancia de la fuente (**Cruz V., 2006**)

Una onda plana, es otro modelo que aproximadamente representa algunas ondas electromagnéticas. Las ondas planas tienen características similares a las ondas esféricas, porque en los puntos distantes de la fuente la curvatura de los frentes de ondas esféricas es tan pequeña, que parece ser casi plana.

El modelo de la propagación de onda plana, en tejidos biológicos de capas planas, es aplicable cuando el radio de curvatura de la superficie del tejido es grande, en

comparación con la longitud de onda. Este modelo es utilizado para distancias grandes respecto de la longitud de onda.

Las características a) y b) de la onda esférica se mantienen en el modelo de onda plana, es decir, **E** y **H** son constantes sobre cualquier frente de onda perpendicular a **k** y la atenuación a grandes distancias es más lenta.

En la propagación de onda plana de los campos de las ondas de televisión digital (campo lejano), la potencia que cruza una unidad de área normal a la dirección de propagación es usualmente designada por el símbolo **S**. cuando las intensidades del campo eléctrico y magnético se expresan en Vm^{-1} y Am^{-1} , **S** representa sus productos, el cual resulta VAm^{-2} , es decir, Wm^{-2} (vatios por metro cuadrado).

Como la densidad de potencia **S**, corresponde también al cociente de potencia radiada total, y el área de la superficie esférica que encierra a la fuente, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente, ésta puede ser expresada como:

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.5)$$

Donde, **P** es el total de potencia radiada y **r** es la distancia de la fuente.

En el caso de las ondas planas, se cumple que:

$$S = \frac{E^2}{377} \quad (2.6)$$

$$S = 377 \times H^2 \quad (2.7)$$

Por consiguiente, para la mayoría de mediciones y cálculos de los campos de la televisión digital, sólo se necesita el campo **E** o el campo **H**. (Cruz V., 2006)

2.1.4 Campos Cercanos (Región de Fresnel)

En regiones cercanas a las fuentes, los campos son llamados campos cercanos. En los campos cercanos, los campos **E** y **H** no son necesariamente perpendiculares y están

desacoplados, de hecho, no siempre son caracterizados convenientemente por las ondas. Con frecuencia, son de naturaleza menos propagante, y por consiguiente, son llamados campos de borde (periféricos), campos de inducción, campos cercanos reactivos, o modos evanescentes.

Los campos cercanos, con frecuencia varían rápidamente en el espacio y la evaluación de su propagación es complicada, ya que los máximos y mínimos de los campos **E** y **H**, no ocurren en los mismos puntos a lo largo de la dirección de propagación. En la región de campo cercano del haz principal, la densidad de potencia puede alcanzar un máximo antes de que comience a decrecer con la distancia y la estructura del campo electromagnético puede ser altamente no homogénea y habrá variaciones substanciales de la impedancia de onda plana de 377 ohmios y podría haber campos eléctricos puros en algunas regiones y campos magnéticos puros en otras.

Las exposiciones en el campo cercano son más difíciles de especificar porque se deben medir separadamente el campo eléctrico y el campo magnético y porque los patrones de los campos son mucho más complicados; en esta situación la densidad de potencia ya no es una cantidad apropiada para expresar las restricciones a la exposición.

Las expresiones matemáticas para campos cercanos generalmente contienen términos en $1/r$, $1/r^2$, $1/r^3$ y otros de orden superior, donde r es la distancia de la fuente al punto en el cual el campo es determinado. Los objetos localizados cerca de las fuentes podrían afectar fuertemente la naturaleza de los campos cercanos, p. ej. ubicar una sonda cerca de una fuente para medir los campos podría cambiar la naturaleza de los campos considerablemente. **(Cruz V., 2006)**

2.1.4.1 Campo cercano reactivo

Es el espacio que rodea a la antena y donde predomina el campo reactivo.

Se asume que esta región normalmente se extiende hasta una longitud de onda de la fuente.

$$R_{\text{rnf}} = \lambda \quad (2.8)$$

2.1.4.2 Campo cercano reactivo radiante

Es una región de tránsito en la cual el campo radiante toma valores importantes respecto del campo reactivo, se extiende hasta algunas longitudes de la fuente.

$$R_{\text{rnf}} = \frac{L^2}{4\lambda} \quad (2.9)$$

2.1.4.3 Campo cercano radiante

Es la región situada entre el campo cercano reactivo y la región de campo lejano donde predomina el campo de radiación. Aunque la radiación no se propaga como una onda plana, las componentes eléctricas y magnéticas pueden considerarse localmente normales. Esta región existe únicamente si L es grande en comparación con λ . A nivel local tiene las mismas características que los campos lejanos. **(Cruz V., 2006)**

2.1.5 Campos lejanos (Región de Fraunhofer)

A grandes distancias de la fuente, la contribución de los términos $1/r^2$, $1/r^3$ y de orden mayor son despreciables comparados con la correspondiente al término $1/r$ en relación a la magnitud del campo. Lo que implica una diferencia importante respecto de los campos cercanos, por lo que los campos son llamados campos lejanos. Estos campos son aproximadamente ondas esféricas que pueden a su vez ser aproximados en una región limitada de espacio por ondas planas. Usualmente es más fácil realizar mediciones en campos lejanos que en campos cercanos y los cálculos para la absorción de campo lejano son mucho más fáciles que para la absorción de campo cercano. **(Cruz V., 2006)**

En la región de campo lejano:

- Los vectores **E** y **H** y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares.

- La fase de los campos **E** y **H** son las mismas, y el cociente de las amplitudes E/H es constante a través del espacio. En espacio libre, la relación $Z_0 = E/H = 377$ ohmios, y es conocida como impedancia característica del espacio libre.
- La densidad de potencia de la onda en el eje de propagación, es decir la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, está relacionada a los campos eléctricos y magnéticos por la expresión.

$$S = E \times H = \frac{E^2}{377} = H^2 \times 377 \quad (2.10)$$

El límite entre las regiones de campo cercano y campo lejano con frecuencia se toma como:

$$R_{ff} = \frac{2L^2}{\lambda} \quad (2.11)$$

Donde, R_{nrf} es el límite de la región de campo cercano reactivo, R_{mf} es la distancia desde el campo cercano reactivo hasta el inicio del campo cercano reactivo radiante, R_{ff} es la distancia al inicio de la región de campo lejano, r es la distancia de la fuente, L es la dimensión más larga de la antena fuente y λ es la longitud de onda de los campos.

El límite entre el campo cercano y las regiones de campo lejano no está muy definido porque la atenuación de los términos de órdenes mayores a $1/r$ es gradual conforma la distancia a la fuente aumenta.

La exposición poblacional a los campos electromagnéticos producidos por las estaciones de la televisión digital generalmente corresponde a regiones de campo lejano, en donde los campos eléctricos y magnéticos están fuertemente acoplados y basta con medir en la mayoría de los casos el campo eléctrico; mientras que la exposición laboral puede ser tanto en campo cercano como en campo lejano.

La exposición poblacional y laboral producida por la televisión digital es en campo cercano. (Cruz V., 2006)

2.1.6 Interacción de los campos electromagnéticos de televisión digital con el tejido biológico

La interacción de los campos de la televisión digital con la materia puede ser descrita en términos de sus propiedades eléctricas, las cuales se reflejan a nivel molecular o celular. (Cruz V., 2006)

La energía necesaria para aumentar la temperatura de un cuerpo se puede expresar como:

$$Q = \Delta T C_e m \quad (2.12)$$

Siendo Q la energía necesaria para aumentar en ΔT la temperatura de un cuerpo de masa m y calor específico C_e .

La velocidad con que aumenta la temperatura será:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t m C_e} \quad (2.13)$$

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{m C_e \Delta T}{\Delta T} \quad (2.14)$$

Donde, $Q / \Delta t$ será la potencia calorífica necesaria, para generar la diferencia de temperatura T.

La tasa de absorción específica (SAR) viene a ser la potencia calorífica por unidad de masa y sus unidades son Wkg^{-1} , donde “específica” se refiere a la masa normalizada, “absorción” a la absorción de energía y “tasa” a la relación entre el cambio de energía debido a la absorción y el lapso necesario para completarlo.

$$SAR = \frac{C_e \Delta T}{\Delta t} \quad (2.15)$$

Debido a la diferente composición de los tejidos que forman parte del organismo C_e no es constante.

Un cálculo directo del aumento de la temperatura esperado ΔT en °K en el tejido expuesto a campos de RF para un tiempo (Δt segundos) puede hacerse de la ecuación:

$$\Delta T = (\text{SAR}) \frac{\Delta t}{C_e} \quad (2.16)$$

El SAR es una unidad dosimétrica importante porque nos da una medida de la absorción de energía que puede manifestarse en calor y porque nos da una medida de los campos internos que podrían afectar el sistema biológico en otras formas diferentes al efecto térmico. **(Cruz V., 2006)**

2.1.6.1 Efectos no térmicos

Los niveles de energía a las frecuencias de la televisión digital son extremadamente pequeños entre 4 a 7 μeV y no son capaces de alterar la estructura molecular o romper enlaces moleculares, y la máxima energía de un quantum a 300 GHz es 1.2 millielectronvoltios (meV).

Entre los posibles efectos no térmicos se han investigado los derivados del movimiento de los iones producto de la acción de los campos eléctricos internos, encontrándose que tanto el desplazamiento como la energía son mucho menores que los provocados por el movimiento térmico, por lo que se puede concluir con seguridad que el movimiento de los iones debido a campos eléctricos por debajo de los niveles térmicos no podrían resultar en efectos biológicos. **(Cruz V., 2006)**

2.1.6.2 Efectos térmicos

Son causados por el incremento de temperatura corporal producido por la absorción de los campos electromagnéticos, variables en el tiempo. La exposición a CEM (Campos Electromagnéticos) de seres humanos en reposo por aproximadamente 30 minutos produciendo un SAR en todo el cuerpo entre 1 y 4 W kg^{-1} resulta en un aumento de la temperatura del cuerpo de menos de 1°C.

En resumen se puede señalar que:

- La exposición a los campos de la televisión digital causa efectos a la salud por encima de 4 W kg^{-1} provocando cambios de comportamiento, reduciendo la resistencia debido al calor.
- Los órganos más sensibles al calor son los que tienen menor irrigación es decir los ojos y las gónadas.
- El efecto térmico es la base para los estándares internacionales y no hay ningún efecto establecido por debajo de estos límites. **(Cruz V., 2006)**

2.1.6.3 Termorregulación

La termorregulación es el conjunto de respuestas fisiológicas que mantienen una temperatura interna constante del cuerpo.

La energía de la radiación electromagnética de televisión digital puede provocar exposición de cuerpo entero o localizada; en ambos casos, es absorbida, convertida en calor y depositada en los tejidos del cuerpo.

El calor en el cuerpo, es producido a través de los procesos metabólicos y podría también ser generado por la absorción de la radiofrecuencia de la televisión digital. Es decir, la absorción de las ondas de la televisión digital actuará como un componente adicional al calor producido por el metabolismo y en la medida en que el efecto de la radiación no produzca un incremento de temperatura mayor a 1°C , no habrá ningún efecto en la salud. **(Cruz V., 2006)**

2.2 Recomendaciones ICNIRP para limitar los campos electromagnéticos

Las Recomendaciones ICNIRP son las de mayor aceptación en el mundo para la limitación de las radiaciones no ionizantes de los campos electromagnéticos, siendo la base de los estándares de muchos países y de instituciones como la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Las recomendaciones ICNIRP fundamentales están constituidas por restricciones básicas que son los límites sobre ciertos parámetros físicos cuyo cumplimiento asegura que no haya efectos sobre la salud, pero son bastante difíciles de medir, especialmente en el campo, por lo que es necesario relacionarlas con parámetros que sean más fáciles de medir, conocidos como niveles de referencia, que son obtenidos mediante el uso de modelos matemáticos y extrapolación de resultados de investigaciones de laboratorio a frecuencias específicas. **(Cruz V., 2006)**

2.2.1 Restricciones Básicas

2.2.1.1 Frecuencias entre 1Hz y 10MHZ

En este rango las restricciones básicas están dadas en términos de densidad de corriente (J) en mA/m².

En las tablas 2.1 y 2.2 se indica las restricciones para la cabeza y el tronco, pero debido a que el cuerpo humano no es eléctricamente homogéneo, la densidad de la corriente debe ser promediada en una sección transversal de 1 cm², perpendicular a la dirección de la corriente.

Para frecuencias hasta 100 KHz, la densidad de corriente pico puede obtenerse multiplicando el valor rms (de las tablas 2.1 y 2.2) por $\sqrt{2}$.

Para el caso de transmisión no continua con tiempos de transmisión t_p , la frecuencia equivalente a aplicarse en las restricciones de las tablas 2.1 y 2.2 será calculado según $f = 1 / (2t_p)$. **(Cruz V., 2006)**

2.2.1.2 Frecuencias entre 100 KHz y 10 GHz

Las restricciones básicas, están dadas en tasa de absorción específica (SAR) y en densidad de corriente. El SAR está dado en vatios por kilogramos (W/kg).

En las tablas 2.1 y 2.2 se indican los valores SAR, los cuales deben ser promediados en un periodo de 6 minutos. En el caso de SAR localizado se debe considerar 10g. de masa de tejido contiguo. **(Cruz V., 2006)**

2.2.1.3 Frecuencias entre 10 GHz y 300 GHz

Las restricciones básicas, se dan en relación a la densidad de potencia (S), cuya unidad es el vatio por metro cuadrado (W/m²).

Estas restricciones básicas, son de 50 W/m² para exposición ocupacional y de 10 W/m² para exposición del público en general.

Para lo cual, la densidad de potencia debe ser promediada durante un periodo de $68/f^{1.5}$ para compensar la profundidad de penetración progresiva en forma proporcional al incremento de la frecuencia, y se debe cumplir las siguientes dos condiciones:

- La densidad de potencia promedio sobre 20 cm² debe ser menor que la restricción básica de la tabla 2.3.
- La densidad de potencia promedio sobre 1 cm² debe ser 20 veces menor que la restricción básica de la tabla 2.3.

A continuación se muestran las tablas 2.1, 2.2 y 2.3 en las que se muestran valores mencionados. **(Cruz V., 2006)**

Tabla 2.1: Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz para exposición ocupacional/Controlada

Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para Cabeza y tronco (mA/m ²) (rms)	SAR Promedio en todo el cuerpo (W/Kg)	SAR localizado (cabeza y tronco) ((W/Kg)	SAR localizado (extremidades) (W/Kg)
hasta 1 Hz	40	-	-	-
1 - 4 Hz	40 / f	-	-	-
4Hz - 1 KHz	10	-	-	-
1 - 100 KHz	f / 100	-	-	-
100 KHz - 10 MHz	f / 100	0,4	10	20
10 MHz - 10 GHz	-	0,4	10	20

f = frecuencia en Hz

Fuente: ICNIRP, 1998

Tabla 2.2: Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz para público general/no controlada

Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para Cabeza y tronco (mA/m ²) (rms)	SAR Promedio en todo el cuerpo (W/Kg)	SAR localizado (cabeza y tronco) ((W/Kg)	SAR localizado (extremidades) (W/Kg)
hasta 1 Hz	8	-	-	-
1 - 4 Hz	8/f	-	-	-
4Hz - 1 KHz	2	-	-	-
1 - 100 KHz	f/500	-	-	-
100 KHz - 10 MHz	f/500	0,08	2	4
10 MHz - 10 GHz	-	0,08	2	4

f = frecuencia en Hz

Fuente: ICNIRP, 1998

Tabla 2.3: Restricciones básicas para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz

Tipo de Exposición	Densidad de Potencia (W/m ²)
Exposición ocupacional	50
Exposición a Público en General	10

Fuente: ICNIRP, 1998

2.2.2 Niveles de Referencia

Los niveles de referencia, son obtenidos a partir de las restricciones básicas, mediante el uso de modelos matemáticos y por extrapolación de los resultados de las investigaciones de laboratorio a frecuencias específicas.

Con el propósito de mostrar conformidad con las restricciones básicas, los niveles de referencia, para campos magnéticos y eléctricos, deben ser considerados en forma individual y no aditiva, ya que, para propósitos de protección, las corrientes inducidas por campos eléctricos y magnéticos no son aditivas.

Las figuras 2.3 y 2.4 muestran los niveles de referencia ICNIRP, para los campos eléctrico y magnético, respectivamente.

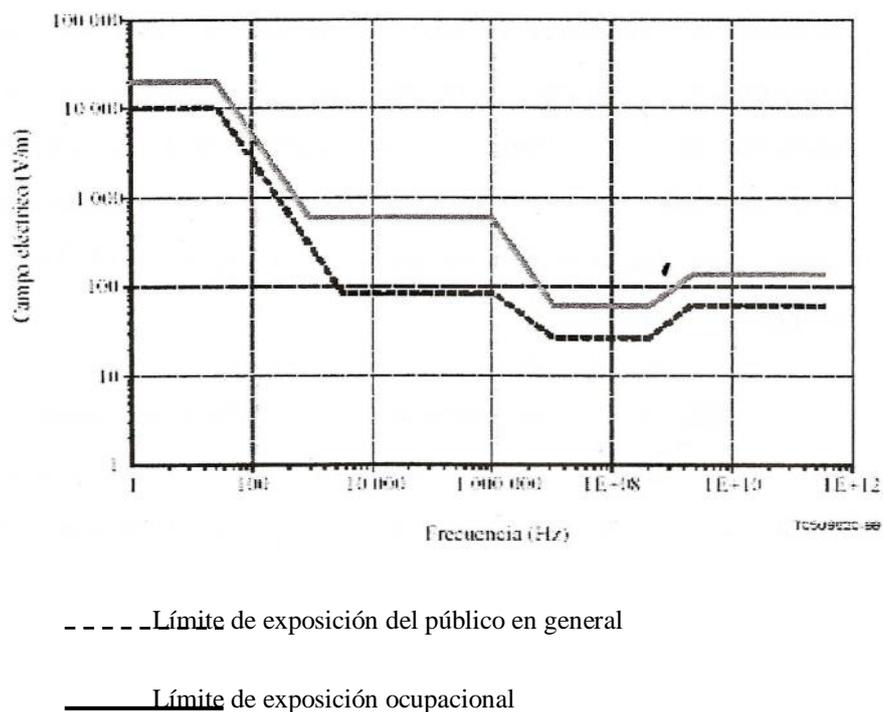


Fig. 2.3 Niveles de Referencia ICNIRP para Campo Eléctrico

Fuente: ICNIRP, 1998.

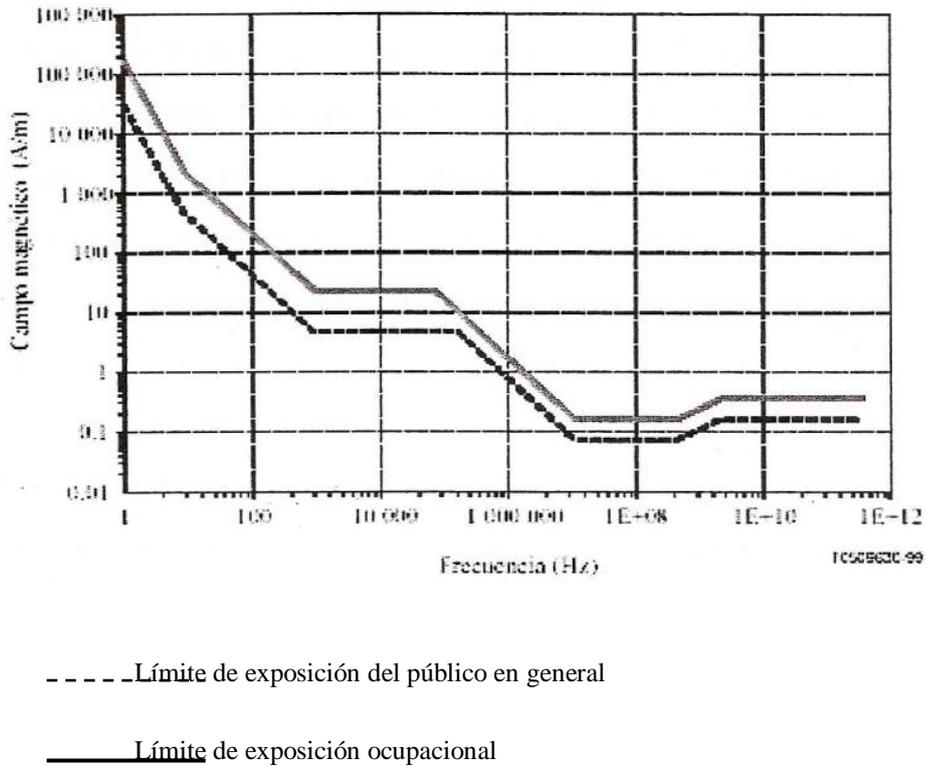


Fig. 2.4 Niveles de Referencia ICNIRP para Campo Magnético

Fuente: ICNIRP, 1998.

Los niveles de referencia, para la exposición del público en general, han sido obtenidos a partir de los niveles de exposición ocupacional mediante el uso de varios factores en todo el rango de frecuencias. Además, los niveles de referencia están dados en términos de intensidad de campo eléctrico (E) e intensidad de campo magnético (H), tanto para exposiciones ocupacionales como para exposición del público en general, indicadas en las tablas 2.4 y 2.5.

Asimismo, se considera un tiempo de exposición promedio, el cual viene a ser el período de tiempo en el que se promedia la exposición a S , $|E|^2$ o $|H|^2$, con la finalidad de determinar conformidad con los límites de exposición; vale decir, que durante este período de tiempo el promedio de exposición no debe exceder los

limites, a pesar de que en un determinado instante los límites son excedidos. (Cruz V., 2006)

Cumpléndose que:

$$\sum S_{\text{EXP}} t_{\text{EXP}} = \sum S_{\text{LÍMITE}} t_{\text{EXP.PROM}} \quad (2.17)$$

Para frecuencias mayores a 100 KHz, los niveles de referencia pueden ser excedidos en intensidades de campo eléctrico picos; siempre y cuando, el promedio de las intensidades de campo no exceda los niveles de referencia de las tablas 2.4 y 2.5. Para frecuencias menores a 100 KHz, los valores picos no deben exceder los valores indicados en las tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.4: Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos (valores rms - no perturbados)

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Flujo Magnético(μT)	Densidad de Potencia (W/m ²)
hasta 1 Hz	-	1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	-
1 - 8 Hz	20000	(1,63 x 10 ⁵) / f ²	(2 x 10 ⁵) / f ²	-
8 - 25 Hz	20000	(2 x 10 ⁴) / f	(2,5 x 10 ⁴) / f	-
0,025 - 0,82 KHz	500/f	20 / f	25/f	-
0,82 - 65 KHz	610	24,4	30,7	-
0,065 - 1 MHz	610	1,6 / f	2/f	-

1 - 10 MHz	610	1,6 / f	2/f	-
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 - 2000 MHz	$3 f^{0,5}$	$0,008 f^{0,5}$	$0,01 f^{0,5}$	f / 40
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

f = frecuencia como se indica en la columna de rango de frecuencias

Para frecuencias que exceden 10 GHz, S, E² o H² debe ser promediado en cualquier período de $68 / f^{1,05}$ minutos (f está dado en GHz).

Para frecuencias entre 100 KHz y 10 GHz, S, E² o H² debe ser promediado en cualquier período de 6 minutos

Fuente: ICNIRP, 1998.

Tabla 2.5: Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos (valores rms - no perturbados)

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Flujo Magnético(μT)	Densidad de Potencia (W/m ²)
hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1 - 8 Hz	10000	$(3,2 \times 10^4) / f^2$	$(4 \times 10^4) / f^2$	-
8 - 25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0,025 - 0,8 KHz	$250/f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0,8 - 3KHz	$250/f$	5	6,25	-
3 - 150 KHz	87	5	6,25	-

0,15 - 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 - 10 MHz	$87 / f^{0,5}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2000 MHz	$1,375 f^{0,5}$	$0,0037 f^{0,5}$	$0,0046 f^{0,5}$	$f / 200$
2 - 300 GHz	61	0,16	0,2	10

f = frecuencia como se indica en la columna de rango de frecuencias

Para frecuencias que exceden 10 GHz, S, E² o H² debe ser promediado en cualquier período de $68 / f^{1,05}$ minutos (f está dado en GHz).

Fuente: ICNIRP, 1998.

2.2.2.1 Niveles de Referencia por contacto a Corrientes Inducidas

Se dan niveles de referencia para corrientes inducidas con el fin de evitar shock y quemaduras por contacto con las mismas. Estos niveles se dan para frecuencias hasta 110 MHz lo que implica las bandas de frecuencia de transmisión de radio FM.

En la tabla 2.6 se indican los niveles de referencia. Para la exposición ocupacional los valores son el doble del público en general debido a que los límites de la corriente en los que se presentan respuestas biológicas en niños y mujeres en edad adulta por contacto, son aproximadamente 1/2 y 2/3, respectivamente, de los límites para el caso de los hombres en edad adulta. **(Cruz V., 2006)**

Para el caso de frecuencias en el rango de 10 – 110 MHz, en la tabla 2.7 se indican los niveles de referencia para las extremidades que están por debajo de las restricciones básicas de SAR localizado. En el que el nivel de referencia ocupacional es $\sqrt{5}$ veces el nivel de referencia del público.

Tabla 2.6: Niveles de referencia de contacto a corrientes provenientes de objetos conductores

Tipo de Exposición	Rango de Frecuencias	Corriente Máxima de Contacto (mA)
Exposición Ocupacional	hasta 2,5 KHz	1
	2,5 - 100 KHz	0,4 f
	100 KHz - 110 MHz	40
Exposición de Público en General	hasta 2,5 KHz	0,5
	2,5 - 100 KHz	0,2 f
	100 KHz - 110 MHz	20

f = frecuencia en KHz

Fuente: ICNIRP, 1998.

Tabla 2.7: Niveles de referencia para corrientes inducidas en cualquier extremidad a frecuencias entre 10 y 110 MHz

Tipo de Exposición	Corriente (mA)
Exposición Ocupacional	100
Exposición a Público en General	45

Fuente: ICNIRP, 1998.

2.2.2.2 Exposición a Frecuencias Múltiples

- En función de la Densidad de Corriente Inducida (J) (**Cruz V., 2006**)

Para estímulos eléctricos relativos a las frecuencias hasta 10 MHz las densidades de corriente inducida deben ser sumadas según la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (2.18)$$

Donde, J_i es la densidad de corriente en la frecuencia i y $J_{L,i}$ es densidad de corriente límite de frecuencia i según tabla 2.1 y 2.2

- En función del SAR (**Cruz V., 2006**)

Para los efectos térmicos aplicable sobre los 100 KHz tanto el SAR y las densidades de potencia deben ser sumados según la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=100 \text{ KHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{\text{SAR}_i}{\text{SAR}_L} + \sum_{i>10\text{Hz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1 \quad (2.19)$$

Donde, SAR_i es el SAR debido a la exposición a la frecuencia i , SAR_L es el SAR límite de la frecuencia i según tablas 2.1 y 2.2, S_i es la densidad de potencia en la frecuencia i y S_L es la densidad de potencia límite según la tabla 2.3.

- En función de la intensidad de campo eléctrico (E) y campo magnético (H) (**Cruz V., 2006**)

- Frecuencias entre 1 Hz y 10 MHz

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1 \text{ Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 ; \sum_{i=1 \text{ Hz}}^{65 \text{ MHz}} \frac{H_i}{H_{L,i}} + \sum_{i>65 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_i}{C} \leq 1 \quad (2.20)$$

Donde, E_i es la intensidad de campo eléctrico en la frecuencia i , $E_{L,i}$ es la intensidad de campo eléctrico límite de la frecuencia i según tablas 2.4 y 2.5, H_i es la intensidad de campo magnético en la frecuencia i , $H_{L,i}$ es la intensidad de campo magnético límite de la frecuencia i según tablas 2.4 y 2.5, $a = 610$ V/m para exposición ocupacional y 87 V/m para exposición pública y $c = 24.4$ A/m para exposición ocupacional y 5 A/m para exposición pública

- Frecuencias superiores a 100 KHz que es donde se producen los efectos térmicos:

$$\sum_{i=100 \text{ KHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{b}\right)^2 + \sum_{i>1 \text{ KHz}}^{300 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1 ; \quad \sum_{i=100 \text{ KHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_i}{d}\right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_i}{H_{L,i}}\right)^2 \leq 1 \quad (2.21)$$

Donde, E_i es la intensidad de campo eléctrico en la frecuencia i , $E_{L,i}$ es la intensidad de campo eléctrico límite de la frecuencia i según tablas 2.4 y 2.5, H_i es la intensidad de campo magnético en la frecuencia i , $H_{L,i}$ es la intensidad de campo magnético límite de la frecuencia i según tablas 2.4 y 2.5, $b = 610/f$ V/m (f en MHz) para exposición ocupacional y $87/f^{0.5}$ V/m (f en MHz) para exposición pública y $d = 1.6/f$ A/m (f en MHz) para exposición ocupacional y $0.73/f$ A/m (f en MHz) para exposición pública.

- En función de la corriente de contacto (I) (**Cruz V., 2006**)

Este factor se considera entre las frecuencias de 10 - 110 MHz para la corriente de contacto y para la corriente en las extremidades, respectivamente, se debe aplicar lo siguiente

$$\sum_{j=1 \text{ KHz}}^{110 \text{ MHz}} \frac{I_j}{I_{L,j}} \leq 1 ; \quad \sum_{i=10 \text{ MHz}}^{110 \text{ MHz}} \left(\frac{I_i}{I_{L,i}}\right)^2 \leq 1 \quad (2.22)$$

Donde, I_j es la corriente de contacto a la frecuencia j , $I_{L,j}$ es la corriente de contacto límite a la frecuencia j según la tabla 2.6, I_i es la corriente en las extremidades a la frecuencia i , e $I_{L,i}$ es la corriente en las extremidades límite a la frecuencia i según tabla 2.7.

2.3 NORMAS FCC

La comisión de Comunicaciones Federales (FCC), basa los límites de Exposición Máxima Permisible (EMP) en los límites recomendados por la Cancillería Nacional de Evaluación y Protección contra Radiaciones (NCRP) y los límites desarrollados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). **(FCC, 1997)**

2.3.1 Recomendaciones Básicas

Para el caso de la razón de absorción de energía específica (SAR) la FCC plantea niveles de 4 W/kg como exposición promedio sobre toda la masa corporal, ya que por encima de éste, la exposición es potencialmente peligrosa. **(FCC, 1997)**

2.3.2 Niveles de Referencia

Los estándares para la exposición máxima permisible (EMP) están dados en términos de intensidad de campo magnético y eléctrico y la densidad de potencia, para transmisores que operan en frecuencias desde 300 KHz hasta los 100 GHz, basados en estudios que indican que la eficiencia de absorción de energía de las radiofrecuencias (RF) por el organismo es mayor a ciertas frecuencias.

En las tablas 2.8 y 2.9 se muestran los niveles de EMP ocupacional y poblacional en los rangos de 0.3 a 100000 MHz, en los cuales se observa que para el rango de frecuencias de 30 a 300 MHz la absorción de energía RF es más eficiente en la totalidad del cuerpo. En otras frecuencias la absorción de energía en el cuerpo entero es menos eficiente, razón por la cual los límites son menos estrictos. Los valores indicados en las tablas mencionadas se grafican en la figura 2.5. **(FCC, 1997)**

Tabla 2.8: Niveles de referencia FCC para EMP ocupacional / controlada a CEM en el rango de frecuencias de 0.3 MHz a 100 GHz

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)	Tiempo Promedio de S, E ² , H ² (minutos)
0,3 - 3	614	1,63	(100) *	6
3 - 30	1842/f	4,89/f	(900/f ²) *	6
30 - 300	61,40	0,16	1	6
300 - 1500	-	-	f/300	6
1500 - 100000	-	-	5	6

f = frecuencia en MHz

Densidad de potencia en onda plana equivalente

Fuente: FCC, 1997.

Tabla 2.9: Niveles de referencia FCC para EMP al público en general / no controlada a CEM en el rango de frecuencias de 0.3 MHz a 100 GHz

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)	Tiempo Promedio de S, E ² , H ² (minutos)
0,3 - 1,34	614	1,63	(100) *	30
1,34 - 30	824/f	2,19/f	(180/f ²) *	30
30 - 300	27,50	0,07	0,20	30
300 - 1500	-	-	f/1500	30

1500 - 100000	-	-	1	30
---------------	---	---	---	----

f = frecuencia en MHz

Densidad de potencia en onda plana equivalente

Fuente: FCC, 1997.

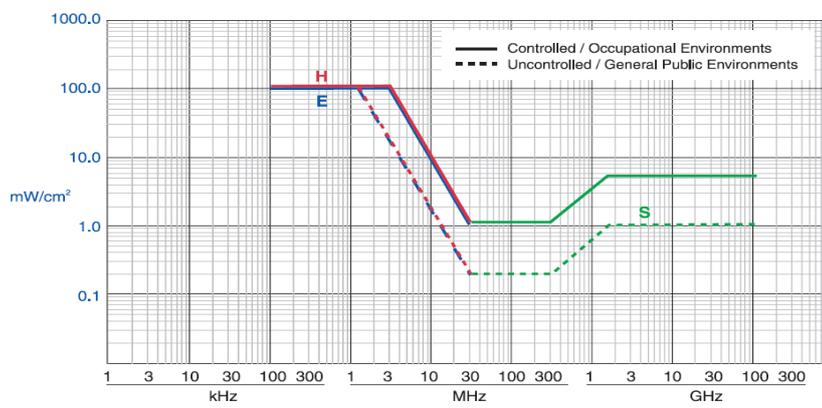


Fig. 2.5 Límites FCC para exposición máxima permisible (EMP)

Fuente: FCC, 1997

La tabla 2.10 muestra los límites SAR para las exposiciones ocupacional y poblacional respectivamente, en el rango de frecuencias de 0.1 MHz a 6 GHz.

Tabla 2.10: Límites FCC para exposición localizada (partes del cuerpo) en el rango de frecuencias de 0.1 MHz a 6 GHz

Tasa de Absorción Especifica SAR	
Exposición Ocupacional /Controlada (100KHz - 6 GHz)	Exposición del Público en General /No Controlada (100 KHz - 6 GHz)

< 0,4 W/kg , cuerpo completo	< 0,08 W/kg , cuerpo completo
≤ 8 W/Kg , partes del cuerpo	≤ 1,6 W/Kg , partes del cuerpo

Fuente: FCC, 1997.

2.4 UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT)

Dentro de las recomendaciones publicadas por el UIT-T (serie K: Protección contra las interferencias), se encuentra la Recomendación UIT-T K.52: “Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los CEM”, que ha sido preparada por la Comisión de Estudio 5 (1997-2000). (UIT-T, 2000)

2.4.1 Recomendación K.52

La recomendación K.52, abarca la exposición a los CEM de las personas presentes dentro y fuera de los emplazamientos de telecomunicaciones.

No se trata de la exposición a la corriente de contacto, debida a objetos conductivos irradiados por CEM, ni tampoco trata de la exposición producida por el uso de dispositivos radiantes, utilizados en proximidad inmediata al cuerpo humano.

La finalidad de la recomendación K.52, es facilitar el cumplimiento de los límites de seguridad en las instalaciones de telecomunicaciones, cuando existe exposición de las personas a los CEM. En la gama de 9 KHz a 300 GHz, presenta técnicas y procedimientos para evaluar la gravedad de la exposición a CEM, y para limitar la exposición de los operarios y del público en general a CEM, si se sobrepasan estos límites de seguridad proporcionados por ICNIRP.

Para que exista conformidad de los límites de seguridad a CEM, deben adoptarse las siguientes medidas:

- Identificar los límites de conformidad adecuados.

- Determinar si es necesaria la evaluación de la exposición al CEM para la instalación o el equipo en cuestión.

Si es necesaria la evaluación de la exposición al CEM, puede realizarse mediante cálculos o medición.

Si la evaluación de la exposición al CEM, indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes, en zonas en las que puede haber personas presentes, deben aplicarse medidas de reducción. (UIT-T, 2000)

2.4.2 Determinación de la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones: (UIT-T, 2000)

El equipo de telecomunicaciones debe clasificarse como:

- Emisores no intencionales: los transmisores no intencionales pueden producir CEM debido a emisiones espurias. Los límites establecidos de EMC (compatibilidad electromagnética) para un emisor no intencional están a órdenes de magnitud por debajo de los límites de seguridad del CEM por lo que no es una evaluación de seguridad del CEM.
- Emisores intencionales: Un emisor intencional suele estar asociado con una antena para la radiación de energía electromagnética, es decir, utilizan CEM para la transmisión de señales.

2.4.3 Procedimientos de evaluación de la exposición al CEM (UIT-T, 2000)

El objetivo de la evaluación, es clasificar la exposición potencial al CEM como perteneciente a una de las tres zonas ilustradas en la figura 2.6, que son las siguientes:

- Zona de conformidad: la exposición potencial al CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional controlada y a la exposición no controlada del público en general.

- Zona ocupacional: la exposición potencial al CEM está dada por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general.
- Zona de rebasamiento: la exposición potencial al CEM sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada ocupacional y a la exposición no controlada del público en general.

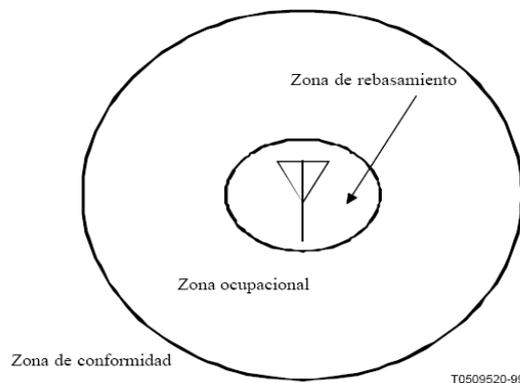


Fig. 2.6 Ilustración figurada de las zonas de exposición

Fuente: (UIT-T, 2000)

2.4.4 Procedimiento de evaluación del nivel de exposición (UIT-T, 2000)

El nivel de exposición considerará:

- Las condiciones de emisión más desfavorables.
- La presencia simultánea de varias fuentes de CEM aún a diferentes frecuencias.

Deben considerarse los siguientes parámetros:

- La EIRP máxima del sistema de antena.
- La ganancia de antena G o la ganancia numérica relativa F.
- La máxima ganancia y la máxima anchura de haz.

- La frecuencia de explotación.
- Diversas características de la instalación (ubicación y altura de la antena, dirección e inclinación del haz).
- La evaluación de la probabilidad de que una persona pueda estar expuesta al CEM.

2.4.4.1 Esquema de clasificación de la instalación (UIT-T, 2000)

Cada una de las instalaciones emisoras debe clasificarse en las tres clases siguientes:

- Inherentemente conformes: las fuentes inherentemente seguras producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarios precauciones particulares.
- Normalmente conformes: las instalaciones normalmente conformes contienen fuentes que producen un CEM que puede sobrepasar los límites de exposición pertinentes.
- Provisionalmente conformes: estas instalaciones requieren medidas especiales para conseguir esta conformidad, lo cual incluye la determinación de las zonas de exposición y medidas.

2.4.4.2 Procedimiento para determinar la clase de instalación (UIT-T, 2000)

El procedimiento es el siguiente:

- Definir un conjunto de referencia de parámetros de antena o de tipos de antenas.
- Definir un conjunto de condiciones de accesibilidad.
- Para cada combinación, parámetros de antena de referencia y condición de accesibilidad, determinar la EIRP umbral ($EIRP_{th}$).
- Una instalación pertenece a la clase inherentemente conforme si el emisor es inherentemente conforme. No hay necesidad de considerar otros aspectos de la instalación.

- Para cada emplazamiento, una instalación pertenece a la clase normalmente conforme si se cumple el criterio siguiente:

$$\sum \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1 \quad (2.23)$$

Donde, $EIRP_i$ es la potencia radiada promediada temporal de la antena a una frecuencia i y $EIRP_{th,i}$ es el umbral de EIRP correspondiente a los parámetros de antena y condiciones de accesibilidad considerados.

- Para la instalación de múltiples antenas, es necesario distinguir las dos condiciones siguientes:

Si la fuente tiene diagramas de radiación superpuestos y se considera la anchura de haz a potencia mitad, la respectiva EIRP máxima promediada en el tiempo debe satisfacer el criterio.

Si no hay superposición de las múltiples fuentes, se considerarán independientemente.

- Los emplazamientos que no cumplan las condiciones para clasificarlos normalmente conformes se consideran provisionalmente conformes.

Para los emplazamientos en los que la aplicación de estas categorías es ambigua, necesitarán realizarse cálculos o mediciones adicionales.

2.4.4.3 Determinación de la $EIRP_{th}$ (UIT-T, 2000)

El procedimiento es el siguiente:

- Determinar el campo o la densidad de potencia para cada punto O en el que puede producirse exposición para una antena concreta.
- Determinar la densidad de potencia máxima (S_{max}) dentro de la zona de exposición correspondiente a este conjunto.
- La condición $S_{max} = S_{lim}$ de la $EIRP_{th}$ donde S_{lim} es el límite pertinente que indica la norma de exposición al CEM a la frecuencia considerada.

2.4.4.4 Técnicas de evaluación del CEM - Métodos de cálculo (UIT-T, 2000)

- Para una antena radiante simple en la región de campo lejano, la densidad de potencia aproximada radiada en la dirección descrita por los ángulos θ (complementario del ángulo de elevación) y Φ (ángulo de azimut), según se ilustra en la figura 2.7, está dada por:

$$S(R,\theta,\phi) = \frac{\text{EIRP}}{4\pi} \left[f(\theta,\phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta',\phi') \frac{1}{R'} \right]^2 \quad (2.24)$$

Donde, $S(R,\theta,\Phi)$ es la densidad de potencia en W/m^2 , $f(\theta,\Phi)$ es el diagrama de radiación relativo de la antena (número positivo entre 0 y 1), EIRP es la EIRP de la antena en Watts, ρ es el valor absoluto del coeficiente de reflexión y tiene en cuenta la onda reflejada por el suelo (en algunos casos puede bloquearse la exposición a la onda reflejada, por lo que debe fijarse a 0), R es distancia entre el punto central de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta y R' es la distancia entre el punto central de la imagen de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta.

- A nivel próximo al suelo los valores de las variables primas son aproximadamente iguales a las que no tienen prima, por lo que la potencia puede calcularse por:

$$S_{\text{gl}}(R,\theta,\phi) = (1+\rho)^2 \frac{\text{EIRP}}{4\pi R^2} f(\theta,\phi) \quad (2.25)$$

Donde, $f(\theta,\Phi)$ es la ganancia numérica relativa de la ganancia con respecto a un radiador isótropo (número positivo entre 0 y 1)

El coeficiente de reflexión ρ de una tierra de conductividad σ , con permitividad $\epsilon = k\epsilon_0$ (ϵ_0 = permitividad de vacío) y un ángulo rasante de incidencia ψ es:

Polarización vertical:

$$\rho = \frac{(k-j\chi)\text{sen}\Psi - \sqrt{(k-j\chi) - \cos^2\Psi}}{(k-j\chi)\text{sen}\Psi + \sqrt{(k-j\chi) - \cos^2\Psi}} \quad (2.26)$$

Polarización Horizontal:

$$\rho = \left| \frac{\sin\Psi - \sqrt{(k-j\chi) - \cos^2\Psi}}{\sin\Psi + \sqrt{(k-j\chi) - \cos^2\Psi}} \right| \quad (2.27)$$

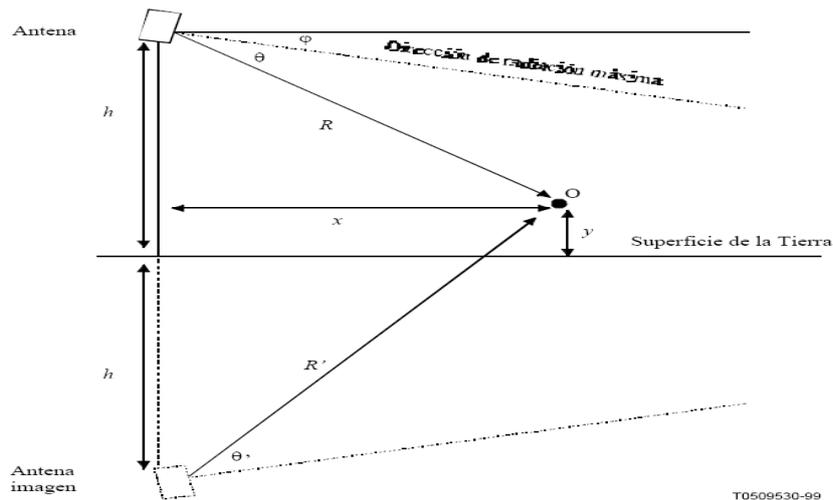


Fig. 2.7 Gráfico del Comportamiento de una Onda Reflejada

Fuente: UIT-T, 2000

En general, la onda reflejada contiene componentes en polarización vertical u horizontal que varían con el ángulo de incidencia. Sin embargo en muchas aplicaciones es suficiente considerar solo la polarización predominante de la onda incidente al calcular el coeficiente de reflexión.

Los campos eléctricos y magnéticos se calculan utilizando:

$$E = \sqrt{S\eta_0} ; H = \sqrt{\frac{S}{\eta_0}} \quad (2.28)$$

Donde, $\eta_0 = 377$ y Ω es la impedancia intrínseca del espacio libre.

Las ecuaciones anteriores son válidas para la región de campo lejano. Su utilización en la región de campo cercano puede arrojar resultados inexactos. Por tanto estas ecuaciones pueden utilizarse para determinar el cumplimiento de los límites de exposición al CEM. (UIT-T, 2000)

2.4.4.5 Criterios básicos para determinar la clase de instalación (UIT-T, 2000)

- Fuentes inherentemente conformes: Abarca emisores con una EIRP máxima no mayor de 2 W. Cuando el emisor está construido de manera que el acceso a cualquier zona en la que pueden sobrepasarse los límites de exposición está impedido por la construcción del dispositivo radiante, se clasifica como inherentemente conforme.
- Instalaciones normalmente conformes: los criterios a evaluar comprenden tres características de las instalaciones: la accesibilidad, la directividad de la antena y la frecuencia del campo radiado. Los valores de $EIRP_{th}$ que han de ser comparados con la EIRP de la instalación a evaluar.

Tabla 2.11: Categorías de Accesibilidad

Categoría de accesibilidad	Circunstancias de la instalación	Figura de referencia
1	La antena está instalada en una torre inaccesible - el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Existe la construcción $h > 3$ m. La antena está instalada en una estructura públicamente accesible (por ejemplo, en un tejado) - el centro de radiación está a una altura h por encima de la estructura.	Figura 2.8
2	La antena está instalada al nivel del suelo - el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general y, de una altura aproximada h situado a una distancia d de la antena a lo	Figura 2.9

	largo de la dirección de propagación. Existe la construcción $h > 3$ m.	
3	La antena está instalada al nivel del suelo - el centro de radiación está a una altura h ($h > 3\text{m}$) sobre el suelo. Hay un edificio adyacente o estructura accesible al público en general de aproximadamente h' situado a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de propagación.	Figura 2.10
4	La antena está instalada en una estructura a una altura h ($h > 3\text{m}$). Hay una zona de exclusión asociada con la antena. Se definen dos geometrías para la zona de exclusión: (1) zona circular con un radio a que rodea la antena; (2) una zona circular de tamaño $a \times b$ delante de la antena.	Figura 2.11 Figura 2.12

Fuente: UIT-T, 2000

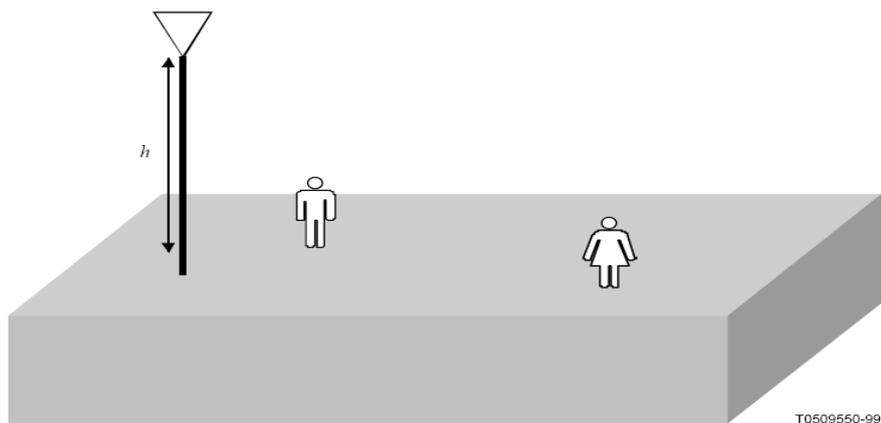


Fig. 2.8 Categoría de accesibilidad 1

Fuente: UIT-T, 2000

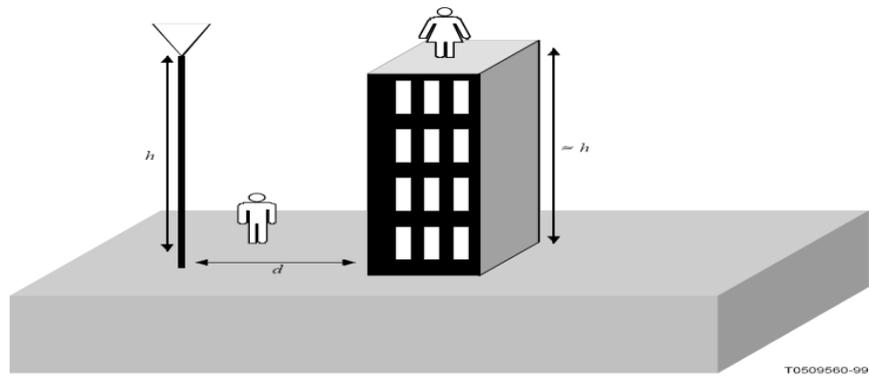


Fig. 2.9 Categoría de accesibilidad 2

Fuente: UIT-T, 2000

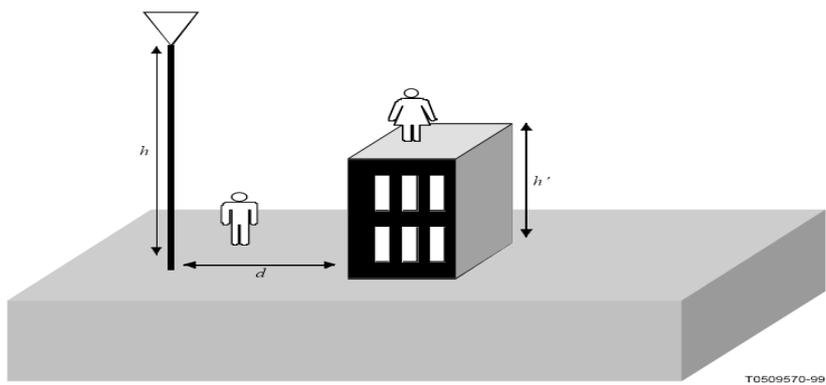


Fig. 2.10 Categoría de accesibilidad 3

Fuente: UIT-T, 2000

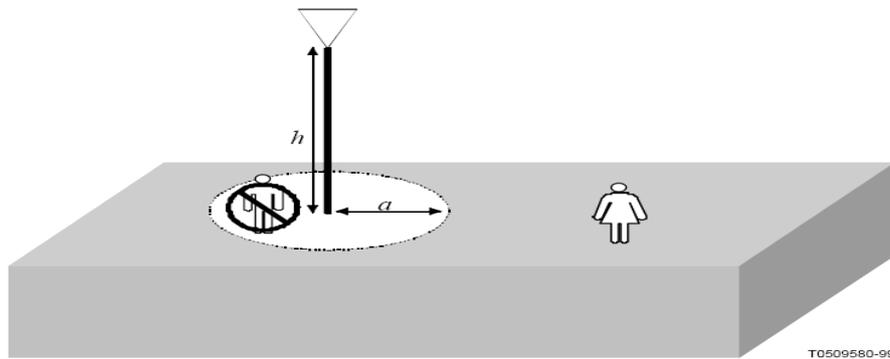


Fig. 2.11 Categoría de accesibilidad 4

Fuente: UIT-T, 2000

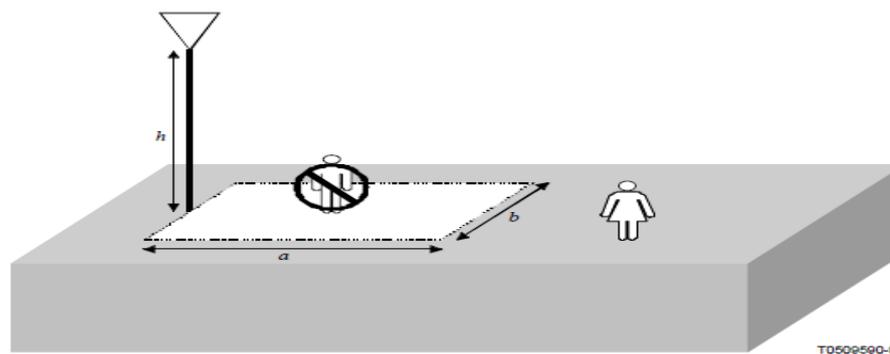


Fig. 2.12 Categoría de accesibilidad 5

Fuente: UIT-T, 2000

- Gamas de frecuencias: la frecuencia portadora determina el límite de exposición para la densidad de potencia radiada $S_{lim(f)}$, que se indica en las normas de exposición a CEM.
- Categorías de directividad de antena: la directividad de la antena es importante porque determina el diagrama de exposición potencial y es un factor frecuentemente variante al determinar el campo. El parámetro más importante para determinar la exposición debido a antenas elevadas es el diagrama de antena vertical (de elevación). El diagrama horizontal (azimut) no es pertinente, porque

la evaluación de la exposición supone una exposición a lo largo de la dirección de máxima radiación en el plano horizontal. (UIT-T, 2000)

Obsérvese sin embargo, que los diagramas vertical y horizontal determinan la ganancia de antena y que el diagrama horizontal determina la zona de exclusión para la categoría de accesibilidad 4.

Tabla 2.12: Categorías de Directividad

Categoría de Directividad	Descripción de la antena	Parámetros Pertinentes
1	Dipolo de media onda	Ninguno
2	Antena de cobertura amplia (omnidireccional o seccional) como las que se utilizan para la comunicación inalámbrica o la radiodifusión.	<ul style="list-style-type: none"> * Anchura de haz a potencia mitad vertical: θ_{bw} * Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: Asl * Inclinación del haz: α
3	Antena de elevada ganancia que produce un "lápiz" (haz circularmente simétrico) como los utilizados para la comunicación punto a punto o las estaciones terrenas.	<ul style="list-style-type: none"> * Anchura de haz a potencia mitad vertical : θ_{bw} * Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: Asl * Inclinación del haz: α

Fuente: UIT-T, 2000

- La zona de exclusión: Aquí se describe las zonas de exclusión para la categoría de accesibilidad 4. La zona de exclusión depende del diagrama horizontal de la antena. El parámetro pertinente es la cobertura horizontal de la antena.

Tabla 2.13: Cobertura Horizontal

Cobertura Horizontal	Zona de Exclusión
Omnidireccional	Zona circular - Figura 4
120°	Zona rectangular - figura 5 ; $b=0,866a$
90°	Zona rectangular - figura 5 ; $b=0,707a$
60°	Zona rectangular - figura 5 ; $b=0,5a$
30°	Zona rectangular - figura 5 ; $b=0,259a$
Menos de 5°	Zona rectangular - figura 5 ; $b=0,09a$

Fuente: UIT-T, 2000

CAPÍTULO III. CONCEPTOS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES SEGÚN EL MEDIO DE PROPAGACIÓN

- **Telecomunicaciones Terrestres:** Son aquellas cuyo medio de propagación son líneas físicas, estas pueden ser cables de cobre, cable coaxial, guía de ondas, fibra óptica, par trenzado, etc.
- **Telecomunicaciones Radioeléctricas:** Son aquellas que utilizan como medio de propagación la atmósfera terrestre, transmitiendo las señales en ondas electromagnéticas, ondas de radio, microondas, etc. dependiendo de la frecuencia a la cual se transmite.
- **Telecomunicaciones Satelitales:** Son aquellas comunicaciones radiales que se realizan entre estaciones espaciales, entre estaciones terrenas con espaciales, entre estaciones terrenas (mediante retransmisión en una estación espacial). Las estaciones espaciales se encuentran a distintas alturas fuera de la atmósfera (Lathi R., 1986).

En la siguiente tabla (3.1) se indican los servicios de telecomunicaciones usados en la actualidad:

Tabla 3.1: Usos del Espectro de Radiofrecuencia

DESIGNACIÓN INTERNACIONAL	BANDA DE FRECUENCIAS	LONGITUD DE ONDA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN TÍPICA
FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE BAJAS	0.3 KHz - 3 KHz	$10^6 - 10^5$ m		
FRECUENCIAS MUY BAJAS	3KHz - 30 KHz	$10^5 - 10^4$ m	ONDAS MUY LARGAS	Servicio de radionavegación - Servicio móvil marítimo
FRECUENCIAS BAJAS	30 KHz - 300 KHz	$10^4 - 10^3$ m	ONDAS LARGAS	Servicio Móvil Aeronáutico - servicio móvil marítimo - radionavegación aeronáutica - servicio de radionavegación marítima - radioaficionados - servicio de radioaficionados sonora local
FRECUENCIAS MEDIAS	300 KHz - 3000 KHz	$10^3 - 10^2$ m	ONDAS MEDIAS	Servicio móvil marítimo aeronáutico - Servicio móvil marítimo - radionavegación aeronáutica - servicio de radionavegación marítima - de radioaficionados - servicio de radioaficionados sonora local
FRECUENCIAS ALTAS	3 MHz - 30 MHz	$10^2 - 10$ m	ONDAS CORTAS	Servicio móvil marítimo - Servicio móvil aeronáutico - servicio de radioastronomía - servicio de banda ciudadana - radioaficionados - servicio de radioaficionados por satélite - radiodifusión sonora nacional e internacional - servicios meteorología
FRECUENCIAS MUY ALTAS	30 MHz - 300 MHz	10 - 1 m	ONDAS MÉTRICAS	Servicio de radioaficionados - Servicio de radiodifusión por radiodifusión sonora FM - servicio de radiodifusión aeronáutica - aeronáutico - servicio móvil por satélite - servicio móvil terrestre por satélite - servicio de radioaficionados por buscapersonas - servicios públicos de telecomunicaciones - localización

Fuente: Tesis de Maestría Ing. Cruz Ornetta, 2002

Tabla 3.1: Usos del Espectro de Radiofrecuencia

DESIGNACIÓN INTERNACIONAL	BANDA DE FRECUENCIAS	LONGITUD DE ONDA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN TÍPICA
FRECUENCIAS ULTRA ALTAS	300 MHz - 3000 MHz	1 m - 10 cm	ONDAS DECIMÉTRICAS	Servicio de radionavegación aeronáutica - servicio móvil por satélite - servicio móvil marítimo por satélite - servicio móvil por satélite - servicio de radioaficionados - servicio móvil troncalizado - servicio de telefonía celular - servicio de buscapersonas - servicio de radio localización - servicio de radio localización bidireccional - enlaces auxiliares a la radiodifusión sonora FM - enlaces auxiliares a la radiodifusión sonora FM - servicio de telefonía móvil - servicio de telefonía rural - servicio de radiodifusión por satélite - servicios de radiodifusión (microondas) - servicio de radioaficionados - servicios de telefonía móvil por PCS - servicio público de distribución de radioaficionados utilizando MMDS
FRECUENCIAS SUPER ALTAS	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm	ONDAS CENTIMÉTRICAS	Servicio móvil terrestre por satélite - servicio móvil por satélite - servicio de radioaficionados - servicio de radioaficionado por satélite - servicio de radionavegación marítima - servicio de radionavegación por satélite - servicio de radio localización - Planta externa inalámbrica - enlaces microondas - enlaces fijos móviles y auxiliares - servicio de radiodifusión por TV - servicio de radiodifusión por satélite - servicio de servicios públicos multimedia
FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE ALTA	30 GHz - 300 GHz	1 cm - 1 mm	ONDAS MILIMÉTRICAS	

Fuente: Tesis de Maestría Ing. Cruz Ornetta, 2002

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA

En el enlace “estudio - planta transmisora”, una antena parabólica fija recibe la señal de televisión desde el estudio. Esta señal pasa a un receptor de microondas, luego a un transmisor de televisión y es irradiada por una antena transmisora en VHF. (Cruz V., 1986)

La señal transmitida desde los estudios de TV, mediante otra antena parabólica, es una señal compuesta de audio y video que además incluye una subportadora que se utiliza como una señal de control para el sistema de telemetría. El sistema de enlace debe ser Host - Stand By (2 transmisores y 2 receptores en cada punto). Esta configuración garantiza la operación continua con protección para cualquier falla eventual.

El sistema de telemetría tiene como funciones básicas, encender o apagar el transmisor de TV y encender la fuente de energía eléctrica de emergencia en caso de corte de fluido eléctrico.

Cuando se realiza el enlace por microondas, la transmisión de la señal debe efectuarse con buena característica y estabilidad porque es la señal principal de los transmisores y retransmisores. Por lo general el enlace “estudio - planta transmisora”, está en la banda SHF.

El sistema radiante de una planta transmisora de TV está formado por dos antenas principales que reciben o emiten señales, y son:

- Antena de transmisión principal, es un arreglo de antenas alimentadas desde el equipo de transmisión y que se encargará de irradiar la señal de TV.
- Antena parabólica fija de Recepción, es aquella que recibe la señal procedente del estudio (enlace STL). Esta señal pasa al receptor de microondas y luego al transmisor de TV, de allí se irradia por la antena transmisora principal.

Adicionalmente se puede contar con una antena parabólica fija de transmisión. Mediante esta antena se envía al estudio de TV una señal de supervisión y telemetría, de donde se puede obtener información de fallas en el transmisor u otro acontecimiento y con la señal de telemetría es posible tener datos sobre la potencia de salida del transmisor, la intensidad de campo en los receptores y otros más.

Cabe señalar, que la señal recibida del estudio es una señal compuesta de audio y video, con una portadora utilizada como señal de control para el sistema de control

remoto. Esta unidad sirve para encender o apagar el transmisor de TV y encender la fuente de energía eléctrica de emergencia.

Un canal de televisión posee un ancho de banda de 6 MHz y las portadoras de video y de audio están separadas 4.5 MHz.

Para mejorar la eficiencia de radiación se emplea un método por el cual las antenas de los tipos mencionados son superpuestas en varios niveles sobre un mismo eje y con una separación conveniente, con el fin de irradiar una onda más potente en la dirección horizontal. El arreglo vertical de antenas aumenta la ganancia de potencia.
(Cruz V., 1986)

La figura 3.1 muestra la estructura de una torre de transmisión de televisión analógica.

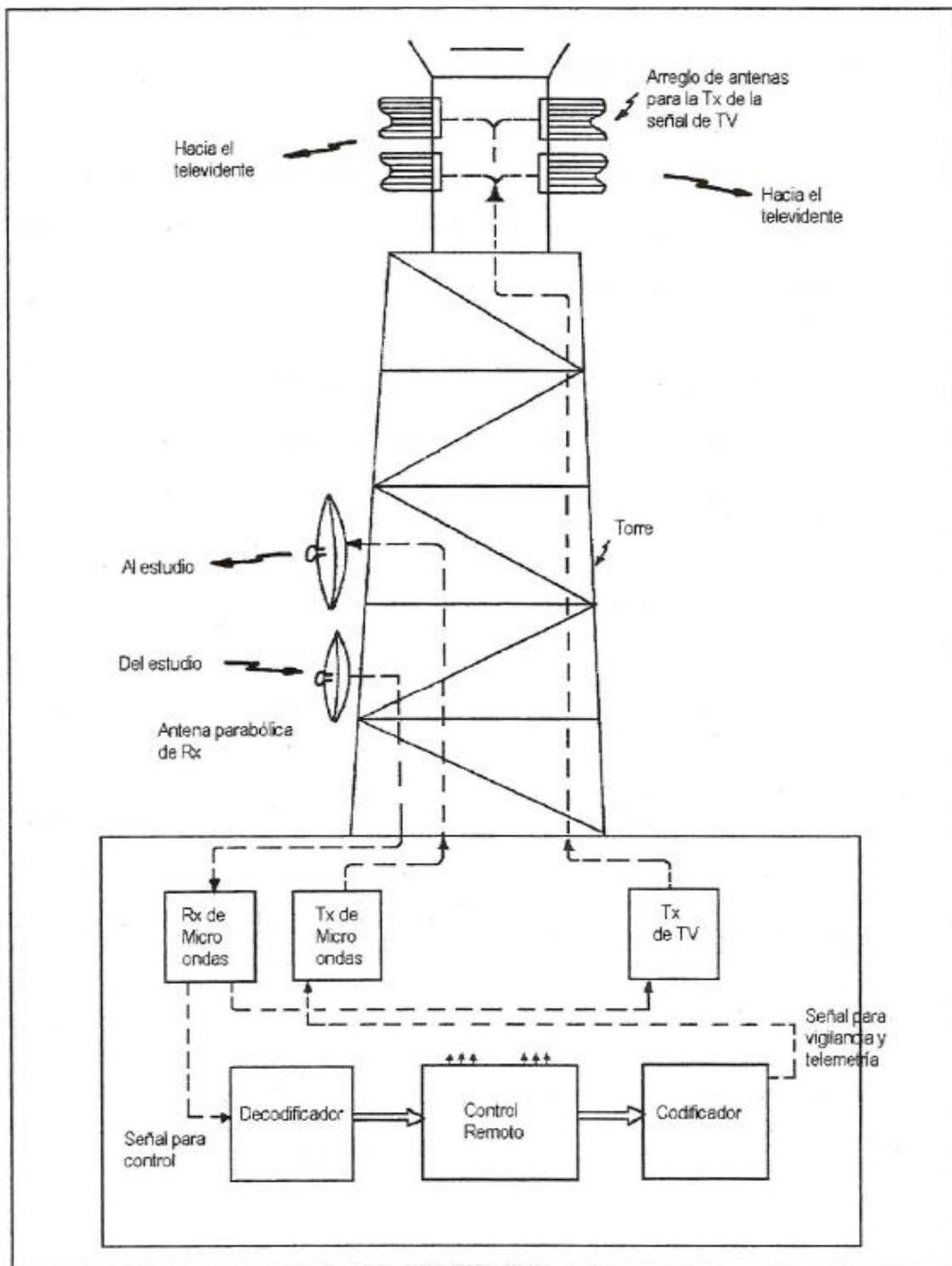


Fig. 3.1 Estructura de una torre de transmisión de TV analógica

Fuente: (Cruz V., 1986)

3.3 PATRÓN DE RADIACIÓN HORIZONTAL DE UNA ANTENA (Cruz V., 1986)

El patrón de radiación horizontal, es una de las principales características técnicas de una antena, que para el caso de antenas transmisoras está representada en coordenadas polares de los niveles de potencia que son irradiados en los 360° azimutales.

Para el caso de un arreglo de antenas, el patrón de radiación total podría ser obtenido a partir de los diagramas individuales, la potencia aplicada y la disposición mecánica de cada una de las antenas.

Analizando el patrón horizontal, supongamos que en el centro de coordenadas ubicamos una torre que soporta 2 antenas, las cuales están separadas de esta una distancia “d”. Si las 2 antenas están orientadas con distintos azimuts, interesándonos en determinar el patrón de radiación horizontal del arreglo.

Asumiendo que en este caso no existe desfase de alimentación, que se aplica la misma potencia a cada antena y que hay solo una antena en cada dirección.

Lo que no es posible físicamente es que ambas antenas estén en el centro de coordenadas por el volumen y espacio que ocupan individualmente, entonces cada antena estaría separada una distancia “d” de la torre.

Considerando que el patrón de radiación para la antena 1 es:

$$G_1(\Phi) \cdot e^{j\beta d \cos(\Phi)} \quad (3.1)$$

Donde, $G_1(\Phi)$ es la ganancia normalizada de potencia de la antena 1 expresada en número y $\beta d \cos(\Phi)$ es el desfase producido por la separación entre la antena 1 y la torre (diferencia de marcha).

Para la antena 2 tenemos:

$$G_2(\Phi - \Phi_0) \cdot e^{j\beta d \cos(\Phi - \Phi_0)} \quad (3.2)$$

Donde, $G_2(\Phi - \Phi_0)$ es la ganancia normalizada de potencia de la antena 2 referida al azimut de la antena 1 expresada en número. Como las antenas son excitadas con la misma fase, el campo radiado del arreglo es igual a la suma de los campos radiados por cada antena; es decir, el patrón de radiación del arreglo será igual a la suma de los patrones de radiación de cada antena referidos a un mismo sistema de coordenadas.

En la práctica, cuando se diseña un arreglo de antenas, no se acostumbra tomar antenas diferentes para cada dirección, sino que se busca un arreglo con un mismo tipo de antena, lo cual no lleva a decir que $G_1(\Phi) = G_2(\Phi)$, es decir que ambas antenas son iguales por tener el mismo patrón de radiación, donde la suma será:

$$G_H(\phi) = G_1(\phi) \cdot e^{j\beta d \cos(\phi)} + G_2(\phi - \phi_0) \cdot e^{j\beta d \cos(\phi - \phi_0)} \quad (3.3)$$

Y luego para obtener el modulo desarrollaremos:

$$G_H(\phi) = G_1(\phi) [\cos(\beta d \cos(\phi)) + j \sin(\beta d \cos(\phi))] + G_2(\phi - \phi_0) [\cos(\beta d \cos(\phi - \phi_0)) + j \sin(\beta d \cos(\phi - \phi_0))] \quad (3.4)$$

La componente real será dada por:

$$G_R = G_1(\phi) \cdot \cos(\beta d \cos(\phi)) + G_2(\phi - \phi_0) \cdot \cos(\beta d \cos(\phi - \phi_0)) \quad (3.5)$$

Y la componente compleja será:

$$G_J = G_1(\phi) \cdot \sin(\beta d \cos(\phi)) + G_2(\phi - \phi_0) \cdot \sin(\beta d \cos(\phi - \phi_0)) \quad (3.6)$$

Finalmente el módulo será:

$$G_H = \sqrt{(G_R(\phi))^2 + (G_J(\phi))^2} \quad (3.7)$$

3.4 PATRÓN DE RADIACIÓN VERTICAL DE UNA ANTENA (Cruz V., 1986)

Para este patrón de radiación vertical los cálculos son similares a los hechos para el patrón de radiación horizontal y es representado en coordenadas polares o rectangulares.

Cuando dos o más antenas son instaladas sobre una misma estructura, una a continuación de otra en el plano vertical, se obtiene que el patrón de radiación vertical sea mucho más directivo que el patrón unitario de antena, como consecuencia de la aparición de una ganancia relativa en la dirección de la máxima radiación.

Considerando el caso de dos antenas superpuestas, verticalmente alimentadas en fase y a potencias iguales se obtiene la figura 3.2.

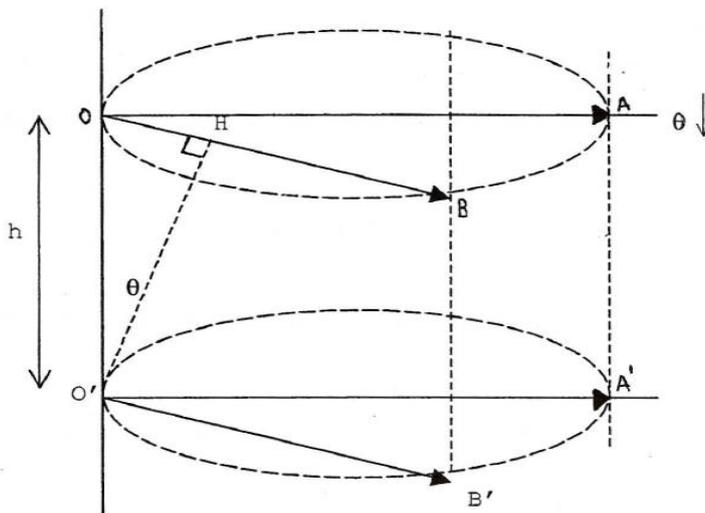


Fig. 3.2 Antenas Superpuestas Verticalmente

Fuente: (Cruz V., 1986)

En la dirección horizontal (donde $\theta = 0^\circ$) los vectores de campo OA y O'A' son iguales y tienen la misma fase, luego la resultante será 2 OA.

Si consideramos una dirección θ diferente de 0° , los vectores OB y O'B' también son de la misma magnitud, pero en el punto "O'" está retardado con respecto a "O" definiéndose una diferencia de marcha OH expresado por:

$$\mathbf{OH} = \mathbf{h} \cdot \mathbf{sen}\phi \quad (3.8)$$

Expresado en grados eléctricos será:

$$\phi = \frac{360^\circ}{\lambda} * \mathbf{h} \cdot \mathbf{sen}\theta \quad (3.9)$$

De este modo, la radiación de campo resultante de las dos antenas en el plano vertical y en la dirección O será la composición vectorial de ambas, pudiéndose representar por la figura 3.3.

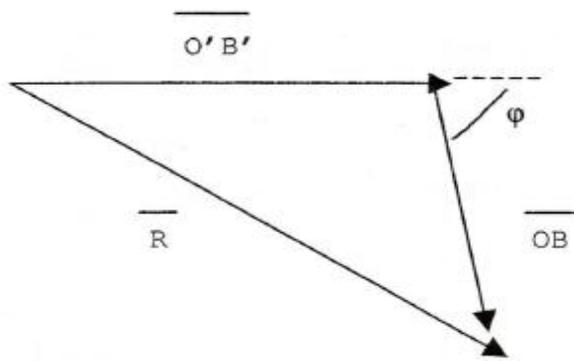


Fig. 3.3 Composición Vectorial de la radiación de Campo Resultante

Fuente: (Cruz V., 1986)

Bajo esta afirmación podemos decir que existen ángulos θ_0 en los cuales las componentes de campo se anulan por consiguiente la resultante vectorial será cero. Para este caso los vectores de campo se anulan cuando $\phi = 180^\circ$, luego:

$$180^\circ = \frac{360^\circ}{\lambda} * h \cdot \text{sen}\theta_0 \quad (3.10)$$

$$\theta_0 = \text{sen}^{-1} \left[\frac{\lambda}{2h} \right] \quad (3.11)$$

En forma general considerando un número “N” de antenas montadas una a continuación de otra en el plano vertical, el campo resultante será nulo cuando:

$$\theta_0 = \text{sen}^{-1} \left[\frac{K\lambda}{Nh} \right] \quad (3.12)$$

Donde, K es el número del cero (1°,2°,3°,...), N es el número de antenas, H es la separación entre antenas (m) y λ es la longitud de onda (m).

De esta manera el patrón de radiación resultante de dos antenas en función del ángulo θ comparado con el patrón de radiación elemental de una antena de las antenas será según se muestra en la figura 3.4.

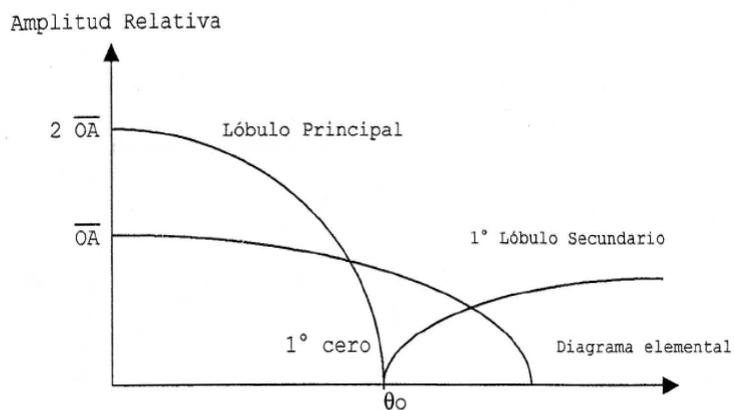


Fig.3.4 Patrón de Radiación Resultante

Fuente: Cruz V., 1986

De la figura 3.4 observamos que el patrón de radiación resultante tiene una directividad mayor que el patrón de radiación elemental, observando la aparición de ceros de radiación que separan el lóbulo principal de los lóbulos secundarios.

Si $G_V(\theta)$ es la ganancia de potencia normalizada de la antena (expresada en número) en el plano vertical, un conjunto de N antenas apiladas verticalmente una debajo de otra, tendrán un patrón de radiación de la forma:

$$D_V = \left| \frac{\text{sen} \left[\frac{N\pi h}{\lambda} * \text{sen}\theta \right]}{\text{sen} \left[\frac{\pi h}{\lambda} * \text{sen}\theta \right]} \right| \quad (3.13)$$

Donde, N es el número de antenas en una misma dirección, H es la distancia entre cada antena (m) y λ es la longitud de onda (m).

3.5 PREDICCIÓN DE LA POTENCIA RADIADA EFECTIVA (ERP) (Cruz V., 1986)

La potencia radiada efectiva (ERP) está dada por:

$$ERP = P_{tx} * G_c(\#) \quad (3.14)$$

Donde:

$$G_c(\text{dB}) = G(\text{dB}) - (\alpha_{cc}(\text{dB}) + \alpha_{x\text{dist}}(\text{dB}) + \alpha_{\text{dist}}(\text{dB}) + \alpha_{cn}(\text{dB})) \quad (3.15)$$

Asimismo, P_{tx} es la potencia de transmisión (W), G_c es la ganancia compuesta del sistema de antena (dB), G es la ganancia de la antena de transmisión (dB), α_{cc} son las pérdidas de la línea coaxial (dB), $\alpha_{x\text{dist}}$ son las pérdidas por distribución (dB), α_{dist} son las pérdidas del distribuidor (dB) y α_{cn} son las pérdidas de los conectores (dB)

Veamos un ejemplo del cálculo de ERP:

Canal:

Banda de frecuencia:	210 – 216 MHz (VHF, banda alta)
Portadora de audio:	211.25 MHz
Portadora de video:	215.75 MHz
Tipo de antena:	panel de 5 dipolos
Ganancia direccional:	12.8 dB (en número = 19.05)
Distribución:	3 filas verticales de 10 paneles
Total de paneles:	30
Razón de distribución:	1/3 (3 filas verticales)
Polarización:	horizontal
Atenuación del cable:	0.37 dB / 100m
Longitud de la línea de tx:	70 m.
Potencia visual de Tx al 80%:	24 KW

Realizando los cálculos se obtiene:

$$\alpha_{cc} = (0.37 \text{ dB} / 100\text{m}) \times 70 \text{ m} = - 0.26 \text{ dB}$$

$$\alpha_{x\text{dist}} = 10 * \log (1/3) = - 4.77 \text{ dB}$$

Luego:

$$G_C \text{ (dB)} = 12.8 - (0.26 + 4.77 + 0.2 + 0.2) = 7.37 \text{ dB}$$

$$G_C \text{ (\#)} 5.457$$

Finalmente:

$$\text{ERP} = 24 \text{ KW} \times 5.457 = 130.97 \text{ KW}$$

3.6 INTRODUCCIÓN AL VIDEO DIGITAL

Cuando se iniciaron las primeras emisiones de televisión, nadie pensaba el gran paso que se estaba llevando a cabo, y que esta abarcaría todas las latitudes, conforme se iban desarrollando nuevas tecnologías, estas se iban asimilando en la televisión, con el boom de la tecnología digital, esta tomaría una dimensión insospechada, solucionándose inconvenientes inherentes a la televisión análoga, tales como ruido, interferencia, etc.

Este cambio en la tecnología, se hace más evidente en el tratamiento de las señales a nivel de radiodifusión, ya que con sistemas análogos uno encontraba pérdidas importantes de generación en generación, sobre todo esto es notorio en los procesos de edición, estas pérdidas se dan ya que con el paso de una generación a otra, se van amplificando los niveles de ruido inherentes en los dispositivos; por consiguiente, se nota una degradación paulatina conforme se avanza de una generación a otra.

El trabajo bajo una plataforma digital hace que el manejo del video sea mucho más versátil, ya que adicional a los equipos tradicionales tales como VTR's se agrega el uso de la PC's y servidores de video, lo cual genera la versatilidad en el trabajo y mayores posibilidades de valores agregados, sobre todo para los procesos de edición, con lo cual podemos llegar a trabajar en sistemas de redes de video on line, siendo un ejemplo de ello canal N, y hoy muchos canales de televisión van en esa dirección. (Arteaga A., 2008).

3.7 TELEVISIÓN DIGITAL (Asociación de Radio y Televisión Digital, 2007)

Es un sistema de transmisión de imágenes y audio a través de señales digitales, es decir, codifica las señales de manera binaria. Digital significa trasladar la información de imagen y sonido del dominio temporal (analógico) a un campo binario (digital). Digital es modificar el manejo, almacenamiento y transporte de las señales.

3.7.1 Características de la Televisión digital:

Dentro de las características que nos da este tipo de transmisión se encuentra:

- Eliminación de ruido.
- Eliminación de fantasmas.
- Mejoras en el color.
- Mejor definición: Alta Definición.
- Mejor Sonido.
- Servicios Convergentes: Movilidad, Portabilidad, Interactividad.
- Amplio marco de control y Medición.
- Nuevas herramientas como compresión.
- Multitransmisión: Las estaciones de TV pueden proveer varios canales de programación de televisión al mismo tiempo.

3.7.2 Niveles de Calidad: (DTV, 2009 a,b,c)

Dentro de la televisión digital se encuentra niveles de calidad:

- **Televisión de definición estándar (Standard Definition TV, SDTV):** La SDTV es el nivel básico de calidad de visualización y resolución, tanto para formato analógico como digital. La transmisión de la SDTV puede realizarse tanto en el formato tradicional (4:3) o de pantalla ancha (16:9).
- **Televisión de definición mejorada (Enhanced Definition TV, EDTV):** La EDTV está un nivel más arriba que la televisión analógica. La EDTV viene en formato de pantalla ancha (16:9) o tradicional (4:3) de 480p y proporciona una mejor calidad de imagen que la SDTV, pero no tan buena como la HDTV.
- **Televisión de alta definición (High Definition TV, HDTV):** La HDTV en formato de pantalla ancha (16:9) proporciona la calidad de resolución e imagen más alta de todos los formatos de transmisión digital. Combinada con tecnología de sonido mejorada digitalmente, la HDTV establece nuevos estándares en

calidad de sonido e imagen en televisión. (Nota: La HDTV y la televisión digital no son lo mismo: La HDTV es un formato de televisión digital).

3.8 COMPRESIÓN DE SEÑALES (MPEG-2):

El audio y video se pueden comprimir digitalmente, lo cual permite una mayor cantidad de señales por un mismo canal. El estándar de compresión más usado es MPEG-2, el cual es un esquema híbrido de codificación inter-trama e intra-trama, combina la codificación predictiva con la codificación de transformada discreta de coseno, DCT. La DCT es un algoritmo matemático (conversión del dominio del tiempo hacia el dominio de la frecuencia), que es aplicado a un bloque de 8x8 elementos de imagen, dentro de un cuadro. La DCT elimina redundancia en la imagen a través de la compresión de la información contenida en 64 píxeles. Posee un cuantizador que otorga los bits para los coeficientes DCT más importantes, los cuales son transmitidos. Con el MPEG-2 se genera velocidades de pixel de 5 a 10 Mbits/s.

También se está empezando a usar el MPEG-4 el cual es un algoritmo de compresión de videos y gráficas, basado en la tecnología MPEG-1, MPEG-2 y Apple Quick Time. Sus usos principales son como flujos de medios audiovisuales, el vídeo en cd, las videoconferencias, las videollamadas y la emisión de televisión. Los archivos MPEG-4 pueden transmitir video e imágenes con menos ancho de banda que JPEG, pueden mezclar video con texto, gráficas, y capas de animación 2D y 3D. Con el uso de MPEG-4 se puede duplicar la eficiencia del MPEG-2, por lo que uno de los usos del MPEG-4 es en la televisión digital HD (High Definition).

En general, una señal estándar (270Mbps) sin compresión necesitaría 80 MHz para ser transmitida: equivalente a más de 13 Canales de 6 MHz. En cambio, una señal de Alta Definición (1,500 Mbps) sin compresión necesitaría 420 MHz para ser transmitida: equivalente a 70 Canales de 6 MHz. **(Hernández O., 1997)**

3.9 MODULACIÓN COFDM:

El COFDM (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada), usado en los estándares DVB-T y ISDB-T, modula la información en múltiples frecuencias portadoras ortogonales donde cada una está modulada en QPSK (modulación con desplazamiento de fase cuaternaria) y QAM (modulación de amplitud en cuadratura).

Debido al efecto de propagación multi-trayectoria, la información almacenada en cada sub-portadora puede ser atenuada por sí misma en caso de que llegue antes o después al receptor, debido al multicamino, pero debido a que la información fue dividida en pequeños pedazos la pérdida de alguna de ellas no afectará la recuperación de la información original.

El COFDM presenta codificación contra errores, entrelazamiento de las portadoras de datos en frecuencia o en tiempo y frecuencia e información de estado del canal (Channel State Information) combinado con la decodificación con decisión Flexible (Soft-Decision Decoding), tal como se ilustra en la figura 3.5.

El estándar COFDM define diferentes posibles modos de transmisión según el número de portadoras utilizadas, 2K (2.048 portadoras), 8K (8.192 portadoras). En cada segmento de tiempo las subportadoras son moduladas en QPSK ó 16-QAM.

Dentro de sus ventajas encontramos la modulación jerárquica la cual permite integrar la modulación QPSK dentro de la constelación de QAM de 16 o más niveles permitiendo transmitir dos servicios al mismo tiempo y hace que la transmisión QPSK sea menos susceptible a las interferencias que en el caso de QAM de 16 o de más niveles no jerárquicos. Bajo este criterio se puede transmitir en un flujo de datos de baja prioridad el servicio de HDTV y en el flujo de alta prioridad el servicio de SDTV. (Sierra, L., 2002)

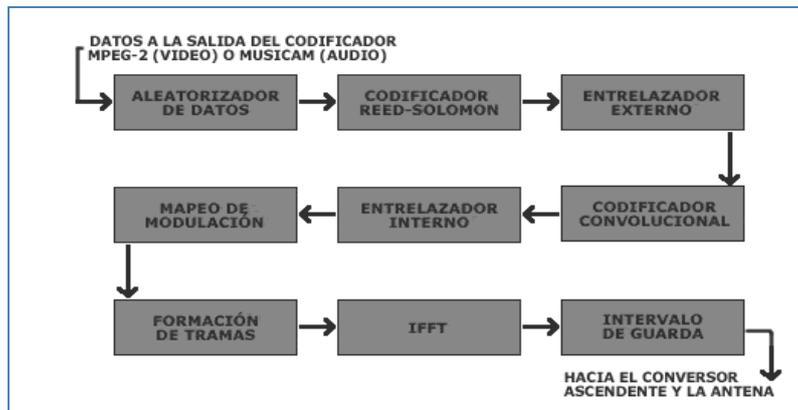


Fig. 3.5 Transmisión de COFDM

Fuente: Sienna, L., 2002

3.10 ESTANDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL:

Se tomará en cuenta los estándares más importantes: **(PUCCH, 2006)**

3.10.1 DVB-T:

Es el estándar de televisión digital europeo (Digital Video Broadcasting), fue establecido por la ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Dentro de las principales características se encuentra: **(PUCCH, 2006)**

- Provisión de servicios interactivos mediante canales de retorno de diversos medios (PSTN, GSM, satelital, etc.) y protocolos (IP).
- Transmisión de DVB-T mediante red de frecuencia única.
- Acceso condicional a contenido pagados y protegidos de copia.
- DVB fue diseñado para transmitir información de audio y video codificado según el estándar MPEG-2, esto asegura que sea compatible con otros medios de almacenamiento de contenido tales como DVD, DVC, D-VHS.
- Posee una tasa de transmisión de 3.73-23.75 Mbps.

- Usa modulación COFDM 2K (1512 subportadoras) u 8K (6048 subportadoras).

La figura 3.6 presenta un diagrama de bloques del sistema DVB-T

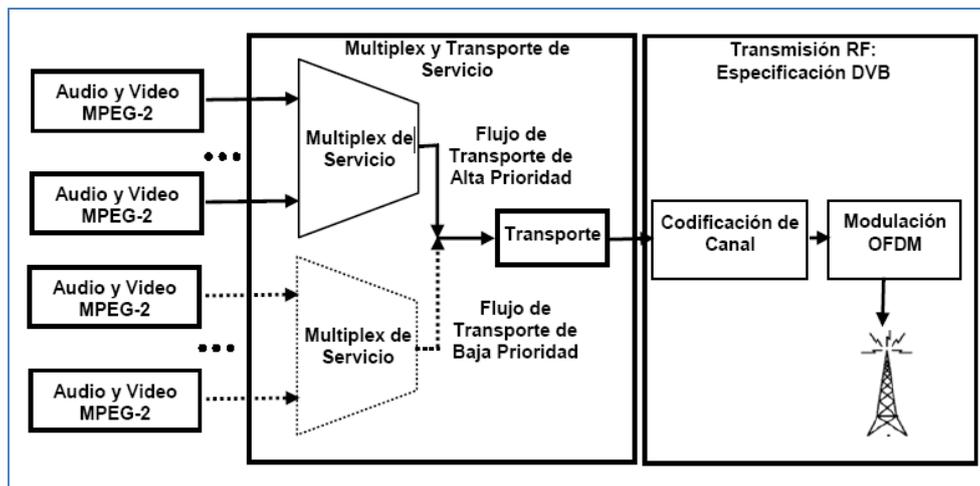


Fig. 3.6 Sistema DVB-T

Fuente: PUCCH, 2006

- El sistema DVB-T permite combinar jerárquicamente hasta 2 flujos de transporte en una sola transmisión digital, uno con alta prioridad (AP) y otro de baja prioridad (BP). El flujo AP requiere menor SNR para ser decodificado que el BP. Cada flujo posee diferente tipo de modulación COFDM. El flujo AP podría usarse para señales con una codificación de alta redundancia (baja tasa de Transmisión) y su decodificación podría hacerse para largas distancias, generalmente usado para enviar SDTV. En cambio el BP es usado para señales de alta tasa de transmisión y por lo tanto su decodificación será a corta distancia, usado en HDTV. El receptor es capaz de escoger libremente alguno de los 2 flujos, y cada flujo puede contener programación totalmente distinta.
- En el caso del audio, el sistema puede transportar hasta seis señales de audio, es decir, sonido envolvente, con una tasa de 384 Kbps.

- El sistema DVB-T fue diseñado para manejar la Interferencia Dentro del Canal (IDC) e Interferencia de Canal Adyacente (ICA). Posee alto grado de protección a través del uso de código Reed-Solomon y Convolutional.
- Sin embargo el DVB-T no especificaba el formato de los contenidos, lo cual era dejado en manos de los operadores y de sus planes de negocio. Además el DVB-T no contemplaba el servicio de TV digital para dispositivos portátiles tales como celulares o PDAs por lo que se creó el estándar DVB-H.

La figura 3.7 muestra el diagrama de bloques del sistema de codificación de canal DVB-T:

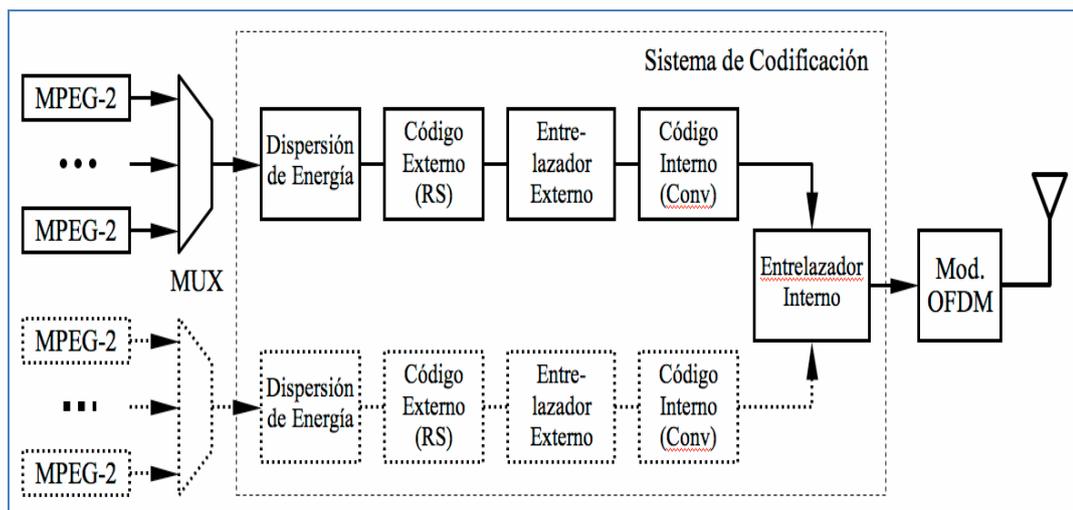


Fig. 3.7 Sistema de Codificación de Canal de DVB-T

Fuente: PUCCH, 2006

3.10.2 ISDB-T:

El sistema ISDB (Integrated Services Digital Broad Casting) es el estándar de Tv digital japonés, fue establecido por el ARIB (Association of radio Industries and Businesses) de Japón.

Dentro de las principales características tenemos:

- Provisión de servicios interactivos sobre diversos canales de retorno (móviles, líneas telefónicas fijas, redes cableadas e inalámbricas).
- Transmisión de señales mediante red de frecuencia única.
- Codificación basada en MPEG-2 tanto para audio como video.
- Soporta transmisión en otros formatos de datos como MPEG-4.
- Usa códigos de canal Reed-Solomon y Convolucionales y aleatorizador.
- Posee una tasa de transmisión de 3.65 – 23.23 Mbps.
- Usa modulación COFDM en modo 2K, 4K, 8K y modulación QAM para las subportadoras.

La figura 3.8 muestra el diagrama de bloques del sistema de codificación de canal ISDB-T:

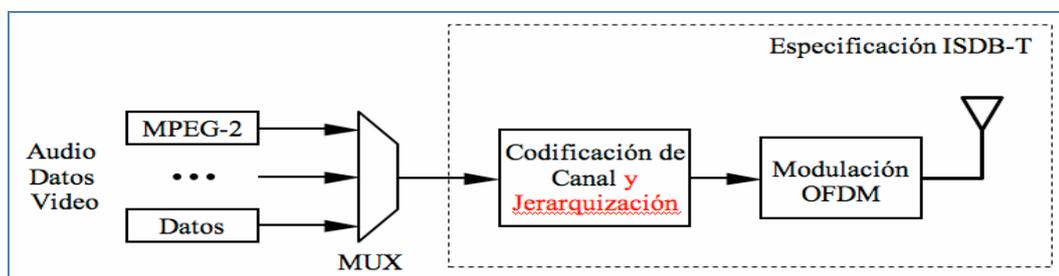


Fig. 3.8 Diagrama General de ISDB-T

Fuente: PUCCH, 2006

- Posee una gran diferencia con DVB-T, usa un esquema conocido como BST-OFDM (Band Segmented Transmission – OFDM), en el cual se divide la banda de transmisión en segmentos para asignarle diferentes servicios.
- La banda de transmisión (6MHz) es dividida en 13 segmentos, cada uno es de 430KHz de ancho, los 13 segmentos forman grupos, como máximo 3 grupos.

La figura 3.9 muestra el diagrama de bloques del Sistema de Codificación de Canal y Jerarquización:

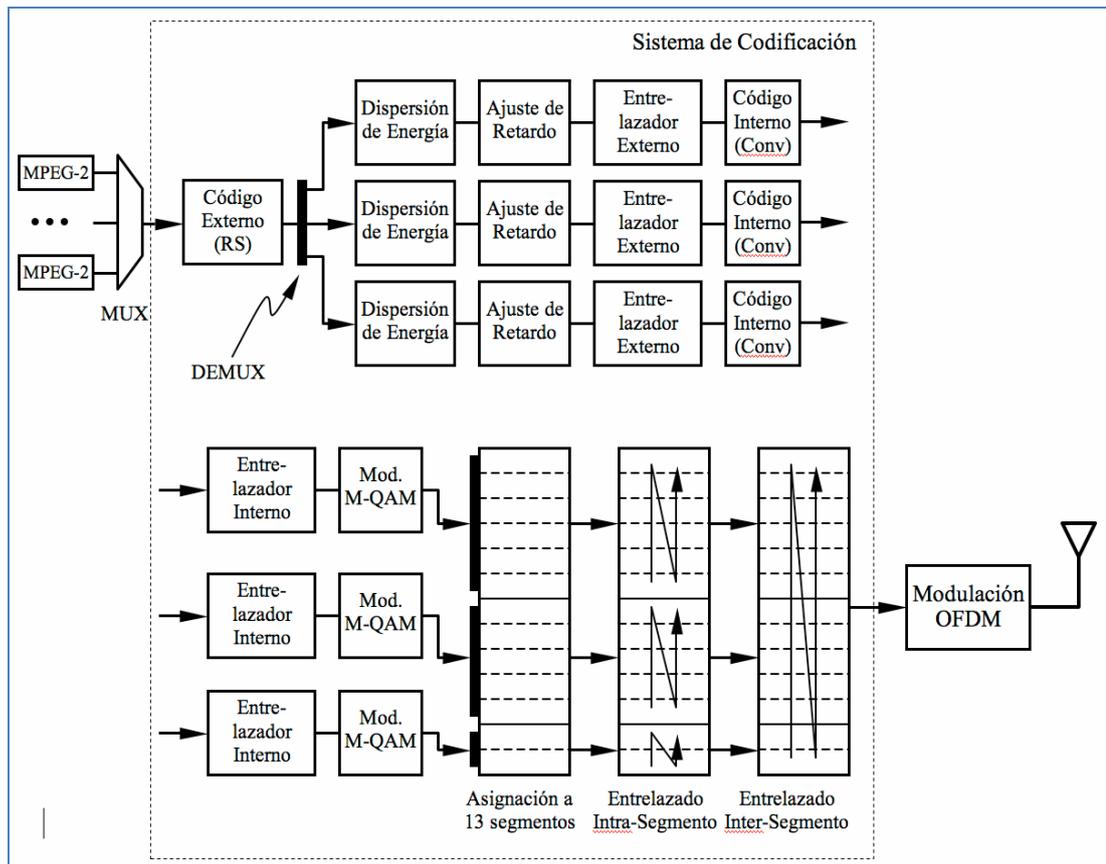


Fig. 3.9 Sistema de Codificación de Canal y Jerarquización

Fuente: PUCCH, 2006

- Para el caso de transmisión a terminales portátiles, se consideró el concepto de recepción parcial en el cual se usó solo uno de los segmentos (1seg), con lo cual se hace más sencillo (barato) un receptor, posee un eficiente consumo de energía, ya que no necesita decodificar los otros 12 segmentos.

- El sistema 1-seg usa codificación H.264 la cual está incluida en el estándar MPEG-4 y para audio usa AAC encapsulado en MPEG-2. Además posee una resolución máxima de 320x240 pixeles, y una tasa de 128Kbps.
- 1-seg no implementa funciones de acceso condicional ni protección por lo que el servicio es gratis.

3.11 Sistema Típico de antenas de TV Digital

Un sistema actual de TV digital está compuesto por 24 antenas, según lo detallado en la hoja de especificaciones técnicas de antenas Ryma, modelo AT15 - 245 con polarización circular y con conector DIN 7/16, la cual se está utilizando como referencia para el presente estudio.

La figura 3.10 muestra la forma y estructura para la disposición de las antenas referidas.



Fig. 3.10 Forma y Estructura de Disposición de Antenas

Fuente: Hoja de Especificaciones Antena RYMSA AT15-245

Cuyas especificaciones eléctricas son las siguientes:

Rango de frecuencia de trabajo: 470 – 722 MHz

Frecuencia de Diseño: 509 MHz.

Ganancia Máxima: 18.3 dBd

Para esta instalación de TV digital se necesitará un Transmisor Harris Maxiva Series ULX – 8700 IS Banda IV/V, 470- 860 MHz. con una potencia de 8.7 Kw. asimismo se necesitan otros accesorios propios del sistema que permitirán una transmisión de calidad óptima.

En la siguiente tabla se pueden observar algunos detalles generales.

Tabla 3.2: Tabla de Datos de Antena de Estudio para el presente proyecto

Banda de frecuencias	470 - 722 MHz
Frecuencia del diseño	509 MHz
Antena unitaria	AT15-245 Pol. Circular
Orientaciones de radiación	100° - 355°
Nº antenas	24
Nº antenas por orientación de radiación	12 – 12
Polarización	Circular
Patrón vertical Tilt	-1°
Relleno del primer nulo	20 %
Ganancia máxima	18.3 dBd
Pérdidas de inserción	1.81 dB
Ganancia neta	16.49 dBd
PAR (para potencia nominal Tx = 8.3 kW)	369.89 kW
Impedancia	50 Ω
Máxima potencia nominal admisible a 509 MHz (*)	18.95 kW
Conector de entrada (distribuidores principales)	EIA 3 1/8 M

(*) La potencia RMS está calculada bajo las siguientes condiciones:

- 1.- Todos los componentes incluidos en el capítulo 4, están calculados:
 - 40°C de temperatura ambiente.
 - 120°C temperatura máxima en el conductor interior .
- 2.- Condiciones adicionales:
 - VSWR 1.10.
 - 10% de factor reductor por radiación solar, sólo en los cables.

Fuente: Hoja de Especificaciones Antena RYMSA AT15-245

Asimismo tenemos los patrones de radiación para las antenas señaladas, que son mostradas en las figuras 3.11 y 3.12:

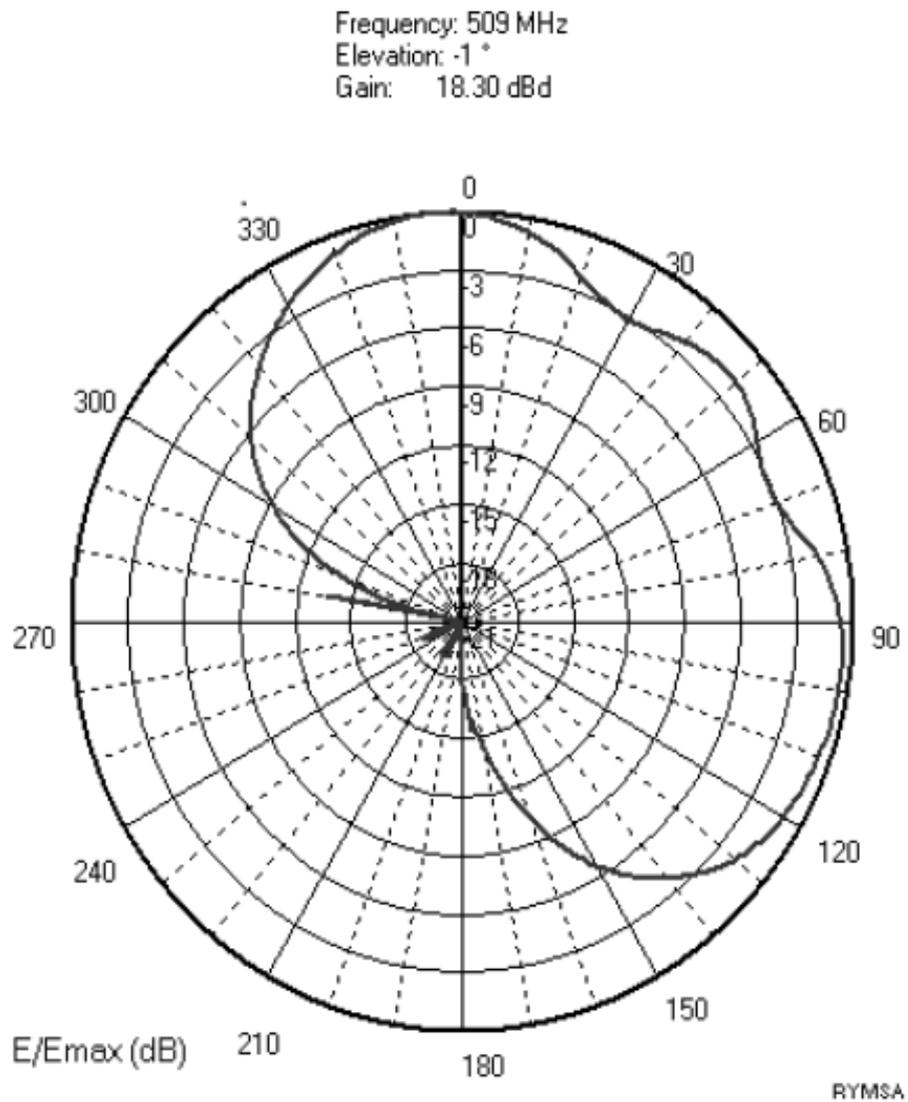


Fig. 3.11 Patrón de Radiación Horizontal de la Antena de Estudio

Fuente: Hoja de Especificaciones Antena RYMSA AT15-245

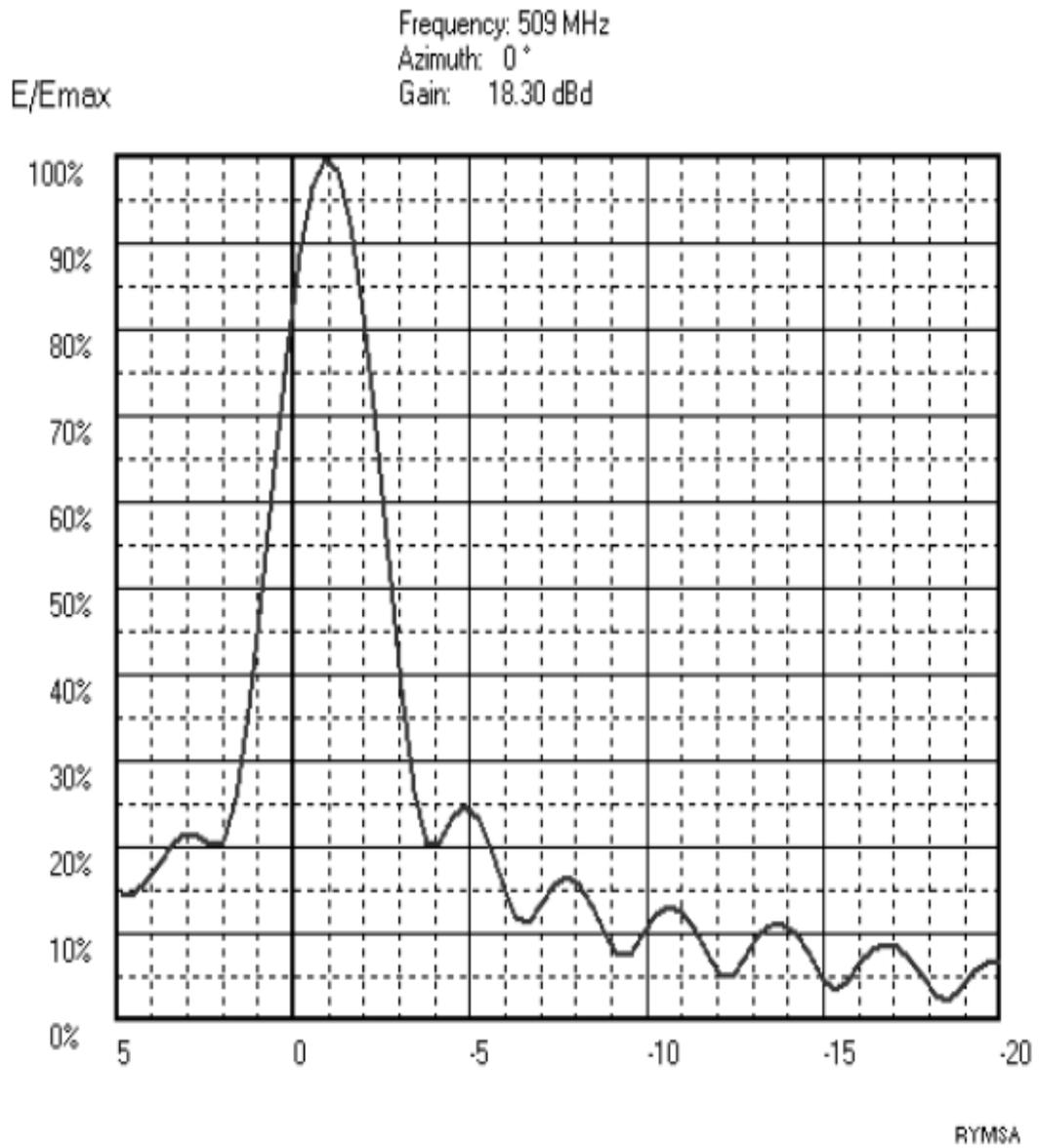


Fig. 3.12 Patrón de Radiación Vertical de la Antena de Estudio

Fuente: Hoja de Especificaciones Antena RYMSA AT15-245

CAPÍTULO IV. CÁLCULOS DE INGENIERÍA

4.1 CÁLCULOS TEÓRICOS:

4.1.1 DEFINICIÓN DE LA PIRE DE LOS SISTEMAS DE TV DIGITAL - ISDB – Tb

Para la realización de los cálculos teóricos de RNI es necesario calcular la potencia radiada efectiva (ERP) o (PIRE), la cual está dada por:

$$\text{PIRE} = P_{\text{tx}} * G_{(\#)} \quad (4.1)$$

Donde:

$$G \text{ (dB)} = G_{\text{máxima}} \text{ (dBd)} - \text{PI} \text{ (dB)} \quad (4.2)$$

Asimismo, P_{tx} es la potencia de transmisión (W) y PI son las pérdidas de Inserción (dB).

$$\text{PIRE(dBw)} = G(\text{dBd}) + P_{\text{tx}}(\text{dBw}) \quad (4.3)$$

$$P_{\text{tx}}(\text{dBw}) = 10 \log(P_{\text{tx}}(\text{w})) \quad (4.4)$$

$$\text{PIRE(dBw)} = \text{antilog}(\text{PIRE(dBw)}) \quad (4.5)$$

Reemplazando los datos alcanzados por la tabla de la antena de estudio (tabla 3.2):

$$P_{\text{tx}} \text{ (w)} = 8300$$

$$\text{PI (dB)} = 1.81$$

$$G \text{ máxima (dBd)} = 18.3$$

$$G_{\text{c}} \text{ (dB)} = 18.3 - 1.81 = 16.49 \text{ dB}$$

$$P_{tx} \text{ (dBw)} = 10 \log (8300) = 39.19 \text{ dBw}$$

$$PIRE \text{ (dBw)} = 16.49 + 39.19 = 55.68 \text{ dBw}$$

$$PIRE \text{ (w)} = 369.89 \text{ Kw}$$

4.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS REGIONES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

A continuación se muestra los valores teóricos de los cálculos de RNI en trabajo de gabinete según los valores de la tabla de la antena de estudio (Tabla 3.2):

Datos:

Antena Panel UHF marca RYMSA AT15-245 Polarización Circular

Frecuencia de Transmisión: 470 - 722 MHz

Frecuencia Central: 509 MHz

Potencia de Transmisión (Pt): 8.3 Kw - Potencia a 509 MHz

Máxima longitud de la antena (D): 98.3 cm

$$\text{Ganancia} = 16.49 \text{ dBd} = 73.1139$$

4.1.2.1 EN LA REGIÓN DE CAMPO CERCANO

Para antenas grandes ($D \geq \lambda$)

Límite entre la región de campo reactivo y la región de campo cercano radiante:

$$R_{\text{ccr}} = \frac{0.25 D^2}{\lambda} \quad (4.6)$$

Donde, R_{ccr} es la extensión lineal del campo cercano reactivo e inicio del campo cercano radiante (m), D es la máxima dimensión lineal de la antena, diagonal para apertura rectangular y diámetro para apertura circular (m) y λ es la longitud de onda

(m); asimismo, c es la velocidad de la luz (m/s) y f es la frecuencia de operación (Hz).

Tabla 4.1: Cálculo del límite entre campo reactivo y campo cercano radiante

c (m/s)	f (Hz)	λ (m)	Constante	D (m)	D ²	Rccr (m)
3.E+08	5.09E+08	0.59	0.25	1.0952525	1.199578	0.5088

Fuente: Elaboración Propia

Límite entre la región de campo cercano radiante y la región de campo lejano:

$$R_{cc} = \frac{0.6 D^2}{\lambda} \quad (4.7)$$

Donde, R_{cc} es la distancia hasta el inicio del campo lejano (m), D es la máxima dimensión lineal de la antena diagonal para el caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular (m) y λ es la longitud de onda (m); asimismo, c es la velocidad de la luz (m/s), f es la frecuencia de operación (Hz).

Tabla 4.2: Cálculo del límite entre campo cercano radiante y campo lejano

c (m/s)	f (Hz)	λ (m)	Constante	D (m)	D ²	Rcc (m)
3.E+08	5.09E+08	0.59	0.6	1.0952525	1.199578	1.2212

Fuente: Elaboración Propia

- CAMPO CERCANO REACTIVO

Densidad de Potencia en el campo cercano reactivo:

$$S_{\text{ccr}} = \frac{16 * \eta * P_t}{\pi * D^2} \quad (4.8)$$

Donde, S_{ccr} es la máxima densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²), η es la eficiencia de la apertura, típicamente 0.5 - 0.75 (adimensional), P_t es la potencia de transmisión (Watts) y D es la máxima dimensión lineal de la antena, diagonal para el caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular (m).

Tabla 4.3: Cálculo de la densidad de potencia en el campo cercano reactivo

constante	η	P_t (w)	$16 * \eta * P_t$	π	D (m)	D^2	$\pi * D^2$	S_{ccr} (W/m ²)
16	0.5222	3698	69344.9151	3.1416	1.0953	1.1996	3.7686	8198.32

Fuente: Elaboración Propia

- CAMPO CERCANO RADIANTE

Densidad de Potencia en el campo cercano radiante:

$$S_t = \frac{S_{\text{ccr}} * R_{\text{ccr}}}{R} \quad (4.9)$$

Donde, S_t es la densidad de potencia dentro de la región de campo cercano radiante (W/m²), S_{ccr} es la máxima densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²), R_{ccr} es la extensión de la región de campo cercano reactivo e inicio de campo cercano radiante (m) y R es la distancia al punto de interés (m)

Tabla 4.4: Cálculo de la densidad de potencia en el campo cercano radiante

S_{cr}	R_{cr}	R	St
8198.32	0.5088	2	2085.6536
8198.32	0.5088	10	417.1307
8198.32	0.5088	20	208.5654
8198.32	0.5088	50	83.4261
8198.32	0.5088	100	41.7131

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2 EN LA REGIÓN DEL CAMPO LEJANO

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2 \quad (4.10)$$

Donde, S es la densidad de Potencia (W/m²), E es la intensidad de campo eléctrico en valor rms (V/m) y H es la intensidad de campo magnético en valor rms (A/m).

Para la antena de estudio, de dipolos colineales verticales, se recomienda la utilización del modelo cilíndrico, que es un predictor más exacto de la exposición cerca de una antena, según lo señalado en la R.M. 612-2004-MTC/03 (Anexo N° 3)

$$S = \frac{P_t}{2\pi R h} \quad (4.11)$$

Donde, P_t es la potencia de transmisión, R es la distancia a la antena y h es la altura de la apertura de antena que es igual a 45 m para el caso de nuestra antena de estudio.

- Densidad de Potencia S (W/m²)

Tabla 4.5: Cálculo de la densidad de potencia en el campo lejano

P_t (watts)	π	R (m)	h (m)	S
3698	3.14159	2	45	6.5395
3698	3.14159	10	45	1.3079
3698	3.14159	20	45	0.6540
3698	3.14159	50	45	0.2616
7396	3.14159	100	45	0.2616

Fuente: Elaboración Propia

- Intensidad de campo Eléctrico E (V/m)

Tabla 4.6: Cálculo de la intensidad de campo eléctrico en el campo lejano

R (m)	S	E
2	6.5395	49.6527
10	1.3079	22.2054
20	0.6540	15.7016
50	0.2616	9.9305
100	0.2616	9.9305

Fuente: Elaboración Propia

- Intensidad de Campo Magnético H (A/m)

Tabla 4.7: Cálculo de la intensidad de campo magnético en el campo lejano

R (m)	S	E	H
2	6.5395	49.6527	0.1317
10	1.3079	22.2054	0.0589
20	0.6540	15.7016	0.0416
50	0.2616	9.9305	0.0263
100	0.2616	9.9305	0.0263

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TEÓRICOS

Las Especificaciones del Decreto N° 038-2003-MTC (Anexo 01) para esta frecuencia de operación para los valores máximos permisibles son los siguientes:

Tabla 4.8: Límites máximos permisibles según D.S. 038-2003-MTC

Límites Máximos Permisibles						
Exposición Poblacional				Exposición Ocupacional		
Rango de Frecuencia (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)
506 - 512 MHz	$1.375 f^{0.5}$	$0.0037 f^{0.5}$	$f/200$	$3 f^{0.5}$	$0.008 f^{0.5}$	$f/40$
	30.92986	0.08322944	2.53	67.483331	0.17995555	12.65

Fuente: D.S. 038 - 2003 - MTC

Nota: El cálculo de Límite Máximo Permisible fue realizado con la menor frecuencia en toda la banda de operación para obtenerse el valor más restrictivo para toda la banda de la estación bajo análisis. (f=506 MHz)

4.1.3.1 POBLACIONAL

- **DENSIDAD DE POTENCIA:** Niveles de Emisión

Tabla 4.9: Resultados para la densidad de potencia poblacional

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antenas			Nivel de Emisión Calculado - S		Límite Máximo Permisible		% del Nivel de Emisión Calculado respecto al LMP
Azimut	Distancia (m)	Puntos de Cálculos	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Ángulo de Azimut 100°	2	1	6.5395	W / m ²	2.5300	W / m ²	258.4785
	10	2	1.3079	W / m ²	2.5300	W / m ²	51.6957
	20	3	0.6540	W / m ²	2.5300	W / m ²	25.8478
	50	4	0.2616	W / m ²	2.5300	W / m ²	10.3391
	100	5	0.2616	W / m ²	2.5300	W / m ²	10.3391

Fuente: Elaboración Propia

- **CAMPO ELÉCTRICO:** Niveles de Emisión

Tabla 4.10: Resultados para el campo eléctrico poblacional

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antenas			Nivel de Emisión Calculado - E		Límite Máximo Permisible		% del Nivel de Emisión
---	--	--	--------------------------------	--	--------------------------	--	------------------------

Azimut	Distancia (m)	Puntos de Cálculos	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Calculado respecto al LMP
Ángulo de Azimut 100°	2	1	49.6527	V / m	30.9298602	V / m	160.5333
	10	2	22.2054	V / m	30.9298602	V / m	71.7927
	20	3	15.7016	V / m	30.9298602	V / m	50.7651
	50	4	9.9305	V / m	30.9298602	V / m	32.1067
	100	5	9.9305	V / m	30.9298602	V / m	32.1067

Fuente: Elaboración Propia

- **CAMPO MAGNÉTICO:** Niveles de Emisión

Tabla 4.11: Resultados para el campo magnético poblacional

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antenas			Nivel de Emisión Calculado - H		Límite Máximo Permissible		% del Nivel de Emisión Calculado respecto al LMP
Azimut	Distancia (m)	Puntos de Cálculos	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Ángulo de Azimut 100°	2	1	0.1317	A / m	0.0832	A / m	158.2431
	10	2	0.0589	A / m	0.0832	A / m	70.7685
	20	3	0.0416	A / m	0.0832	A / m	50.0409
	50	4	0.0263	A / m	0.0832	A / m	31.6486
	100	5	0.0263	A / m	0.0832	A / m	31.6486

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de los cálculos teóricos, para el análisis poblacional, se observa que para las distancias iguales o mayores a 10 metros, el porcentaje del nivel de emisión tanto para la densidad de potencia, intensidad de campo eléctrico e intensidad de campo magnético, es inferior al Límite máximo permisible, establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante D.S. N° 038-2003-MTC

4.1.3.2 OCUPACIONAL

- DENSIDAD DE POTENCIA: Niveles de Emisión

Tabla 4.12: Resultados para la densidad de potencia ocupacional

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antenas			Nivel de Emisión Calculado - S		Límite Máximo Permissible		% del Nivel de Emisión Calculado respecto al LMP
Azimut	Distancia (m)	Puntos de Cálculos	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Ángulo de Azimut 355°	2	1	6.5395	W / m ²	12.6500	W / m ²	51.6957
	10	2	1.3079	W / m ²	12.6500	W / m ²	10.3391
	20	3	0.6540	W / m ²	12.6500	W / m ²	5.1696
	50	4	0.2616	W / m ²	12.6500	W / m ²	2.0678
	100	5	0.2616	W / m ²	12.6500	W / m ²	2.0678

Fuente: Elaboración Propia

- CAMPO ELÉCTRICO: Niveles de Emisión

Tabla 4.13: Resultados para el campo eléctrico ocupacional

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antenas			Nivel de Emisión Calculado - E		Límite Máximo Permissible		% del Nivel de Emisión Calculado respecto al LMP
Azimut	Distancia (m)	Puntos de Cálculos	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Ángulo de Azimut 355°	2	1	49.6527	V / m	67.4833	V / m	73.5778
	10	2	22.2054	V / m	67.4833	V / m	32.9050
	20	3	15.7016	V / m	67.4833	V / m	23.2673
	50	4	9.9305	V / m	67.4833	V / m	14.7156
	100	5	9.9305	V / m	67.4833	V / m	14.7156

Fuente: Elaboración Propia

- CAMPO MAGNÉTICO: Niveles de Emisión

Tabla 4.14: Resultados para el campo magnético ocupacional

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antenas			Nivel de Emisión Calculado - H		Límite Máximo Permissible		% del Nivel de Emisión Calculado respecto al LMP
Azimut	Distancia (m)	Puntos de Cálculos	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Ángulo de Azimut 355°	2	1	0.1317	A / m	0.1800	A / m	73.1874
	10	2	0.0589	A / m	0.1800	A / m	32.7304
	20	3	0.0416	A / m	0.1800	A / m	23.1439
	50	4	0.0263	A / m	0.1800	A / m	14.6375
	100	5	0.0263	A / m	0.1800	A / m	14.6375

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de los cálculos teóricos, para el análisis ocupacional, se observa que para las distancias iguales o mayores a 02 metros, el porcentaje del nivel de emisión tanto para la densidad de potencia, intensidad de campo eléctrico e intensidad de campo magnético, es inferior al Límite máximo permisible, establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante D.S. N° 038-2003-MTC. Esto se debe a que para el análisis ocupacional el LMP es menos restrictivo que para el análisis poblacional.

En base a la gráfica del patrón de radiación horizontal (figura 3.11), se elaboró la siguiente tabla que detalla los valores de la PIRE (Kw) para el lóbulo principal completo.

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
0	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
1	16.49	0.1	16.39	55.58	361.4098626
2	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
3	16.49	0.3	16.19	55.38	345.1437393
4	16.49	0.4	16.09	55.28	337.2873087
5	16.49	0.5	15.99	55.18	329.6097122
6	16.49	0.6	15.89	55.08	322.1068791
7	16.49	0.7	15.79	54.98	314.7748314
8	16.49	0.8	15.69	54.88	307.6096815
9	16.49	0.9	15.59	54.78	300.6076303
10	16.49	1	15.49	54.68	293.7649652
11	16.49	1.1	15.39	54.58	287.0780582

12	16.49	1.2	15.29	54.48	280.5433638
13	16.49	1.3	15.19	54.38	274.1574172
14	16.49	1.4	15.09	54.28	267.9168325
15	16.49	1.5	14.99	54.18	261.8183008
16	16.49	1.6	14.89	54.08	255.8585887
17	16.49	1.7	14.79	53.98	250.0345362
18	16.49	1.8	14.69	53.88	244.3430553
19	16.49	1.9	14.59	53.78	238.7811283
20	16.49	2	14.49	53.68	233.3458062
21	16.49	2.1	14.39	53.58	228.0342072
22	16.49	2.2	14.29	53.48	222.8435149
23	16.49	2.3	14.19	53.38	217.7709772
24	16.49	2.4	14.09	53.28	212.8139046
25	16.49	2.5	13.99	53.18	207.9696687
26	16.49	2.6	13.89	53.08	203.2357011
27	16.49	2.7	13.79	52.98	198.6094917
28	16.49	2.8	13.69	52.88	194.0885878
29	16.49	2.9	13.59	52.78	189.6705921
30	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
31	16.49	2.95	13.54	52.73	187.4994508
32	16.49	2.9	13.59	52.78	189.6705921
33	16.49	2.85	13.64	52.83	191.8668741

34	16.49	2.8	13.69	52.88	194.0885878
35	16.49	2.75	13.74	52.93	196.3360277
36	16.49	2.7	13.79	52.98	198.6094917

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
37	16.49	2.65	13.84	53.03	200.9092813
38	16.49	2.6	13.89	53.08	203.2357011
39	16.49	2.55	13.94	53.13	205.5890596
40	16.49	2.5	13.99	53.18	207.9696687
41	16.49	2.45	14.04	53.23	210.377844

42	16.49	2.4	14.09	53.28	212.8139046
43	16.49	2.35	14.14	53.33	215.2781735
44	16.49	2.3	14.19	53.38	217.7709772
45	16.49	2.25	14.24	53.43	220.2926463
46	16.49	2.2	14.29	53.48	222.8435149
47	16.49	2.15	14.34	53.53	225.4239212
48	16.49	2.1	14.39	53.58	228.0342072
49	16.49	2.05	14.44	53.63	230.6747189
50	16.49	2	14.49	53.68	233.3458062
51	16.49	2.08	14.41	53.6	229.0867653
52	16.49	2.16	14.33	53.52	224.9054606
53	16.49	2.24	14.25	53.44	220.8004733
54	16.49	2.32	14.17	53.36	216.7704105
55	16.49	2.4	14.09	53.28	212.8139046
56	16.49	2.48	14.01	53.2	208.9296131
57	16.49	2.56	13.93	53.12	205.1162179
58	16.49	2.64	13.85	53.04	201.372425
59	16.49	2.72	13.77	52.96	197.696964
60	16.49	2.8	13.69	52.88	194.0885878
61	16.49	2.84	13.65	52.84	192.3091729
62	16.49	2.88	13.61	52.8	190.5460718
63	16.49	2.92	13.57	52.76	188.7991349

64	16.49	2.96	13.53	52.72	187.068214
65	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
66	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
67	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
68	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
69	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
70	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
71	16.49	2.85	13.64	52.83	191.8668741
72	16.49	2.7	13.79	52.98	198.6094917

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
73	16.49	2.55	13.94	53.13	205.5890596
74	16.49	2.4	14.09	53.28	212.8139046
75	16.49	2.25	14.24	53.43	220.2926463
76	16.49	2.05	14.44	53.63	230.6747189
77	16.49	1.9	14.59	53.78	238.7811283

78	16.49	1.75	14.74	53.93	247.1724145
79	16.49	1.6	14.89	54.08	255.8585887
80	16.49	1.5	14.99	54.18	261.8183008
81	16.49	1.4	15.09	54.28	267.9168325
82	16.49	1.3	15.19	54.38	274.1574172
83	16.49	1.2	15.29	54.48	280.5433638
84	16.49	1.1	15.39	54.58	287.0780582
85	16.49	1	15.49	54.68	293.7649652
86	16.49	0.9	15.59	54.78	300.6076303
87	16.49	0.8	15.69	54.88	307.6096815
88	16.49	0.7	15.79	54.98	314.7748314
89	16.49	0.6	15.89	55.08	322.1068791
90	16.49	0.5	15.99	55.18	329.6097122
91	16.49	0.47	16.02	55.21	331.8944576
92	16.49	0.44	16.05	55.24	334.19504
93	16.49	0.41	16.08	55.27	336.5115694
94	16.49	0.38	16.11	55.3	338.8441561
95	16.49	0.35	16.14	55.33	341.1929116
96	16.49	0.32	16.17	55.36	343.5579479
97	16.49	0.29	16.2	55.39	345.9393778
98	16.49	0.26	16.23	55.42	348.337315
99	16.49	0.23	16.26	55.45	350.751874

100	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
101	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
102	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
103	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
104	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
105	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
106	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
107	16.49	0.275	16.215	55.405	347.1362759
108	16.49	0.35	16.14	55.33	341.1929116

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
109	16.49	0.425	16.065	55.255	335.3513045
110	16.49	0.5	15.99	55.18	329.6097122
111	16.49	0.55	15.94	55.13	325.836701
112	16.49	0.6	15.89	55.08	322.1068791
113	16.49	0.65	15.84	55.03	318.4197522

114	16.49	0.7	15.79	54.98	314.7748314
115	16.49	0.75	15.74	54.93	311.1716337
116	16.49	0.8	15.69	54.88	307.6096815
117	16.49	0.85	15.64	54.83	304.0885026
118	16.49	0.9	15.59	54.78	300.6076303
119	16.49	0.95	15.54	54.73	297.1666032
120	16.49	1	15.49	54.68	293.7649652
121	16.49	1.1	15.39	54.58	287.0780582
122	16.49	1.2	15.29	54.48	280.5433638
123	16.49	1.3	15.19	54.38	274.1574172
124	16.49	1.4	15.09	54.28	267.9168325
125	16.49	1.5	14.99	54.18	261.8183008
126	16.49	1.6	14.89	54.08	255.8585887
127	16.49	1.7	14.79	53.98	250.0345362
128	16.49	1.8	14.69	53.88	244.3430553
129	16.49	1.9	14.59	53.78	238.7811283
130	16.49	2	14.49	53.68	233.3458062
131	16.49	2.14	14.35	53.54	225.943577
132	16.49	2.28	14.21	53.4	218.7761624
133	16.49	2.42	14.07	53.26	211.8361135
134	16.49	2.56	13.93	53.12	205.1162179
135	16.49	2.7	13.79	52.98	198.6094917

136	16.49	2.85	13.64	52.83	191.8668741
137	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
138	16.49	3.35	13.14	52.33	171.0015315
139	16.49	3.7	12.79	51.98	157.761127
140	16.49	4	12.49	51.68	147.2312502
141	16.49	4.22	12.27	51.46	139.9587323
142	16.49	4.44	12.05	51.24	133.0454418
143	16.49	4.66	11.83	51.02	126.4736347
144	16.49	4.88	11.61	50.8	120.2264435

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
145	16.49	5.1	11.39	50.58	114.2878335
146	16.49	5.32	11.17	50.36	108.6425624
147	16.49	5.54	10.95	50.14	103.2761406
148	16.49	5.76	10.73	49.92	98.1747943
149	16.49	5.98	10.51	49.7	93.32543008

150	16.49	6.2	10.29	49.48	88.7156012
151	16.49	6.6	9.89	49.08	80.90958992
152	16.49	7	9.49	48.68	73.79042301
153	16.49	7.4	9.09	48.28	67.29766563
154	16.49	7.8	8.69	47.88	61.37620052
155	16.49	8.2	8.29	47.48	55.97576015
156	16.49	8.6	7.89	47.08	51.0505
157	16.49	9	7.49	46.68	46.55860935
158	16.49	9.17	7.32	46.51	44.77133042
159	16.49	9.34	7.15	46.34	43.05266105
160	16.49	9.5	6.99	46.18	41.49540426
161	16.49	10.05	6.44	45.63	36.55947916
162	16.49	10.6	5.89	45.08	32.21068791
163	16.49	11.15	5.34	44.53	28.37919028
164	16.49	11.7	4.79	43.98	25.00345362
165	16.49	12.25	4.24	43.43	22.02926463
166	16.49	12.8	3.69	42.88	19.40885878
167	16.49	13.35	3.14	42.33	17.10015315
168	16.49	13.9	2.59	41.78	15.06607066
169	16.49	14.45	2.04	41.23	13.27394458
170	16.49	15	1.49	40.68	11.69499391
171	16.49	15.3	1.19	40.38	10.91440336

172	16.49	15.6	0.89	40.08	10.18591388
173	16.49	15.9	0.59	39.78	9.506047937
174	16.49	16.2	0.29	39.48	8.87156012
175	16.49	16.5	-0.01	39.18	8.279421637
176	16.49	16.8	-0.31	38.88	7.726805851
177	16.49	17.1	-0.61	38.58	7.211074792
178	16.49	17.4	-0.91	38.28	6.729766563
179	16.49	17.7	-1.21	37.98	6.280583588
180	16.49	18	-1.51	37.68	5.861381645

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
181	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
182	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
183	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
184	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
185	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

186	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
187	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
188	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
189	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
190	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
191	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
192	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
193	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
194	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
195	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
196	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
197	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
198	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
199	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
200	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
201	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
202	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
203	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
204	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
205	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
206	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
207	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

208	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
209	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
210	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
211	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
212	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
213	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
214	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
215	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
216	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
217	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
218	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
219	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
220	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
221	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

222	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
223	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
224	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
225	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
226	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
227	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
228	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
229	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
230	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
231	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
232	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
233	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
234	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
235	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
236	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
237	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
238	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
239	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
240	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
241	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
242	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
243	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

244	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
245	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
246	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
247	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
248	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
249	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
250	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
251	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
252	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
253	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
254	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
255	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
256	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
257	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

258	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
259	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
260	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
261	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
262	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
263	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
264	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
265	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
266	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
267	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
268	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
269	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
270	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
271	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
272	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
273	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
274	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
275	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
276	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
277	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
278	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652
279	16.49	21	-4.51	34.68	2.937649652

280	16.49	18	-1.51	37.68	5.861381645
281	16.49	17.7	-1.21	37.98	6.280583588
282	16.49	17.4	-0.91	38.28	6.729766563
283	16.49	17.1	-0.61	38.58	7.211074792
284	16.49	16.8	-0.31	38.88	7.726805851
285	16.49	16.5	-0.01	39.18	8.279421637
286	16.49	16.2	0.29	39.48	8.87156012
287	16.49	15.9	0.59	39.78	9.506047937
288	16.49	15.6	0.89	40.08	10.18591388

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
289	16.49	15.3	1.19	40.38	10.91440336
290	16.49	15	1.49	40.68	11.69499391
291	16.49	14.25	2.24	41.43	13.89952631
292	16.49	13.5	2.99	42.18	16.51961798
293	16.49	12.75	3.74	42.93	19.63360277

294	16.49	12	4.49	43.68	23.33458062
295	16.49	11.5	4.99	44.18	26.18183008
296	16.49	11	5.49	44.68	29.37649652
297	16.49	10.5	5.99	45.18	32.96097122
298	16.49	10	6.49	45.68	36.98281798
299	16.49	9.5	6.99	46.18	41.49540426
300	16.49	9	7.49	46.68	46.55860935
301	16.49	8.7	7.79	46.98	49.88844875
302	16.49	8.4	8.09	47.28	53.45643594
303	16.49	8.1	8.39	47.58	57.2796031
304	16.49	7.8	8.69	47.88	61.37620052
305	16.49	7.5	8.99	48.18	65.76578374
306	16.49	7.2	9.29	48.48	70.4693069
307	16.49	6.9	9.59	48.78	75.50922277
308	16.49	6.6	9.89	49.08	80.90958992
309	16.49	6.3	10.19	49.38	86.69618758
310	16.49	6	10.49	49.68	92.89663868
311	16.49	5.8	10.69	49.88	97.27472238
312	16.49	5.6	10.89	50.08	101.8591388
313	16.49	5.4	11.09	50.28	106.6596121
314	16.49	5.2	11.29	50.48	111.6863248
315	16.49	5	11.49	50.68	116.9499391

316	16.49	4.8	11.69	50.88	122.4616199
317	16.49	4.6	11.89	51.08	128.2330583
318	16.49	4.4	12.09	51.28	134.2764961
319	16.49	4.2	12.29	51.48	140.6047524
320	16.49	4	12.49	51.68	147.2312502
321	16.49	3.8	12.69	51.88	154.1700453
322	16.49	3.6	12.89	52.08	161.4358557
323	16.49	3.4	13.09	52.28	169.0440932
324	16.49	3.2	13.29	52.48	177.0108958

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15: Análisis Azimut vs Pire

AZIMUT	Gneta	G(P.R.)	G(dBd)	PIRE (dBd)	PIRE (Kw)
325	16.49	3	13.49	52.68	185.3531623
326	16.49	2.8	13.69	52.88	194.0885878
327	16.49	2.6	13.89	53.08	203.2357011
328	16.49	2.4	14.09	53.28	212.8139046
329	16.49	2.2	14.29	53.48	222.8435149
330	16.49	2	14.49	53.68	233.3458062

331	16.49	1.9	14.59	53.78	238.7811283
332	16.49	1.8	14.69	53.88	244.3430553
333	16.49	1.7	14.79	53.98	250.0345362
334	16.49	1.6	14.89	54.08	255.8585887
335	16.49	1.5	14.99	54.18	261.8183008
336	16.49	1.4	15.09	54.28	267.9168325
337	16.49	1.3	15.19	54.38	274.1574172
338	16.49	1.2	15.29	54.48	280.5433638
339	16.49	1.1	15.39	54.58	287.0780582
340	16.49	1	15.49	54.68	293.7649652
341	16.49	0.9	15.59	54.78	300.6076303
342	16.49	0.8	15.69	54.88	307.6096815
343	16.49	0.7	15.79	54.98	314.7748314
344	16.49	0.6	15.89	55.08	322.1068791
345	16.49	0.5	15.99	55.18	329.6097122
346	16.49	0.4	16.09	55.28	337.2873087
347	16.49	0.3	16.19	55.38	345.1437393
348	16.49	0.2	16.29	55.48	353.1831698
349	16.49	0.1	16.39	55.58	361.4098626
350	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
351	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
352	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798

353	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
354	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
355	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
356	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
357	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
358	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
359	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798
360	16.49	0	16.49	55.68	369.8281798

Fuente: Elaboración propia

4.2 MEDICIONES REALIZADAS

Para el estudio se tomó como referencia la estación de transmisión de TV digital de la Compañía Peruana de Radiodifusión - Frecuencia Latina. A continuación mostramos los valores de las mediciones realizadas de RNI en el Cerro Marcavilca (Morro Solar).

4.2.1 OBJETIVO

Presentar y evaluar los resultados de las medidas de intensidad de campos electromagnéticos (Radiaciones No Ionizantes - RNI) emitidos por las Estaciones de televisión digital terrestre en la ciudad de Lima.

Para el presente estudio se tomó como referencia información de la empresa Compañía Latinoamericana de Radiodifusión S.A., a la cual se le asignó el canal 20, mediante Resolución Viceministerial N° 482-2010-MTC/03 (Anexos 04 y 06).

Se deberá verificar los niveles de exposición a los que el público en general está sometido, y si están de acuerdo con los límites establecidos en el Decreto Supremo 038 - 2003 del 06 de julio de 2003 emitido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú y en la Resolución Ministerial N° 613-2004 del 17 de

agosto de 2004 emitida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (Anexos 01 y 02).

4.2.2 DIRECTRICES GENERALES PARA LA MEDICIÓN

Inicialmente, para reconocimiento del local, fue necesario considerar la siguiente información:

- Croquis, con planta del Distrito.
- Datos de la estación (ubicación de la antena estudiada).
- Facilidades de acceso y desplazamiento en la cercanía de la estación.

La elección de los puntos de medición fue hecha a través de inspección del local donde la estación está instalada.

En principio, los puntos más críticos, y por tanto candidatos a puntos de medición, son aquellos situados en la cercanía de la estación transmisora, en las direcciones de mayor ganancia de la antena transmisora, y deben ser accesibles al público en general.

Asimismo, los puntos preferenciales para medición, con Medidor Isotrópico deberán estar situados:

- Dentro o próximo a los lóbulos principales del diagrama horizontal y vertical de la antena de transmisión, consideradas las eventuales inclinaciones de las antenas.
- En los locales donde haya posibilidad de acceso o tránsito eventual de público en general.
- El punto de medición debe estar a una distancia radial máxima de 100 metros respecto a la base del sistema irradiante.

Será adoptado en este informe la nomenclatura, Medidor Isotrópico, para el monitor portátil analizador de campo electromagnético de acuerdo a lo especificado en el Decreto Supremo No 038 – 2003 (Anexo 01).

Asimismo cabe indicar que se tomó como referencia para el valor de la Densidad de Potencia, 2.53 W/m^2 , de acuerdo a lo estipulado en los valores oficiales para el LMP según el D.S. 038-MTC - 2003. Debido a que nuestro equipo de medición está calibrado para tomar valores en unidades de mW/cm^2 se tomó la equivalencia correspondiente al valor oficial del LMP (0.253 mW/cm^2).

4.2.3 INSTRUMENTAL UTILIZADO

Instrumental e infraestructura utilizada para las mediciones:

- Medidor Isotrópico marca NARDA modelo 8716 Electromagnetic Monitor, con sensores isotrópicos para campo eléctrico y campo magnético, como se muestra en la fig. 4.1



Fig. 4.1 Medidor Isotrópico marca NARDA modelo 8716 Electromagnetic Monitor

Fuente: Laboratorio de telecomunicaciones U.R.P.

- GPS marca GARMIN, modelo ETREXH



Fig. 4.2 GPS marca GARMIN, modelo ETREXH

Fuente: Laboratorio de telecomunicaciones U.R.P.

4.2.4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Para la ejecución de las mediciones fueron establecidos los siguientes procedimientos generales:

- Para evaluación del nivel de radiación fue utilizado el medidor isotrópico.
- Se empuñó el medidor isotrópico con el brazo estirado para minimizar el efecto del cuerpo del operador sobre la medición.
- El medidor isotrópico se mantuvo apartado de cualquier estructura metálica o cualesquiera otros obstáculos. A una distancia por lo menos 3 veces mayor que la dimensión del sensor.
- Utilizando el medidor isotrópico, se evaluaron los niveles de radiación en puntos en las cercanías de estructuras metálicas como portones y rejas, donde las difracciones y ponderaciones pueden alterar localmente los niveles de señal.
- En cada punto de medición seleccionado, se movió el sensor del medidor con el objetivo de encontrar la región con los mayores valores de radiaciones.
- Se ejecutó una medición desplazándose la sonda sobre el trayecto más probable por donde las personas podrán pasar y en las áreas de uso público.
- Previamente, se verificó que el servicio de transmisión de televisión digital se encuentre en transmisión al 100%.
- Fueron medidos 5 puntos para cada dirección del lóbulo principal.
- Para referenciar las distancias del punto de medición hasta el sistema radiante, se registraron las distancias de los puntos medidos con relación a la base de la torre existente en la estación.

4.2.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 4.16: Resultados de las mediciones realizadas

Equipo de medida utilizado			Datos de las mediciones	
Marca: NARDA			Fecha de realización: 02 Junio 2012	
Modelo: 8716 Electromagnetic Monitor			Inicio / Fin: 10:00 a.m. - 10:50 a.m.	
N° de serie: 10083			Responsable: ELVIS NAVARRO	
			N° total de mediciones: 20	
Localización del punto de evaluación respecto del soporte de antenas			Se detecta nivel superior al umbral (Si - No)	El punto corresponde a un área de uso público (Si - No)
Punto de medida (m)	Valor Medido (mW/cm2)	Azimut (°)		
2N	0.32	100	Si	No
10N	0.22	100	No	No
20N	0.32	100	Si	No
50N	0.35	100	Si	No
100N	0.17	100	No	No
2S	0.49	100	Si	No
10S	0.12	100	No	No
20S	0.06	100	No	No
50S	0.04	100	No	No
100S	0.01	100	No	No

2E	0.26	100	Si	No
10E	0.10	100	No	No
20E	0.06	100	No	No
50E	0.04	100	No	No
100E	0.02	100	No	No
2W	0.28	100	Si	No
10W	0.15	100	No	No
20W	0.12	100	No	No
50W	0.08	100	No	No
100W	0.02	100	No	No

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.16: Resultados de las mediciones realizadas

Equipo de medida utilizado			Datos de las mediciones	
Marca: NARDA			Fecha de realización: 02 Junio 2012	
Modelo: 8716 Electromagnetic Monitor			Inicio / Fin: 11:00 a.m. - 11:35 a.m.	
N° de serie: 10083			Responsable: ELVIS NAVARRO	
			N° total de mediciones: 20	
Localización del punto de evaluación respecto del soporte de antenas			Se detecta nivel superior al umbral (Si - No)	El punto corresponde a un área de uso público (Si - No)
Punto de medida (m)	Valor Medido (mW/cm2)	Azimut (°)		
2N	0.28	355	Si	No

10N	0.20	355	No	No
20N	0.31	355	Si	No
50N	0.32	355	Si	No
100N	0.20	355	No	No
2S	0.47	355	Si	No
10S	0.12	355	No	No
20S	0.08	355	No	No
50S	0.05	355	No	No
100S	0.01	355	No	No
2E	0.34	355	Si	No
10E	0.06	355	No	No
20E	0.02	355	No	No
50E	0.01	355	No	No
100E	0.01	355	No	No
2W	0.30	355	Si	No
10W	0.08	355	No	No
20W	0.04	355	No	No
50W	0.01	355	No	No
100W	0.01	355	No	No

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos durante las mediciones realizadas, se observa que para las distancias iguales o mayores a 10 metros, los valores medidos, se encuentran por debajo del límite máximo permisible establecido por el DS 038 – MTC – 2003 (Anexo N° 1).

Asimismo, se observa que a medida que aumenta la distancia del punto de medición a la antena, los valores de densidad de potencia disminuyen, siguiendo con la relación de la disminución con el cuadrado de la distancia.

Cabe indicar, que en los puntos de 20 metros y 50 metros en orientación norte, para ambos ángulos de azimut, en los cuales los valores superan el umbral del límite máximo permisible, se deben a la presencia de otros emplazamientos radioeléctricos que generan la inmisión o sumatoria de todas las fuentes de radiofrecuencia presentes en el lugar.

La diferencia entre los resultados de los cálculos teóricos y los valores de las mediciones respecto a la distancia a partir de la cual la densidad de potencia es menor al límite máximo permisible, se debe a que en los cálculos teóricos el método es predictivo (matemáticamente), mientras que en las mediciones los valores son los valores arrojados por un equipo de medición.

Es importante resaltar, que todos los puntos donde se realizaron las mediciones corresponden a lugares no accesibles al público en general dado que corresponde a una zona asignada exclusivamente para la transmisión de servicios de telecomunicaciones para la ciudad de Lima.

En las figuras 4.3 y 4.4, se muestran las vistas de la estación transmisora de televisión: torre y antenas; así como fotografías del proceso de medición.



Fig. 4.3 Vistas de la Torre y Antenas



Fig. 4.4 Fotos del proceso de medición

La figura 4.5 muestra el plano de ubicación de la estación transmisora de televisión medida, Compañía Peruana de Radiodifusión - Frecuencia Latina

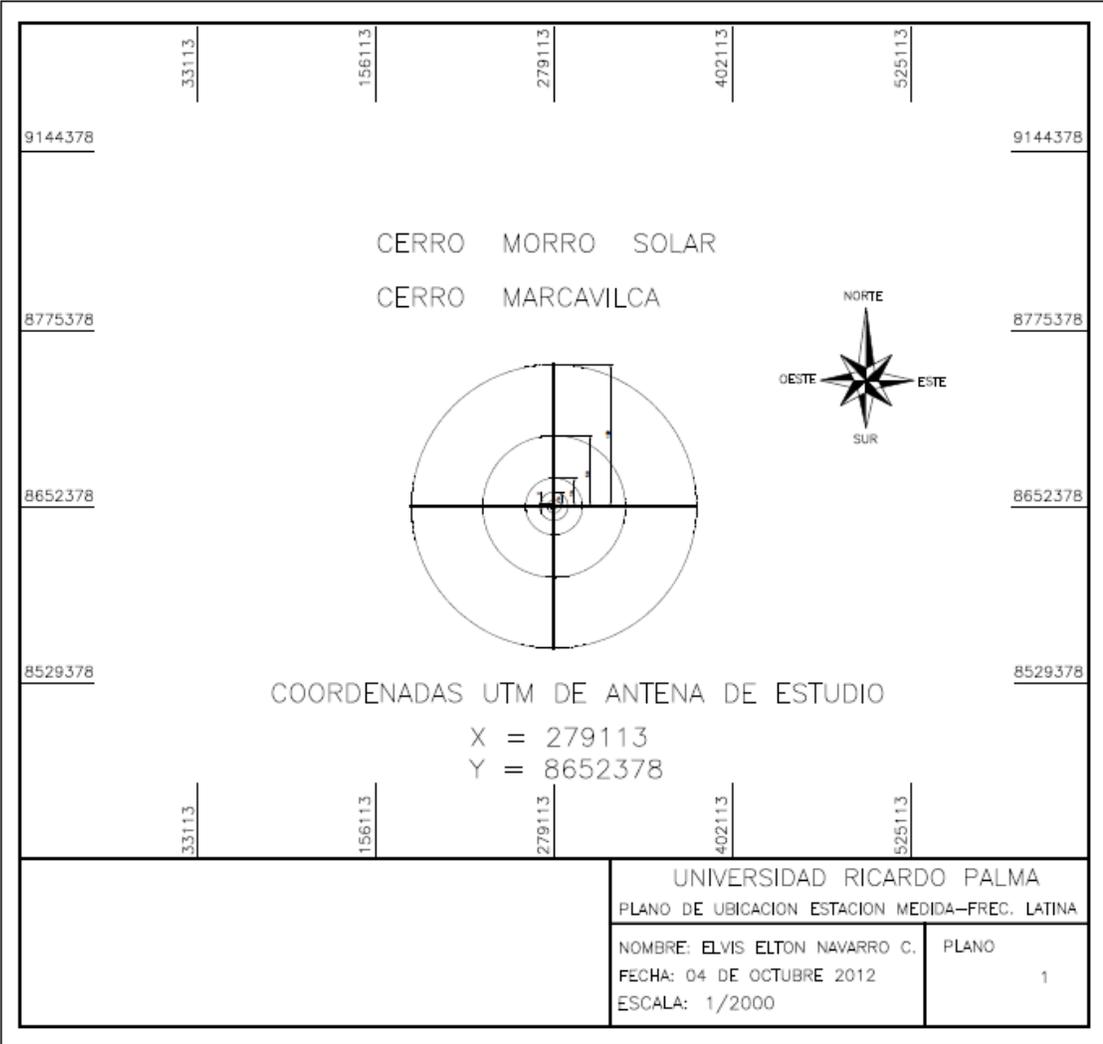


Fig. 4.5 Plano de ubicación de la estación medida

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

1. De acuerdo a los resultados obtenidos a través de los cálculos teóricos, a partir de los 10 metros para el análisis poblacional y 02 metros para el análisis ocupacional, las emisiones electromagnéticas de la estación analizada, poseen sus niveles de radiación, inferiores al límite máximo permisible establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante D.S. N° 038-2003-MTC.
2. Asimismo, de acuerdo a los resultados obtenidos a través de las mediciones, a partir de los 10 metros, las emisiones electromagnéticas de la estación analizada, poseen sus niveles de radiación, inferiores al límite máximo permisible establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante D.S. N° 038-2003-MTC.
3. Los niveles de radiación superiores a los valores considerados como aceptables, obtenidos durante las mediciones, a 20 metros y 50 metros en orientación norte, se deben a la presencia de otros emplazamientos radioeléctricos que generan la inmisión o sumatoria de todas las fuentes de radiofrecuencia presentes en el lugar.
4. En base a los resultados obtenidos tanto mediante los cálculos teóricos como mediante las mediciones realizadas, se puede concluir que los niveles de radiación electromagnética emitidos por la estación transmisora instalada en el cerro Marcavilca, distrito de Chorrillos, que emite señal de televisión digital en la ciudad de Lima, cumplen con la normativa establecida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante D.S. N° 038-2003-MTC.
5. La Organización Mundial de la Salud, por varios años viene realizando investigaciones sobre radiaciones no ionizantes, en función de las cuales ha efectuado recomendaciones sobre los límites máximos de exposición humana a las Ondas Electromagnéticas y hasta la actualidad, este Organismo Internacional, no ha detectado que se produzcan efectos adversos en la salud de la población dentro de los límites establecidos, pero tampoco indican que no haya efectos bajo largas exposiciones.

5.2 RECOMENDACIONES:

1. Es necesario que el personal técnico de implementación y mantenimiento tomen las precauciones debidas en las proximidades cercanas a las antenas. Se recomienda que al realizar mantenimiento a las instalaciones del servicio que se brinda, se utilice algún tipo de protección con relación a las radiaciones no ionizantes.
2. Se deberían introducir medidas de precaución adicionales que ayuden a reducir la exposición a los campos de RF, sin dejar de considerar la base científica de las normas incorporando arbitrariamente factores de seguridad adicionales.
3. Medidas simples de prevención: Cercos, barreras, u otro tipo de medidas de protección son necesarios en algunas estaciones repetidoras de transmisión de tv digital para evitar el acceso no autorizado a áreas en donde los niveles de exposición pueden estar por encima de los límites permisibles.
4. Se deben establecer métodos de medición repetitiva y periódica, para generar base estadística, con definición de mapas de radiaciones y, eventualmente, generación de zonas protegidas.
- 5.
6. Consultar con la comunidad para la ubicación de estaciones re transmisoras de televisión digital: El emplazamiento de las estaciones transmisoras deben ofrecer buena cobertura para la señal y debe ser de fácil acceso para su mantenimiento. Si bien los niveles de los campos de RF entorno a la estación transmisora no deben ser considerados un riesgo a la salud, la decisión sobre su emplazamiento debe considerar tanto la estética como la susceptibilidad del público.
7. Promover información: Un sistema efectivo de información sobre la salud y la comunicación entre científicos, el gobierno, las industrias y el público en general es necesario para incrementar el entendimiento general acerca de la tecnología y así, reducir cualquier tipo de desconfianzas y temores, tanto de los reales como los imaginarios. Esta información debe ser exacta y al mismo tiempo apropiado para el buen entendimiento de aquellos para quienes está dirigida.

BIBLIOGRAFÍA

Cruz Ornetta, V. Gestión Ambiental de la Telefonía Móvil. Perú: INICTEL - UNI; 2006.

Cruz Ornetta V. Las Redes de la Telefonía Móvil y la Salud de las Personas. Perú: INICTEL; 2006.

Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones. Proyecto “Evaluación de las Radiaciones No Ionizantes producidas por los Servicios de Telecomunicaciones”. Perú: INICTEL; 2002.

Recomendación K.52: “Orientación sobre el cumplimiento de los Límites de Exposición de las personas a los Campos Electromagnéticos”. Serie K - Protección contra las Interferencias; UIT-T, 2000.

“Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up 300 GHz)”. ICNIRP, 1998.

Cruz Ornetta V. Diagnóstico Nacional de las Radiaciones No Ionizantes Producidas por los Servicios de Telecomunicaciones. [Tesis de Maestría]. Lima: Universidad Ricardo Palma; 2002.

Decreto Supremo N° 038-2006-MTC de 6 de diciembre de 2006, Modifican D.S. N° 038-2003-MTC mediante el cual se aprobaron Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones. (Diario Oficial El Peruano, de 07-12-2006).

Pontificia Universidad Católica de Chile, Análisis de los Estándares de Transmisión de Televisión Digital Terrestre y su aplicabilidad al medio nacional. Santiago, 2006. URL disponible en:

<http://www.subtel.cl/prontus_tvd/site/artic/20070315/asocfile/20070315173311/estudio_uc.pdf>

Moulder, Jhon E. Antenas de Telefonía y Salud. Medical College of Wisconsin, 2005. Consulta 10 Diciembre 2011. URL disponible en:

<<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/telefonos-moviles-salud/toc.html>>

Cruz Ornet V. Estudio de factibilidad para la instalación de una red de TV para el departamento de Ancash; UNMSM, 1986.

Lathi Robert. Introducción a la teoría y sistemas de comunicación. México: Mc Graw Hill - 1° Edición; 1986

Marín Abanto, O. Metodología de la evaluación de las Radiaciones no Ionizantes (RNI) producidas por los servicios de Radiodifusión Sonora y Televisiva. Lima: Universidad Ricardo Palma; 2002.

Oficina de Ingeniería y Tecnología de la FCC. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. Boletín 65 de la OET, Edición 97-01. FCC, 1997.

Asociación de Radio y Televisión del Perú, “Televisión Digital”. Lima, 2007 [Diapositivas]. Consulta: 30 de mayo del 2010. URL disponible en:

< www.mtc.gob.pe/portal/tdt/docs/pres_artv.ppt >

DTV Answers (a), Consulta 10 Diciembre 2011. URL disponible en: <http://www.dtvanswers.com/esp_what.html>

DTV Answers (b), Consulta 10 Diciembre 2011. URL disponible en: <<http://www.dtv.gov/spanish/needtoknow.html>>

DTV Answers (c), Consulta 10 Diciembre 2011.URL disponible en:
<<http://www.dtv.gov/spanish/whatisdtv.html>>

Hernández, Oliver. “Descripción del Estándar MPEG-2”. Revista Electrónica de la Escuela de Ingeniería Electrónica. Caracas, número 1, 1997. Consulta: 30 de Mayo del 2011. URL disponible en: <<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No1/Mpeg2.htm>>

Sienra, Luis Gabriel. “ATSC o DVB?” México D.F. 2002. Consulta: 30 de mayo del 2011. URL disponible en: <<http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=23>>

Hoja de Especificaciones Técnicas de Antena RYMSA AT15-245_LP, Consulta: 30 de mayo del 2011. URL disponible en: http://www.rymsa.com/pdf/productsrf-2011/AT15-245_LP.pdf

Arteaga Serpa, A. Implementación de un enlace punto a punto para la transmisión de video digital desde planta de origen de un canal de televisión a planta transmisora en Morro Solar [XXI Programa de Titulación Profesional Extraordinaria]. Perú: Universidad Ricardo Palma; 2008.

ANEXOS

1. Decreto Supremo N° 038–2003–MTC: “Límites Máximos Permisibles de Radiaciones no Ionizantes en Telecomunicaciones”.
2. Resolución Ministerial N° 613-2004 MTC/03: “Protocolos de Medición de Radiaciones no Ionizantes”.
3. Resolución Ministerial N° 612-2004-MTC/03: “Norma Técnica Lineamientos para el desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones no Ionizantes”.
4. Resolución Viceministerial N° 482-2010-MTC/03: “Modifican planes de canalización y asignación de frecuencias del servicio de radiodifusión por televisión en UHF del departamento de Lima”.
5. Hoja de Especificaciones Técnicas de Antena RYMSA AT15-245_LP.
6. Distribución de frecuencias de canales de Lima.