

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COBERTURA DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES QUE OPERA EN LAS BANDAS VHF Y UHF

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Gruber V, Rene I
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

COBERTURA DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES QUE OPERA EN LAS BANDAS VHF Y UHF

Prof. Guía: Ing. Zeldivar Bruzual
Tutor Industrial: Ing. Giovanni Jurado

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Gruber V, Rene I
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2005

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 18 de noviembre de 2005

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Gruber V. Rene I., titulado:

“COBERTURA DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES QUE OPERA EN LAS BANDAS VHF Y UHF”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Bartolomé Cusati
Jurado



Prof. Franklin Martínez
Jurado



Prof. Zeldivar Bruzual
Profesor Guía



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, CRISTINA y RENE, y a mi madrina MARIANELA, las tres personas que más quiero, quienes siempre han estado a mi lado guiandome y brindandome su apoyo en cada momento de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme este gran logro.

A mis padres por apoyarme, entregarme su amor y comprensión.

A mis hermanas por brindarme su ayuda en todo momento.

A mi tía Isabel, por darme su confianza.

A una amiga muy especial por darme su apoyo incondicional. Gracias por hacer tanto por mí.

A mis compañeros ucevistas con quienes compartí esta etapa de mi vida, en especial a mi amigo Miguel Román.

A Daniel Leguízamo, por su ayuda valiosa en la realización de este trabajo.

A mi profesor guía, Zeldivar Bruzual, por su asesoría.

A Maria Auxiliadora Rojas, por su paciencia y ayuda prestada.

A todas las personas que laboran en la Gerencia de Transmisores y Microondas de VENEVISIÓN, en especial a mi tutor Ing. Giovanny Jurado, y a los ingenieros Edwar Villegas, Jairo Jimenez y Eduardo Verde.

Gruber V. Rene I.

**COBERTURA DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES
MÓVILES QUE OPERA EN LAS BANDAS VHF Y UHF**

**Profesor Guía: Ing. Zeldivar Bruzual. Tutor Industrial: Ing. Giovanni Jurado
Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.
Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: VENEVISIÓN.
2005. 101 h. + anexos.**

Palabras Claves: Comunicaciones Móviles, Métodos de cálculo de cobertura.

Resumen. La red de comunicaciones móviles de VENEVISIÓN, cuya cobertura se extiende en el ámbito nacional, permite coordinar todas aquellas actividades de carácter técnico que tienen por objetivo velar por el buen funcionamiento de todos los sistemas radioeléctricos de la empresa. Calcular el área de cobertura de la red, provee información al administrador de la misma, para tomar la decisión de instalar nuevas estaciones o realizar mejoras en las ya existentes. Debido al volumen de información que es necesario manejar y la complejidad que pueden tener los cálculos que conllevan a determinar la zona de cobertura del sistema, es conveniente la utilización de una aplicación informática que facilite esta tarea. Se diseñó y desarrolló un *software* que resuelve estas complicaciones y permite optimizar el tiempo empleado al momento del diseño y presentación de proyectos, adaptándose a las normativas procedentes de las administraciones locales e internacionales, las cuales condicionan en gran medida la planificación y estructuración de la red. A través de la aplicación creada, se obtuvieron los diagramas de cobertura de las estaciones del sistema, los cuales representan áreas teóricamente cubiertas, en un porcentaje de ubicaciones y de tiempo de 50% y 50%.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 PROPAGACIÓN DE ONDAS EN EL ESPACIO	4
1.4.1 Atenuación en el espacio libre	4
1.4.2 Cálculo de la intensidad de campo eléctrico	5
1.4.3 Refracción atmosférica.....	6
1.4.4 Difracción.....	7
1.4.5 Reflexión sobre la superficie terrestre.....	11
1.5 BANDAS DE OPERACIÓN Y MECANISMOS DE PROPAGACIÓN.....	12
1.5.1 Propagación por ondas de tierra	13
1.5.2 Propagación por ondas espaciales	14
1.5.3 Propagación por ondas de cielo.....	15
1.6 ADAPTACIÓN DE SEÑALES AL MEDIO	16
1.6.1 Modulación en amplitud.....	17
1.6.2 Modulación angular.....	17
1.7 SISTEMAS MÓVILES DE RADIOCOMUNICACIÓN.....	17
1.8 PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS MÓVILES	18
1.8.1 Área de cobertura	20
1.8.2 Planificación de frecuencias	21
1.9 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE PROPAGACIÓN	22
1.9.1 Método empírico propuesto por la UIT.....	23
1.9.2 Método Okumura	26
1.9.3 Método Okumura-Hata	31
1.9.4 Método Cost 231 Walfisch-Ikegami	32

1.9.5 Método de Bullington.....	33
1.9.6 Métodos Broadcast-Carey	35
CAPÍTULO II	36
CREACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	36
2.1 SELECCIÓN DEL LENGUAJE	38
2.2 VISUAL BASIC COMO HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN	38
2.3 REPRESENTACIÓN ANALÍTICA DE CURVAS	39
2.4 VARIABLES DE ENTRADA	49
2.5 PROCEDIMIENTOS PRINCIPALES DEL SOFTWARE	49
2.5.1 Cálculo de intensidad de campo eléctrico	49
2.5.2 Pérdidas por difracción.....	54
2.5.3 Cálculo de contornos de cobertura	62
2.6 SALIDAS DEL SOFTWARE	62
2.6.1 Salida por pantalla.....	63
2.6.2 Reportes Impresos	63
2.7 VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	66
2.7.1. Mediciones en campo.....	66
2.7.2 Procedimiento de medición.....	67
2.7.3 Análisis de resultados	68
CAPÍTULO III.....	78
COBERTURA DEL SISTEMA MÓVIL DE VENEVISIÓN	78
3.1 ELEMENTOS DE LA RED.....	78
3.1.1 Antenas.....	78
3.1.2 Estación Base	78
3.1.3 Repetidores Simples.....	79
3.1.4 Repetidores Dobles	80
3.1.5 Radios portátiles/móviles	81
3.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	81
3.3 CÁLCULO DE LOS CONTORNOS DE SERVICIO Y PROTECCIÓN.....	83
3.3.1 Contorno de servicio	83
3.3.2 Contorno de protección	83
3.3.3 Valores mínimos de intensidad de campo que deben protegerse	83
3.4 USO DEL SOFTWARE EN EL CÁLCULO DE LA COBERTURA	91
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1.1 - Primer elipsoide de Fresnel	8
Figura 1.2 - Definición del signo del despeje.	10
Figura 1.3 – Atenuación debida a un obstáculo filo de cuchillo.....	11
Figura 1.4 - Propagación por onda de tierra (superficial)	14
Figura 1.5 - Propagación por ondas troposféricas.....	15
Figura 1.6 - Propagación por onda ionosférica	16
Figura 1.7 - Intensidad de campo (dB(μ V/m)) para una zona urbana.	26
Figura 1.8 - Alturas consideradas al aplicar el método Okumura.....	27
Figura 1.9 - Atenuación mediana relativa al espacio libre A_{mu}	28
Figura 1.10 - Corrección debido a la altura efectiva de la antena transmisora H_{bu}	29
Figura 1.11 - Factor de ganancia debido a la altura de la antena del móvil H_{mu}	29
Figura 1.12 - Factor de corrección por área abierta	30
Figura 1.13 - Factor de corrección por área suburbana.....	31
Figura 2.1 - Descripción general del programa.....	37
Figura 2.2 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 450 MHz para distancias entre 1 y 20 kilómetros.....	46
Figura 2.3 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 450 MHz para distancias entre 20 y 100 kilómetros.....	47
Figura 2.4 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 150 MHz para distancias entre 1 y 20 kilómetros.....	47
Figura 2.5 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 150 MHz para distancias entre 20 y 100 kilómetros.....	48
Figura 2.6 - Modelo del patrón de radiación proporcionado por los fabricantes y las muestras tomadas de este diagrama.	52
Figura 2.7 - Patrón de radiación vertical normalizado del dipolo de media onda.....	53
Figura 2.8 - Geometría para el cálculo del ángulo de inclinación	54
Figura 2.9 - Elementos geométricos h , a_1 , a_2 , d_2 , d y θ	57
Figura 2.10 - Geometría para una sola arista	58
Figura 2.11 - Proceso de búsqueda de obstáculos principales	61
Figura 2.12 - Analizador de sistemas de comunicaciones Motorola R-2001D.....	66
Figura 2.13 – Perfiles topográficos de la estación Auyarito, azimuth 0°	72
Figura 2.14 – Zonas de recepción de la estación Auyarito, azimuth 0°	73
Figura 2.15 - Perfiles topográficos de la estación Auyarito, azimuth 100°	74
Figura 2.16 - Zonas de recepción de la estación Auyarito, azimuth 100°	75
Figura 2.17 - Perfiles topográficos de la estación Auyarito, azimuth 180°	76
Figura 2.18 - Zonas de recepción de la estación Auyarito, azimuth 180°	77
Figura 3.1 - Estación base.....	79
Figura 3.2 - Repetidor Simple.....	79

Figura 3.3 - Repetidor doble	80
Figura 3.4 - Intensidad de campo mínima utilizable y mediana. Estaciones portátiles	85
Figura 3.5 - Degradación de la calidad de recepción en una estación móvil para una señal de calidad tipo 3 y una sensibilidad del receptor de 0,7 μ V (f.e.m.)	87
Figura 3.6 - Degradación de la calidad de recepción en una estación móvil para una señal de calidad tipo 3 y una sensibilidad del receptor de 0,7 μ V (f.e.m.)	88
Figura 3.7 – Contornos de servicio y protección estación Las Flores.	94

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1.1 - División del espectro radioeléctrico	13
Tabla 2.1 – Comparación de valores para altura efectiva de 1000 m	43
Tabla 2.2 – Comparación de valores para altura efectiva de 300 m	44
Tabla 2.3 – Comparación de valores para altura efectiva de 30 m	45
Tabla 2.4 - Datos obtenidos mediante mediciones en torno a estaciones ubicadas en Caracas y Guarenas	69
Tabla 3.1 – Definición del grado de calidad de la señal	86

INTRODUCCIÓN

La Corporación Venezolana de Televisión C.A. (VENEVISIÓN) es una empresa dedicada a la producción, transmisión y comercialización de espacios televisivos, cuenta con una serie de redes completamente equipadas para realizar sus transmisiones, además posee una extensa red de microondas para la distribución de la señal y numerosas estaciones transmisoras para su radiodifusión, que proveen cobertura de televisión aproximadamente al 95 % de la población venezolana, con la posibilidad de realizar y controlar transmisiones desde las más importantes ciudades del país.

Las redes utilizadas para la prestación del servicio o realización de las actividades ligadas a la radiodifusión son las siguientes:

- (a) Red de radiodifusión.
- (b) Red de microondas fijas
- (c) Microondas portátiles
- (d) Unidad móvil satelital
- (e) Red de comunicaciones

El subsistema de comunicaciones, cuya cobertura será objeto de estudio, es analógico y opera en la banda de UHF y VHF, está conformado por radios de dos vías: radio bases, radio móviles/portátiles y repetidores, quedando la cobertura establecida en las zonas adyacentes a las estaciones.

A través de la red de comunicación se establece la coordinación, entre el personal técnico y operativo, para la realización tanto de transmisiones remotas como de actividades de mantenimiento correctivo y preventivo. Es importante mencionar que con el subsistema descrito anteriormente, se satisfacen las necesidades de comunicación propias de la empresa.

La Gerencia de Transmisores y Microondas, perteneciente a VENEVISIÓN, es la encargada de dirigir la instalación, mejora y mantenimiento de las estaciones de transmisión, por lo tanto, debe garantizar la continuidad y la calidad de la señal al

aire, aprovechando al máximo la infraestructura y los recursos humanos y tecnológicos que tiene a su disposición. En éste sentido, y a efectos de lograr mejoras del servicio móvil, podría planearse el establecimiento de nuevas estaciones de radiocomunicación o incrementar la potencia efectiva radiada de alguna de las ya existentes. Cuando esto es necesario, la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), como ente regulador, exige la presentación de un proyecto técnico, el cual debe contener los cálculos de cobertura de conformidad con las previsiones contenidas en la “Guía para la obtención de Habilitaciones Generales y sus Atributos”.

Para el cálculo de la cobertura de las comunicaciones móviles, era utilizado un módulo de cálculo, codificado en lenguaje *Think Pascal*, implementado bajo ambiente *Macintosh*. Este programa era ejecutado con mucha dificultad y con frecuencia se suspendía automáticamente, generando estados de *standby* en el CPU del sistema. El determinar el área de cobertura a través de éste tipo de programa, es de vital importancia para la oficina de proyectos, debido a la cantidad de cálculos que esto puede acarrear, más aún al tratarse de una red constituida por un número relativamente elevado de radio bases. Además, esta herramienta podría ser utilizada para rediseñar y optimizar la red de comunicaciones móviles existente, simulando mediante el computador, diversos cambios en los parámetros que determinan su alcance, tal como lo son las antenas, la potencia de salida del transmisor, la altura del centro de radiación y tipo de alimentador.

El contenido de este informe, pretende dar un breve repaso de algunos de los conceptos teóricos que sirven de base para la escogencia y aplicación de un modelo de propagación, su programación y posterior aplicación a la red existente de VENEVISIÓN.

CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la necesidad de calcular el área de cobertura de las estaciones de radiocomunicación móvil, y los requisitos exigidos por CONATEL para la presentación de los mismos, se propone el desarrollo de una herramienta bajo ambiente *Windows* que permita determinar el alcance de dichas estaciones de manera rápida y sencilla, y bajo el marco de la normativa legal vigente.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la red que soporta las radiocomunicaciones móviles de la Gerencia de Transmisores y Microondas / VENEVISIÓN, la cual opera en las bandas de transmisión VHF/ UHF, en el ámbito nacional, y elaborar el diagrama de cobertura actualizado de la Red.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular la zona de cobertura de cada una de las estaciones que conforman la red de radiocomunicación, instaladas a lo largo del territorio nacional.
 - Calcular pérdidas de propagación por radial.
 - Obtener nivel de señal esperado.
 - Graficar curvas de nivel de señal esperado por radial.
- Diseñar e Implementar una herramienta en ambiente Windows que permita:
 - Realizar los Cálculos genéricos de cobertura del Sistema, mencionados anteriormente, e integrarla a un programa existente en la Gerencia de transmisores y Microondas / VENEVISIÓN.
 - Agregar nuevos módulos de cálculos, los cuales constituirán alcances de futuros trabajos.
- Validar los resultados teóricos obtenidos a través de mediciones de potencia en la zona de cobertura.

- Presentar el diagrama actualizado de cobertura de las estaciones radiodifusoras del sistema.

1.4 PROPAGACIÓN DE ONDAS EN EL ESPACIO

1.4.1 ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

Para el cálculo de las pérdidas por propagación en espacio libre, se supone un equipo situado en un medio dieléctrico perfectamente homogéneo, isótropo e ilimitado, transmitiendo con una potencia P_T a través de una antena isotrópica. Bajo estas condiciones, a una distancia R del transmisor, la energía irradiada se distribuye uniformemente en una esfera del mismo radio, por lo que la densidad de flujo de potencia (S) se expresa como sigue:

$$S = \frac{P_T}{4\pi R^2} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \text{Ec. 1.1}$$

El equipo receptor poseerá una antena que captará parte de esa densidad de potencia. Para calcular cuánto es dicha energía, se define el área efectiva (A_E) o apertura de la antena receptora como la relación de potencia captada por la antena receptora (P_R) y la densidad de potencia incidente sobre ella. Dicha área es limitada y directamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda (λ).

$$A_E = \frac{P_R}{S} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Partiendo de esto, se define la atenuación en el espacio libre (A) como la relación entre la potencia transmitida y la recibida a una distancia R de la fuente, lo cual representa la disminución de la densidad de potencia debido a la expansión del frente de onda y la imposibilidad de captar toda la energía radiada por una antena.

$$A = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Ec. 1.3}$$

Debido a que las antenas poseen la propiedad de concentrar energía en determinadas direcciones, aparece el concepto de ganancia (G). La ganancia de potencia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia a la

entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena considerada, para que ambas antenas produzcan, en una dirección dada, la misma densidad de flujo de potencia a la misma distancia. Salvo que se indique lo contrario, la ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación de la antena.[1]

Si en la Ec 1.3 se incorporan las ganancias de las antenas de transmisión y recepción (G_T , G_R), la atenuación calculada se denomina atenuación del trayecto, y vendrá dada como:

$$\frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{1}{G_T \cdot G_R} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Expresando la Ec. 1.4 en términos logarítmicos, se obtiene la fórmula de Friis:

$$A(dB) = 32.45 + 20 \log f_{[MHz]} + 20 \log R_{[km]} - G_T - G_R \quad [dB] \quad \text{Ec. 1.5}$$

donde:

f: Frecuencia de operación

Por lo tanto, conociendo el valor de la atenuación en el espacio libre, y suponiendo propagación en un medio ideal, se puede calcular fácilmente la potencia recibida como:

$$10 \log P_{R[W]} = 10 \log P_{T[W]} - A_{[dB]} \quad [dBW] \quad \text{Ec. 1.6}$$

1.4.2 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO

Una ecuación importante, que resulta del estudio de propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, es la que relaciona la intensidad de campo eléctrico con la potencia de transmisión.

Sabiendo que la intensidad de los campos eléctrico (E) y magnético (H) de una onda en el espacio libre, se relacionan por la impedancia característica del medio (Z_0) se tiene que:

$$\frac{P_T}{4\pi R^2} = \frac{E^2}{Z_0} \quad [W / m^2] \quad \text{Ec. 1.7}$$

donde:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} \quad [\Omega]$$

μ_o : Permeabilidad magnética del espacio libre (1.26×10^{-6} H/m)

ϵ_o : Permitividad eléctrica del espacio libre (8.85×10^{-12} F/m)

Asumiendo una ganancia de antena transmisora G_t , el campo eléctrico eficaz a una distancia R del transmisor se obtiene como sigue:

$$E = \frac{\sqrt{30 P_T G_t}}{R} \quad [V/m] \quad \text{Ec. 1.8}$$

Lamentablemente para los enlaces reales, el cálculo de niveles de potencia recibida y campo eléctrico, no es tan sencillo. Debido a que el medio no es ideal, existen variaciones del nivel de la señal (desvanecimientos o incremento de intensidad), que ocasionan diferencias entre valores reales y los relativos al espacio libre. Algunas de las causas de estas diferencias son las siguientes:

- (a) Refracción en la atmósfera de la tierra, que altera la trayectoria de las ondas de radio, y que puede cambiar con el tiempo.
- (b) Efectos de la difracción producida por objetos ubicados en trayecto de transmisión.
- (c) Reflexión sobre la superficie terrestre y en las estructuras artificiales.

1.4.3 REFRACCIÓN ATMOSFÉRICA

Las ondas de radio cerca de la superficie de la tierra no se propagan, por lo general, en línea recta. La razón es la refracción que tiene lugar en la atmósfera terrestre. La refracción puede definirse como el cambio de dirección del frente de onda conforme pasa de un medio con ciertas características, a otro con características diferentes. El cambio de inclinación del frente de onda, depende del índice de

refracción de cada uno de los medios, puede ser calculado con la ley de Snell, dada en la ecuación 1.9.

$$n_1 \text{sen}(\theta_1) = n_2 \text{sen}(\theta_2) \quad \text{Ec. 1.9}$$

donde:

n_1 = índice de refracción del material 1

n_2 = índice de refracción del material 2

θ_1 = ángulo de incidencia (grados)

θ_2 = ángulo de refracción (grados)

En la atmósfera de la tierra, bajo circunstancias normales, el índice de refracción disminuye gradualmente con el aumento de la altura, lo cual causa que las ondas de radio se curven levemente. El efecto es más pronunciado en las radiofrecuencias que en longitudes de onda de luz visible, y el resultado es que las ondas de radio pueden propagar más allá del horizonte óptico. Con fines prácticos, se introduce el concepto de radio efectivo de la tierra, el cual se obtiene multiplicando el radio real de la tierra por el índice troposférico k , lo cual modificará teóricamente la curvatura de la tierra con el fin de compensar los efectos de refracción. Así, siempre que los cálculos se realicen en función del radio corregido, se podrá considerar la existencia de una atmósfera homogénea.

1.4.4 DIFRACCIÓN

La difracción es el fenómeno que ocurre cuando un obstáculo opaco se interpone en el trayecto de propagación, ocasionando la redistribución de energía del frente de onda. La consecuencia directa de esto es que pueden ser detectados niveles de campo útiles aun detrás de un obstáculo, aunque con atenuaciones superiores a las del espacio libre.

Existen dos conceptos muy utilizados para dar explicación al fenómeno de difracción, éstos son el principio de Huygens y las zonas de Fresnel.

El principio de Huygens afirma que el campo en un lugar del espacio puede formarse como la superposición del campo producido por fuentes elementales que

generan frentes de ondas secundarios, es decir, a la antena receptora llega señal desde cada punto del frente de onda. Como los rayos difractados recorren un camino más largo, llegarán con cierto retardo, lo que puede producir señales interferentes, que se sumen o resten de acuerdo con la fase relativa. El efecto queda determinado por una familia de elipsoides (de Fresnel), que tienen sus focos en las antenas.

Si se considera la situación de dos antenas isotrópicas separadas una distancia R , se definen las zonas de Fresnel como la región definida por los puntos del espacio que cumplen:

$$(d_1 + d_2) - R = \frac{n\lambda}{2}; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad \text{Ec. 1.10}$$

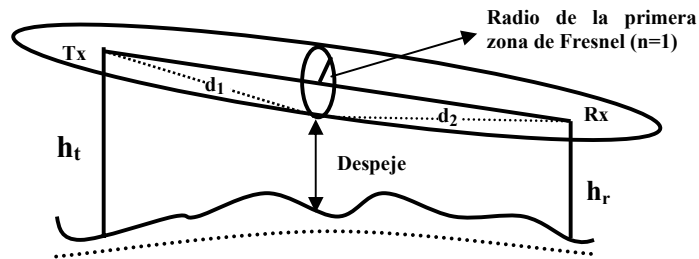


Figura 1.1 - Primer elipsoide de Fresnel

Si a una distancia d_1 de la antena transmisora, se define un plano P infinito, perpendicular a la línea que une a la antena transmisora con la receptora, como se ilustra en la figura 1.1, La intersección de las zonas de Fresnel con el plano P son circunferencias cuyos radios pueden calcularse como:

$$R_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad d_1, d_2 \gg R_n \quad \text{Ec. 1.11}$$

donde:

d_1 : distancia del transmisor al plano P.

d_2 : distancia del receptor al plano P.

n : Numero de la zona de Fresnel al cual pertenece el radio a calcular.

λ :Longitud de onda.

Las zonas pares ($n = 2, 4, 6, \dots$) tienen una contribución sustractiva de potencia, pues el rayo directo y el difractado se suman en contrafase. Por el contrario, las zonas impares tienen una contribución aditiva. La intensidad de campo eléctrico en el entorno del receptor, será entonces la suma de todas las contribuciones. Las zonas de Fresnel aportan una intensidad de campo proporcional a su superficie y a un factor de oblicuidad, por lo que el aporte disminuye con el orden n de la zona. En conjunto, la contribución combinada desde la zona dos en adelante, es solo la mitad del aporte de la primera, razón por la cual, el radio de la primera zona de Fresnel permite definir la condición de visibilidad entre antenas, de forma que mientras no exista un obstáculo dentro de ésta, se considera que la trayectoria no ha sido obstruida, de no ser así, existirá una disminución apreciable en la potencia recibida, por lo que se considera que la trayectoria ha sido obstruida siendo necesario tomar en cuenta el efecto de la difracción.

Con fines prácticos, se define el filo de cuchillo como un caso de obstáculo ideal. Para el cálculo de la atenuación producida por éste, se utiliza un parámetro dependiente del despeje normalizado, al cual se le denota con el símbolo v ; su interpretación física proviene de realizar el cociente de la altura h de la cima del obstáculo sobre la línea imaginaria que une al transmisor y al receptor (despeje), entre el radio del elipsoide que delimita la primera zona de Fresnel. Este cociente se multiplica por $\sqrt{2}$. Si la altura del obstáculo queda por encima de la línea que une al trayecto h es positiva (figura 1.2-a), de lo contrario es negativa (figura 1.2-b), lo que define el signo de v .

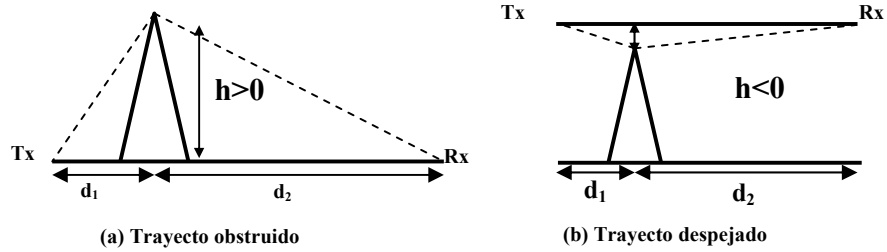


Figura 1.2 - Definición del signo del despeje.

Teniendo en cuenta que el primer radio de Fresnel es calculado con la Ec. 1.11 para $n = 1$, se tiene que:

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}} \quad \text{Ec. 1.12}$$

El valor de atenuación relativa al espacio libre en función del despeje normalizado, para un obstáculo del tipo filo de cuchillo, es proporcionado por la curva presentada en la figura 1.3. En ésta se puede observar que en cuanto se libera la primera zona de Fresnel, es decir, $v = -1$, el efecto de la difracción es despreciable. Por el contrario, mientras se encuentre obstruida la primera zona de Fresnel ($v=1$), el campo recibido está atenuado con respecto al del espacio libre en más de 10 dB, por lo que debe tomarse en cuenta el efecto de difracción.

Un valor aproximado de estas pérdidas puede obtenerse de la Ec. 1.13 la cual permite calcular la atenuación para valores mayores a $v = -0.7$. [2]

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad \text{dB} \quad \text{Ec. 1.13}$$

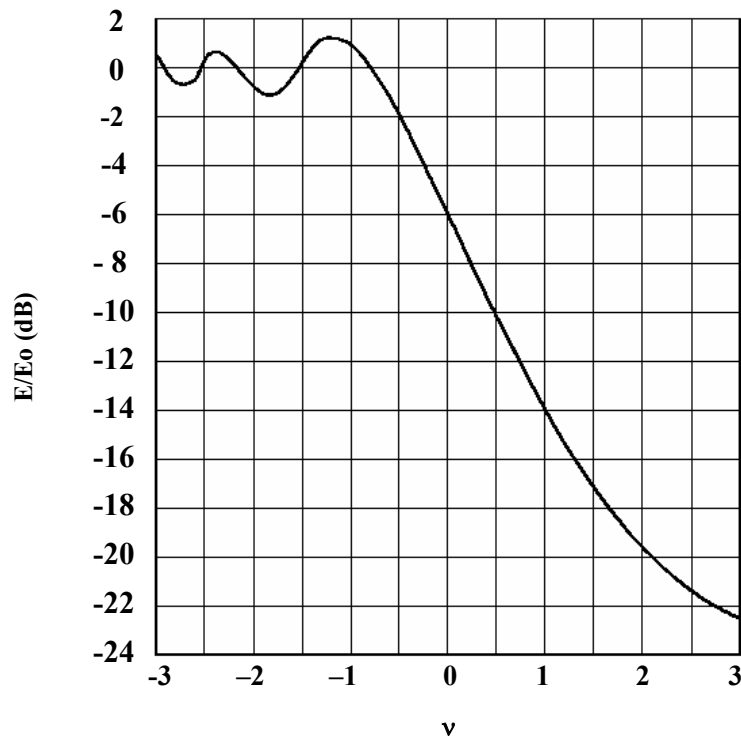


Figura 1.3 – Atenuación debida a un obstáculo filo de cuchillo

1.4.5 REFLEXIÓN SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

La reflexión electromagnética tiene lugar cuando una onda incide contra una superficie y, una fracción o toda la potencia incidente, no penetra al medio con el cual interacciona. Teniendo en cuenta que el principio de superposición lineal indica que la intensidad total de campo en un punto determinado del espacio, es la suma de los vectores de ondas individuales, este fenómeno puede tener efectos perjudiciales para un enlace radioeléctrico, al interferir destructivamente con la onda directa, ocasionando así pérdidas mayores a las esperadas.

Si se considera un proceso donde sólo son apreciables las onda directa y reflejada, el mismo puede describirse con la Ec.1.14.

$$\overline{E} = \overline{E}_0 \left(1 + \Gamma \cdot e^{(-j\Delta)} \right) \quad \text{Ec. 1.14}$$

donde:

$\bar{E}_0$: campo eléctrico en condiciones de espacio libre.

Γ : coeficiente de reflexión del el suelo.

Δ : ángulo de desfaseamiento entre la componente directa y la reflejada.

El coeficiente de reflexión representa la relación de las intensidades de voltaje reflejado a incidente y su valor estará determinado por las características de la superficie reflectora. Según sea su valor, podrían tenerse dos casos extremos: obtener una ganancia de 6 dB o producir una atenuación total de la onda.

Si la superficie reflectora es irregular o áspera, puede destruir la forma del frente de onda, ya que suele dispersarse aleatoriamente en muchas direcciones. Este tipo de condición es denominada reflexión difusa, mientras que la reflexión en una superficie perfectamente lisa se llama reflexión especular. Una superficie reflectora intermedia se califica como semiáspera, la cual no destruye por completo el frente de onda pero puede atenuar fuertemente la intensidad de la onda reflejada.

1.5 BANDAS DE OPERACIÓN Y MECANISMOS DE PROPAGACIÓN

La energía electromagnética se distribuye en un rango de frecuencias casi infinito, que se encuentra dividido en un conjunto de bandas cuyos límites son definidos convencionalmente para distribuir distintos servicios de telecomunicaciones.

La banda correspondiente a las frecuencias de radio, se encuentra dividida a su vez según la longitud de onda, encontrándose diez categorías bien definidas: ELF, VF, VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF (Ver tabla 1.1).

En los sistemas de radiocomunicaciones, las ondas se pueden propagar de varias formas, dependiendo del tipo sistema, banda de operación y condiciones ambientales. Hay tres formas de propagación de las ondas electromagnéticas: Ondas de tierra, Ondas espaciales (que incluyen tanto ondas directas como reflejadas), y propagación de ondas de cielo. Cada uno de estos modos existe en cada sistema de radio, sin embargo, algunos son despreciables en ciertos rangos de frecuencias o

sobre un tipo de terreno en particular. Para frecuencias menores a 1.5 MHz, las ondas de tierra proporcionan la mejor cobertura. Las ondas de cielo se utilizan para aplicaciones de alta frecuencia (HF), y las ondas espaciales se utilizan en bandas VHF y superiores.

Tabla 1.1 - División del espectro radioeléctrico [3]

Símbolo	Gama de frecuencias	Designación
ELF	30-300 Hz	Extremadamente bajas
VF	0.3-3 kHz	Sumamente bajas
VLf	3 A 30 kHz	Muy bajas
LF	30 A 300 kHz	Bajas
MF	300 A 3000 kHz	Medias
HF	3 A 30 MHz	Altas
VHF	30 A 300 MHz	Muy altas
UHF	300 A 3000 MHz	Ultra altas
SHF	3 A 30 GHz	Super altas
EHF	30 A 300 GHz	Extremadamente altas

1.5.1 PROPAGACIÓN POR ONDAS DE TIERRA

Se trata de un mecanismo donde la onda de radio viaja cerca de la superficie de la tierra, pudiendo alcanzar el punto receptor sin necesidad de abandonar la capa mas baja de la atmósfera. Este modo sólo propaga la polarización vertical, ya que la polarización horizontal se atenúa muy rápidamente debido al carácter conductor de la superficie de la tierra. Las pérdidas en este tipo de propagación se incrementan rápidamente con la frecuencia, por lo tanto, la propagación de ondas de tierra se limita a frecuencias menores de los 2 MHz. A mayores frecuencias, la atenuación de

este mecanismo es muy elevada y es necesario elevar las antenas respecto al suelo. El alcance que se obtiene, variará entonces, con la frecuencia, la potencia transmitida y el tipo de suelo (tierra seca, húmeda, mar).

En LF se pueden conseguir alcances de hasta unos 2000 km, en MF de hasta unos 300 km, mientras que ya en frecuencias más altas como HF, apenas se llega a los 50 km. Las aplicaciones más importantes son los sistemas de comunicaciones navales y los sistemas de radiodifusión (LF y onda media en AM). Las antenas que se utilizan habitualmente son monopolos verticales con alturas entre 50 y 200 m que irradian, tal como se dijo anteriormente, en polarización vertical.

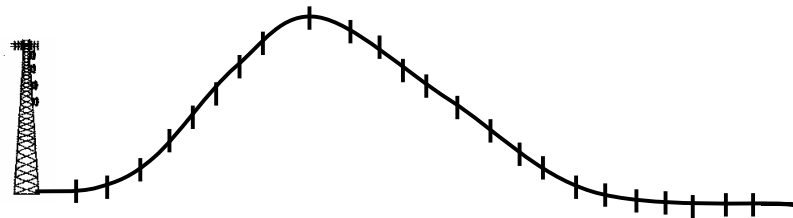


Figura 1.4 - Propagación por onda de tierra (superficial)

1.5.2 PROPAGACIÓN POR ONDAS ESPACIALES

Es el modo predominante a frecuencias mayores a 30 MHz. En estas frecuencias la ionosfera se hace transparente y los mecanismos de propagación se ven afectados por la influencia del suelo, mediante reflexiones y/o difracciones, y la troposfera, mediante los procesos de refracción, atenuación y dispersión. Si la propagación se realiza en la capa mas baja de la atmósfera, suele denominarse propagación troposférica (figura 1.5).

El alcance es muy variable, en VHF y UHF la difracción permite alcances algo más allá del horizonte visible, mientras que a frecuencias superiores, los radio enlaces punto a punto necesitan visión directa, por lo que la distancia se reduce a algunas decenas de kilómetros, dependiendo de la frecuencia y las alturas de las antenas. En la mayoría de los casos, sobre todo en las bandas de microondas, se requiere visibilidad radioeléctrica entre las antenas con lo que se limita el alcance a la

línea del horizonte radioeléctrico. En comunicaciones vía satélite se puede llegar hasta 36000 km (satélites geoestacionarios).

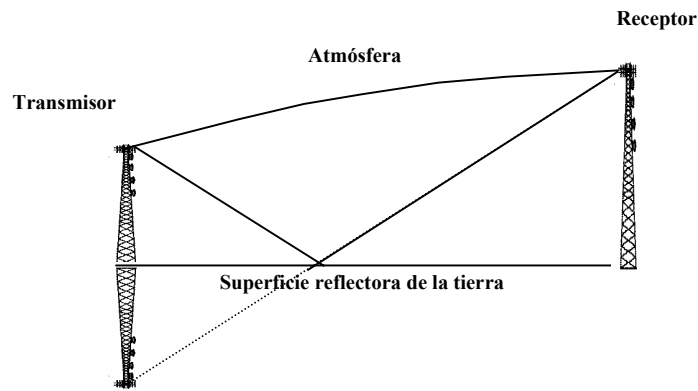


Figura 1.5 - Propagación por ondas troposféricas

La propagación por onda de espacio es el mecanismo que se utiliza en la mayoría de los sistemas de comunicaciones: radiodifusión de FM y TV, telefonía móvil, radio enlaces fijos, radiocomunicaciones vía satélite, entre otros.

1.5.3 PROPAGACIÓN POR ONDAS DE CIELO

Las ondas electromagnéticas que se dirigen por encima del nivel horizonte se llaman ondas de cielo. Estas ondas se irradian en una dirección que produce un ángulo relativamente grande, con referencia a la tierra, siendo dirigidas hacia la porción mas alta de la atmósfera, denominada ionosfera (figura 1.6).

La ionosfera se localiza entre 60 y 400 km de altura sobre la superficie y por ser la porción mas alta de la atmósfera, absorbe grandes cantidades de energía proveniente del sol, lo que produce la ionización de las moléculas del aire, creando una gran cantidad de electrones libres. Cuando una onda de radio pasa por la ionosfera, el campo electromagnético ejerce una fuerza sobre los electrones libres, dando lugar a un fenómeno que permite que las ondas electromagnéticas se “doblen”, alejándose de las regiones de alta densidad de electrones, incrementando de esta forma el efecto refractivo. Cuanto mayor sea la cantidad de iones, mayor será la refracción. Este mecanismo de propagación se utiliza para bandas HF e inferiores, y su alcance variará según la hora del día y la orientación de la antena.

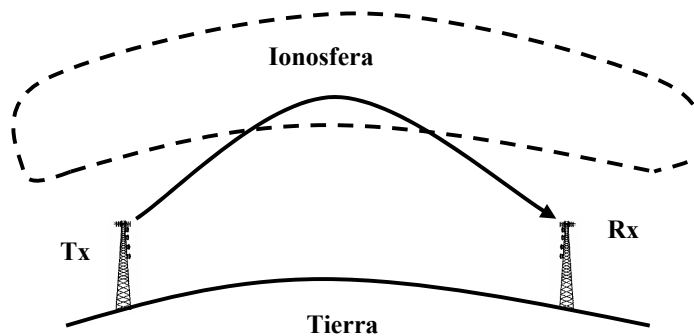


Figura 1.6 - Propagación por onda ionosférica

1.6 ADAPTACIÓN DE SEÑALES AL MEDIO

El proceso de transformar información de su forma original a una forma más adecuada para la transmisión se define como modulación. Con este proceso la señal de información en banda base, modifica ciertas características de una señal denominada portadora, por lo general de frecuencia mucho mayor, incorporando a ésta, variaciones de sus parámetros fundamentales.

La razón principal por la cual es utilizada una onda portadora consiste en que las señales de información deben ser transportadas sobre alguna forma de onda, cuyas características le permitan propagarse a través de un medio, sin sufrir atenuaciones exageradas. Los parámetros de la señal portadora que pueden ser afectados por la señal de información son: Amplitud, Frecuencia y Fase. Algunas de las ventajas de la modulación son las siguientes:

- (a) Facilita la propagación de la señal de información por cable o por el aire.
- (b) Ordena el espectro, distribuyendo la información en canales.
- (c) Disminuye la dimensión de las antenas.
- (d) Optimiza el ancho de banda de cada canal.
- (e) Evita interferencia entre canales.

1.6.1 MODULACIÓN EN AMPLITUD

Es un proceso a través del cual la amplitud de una portadora, varía según la amplitud de una señal de información.

La modulación de amplitud tiene en la práctica ciertos inconvenientes, por un lado, no siempre se transmite la información con la suficiente calidad, ya que el ancho de banda en las emisiones es limitado, por otra parte, en la recepción es difícil eliminar el ruido que se agrega a la señal modulada, durante su recorrido a través del medio de transmisión.

1.6.2 MODULACIÓN ANGULAR

La modulación angular, consiste en variar la frecuencia o fase de la onda portadora de acuerdo con la amplitud de la señal de información. La amplitud de la onda modulada es constante e igual que la de la onda portadora.

En este caso, los ruidos que podrían agregarse a la señal modulada, durante su recorrido en un medio de transmisión, no afectarán significativamente la amplitud de la información, puesto que ésta se encuentra contenida en su parámetro angular. Por esta razón, este tipo de modulación se considera mas eficiente que la anterior.

1.7 SISTEMAS MÓVILES DE RADIOCOMUNICACIÓN

La necesidad de disponer de movilidad en las comunicaciones, hace poco práctico depender de un enlace físico, como lo puede ser un cable, ya que supone serias restricciones para conseguir la plena libertad de movimientos. Un sistema móvil de radiocomunicación se puede definir como cualquier enlace que permite comunicación entre estaciones móviles o estaciones móviles y terrestres pertenecientes a una red, destinadas a ser utilizadas en movimiento o mientras estén detenidas en localizaciones indeterminadas. Esta definición es de aplicación a todo tipo de enlace de comunicación, ya sea móvil a móvil, fijo a móvil o móvil a fijo. El término móvil puede aplicarse a vehículos de todo tipo: automóviles, aviones, trenes, a personas u otros de características similares. Por su parte, estaciones terrestres, se refiere a aquellas estaciones no destinadas a ser utilizadas en movimiento (estaciones

repetidoras y bases). En función de la ubicación habitual del terminal móvil, se pueden diferenciar tres grupos de servicio:

- (a) Servicio móvil terrestre.
- (b) Servicio móvil marítimo.
- (c) Servicio móvil aeronáutico.

1.8 PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS MÓVILES

El interés de los planificadores y administradores de redes móviles de comunicación de voz, se centra en el uso optimizado de los recursos disponibles, cumpliendo siempre las normativas procedentes de los organismos reguladores. Los puntos más relevantes de la planificación de un sistema móvil son el cálculo de la cobertura y la planificación de frecuencia.

El diseño o análisis de estos sistemas es muy complejo, ya que una estación receptora generalmente varía su posición desplazándose entre una serie de obstáculos (naturales o contruidos por el hombre), alterando de esta forma, las condiciones que determinan el nivel de señal que será recibido. Para el caso de sistemas, donde las estaciones transmisoras bajo estudio se encuentran en operación, deben considerar parámetros completamente definidos, como lo son la potencia nominal del equipo, circuitos acopladores, altura de antenas, características de antena, ubicación, canal de operación, entre otros.

Como es lógico pensar, el diseño y/o análisis persigue el planeamiento de áreas de servicio, destinada a asegurar que una intensidad de señal adecuada cubra una localidad, por lo tanto requiere de gran cuidado, ya que la construcción de una estación aun de poca potencia requiere una inversión costosa y es importante que opere en las mejores condiciones posibles, los descuidos o equivocaciones al hacerlo pueden dar por resultado una red de servicio deficiente y el consecuente desperdicio del canal.

En vista de lo planteado anteriormente, el planear la puesta en servicio de una estación de comunicación, requiere la aplicación de métodos prácticos para elegir el mejor lugar de ubicación que asegure una cobertura óptima. Un método podría ser,

el recorrer los alrededores de un sitio, tomando mediciones de intensidad de campo, realizadas y obtenidas mediante el establecimiento de un transmisor de prueba, para luego someter las muestras a un proceso estadístico, con el objeto de determinar el comportamiento medio de la intensidad de campo. Debe tomarse en cuenta que las ondas radioeléctricas se propagan a través de un medio cuyas características físicas varían de manera aleatoria. Estas variaciones afectan a la intensidad de la señal, por lo que los valores del campo eléctrico podrían presentar variaciones, que podrían clasificarse como:

- (a) *Variaciones con respecto a las ubicaciones*: a lo largo de puntos equidistantes del transmisor.
- (b) *Variaciones temporales*: variaciones troposféricas, del trayecto de propagación, trayectos múltiples, provocan cambios temporales en la intensidad de campo.

Estas variaciones se caracterizan mediante diferentes distribuciones estadísticas. Las más utilizadas en radiocomunicación son la distribución normal y la Rayleigh. El problema de este método es que suele ser muy oneroso y además produce retardos en el inicio de algún proyecto.

Un método alternativo sería calcular la intensidad de señal en la vecindad de cada localidad receptora. Los cálculos deben basarse en los principios de reflexión, difracción y refracción, por lo que los perfiles usados deben estar dibujados a una escala corregida que permita contrarrestar los efectos debido a curvatura de la tierra y refracción atmosférica.

Otra forma de predicción de la cobertura se basa en el uso de curvas empíricas, las cuales toman en cuenta las características topográficas del terreno que rodea al transmisor, calculando la altura de las antenas transmisora y receptora con relación al nivel promedio del terreno, la potencia del transmisor, directividad de la antena, sensibilidad del equipo receptor, entre otros factores.

En conclusión, la estimación del alcance de un sistema de radio móvil, precisa la escogencia de un método cuyo modelo de propagación se adapte lo mejor

posible a las características del sistema, y además, permita disminuir el tiempo de estudio y planeamiento de un área de servicio.

1.8.1 ÁREA DE COBERTURA

Se entiende por área de cobertura, aquella zona asociada a una estación transmisora para un servicio dado y una frecuencia específica, en el interior de la cual y en condiciones técnicas determinadas, puede establecerse un enlace de radiocomunicación con otra u otras estaciones receptoras. Las condiciones técnicas incluyen entre otras: las características del equipo utilizado, tanto en la emisión como en la recepción, las condiciones de su instalación, la calidad de transmisión deseada y en particular la relación de protección y las condiciones de explotación.

Según los casos, pueden distinguirse las siguientes zonas:

- (a) *Zona de cobertura sin interferencias*: zona limitada únicamente por el ruido natural o industrial.
- (b) *Zona de cobertura nominal*: se define cuando se establece un plan de frecuencias y que se basa en los transmisores previstos en un plan.
- (c) *Zona de cobertura real*: determinada por los ruidos e interferencias existentes en la práctica.

Para los enlaces zonales suele definirse un parámetro llamado relación de protección de campo eléctrico. La relación de protección en radiofrecuencia se define como el valor mínimo de la relación entre la señal deseada y la interferente a la entrada del receptor, determinada bajo condiciones concretas, que permite obtener una calidad de recepción especificada, de la señal deseada. En general, y dependiendo de las condiciones de propagación, el umbral de intensidad de campo eléctrico en la antena receptora debe ser mayor que el mínimo necesario. La medida en la cual debe incrementarse el campo en los alrededores del receptor, dependerá no sólo de la calidad de servicio que se desee ofrecer, sino también del área en el cual se desarrolle el proceso de comunicación, ya que de ésta dependen diversos factores como lo son la refracción, difracción y reflexión que pueden afectar positiva o negativamente los niveles de intensidad de las ondas electromagnéticas.

La planificación de un sistema móvil, desde el punto de vista de la cobertura, se inicia con el conocimiento previo de la zona que se desea cubrir, o zona de servicio. Luego debe realizarse el cálculo de la potencia necesaria en el sentido estación base a móvil, tal que puedan vencerse las pérdidas ocasionadas por la propagación de la onda en un medio no ideal.

1.8.2 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS

Para la planificación de frecuencias se debe partir de un conjunto de cálculos previos de cobertura, niveles de interferencia y lista de estaciones vecinas, con los que se obtendrán las matrices de interferencias y de separación de canales. A partir de éstas, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por el proyectista, se determinan los canales a asignar, tomando aquellos donde la minimización de las interferencias y optimización del uso del espectro sean las mejores.

En los sistemas dotados de movilidad, y con fines de dar un uso óptimo a las porciones del espectro que sean asignadas, suelen definirse dos tipos de entornos de propagación claramente diferenciados: macro y microcelulares. Se trata, de tomar todo el grupo de frecuencias asignado a la red y dividirlo en varios subgrupos (células), ordenándolo según una estructura celular para que puedan construirse grandes redes a baja potencia, con las mismas frecuencias y sin que éstas interfieran entre sí.

Se entiende como macrocélula aquella celda que proporciona cobertura con un alcance de algunos kilómetros. La definición es bastante amplia, ya que numerosos y muy diferentes entornos de propagación pueden considerarse macrocelulares; a saber: zonas rurales, zonas montañosas, autopistas, zonas residenciales suburbanas, zonas residenciales urbanas e incluso zonas urbanas con alta densidad de edificios. En estas últimas sigue en vigor la definición de macrocélulas, siempre y cuando las estaciones base se encuentren por encima de las alturas medias de los edificios circundantes.

Las microcélulas son, por definición, células urbanas cubiertas por estaciones base con antenas transmisoras colocadas por debajo de las alturas medias

de los edificios circundantes. Se produce la propagación guiada de las ondas por las calles mediante reflexiones, difracciones en esquinas y, eventualmente, contribuciones de señal difractada por la parte más alta de las edificaciones. El alcance suele ser inferior a 1 km.

Al diseñar un sistema con estructura celular, la cobertura de cada célula va a estar limitada por interferencia, es decir, el diseño se hará de forma tal que las células que utilizan los mismos canales de radio emitan a una potencia suficientemente baja para no interferirse entre si, y lo suficientemente alta, para lograr la cobertura planeada.

1.9 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE PROPAGACIÓN

Un método para el cálculo de cobertura es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos, usados para representar las características de radiopropagación de un ambiente dado. Generalmente los métodos de predicción se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o determinísticos o una combinación de estos dos (semiempíricos). Mientras que los métodos empíricos se basan en mediciones, los métodos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio. Estos métodos predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor, sea móvil o fijo por lo que permiten conocer la viabilidad de los proyectos que se planeen en determinados sectores, de esta manera, se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos (especificaciones técnicas).

Existen diversos métodos que permiten estimar cual será el alcance de la señal transmitida, basándose principalmente en el campo mínimo necesario equivalente a un nivel de potencia apropiado de recepción, tomando en cuenta las condiciones de propagación específicas de cada proceso. Algunos de ellos son los siguientes:

- (a) Método empírico propuesto por la UIT.
- (b) Método de Okumura.

- (c) Método Okumura-Hata.
- (d) Método de Bullington.
- (e) Método COST 231 Walfisch-Ikegami.
- (f) Métodos Broadcast-Carey.

1.9.1 MÉTODO EMPÍRICO PROPUESTO POR LA UIT

Es un método basado en una amplia base de datos de mediciones de intensidad de campo y pérdidas de trayecto. Están concebidos para lograr el nivel de exactitud necesario para la planificación preliminar de los servicios radioeléctricos móviles que funcionan en bandas específicas de frecuencia. Es una técnica de punto a zona que predice el valor mediano de la distribución espacial de la zona seleccionada. Adicionalmente evalúan la variación temporal de la señal dentro de límites de tiempo de 1% a 99%. Se proporcionan un conjunto de curvas para predecir el nivel de intensidad de campo eléctrico en los servicios móviles terrestre, particularmente para gamas de frecuencia centradas en torno a valores próximos a 150, 450, 900 MHz, y mayores a 1 GHz.

Las curvas para ondas métricas y decimétricas, como se denominan, se han obtenido de diferentes fuentes y bajo diferentes hipótesis, por lo que deben ser usadas con precaución, para asegurar que se adapten lo mejor posible a la aplicación prevista. Sus resultados serán más fiables cuando se apliquen a trayectos y condiciones similares a aquellos en los cuales se han fundado.

El método toma en cuenta el efecto de un terreno ondulado, el cual podría aumentar la intensidad de campo prevista, al suprimir la concordancia de fase perjudicial entre la propagación con visibilidad directa y las ondas reflejadas o difractadas por el suelo. Cuando las irregularidades y obstáculos del terreno son aun más marcadas, las señales se atenúan por efecto de sombra, dispersión, divergencia o desenfoque de las ondas difractadas. Por esta razón, el método precisa la aplicación de factores de corrección que contemplen los efectos que pueden tener los terrenos irregulares en la propagación

Los datos suministrados para la predicción en el servicio móvil terrestre, fueron obtenidos a partir de un conjunto de curvas, representativas de un conjunto de mediciones realizadas en zonas urbanas del Japón. Muestran valores ajustados para que la intensidad de campo eléctrico corresponda a una potencia radiada aparente de 1 kW, referidos además a un terreno cuyo factor de irregularidad corresponda a un terreno cuasi suave ($\Delta h=50$ m), y un porcentaje de tiempo y ubicaciones de 50%.

Entre los factores que toma en cuenta el método de la UIT, para estimar la intensidad de campo recibido, se encuentran:

- (a) *Factor de irregularidad del terreno (Δh):* representa el grado de irregularidad del terreno en el trayecto de propagación. Se define como la diferencia de las alturas excedidas por el terreno durante un 10% y un 90% del trayecto comprendido entre los 10 y 50 km, medidos a partir del transmisor.
- (b) *Corrección por altura de la antena receptora:* Es un factor que se aplica en el caso que los valores de intensidad de campo a obtener, se deseen referenciar a una altura de antena móvil diferente a 1.5 m.
- (c) *Corrección por porcentaje de ubicaciones de la estación móvil:* se proporciona, para diversas bandas de frecuencia, una curva con información referente a la relación en dB entre las intensidades de campo para un porcentaje cualquiera de ubicaciones de recepción y la intensidad de campo para el 50% de ubicaciones de recepción. Este factor se refiere a la cantidad de puntos en recepción, expresados en porcentajes, a los cuales llega una señal considerada estadísticamente como buena.
- (d) *Corrección por ángulo de despeje:* esta corrección evalúa los efectos del terreno a partir del ángulo de despeje, el cual debe ser representativo de los ángulos de la zona de recepción, medidos entre la horizontal de la antena transmisora y la línea que supera los obstáculos en una distancia de 16 km en dirección del transmisor. Cuando se dispone de la información suficiente para calcular el ángulo de despeje del terreno, se puede emplear este factor en lugar de la corrección Δh .

- (e) *Corrección por trayecto mixto tierra-mar*: factor que depende de la porción de trayecto acuático y la distancia total del trayecto que atraviesa la señal.
- (f) *Corrección por presencia de vegetación*: permite evaluar la atenuación en terreno boscoso en función de la frecuencia y la polarización de la onda. Se proporcionan unas curvas que permiten calcular las pérdidas asociadas a la existencia de vegetación por metro de altura de ésta.

En la figura 1.7 se muestran el gráfico correspondiente a la intensidad de campo eléctrico ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$) y su variación para 50% del tiempo y 50% de los emplazamientos, valores de altura efectiva de la antena transmisora comprendidos entre 30 y 1000 m y frecuencias cercanas a 450 MHz. Se considera una potencia radiada aparente de 1 kW y una altura de antena receptora igual a 1,5 m¹.

¹ En el anexo N° 1 se muestran las curvas correspondientes a frecuencias cercanas a 150 MHz

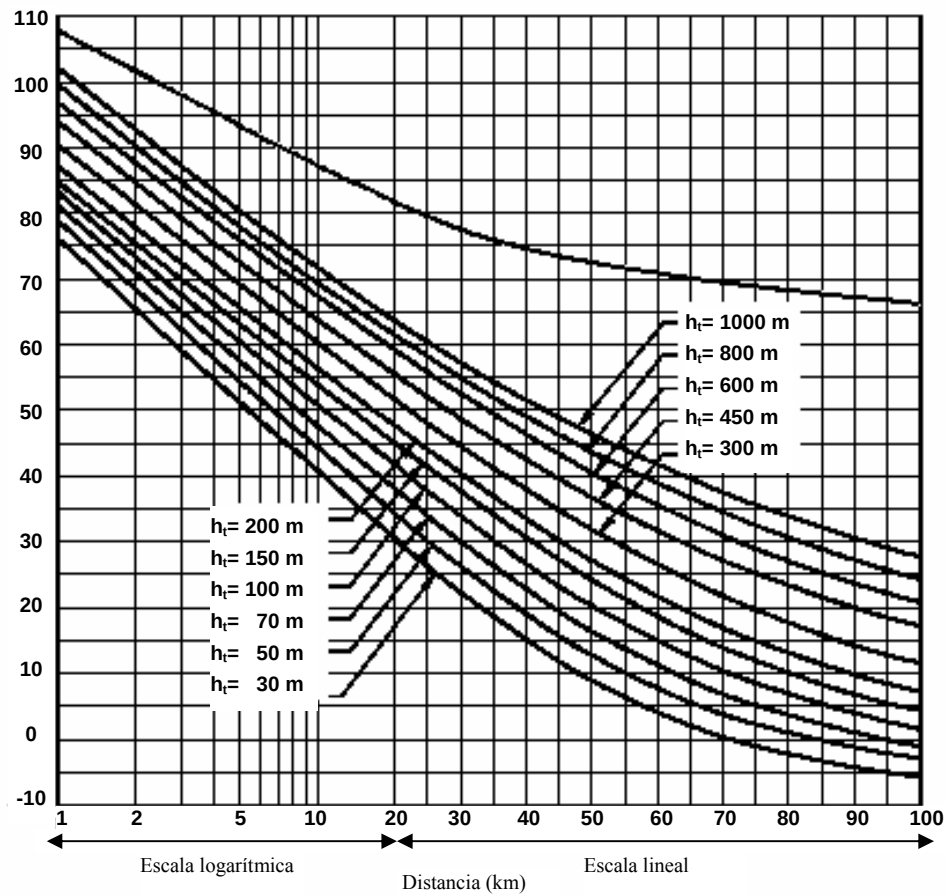


Figura 1.7 - Intensidad de campo ($\text{dB}(\mu\text{V/m})$) para una zona urbana.[4]

1.9.2 MÉTODO OKUMURA

Se trata de un método empírico propuesto por Okumura en 1968, basado en mediciones realizadas en las bandas de VHF y UHF.

El método proporciona valores medianos de intensidad de campo producidos por un dipolo de media onda con una potencia efectiva radiada de 1 kW, teniendo como parámetros de entrada:

- (a) Frecuencia de operación.
- (b) Distancia del móvil a la base.
- (c) Alturas de las estaciones receptora y transmisora.
- (d) Tipo de área en el que se desarrolla el proceso de comunicación.

(e) Características del terreno entre transmisor y receptor.

El proceso de predicción requiere el cálculo de la altura efectiva de la antena transmisora (ASPT), la cual se define como la diferencia entre la altura de la antena respecto al nivel del mar (h_t) y el nivel promedio del terreno entre los kilómetros 3 y 15 (APT), o menos en el caso que la distancia no alcance los 15 kilómetros.

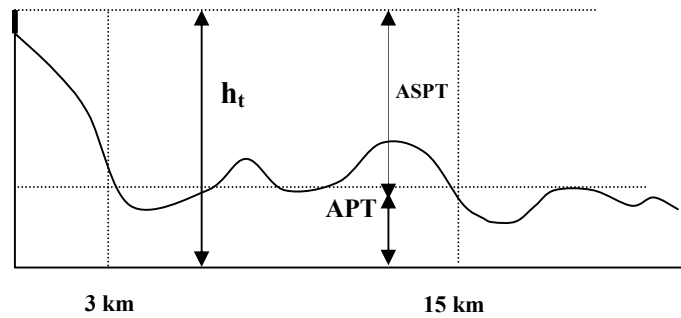


Figura 1.8 - Alturas consideradas al aplicar el método Okumura

La intensidad de campo en un punto del trayecto, según el método propuesto por Okumura viene expresada por:

$$E_{[dB\mu V/m]} = E_{el[dB\mu V/m]} - A_{mu[dB]}(f, d) + H_{bu[dB]}(ASPT, d) + H_{mu[dB]}(h_m, f) + \sum(Fc) \quad \text{Ec. 1.15}$$

donde:

E_{el} : Intensidad del campo eléctrico en el espacio libre

A_{mu} : Atenuación mediana (relativa al espacio libre) en una región urbana, con $ASPT=200$ m y Altura del móvil $h_m = 3$ m.

H_{bu} : Factor de ganancia debido a la altura efectiva de la antena transmisora.

H_{mu} : Factor de ganancia debido a la altura de la antena móvil.

Fc : Factores de corrección

E_{el} es calculado a través de la Ec. 1.8, que expresada en términos logarítmicos es:

$$E_{el[dB\mu V/m]} = 74.77 + P_t[dBw] + G_t[dBi] - 20\log(d_{[km]}) \quad \text{Ec. 1.16}$$

donde:

d : Distancia entre el transmisor y receptor.

P_t : Potencia de transmisión.

G_t : Ganancia de la antena transmisora.

Los otros términos que completan la Ec. 1.15 se obtienen de los gráficos que se presentan a continuación (Figuras 1.9,1.10,1.11), los cuales se encuentran referidos a valores de altura efectiva de antena de la estación base y estación móvil de 200 m y 3 m respectivamente, ubicados en zonas urbanas.

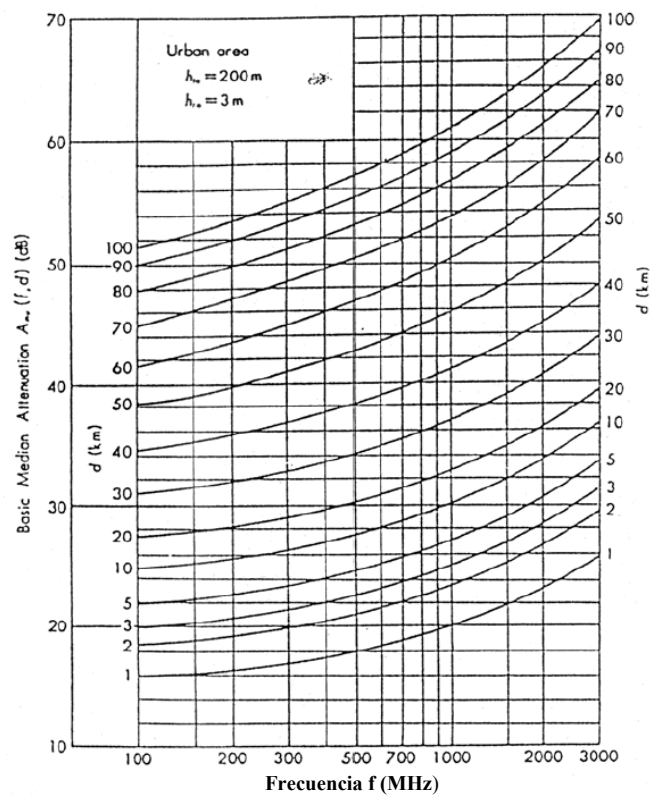


Figura 1.9 - Atenuación mediana relativa al espacio libre A_{mu} [5]

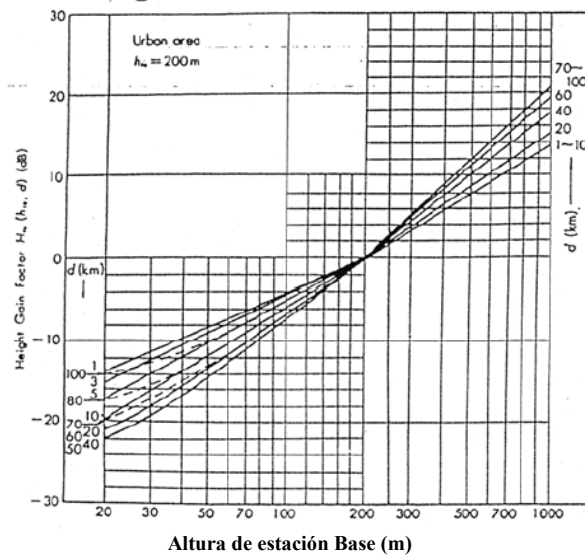


Figura 1.10 - Corrección debido a la altura efectiva de la antena transmisora H_{bu} [5]

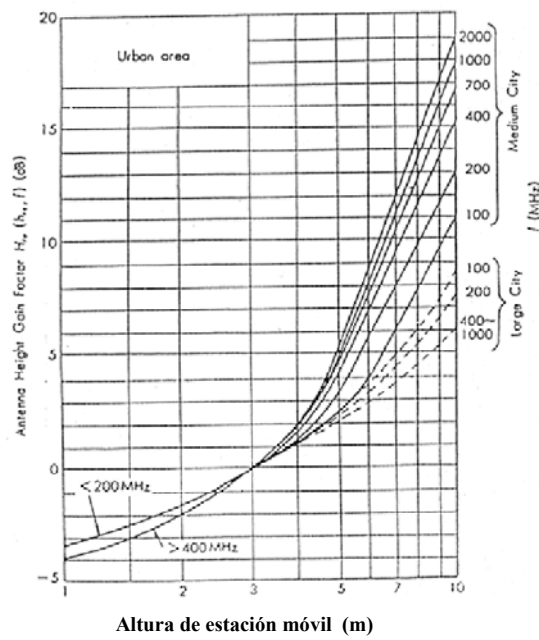


Figura 1.11 - Factor de ganancia debido a la altura de la antena del móvil H_{mu} [5]

Debido a que la intensidad de campo se ve afectada por las edificaciones y otros objetos ajenos a la topografía del terreno, se hace necesario clasificar las zonas

en las cuales se propaga la onda. El tipo de área o ambiente donde se desarrolla la comunicación puede clasificarse en tres tipos:

- (a) *Área abierta*: ausencia de obstáculos en una región de al menos 300 a 400 m del móvil.
- (b) *Área suburbana*: existencia de algunos obstáculos, no muy concentrados, en una región próxima al móvil.
- (c) *Área urbana*: región con alta concentración de edificios, y casas de dos o mas pisos, con cierta afluencia de vehículos.

Existe un factor de corrección para zonas no urbanas, el cual permitirá sumar una ganancia determinada según sea la frecuencia de operación y el tipo de área en cuestión. Los factores de corrección para área abierta y suburbana se muestran en las figuras 1.12 y 1.13 respectivamente.

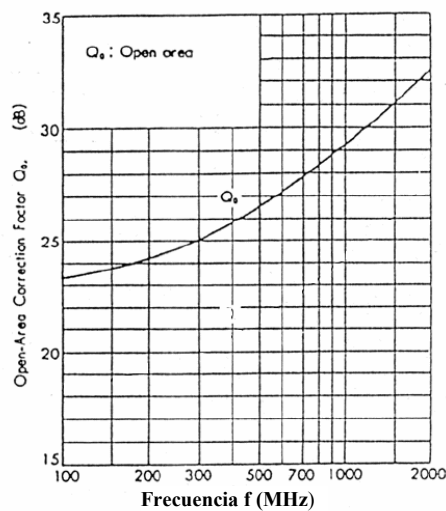


Figura 1.12 - Factor de corrección por área abierta [5]

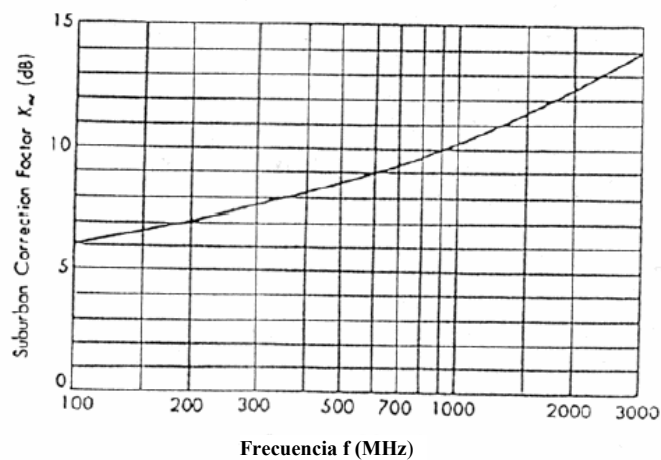


Figura 1.13 - Factor de corrección por área suburbana[5]

1.9.3 MÉTODO OKUMURA-HATA

Este método fue publicado en 1980 por Masaharu Hata, quien tomó información de las curvas de intensidad de campo eléctrico creadas por Okumura y elaboró un conjunto de ecuaciones para determinar las pérdidas por trayecto. El método supone una mejora en la discriminación del tipo de zona, aportando principalmente tres expresiones, una para cada tipo de área.

La ecuación de este método para las pérdidas de propagación en zona urbana esta dada por:

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log(d)$$

Ec. 1.16

donde:

f: frecuencia [MHz]

h_b : Altura de la estación base [m]

h_m : Altura de la estación móvil [m]

d: distancia entre transmisor y receptor [km]

Si la pérdida de propagación se quiere calcular para una zona urbana:

$$a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad \text{Ec. 1.17}$$

Para el caso en que la señal se propague en una zona suburbana:

$$L_{ps} = L_p - 2 \cdot \left(\log\left(\frac{f}{28}\right) \right)^2 - 5.4 \quad \text{Ec. 1.18}$$

Para zonas que se consideren como abiertas:

$$L_{pa} = L_p - 4.78 \cdot (\log(f))^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad \text{Ec. 1.19}$$

Quizás, el inconveniente principal del método propuesto por Hata, es su inaplicabilidad para grandes distancias y las limitaciones en altura de estación base, sobre todo si se compara con el método de Okumura. Estas limitaciones son:

- (a) Frecuencias entre 150-1500 MHz
- (b) Altura de la estación base entre 30-200 m
- (c) Altura asociada al móvil entre 1-10 m
- (d) Distancia desde el transmisor entre 1-20 km

1.9.4 MÉTODO COST 231 WALFISCH-IKEGAMI

Se trata de un método que permite incorporar, a la estimación de la pérdida por trayecto, diversos parámetros que describen las características de un ambiente urbano: alturas de edificios, ancho de las calles, separación entre edificios y orientación de las vías respecto al trayecto directo entre la estación base y la estación móvil. El método distingue entre las situaciones en las que hay línea de vista y en las que no la hay. Para el primer caso se aplica una fórmula para las pérdidas de propagación, diferente a la aplicada en el caso de espacio libre. Ésta se basa en mediciones llevadas a cabo en la ciudad de Stockholmo y está dada por:

$$L_b \text{ (dB)} = 42.6 + 26 \log(d_{[\text{km}]}) + 20 \log(f_{[\text{MHz}]}) \quad d \geq 20\text{m} \quad \text{Ec.1.20}$$

Para condiciones sin línea de vista el total de pérdidas está dado por:

$$L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd} \quad \text{para} \quad L_{rts} + L_{msd} > 0 \quad \text{Ec. 1.21}$$

donde:

L_0 : son las pérdidas por espacio libre,

L_{msd} : son las pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del edificio final

L_{rts} (*roof-top-to-street*): son las pérdidas debidas a una única difracción final hacia el nivel de la calle, ocasionada por el techo del último edificio, y un proceso de dispersión ocurrido a esta altura.

El método se considera bueno para ambientes urbanos densos y su aplicabilidad se restringe según lo siguiente:

Frecuencia: 800 MHz - 2000 MHz

Altura de la estación base: entre 4 y 50 m

Altura asociada al móvil: 1 y 3 m

Distancia desde el transmisor: 0.02 km y 5 km

Según lo anterior el método es aplicable para sistemas cuyos transmisores deban servir áreas relativamente pequeñas y se encuentren ubicados en regiones urbanas, tal como ocurre con los sistemas de telefonía móvil.

1.9.5 MÉTODO DE BULLINGTON

La concepción del método se realiza en su mayor parte en un ámbito teórico, donde todos los factores a tomar en cuenta en los cálculos de propagación son tratados mediante deducciones provenientes de leyes físicas y de electromagnetismo. Ejemplos de tales desarrollo teóricos se pueden encontrar en la deducción de la llamada formula para tierra plana, donde se involucran los conceptos de la propagación en el espacio libre y la reflexión en la superficie terrestre.

Básicamente el análisis de Bullington se divide en dos partes: El análisis de la propagación en espacio libre y tierra plana (propagación ideal) y el análisis de los obstáculos encontrados en el trayecto de propagación, como colinas y montañas.

Las llamadas pérdidas por tierra plana engloban los efectos de la propagación en el espacio libre y la reflexión. El cálculo dependerá de la frecuencia

de operación, las alturas de antena transmisora y receptora y la distancia entre transmisor y receptor. Dependiendo del tipo de terreno sobre el cual se desplace el móvil y la polarización de la onda, el coeficiente de reflexión cambia con lo cual la intensidad de campo recibida, calculada como la suma del rayo directo y el rayo reflejado, fluctúa pudiéndose producir en algunos casos la cancelación de la señal por contribuciones en contrafase.

Para el análisis y el cálculo de las pérdidas en el trayecto de propagación, Bullington hace una clasificación de las diversas situaciones que podrían encontrarse al momento de aplicar su método:

- (a) *Curvatura de la tierra*: la tierra, conforme aumenta la distancia entre transmisor y receptor se convierte en un obstáculo, lo cual produce una atenuación significativa de la señal. Sobre todo cuando el móvil se encuentra mas allá de la llamada distancia al horizonte radioeléctrico. Estas pérdidas son calculadas mediante dos nomogramas, y la utilización de cada uno en particular depende de si el móvil se encuentra, o no, mas allá de la distancia al horizonte.
- (b) *Filo de cuchillo simple*: son obstáculos de características montañosas, que obstruyen total o parcialmente la línea de vista entre el transmisor y el receptor. Para determinar el grado de obstrucción, se calcula el radio de la primera zona de Fresnel, cálculo que está implícitamente incluido en el nomograma presentado para determinar las pérdidas.
- (c) *Filo de cuchillo múltiple*: cuando en el trayecto entre el receptor y el transmisor se encuentra mas de un filo de cuchilla, la forma de determinar las pérdidas asociadas a este conjunto, se realiza calculando un obstáculo equivalente y aplicando el nomograma especificado para tal situación.
- (d) *Los valles*: cuando la estación móvil se desplaza sobre un terreno irregular, los resultados experimentales indican que el encontrarse en el interior de un valle, se producirá una perdida adicional a la del espacio libre. Proporciona un nomograma que permite calcular el exceso de pérdida, e indica que estas

pérdidas aumentarán con la frecuencia y la rugosidad del terreno. La rugosidad del terreno la define como la distancia necesaria para obtener línea de vista con el receptor, medida desde el fondo de un valle.

Bullington introduce un factor, denominado Margen de desvanecimiento. Este factor es el producto de análisis estadísticos que toma en cuenta los cambios aleatorios de condiciones climáticas de una región particular. Dependiendo del grado de confiabilidad que se desea para el sistema, este margen será variable, aumentando conforme aumente la frecuencia y la confiabilidad.

1.9.6 MÉTODOS BROADCAST-CAREY

Estos métodos de propagación están basados en las secciones respectivas de las reglas y regulaciones del Comité Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de Norte América. Son esencialmente simplificaciones estadísticas de la estimación de potencia de campo y cobertura, y se basa únicamente en la potencia efectiva radiada (PER) de las estaciones repetidoras y de la altura del radiador referenciada a la altura del terreno promedio. Dado que la información del terreno es promediada, ninguno de los métodos toma en cuenta obstrucciones localizadas individualmente. Por otro lado, este método solo toma en cuenta el terreno entre 3 y 16 km medidos desde el transmisor, por lo que las obstrucciones fuera de este alcance son ignoradas, esto quiere decir que se obtendrán los mismos resultados si la antena transmisora posee línea de vista despejada u obstrucción completa o parcial en los primeros 3 km del trayecto o mas allá de los 16 km.

CAPÍTULO II

CREACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

La creación de un software persigue resolver las complicaciones que pueden presentarse al momento de diseñar un sistema de comunicaciones. Como se sabe, parte del diseño, y quizás lo mas importante, consiste en determinar la zona de cobertura, la cual podría involucrar una gran cantidad de cálculos, independientemente del método de predicción utilizado. Hacer uso de una herramienta que realice estos cálculos de manera automática, permitirá determinar rápidamente dicha zona, ahorrando el tiempo del personal técnico que proyecta o administra un sistema.

Una vez analizado el sistema de comunicaciones móviles de VENEVISIÓN, los fenómenos de propagación que determinan el alcance del mismo y las necesidades que han dado origen a la creación de un programa, es seleccionado el método propuesto por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. La razón principal de ésta escogencia es que por tratarse de un método basado en expresiones empíricas, los valores de intensidad de campo pueden calcularse en forma sencilla, considerando las variaciones estadísticas que tienen lugar debido a la influencia de diversos factores, algunos de ellos son: la morfología del terreno, propagación por trayectos múltiples, refracción atmosférica, entre otros.

El programa “Cálculo de cobertura de comunicaciones” como ha sido llamado, permite predecir los niveles medios de intensidad de campo eléctrico en el entorno de un receptor ubicado en un sitio determinado. Debido a que el sistema de comunicaciones de VENEVISIÓN trabaja en la banda comprendida entre 490 y 512 MHz, los cálculos se basan en curvas empíricas, las cuales son de carácter estadístico y válidas para las gamas de frecuencia próximas a 450 MHz. Aunque el sistema trabaja principalmente en la banda UHF, una parte de éste lo hace en VHF, por lo que también son usadas una familia de curvas cuyos valores son representativos de mediciones realizadas entorno a 150 MHz.

Una vez seleccionado el método para realizar el cálculo de cobertura e identificadas cada una de las variables necesarias para su aplicación, se crea un diagrama de flujo, con lo cual se tendrá un idea general de las secciones que ha de contener el programa (ver figura 2.1).

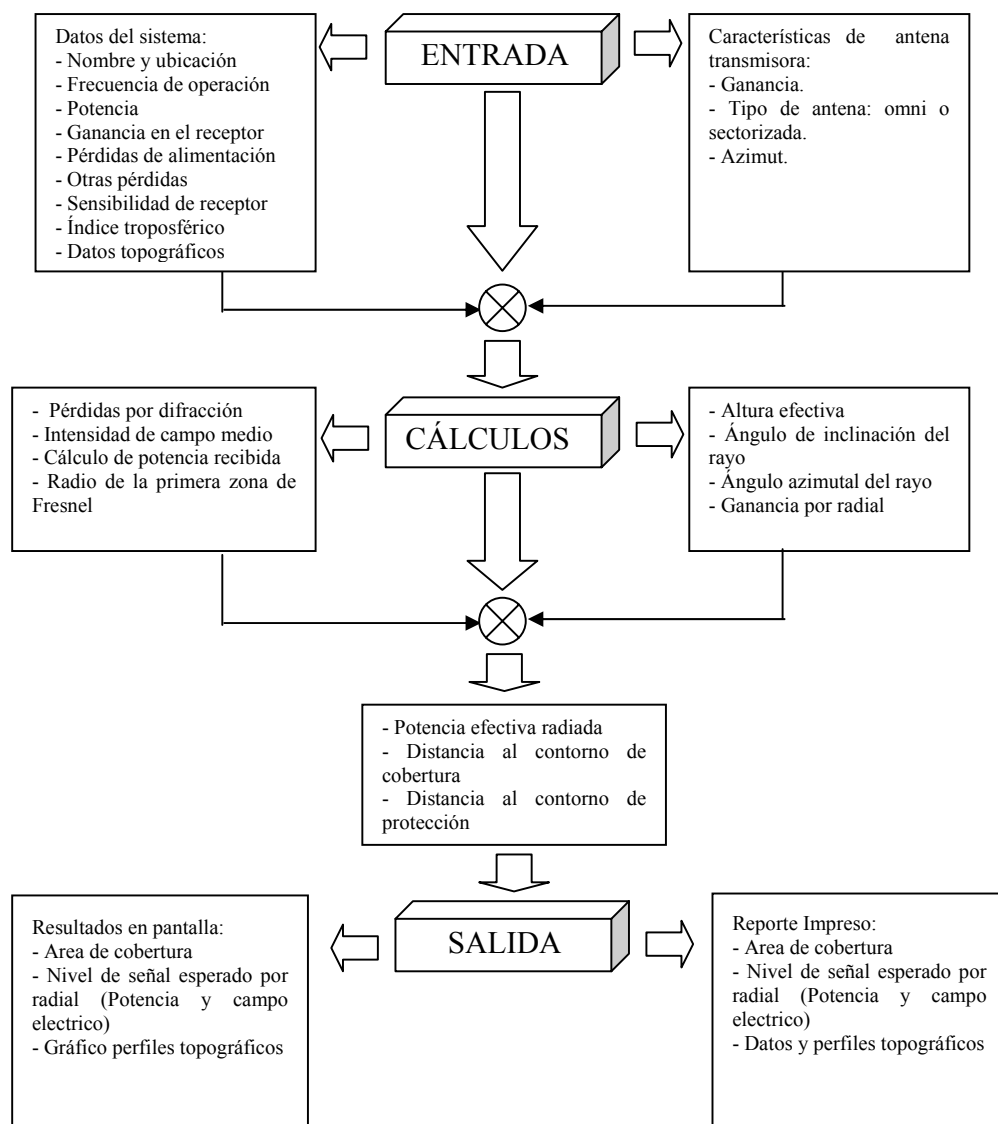


Figura 2.1 - Descripción general del programa

El paso siguiente es diseñar la interfaz de usuario, que sería la principal vía de comunicación hombre máquina, permitiendo la entrada y salida de datos, para luego crear el código del programa.

Debido a la diversidad de trayectos y condiciones que pueden presentar las zonas a cubrir, no se realizarán automáticamente los cálculos referentes a pérdidas por vegetación. Sin embargo, se deja a criterio del usuario introducir un factor de atenuación, según lo crea conveniente. Para esto se ha previsto incluir en la interfaz inicial un campo denominado “Otras pérdidas”, donde se podrá introducir la suma algebraica de todos los factores que se consideren necesarios.

2.1 SELECCIÓN DEL LENGUAJE

Uno de los objetivos de este trabajo era crear una herramienta bajo ambiente *Windows* que realizará, de manera rápida y sencilla, diversos cálculos ligados a la propagación de la onda electromagnética, bajo un entorno gráfico, que permitiera al usuario interactuar con el programa haciendo uso de ventanas, botones, cuadros de diálogo, gráficos, etc.

El lenguaje de programación utilizado para la realización de la herramienta de cálculo fue *Visual Basic 6.0*, por dos razones básicas: en primer lugar, la existencia del software en la Gerencia de Transmisores y Microondas, por lo que no fue necesaria la adquisición de una licencia que autorizara su utilización, ahorrándose así, los gastos que esto acarrearía a la empresa. En segundo lugar, *Visual Basic* utiliza un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilita la creación de interfaces, por lo que se ahorra tiempo en el desarrollo de alguna aplicación.

2.2 VISUAL BASIC COMO HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN

Visual Basic es una herramienta de diseño de aplicaciones para *Windows*, en la que éstas se desarrollan, por lo general, a partir del diseño de una interfaz gráfica. En una aplicación *Visual Basic*, el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interfaz.

Las distintas secciones de código de un programa pueden ejecutarse como respuesta a la ocurrencia de un evento, los cuales pueden desencadenarse por

acciones del usuario, por mensajes del sistema o de otras aplicaciones, o incluso por la propia aplicación. La secuencia de estos eventos determina el orden en el que se ejecuta el código, por lo que la ruta a través de éste podría ser diferente cada vez. Son eventos típicos: hacer *clic* sobre un botón, el hacer doble *clic* sobre un fichero para abrirlo, el arrastrar un ícono, el pulsar una tecla o combinación de teclas, el elegir una opción de un menú, el escribir en una caja de texto o simplemente mover el ratón. Cada vez que se produce un evento sobre un determinado tipo de control, *Visual Basic* arranca una función o procedimiento que realiza la acción programada para ese evento concreto.

La creación de una interfaz de usuario, se hace sencilla, ya que el lenguaje permite la incorporación de controles visuales e imágenes para su posterior presentación, sin necesidad de escribir numerosas líneas de código para implementarlas, además, prácticamente todos los elementos de interacción con el usuario de los que dispone *Windows* pueden ser programados con relativa facilidad en *Visual Basic*.

Una aplicación puede hacerse solamente con la programación de los distintos procedimientos que acompañan a cada objeto y además es posible establecer un código de programa separado de estos eventos. Este código puede introducirse en unos bloques llamados Módulos, en otros bloques llamados Funciones, y otros llamados Procedimientos, que responden a un evento producido durante la ejecución del programa.

2.3 REPRESENTACIÓN ANALÍTICA DE CURVAS

La familia de curvas utilizadas para la predicción de intensidad de campo eléctrico, vienen dadas en forma gráfica, razón por la cual se hace necesario obtener una representación matemática de éstas, haciendo uso de algún método numérico. Una vez sea determinada una expresión analítica para cada una de estas curvas, es posible que el computador, basándose en ésta, realice los cálculos de manera automática.

El criterio de ajuste por Mínimos Cuadrados fue seleccionado para modelar matemáticamente las curvas de interés. Consiste en obtener el polinomio que mejor se ajusta a una curva formada por una serie de puntos, mediante un método denominado *Regresión polinomial*. A través de la regresión es posible determinar una relación funcional $y = f(x)$, que se ajuste lo mejor posible a un conjunto de valores dados.

Una vez conocidos los puntos $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ con $x_0, x_1, \dots, x_n$ números reales distintos, se encontrará un polinomio $P_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$, con $m < n$ tal que la Ec. 2.1 sea mínima.

$$S(a_0, a_1, \dots, a_m) = \sum_{k=0}^n (p_m(x_k) - y_k)^2 = \sum_{k=0}^n (a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m - y_k)^2$$

Ec. 2.1

El grado del polinomio P_m se puede escoger previamente en base a la forma de curva de la que se desea obtener la representación analítica o dependiendo del uso que se le quiera dar al polinomio.

Las curvas de la figura 1.7, pueden considerarse como las mas importantes para los cálculos a realizar, pues de éstas se obtendrán los valores base de intensidad de campo eléctrico. De estas curvas se interpreta que la intensidad de campo varía en función de la distancia y la altura de antena de la estación base, por lo tanto se deben obtener un total de 11 polinomios, que dependiendo de la distancia, permitan calcular los valores de intensidad de campo. El procedimiento para lograr esto es el siguiente:

Se debe tratar de obtener un polinomio con el menor grado posible, para evitar que los cálculos se tornen complejos. La curva debe ser suave, es decir, se deben evitar cambios bruscos de pendiente. Si éstos existen, se puede cortar la curva en estos puntos y encontrar expresiones para cada porción que se derive de esta acción, esto permitirá que el error que se cometa sea menor.

Basado en lo anterior, se observa que las curvas de la figura 1.7 se encuentran graficadas sobre un eje cuya escala es mixta, esto es, una parte es escala logarítmica y la otra es lineal. La frontera entre estas dos escalas supone un cambio

brusco de las curvas, razón por la cual el proceso de modelación matemática de las mismas se divide en dos porciones.

Para la escala lineal, es decir para una distancia comprendida entre 20 y 100 km, la curva pareciera tener la forma de una parábola, por lo que se asume que el polinomio a obtener será de grado dos, tal como el que se muestra a continuación:

$$P_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad \text{Ec. 2.2}$$

Los valores que pueden tomar los coeficientes a_i dependerán de los puntos que se tomen como muestra, y por supuesto determinarán los puntos por donde pasará la parábola. La parábola no necesariamente debe contener los puntos $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, se debe recordar que ésta se ajustará según sea mínimo el valor de la Ec. 2.1.

La muestra tomada por cada curva fue de 9 puntos, distribuidos uniformemente a lo largo del eje. La forma de calcular estos coeficientes se explica más detalladamente en el Anexo N° 2.

Para la porción cuya escala horizontal es logarítmica, se decidió no aplicar el método de mínimos cuadrados, un análisis de la forma de las curvas comprendida entre las distancias de 1 km y 20 km, permite concluir que éstas pueden ser aproximadas a través de rectas, las cuales se definen por los puntos $(\text{Log}(1), E(1))$ y $(\text{log}(20), E(20))$, para cada una de las alturas de antena de estación base. La forma de la ecuación de una recta con pendiente m será:

$$y = m\text{Log}(x) + b \quad \text{Ec. 2.3}$$

donde:

b: Corte con el eje de las ordenas

$$m: \frac{E(1) - E(20)}{\log(1) - \log(20)}$$

$E(1)$ y $E(20)$: Intensidades de campo para una altura efectiva específica a distancias de 1km y 20 km respectivamente.

x : distancia en kilómetros

Con el fin de determinar, si el ajuste según mínimos cuadrados es una buena aproximación de la familia de curvas, se realizó la comparación entre los valores observados en el gráfico y los calculados al evaluar en los polinomios obtenidos a través del método de regresión. De igual forma se compararon los datos obtenidos de la aproximación realizada con la Ec. 2.3, en la porción semilogarítmica.

En este informe se presentan datos referente a sólo tres de las curvas de la figura 1.7, las cuales fueron tomadas aleatoriamente, por lo que no representan algún caso especial. Sólo se trata de demostrar que los valores de campo eléctricos medianos obtenidos de las funciones encontradas presentarán errores poco significativos y por lo tanto será válido el uso de dichas expresiones.

Se introduce además, el concepto de error cuadrático medio, el cual permite estimar que tan bueno es el ajuste que se ha realizado según el método de mínimos cuadrados, permite comparar los valores obtenidos a través de la regresión, con los datos tomados directamente de las curvas, proporcionando información acerca del error promedio que se comete. Se calcula como:

$$\text{Error}_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (P_m(x_k) - y_k)^2}{n}} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Los resultados obtenidos de la comparación se muestran en las tablas 2.1, 2.2 y 2.3, donde:

h: Altura de antena en la estación base.

d: Distancia en kilómetros medida desde el transmisor al receptor.

E: Intensidad de campo dB(μ V/m) a una distancia d.

E_p : Intensidad de campo eléctrico dB(μ V/m) calculado a través de las aproximaciones.

E: Datos obtenidos de la figura 1.7.

Para h = 1000 m

$$E_p = 0,2354378593 \cdot 10^{-2} \cdot \text{km}^2 - 0,7336150195 \cdot \text{km} + 77,51906974 \quad 20 < \text{km} \leq 100$$

$$E_p = \frac{-38 \cdot \log(\text{km})}{\log(20)} + 102 \quad 1 \leq \text{km} \leq 20$$

Tabla 2.1 – Comparación de valores para altura efectiva de 1000 m

d(km)	E	E_p	 (E - E_p) 	(E - E_p)²	%E
2	93	93,2	0,2	0,04	0,22
3	88	88,06	0,06	0,0036	0,07
4	84	84,41	0,41	0,1681	0,49
8	75	75,62	0,62	0,3844	0,83
10	72	72,79	0,79	0,6241	1,10
20	64	64	0	0	0,00
30	58	57,62	0,38	0,1444	0,66
40	52	51,94	0,06	0,0036	0,12
50	47	46,72	0,28	0,0784	0,60
60	42	41,97	0,03	0,0009	0,07
70	37.5	37,70	0,2	0,04	0,53
80	34	33,89	0,11	0,0121	0,32
90	31	30,56	0,44	0,1936	1,42
100	28	27,70	0,3	0,09	1,07

$$E_{\text{RMS } 20 < \text{km} < 100} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (E - E_p)^2}{n}} = 0,265 \text{ dB ; } n=8$$

$$|(E - E_p)|_{\text{máximo } 20 < \text{km} \leq 100} = 0,44 \text{ dB}$$

$$|(E - E_p)|_{\text{máximo } 1 \leq \text{km} \leq 20} = 0,79 \text{ dB}$$

Para h = 300 m

$$E_p = 0,3217447113 \cdot 10^{-2} \cdot \text{km}^2 - 0,8863842105 \cdot \text{km} + 68,28451863 \quad 20 < \text{km} \leq 100$$

$$E_p = \frac{(51 - 90) \cdot \log(\text{km})}{\log(20)} + 90 \quad 1 \leq \text{km} \leq 20$$

Tabla 2.2 – Comparación de valores para altura efectiva de 300 m

d(km)	E	E_p	 E - E_p 	(E - E_p)²	%E
2	82	80,97	1,03	1,0609	1,26
3	76	75,69	0,31	0,0961	0,41
4	73	71,95	1,05	1,1025	1,44
8	63	62,92	0,08	0,0064	0,13
10	60	60,02	0,02	0,0004	0,03
20	51	51	0	0	0,00
30	45	44,58	0,42	0,1764	0,93
40	38	37,97	0,03	0,0009	0,08
50	32	32	0	0	0,00
60	27	26,68	0,32	0,1024	1,19
70	22	22	0	0	0,00
80	18	17,96	0,04	0,0016	0,22
90	14	14,57	0,57	0,3249	4,07
100	12	11,82	0,18	0,0324	1,50

$$E_{\text{RMS } 20 < \text{km} < 100} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (E - E_p)^2}{n}} = 0,282 \text{ dB} ; n=8$$

$$|(E - E_p)|_{\text{máximo } 20 < \text{km} \leq 100} = 0,57 \text{ dB}$$

$$|(E - E_p)|_{\text{máximo } 1 \leq \text{km} \leq 20} = 1,03 \text{ dB}$$

Para h = 30 m

$$E_p = 0,4860258455 \cdot 10^{-2} \cdot \text{km}^2 - 1,033109949 \cdot \text{km} + 48,90522590 \quad 20 < \text{km} \leq 100$$

$$E_p = \frac{(30 - 76) \cdot \log(\text{km})}{\log(20)} + 76 \quad 1 \leq \text{km} \leq 20$$

Tabla 2.3 – Comparación de valores para altura efectiva de 30 m

d(km)	E	E_p	 (E - E_p) 	(E - E_p)²	%E
2	65	65,35	0,35	0,1225	0,54
3	59	59,13	0,13	0,0169	0,22
4	55	54,71	0,29	0,0841	0,53
8	44	44,06	0,06	0,0036	0,14
10	41	40,64	0,36	0,1296	0,88
20	30	30	0	0	0,00
30	22,5	22,28	0,22	0,0484	0,98
40	15	15,35	0,35	0,1225	2,33
50	9	9,4	0,4	0,16	4,44
60	4	4,41	0,41	0,1681	10,25
70	0,5	0,40	0,1	0,01	20,00
80	-2	-2,63	0,63	0,3969	31,50
90	-4	-4,70	0,7	0,49	17,50
100	-6	-5,80	0,2	0,04	3,33

$$E_{\text{RMS } 20 < \text{km} < 100} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (E - E_p)^2}{n}} = 0,423 \text{ dB} ; n = 8$$

$$|(E - E_p)|_{\text{máximo } 20 < \text{km} \leq 100} = 0,63 \text{ dB}$$

$$|(E - E_p)|_{\text{máximo } 1 \leq \text{km} \leq 20} = 0,36 \text{ dB}$$

De lo anterior se puede observar que el máximo error cometido entre estos tres casos es para $h = 300$ m, en distancias menores e iguales a 20 km (1.03 dB), $h=30$ m para distancias mayores a 20 km (0.63 dB), siendo también el mayor error cuadrático medio $h = 30$ m, con un valor de 0.42 dB. Esto representa una desviación de los valores reales bien aceptable, tomando en cuenta que las curvas propuestas por la UIT, se presentan a una escala que no permite distinguir fácilmente valores menores de 2.5 dB.

Aunque no se presentan los datos referentes al resto de las curvas, se infiere que el comportamiento de los errores se mantiene.

Con el fin de visualizar la familia de curvas obtenidas, fue utilizada la herramienta *MATLAB*. A continuación se podrán observar los niveles de intensidad de campo para frecuencias de 450 y 150 Mhz, en las figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.5.

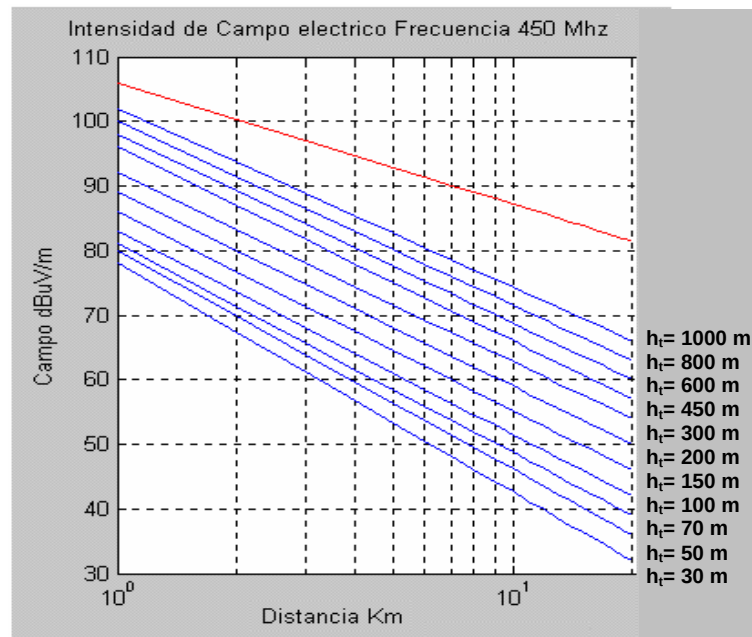


Figura 2.2 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 450 MHz para distancias entre 1 y 20 kilómetros

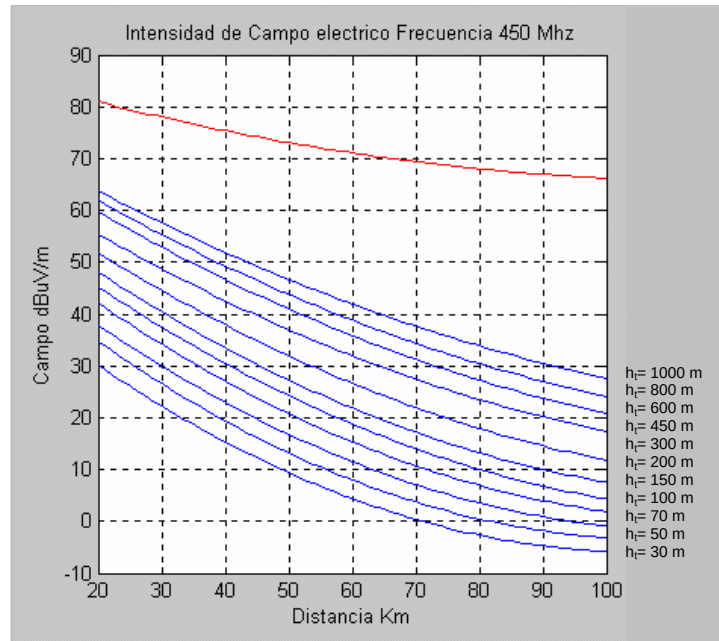


Figura 2.3 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 450 MHz para distancias entre 20 y 100 kilómetros

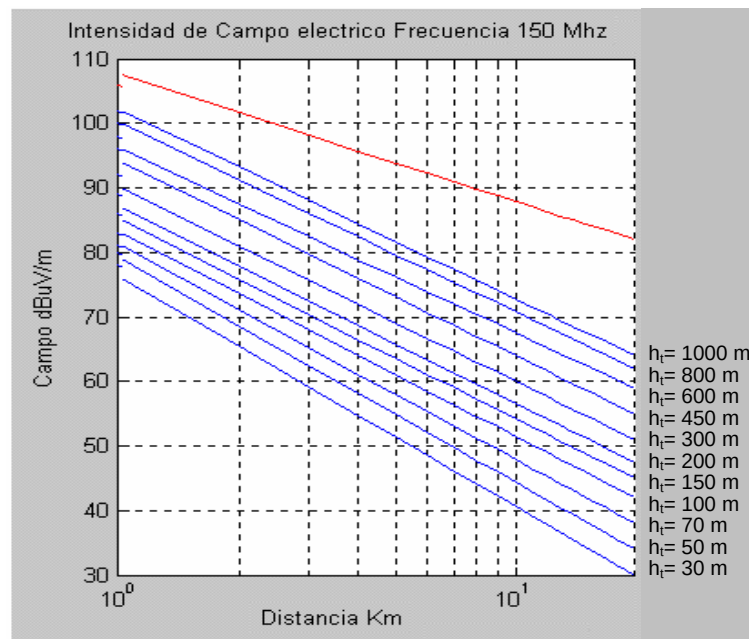


Figura 2.4 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 150 MHz para distancias entre 1 y 20 kilómetros

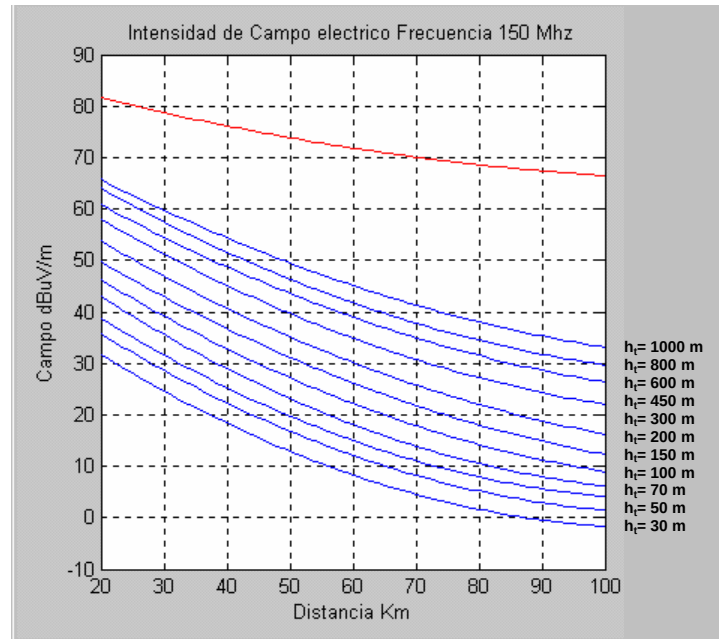


Figura 2.5 - Gráficas de funciones que representan la intensidad de campo eléctrico para frecuencias a 150 MHz para distancias entre 20 y 100 kilómetros

La forma de encontrar los valores correspondientes a alturas de antena diferentes a los que se especifica (30 m, 50 m, 70 m 1000 m), es interpolando linealmente entre las dos curvas que corresponden a las alturas inmediatamente superior e inmediatamente inferior a la deseada.

Para ser implementadas en el programa fueron obtenidas una serie de ecuaciones que representan este proceso de interpolación. Las ecuaciones dependerán expresamente de la altura de la antena y la longitud del trayecto. La función usada para interpolar es la siguiente:

$$E_i = E(B, d) + \left((E(A, d) - E(B, d)) \cdot \left(\frac{(aea - B)}{(A - B)} \right) \right) \quad dB(\mu V / m) \quad B \leq aea \leq A$$

Ec. 2.5

donde:

E_i: Interpolación lineal del valor de intensidad de campo entre las dos curvas que corresponden a campos para alturas efectivas A y B.

$E(A,d)$: Campo eléctrico debido a una altura efectiva A, en función de la distancia.

$E(B,d)$: Campo eléctrico debido a una altura efectiva B, en función de la distancia.

A: altura de antena inmediatamente superior a la deseada

B: altura de antena inmediatamente inferior a la deseada

aea: Altura efectiva deseada

Aunque el aumento del campo eléctrico con la altura no es lineal, esta aproximación resulta apropiada, debido a que el error que puede cometerse, con el cálculo de un valor entre dos de las curvas, es poco significativo.

En el Anexo N° 3 se pueden encontrar el conjunto de funciones que se usaron para permitir que el computador pudiese generar los valores de Intensidad de campo eléctrico medio, según la recomendación P.529-2 de la UIT.

2.4 VARIABLES DE ENTRADA

Las variables de entrada son todos aquellos datos necesarios para dar inicio a los cálculos de propagación: Frecuencia, altura del centro de radiación sobre el terreno, índice troposférico, potencia Tx, ganancia de antena receptora y transmisora, pérdidas en alimentadores (dB), otras pérdidas, sensibilidad del receptor y los datos referentes a la topografía. Para mayores detalles consultar el manual del usuario en el Anexo N° 4.

2.5 PROCEDIMIENTOS PRINCIPALES DEL SOFTWARE

2.5.1 CÁLCULO DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO

El cálculo de la intensidad media de campo eléctrico para cada radial, requiere los siguientes datos:

- (a) Frecuencia de funcionamiento [MHz].
- (b) Datos topográficos.
- (c) Altura Sobre el Promedio del Terreno (ASPT) [m].
- (d) Pérdidas en la Línea de Transmisión [dB].

- (e) Patrón de radiación horizontal y vertical de la antena transmisora (normalizado).
- (f) Ganancia de la antena transmisora (referida a dipolo $\lambda/2$) [dBd].
- (g) Potencia del transmisor [W] ó [dBm] .

En primer lugar se calcula la altura promedio del terreno (APT) por radial. Este cálculo se realiza considerando la suma de las cotas obtenidas del archivo topográfico², en el trayecto comprendido entre 3 y 15 km, a partir del transmisor, dividido entre el número de muestras tomadas en el tramo considerado. El algoritmo usado contempla la siguiente ecuación:

$$APT = \frac{\sum_{3Km}^{15Km} (Cotas)}{\text{Numero de cotas}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

donde:

Numero de cotas = 13.

Seguidamente se calcula la altura sobre el promedio del terreno (ASPT) o altura efectiva de la antena para cada radial, aplicando la siguiente ecuación:

$$ASPT = (ASN M + ACR) - APT \text{ [mts]} \quad \text{Ec. 2.7}$$

donde:

ASN M = Altura sobre el nivel del mar del sitio de transmisión.

ACR = Altura del centro de radiación

APT = Altura de la antena sobre el terreno promedio.

En aquellos radiales donde la ASPT presenta un valor menor a 30 m, se asume una ASPT=30 m, de igual forma, un valor mayor a 1000 m, se asume ASPT=1000 m.

Una vez obtenida ASPT, y conjuntamente con la distancia entre el transmisor y el receptor, de obtiene el valor de intensidad de campo eléctrico con las expresiones

² Para mayor información acerca de los archivos topográficos, consultar Manual del usuario del programa “Cobertura de comunicaciones móviles”, Anexo 4.

obtenidas según la Ec. 2.5. Debido a que las medidas de intensidad de campo se encuentran referenciadas para un PER de 1 kW (60 dBm), es necesario sumar un factor de corrección (F_{cp}) para valores que difieran de éste.

La potencia efectiva radiada por el transmisor y el factor de corrección se obtienen como sigue:

$$PER = 10 \text{ Log } (P_{Tx}) + G - P_A \text{ [dBm]} \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$F_{cp} = (PER - 60) \text{ dB} \quad \text{Ec. 2.9}$$

donde:

P_{Tx} = Potencia de transmisión [mW].

G = Ganancia de la antena transmisora en la dirección de interés [dBd].

P_A = Pérdidas de alimentación [dB].

F_{cp} = Corrección para PER diferente a 1 KW.

La ganancia en dirección de un punto ubicado en una posición cualquiera del espacio, estará determinada por el patrón de radiación de la antena, el cual se asocia a un sistema de coordenadas esféricas donde se definen los siguientes parámetros:

θ : ángulo de inclinación ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$).

ϕ : ángulo acimutal ($0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$).

r : distancia entre el origen y el punto de observación

Es posible determinar la ganancia logarítmica de la antena en una dirección específica, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$G(G_{max}, \phi, \theta) = 10 \text{ Log } [G_{max} (\%H)^2 \cdot (\%V)^2] \text{ [dBd]} \quad \text{Ec. 2.10}$$

donde:

G_{max} = Ganancia máxima en veces, referida a un dipolo $\lambda/2$.

$\%H$ = Coeficiente de radiación horizontal, dependiente del ángulo azimutal.

$\%V$ = Coeficiente de radiación vertical, dependiente del ángulo de inclinación.

Pudiéndose expresar de la siguiente forma:

$$G(G_{\max}, \phi, \varphi) = 10 \text{ Log}[G_{\max} \cdot (\%H)^2] + 10 \text{ Log}[(\%V)^2] \text{ dBd} \quad \text{Ec. 2.11}$$

El primer término representa la ganancia de la antena el plano horizontal referenciada a un dipolo de media onda. Los fabricantes de antenas proporcionan el patrón horizontal y la ganancia máxima en forma gráfica, por lo que se hace sencillo determinar el valor de este término, de hecho, el procedimiento empleado en el programa consiste en tomar 36 muestras de este gráfico, espaciadas en 10° , para obtener los puntos intermedios a través de una interpolación (ver figura 2.6).

El último termino de la ecuación 2.11 representa las variaciones que ha de tener la ganancia, si un receptor se ubica en un plano diferente al horizontal, y se obtiene del patrón vertical normalizado. El termino agregara valores entre $-\infty$ y 0 dB, determinando así, la ganancia total para cualquier punto del espacio. Su representación para posterior uso en los procedimientos del programa es un tanto complicada.

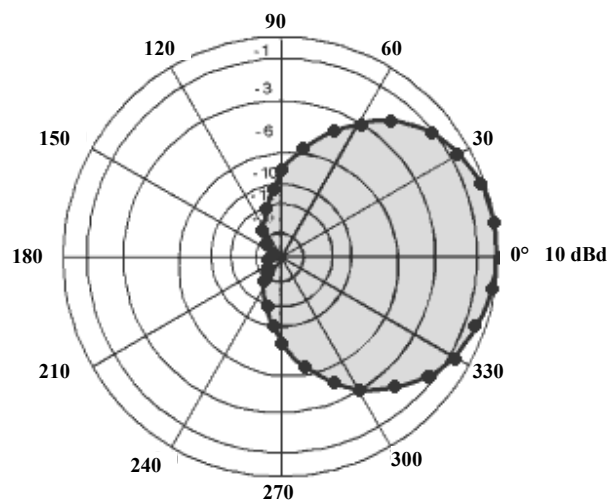


Figura 2.6 - Modelo del patrón de radiación proporcionado por los fabricantes y las muestras tomadas de este diagrama.[6]

Resulta casi imposible representar fielmente el diagrama de radiación vertical de algunos de los arreglos usados en el sistema, debido a que suelen aparecer una gran cantidad de lóbulos secundarios, lo que implica tomar un numero elevado de

muestras. Además, el catálogo consultado³ excluye, para ciertos tipos de antenas, el diagrama antes mencionado. Debido a estos inconvenientes, se asume un factor igual al de un dipolo de media onda (Ver figura 2.7). Esto es:

$$10 \text{ Log } [(\% V)^2] = 10 \log \cdot \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \varphi\right)}{\text{sen}(\varphi)} \right)^2 \text{ dB} \quad \text{Ec. 2.12}$$

donde:

φ : Ángulo que forma el haz con la vertical.

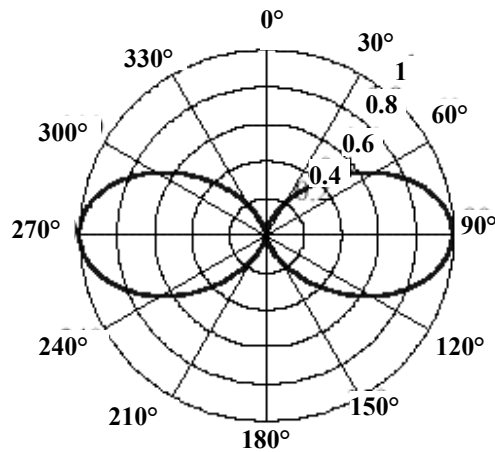


Figura 2.7 - Patrón de radiación vertical normalizado del dipolo de media onda

Debido a la diferencia que pudiese existir entre el ancho del lóbulo del dipolo de media onda y el de la antena en cuestión, se podría estar asignando intensidades de campo mayores a las que deben esperarse, sobre todo en zonas cercanas al transmisor. Por el contrario, a grandes distancias el error disminuye, ya que la dirección del rayo tenderá a $\varphi = \pi / 2$ (según figura 2.8) y por lo tanto el factor debido al patrón vertical, derivado de la Ec. 2.12 tiende a 0 dB, tal como sucede para

³ Catálogo de productos DECIBEL PRODUCTS.

cualquier antena cuyo $Tilt^4$ mecánico y eléctrico sea 0° (caso del sistema bajo estudio). Esto se demuestra con lo siguiente:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{km}{h_R - h_t}\right) \qquad \lim_{km \rightarrow \infty} \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\lim_{\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}} 10 \log \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \varphi\right)}{\sin(\varphi)} \right)^2 = 0 \text{ dB}$$

donde:

km: distancia transmisor receptor

h_r : Altura de la antena receptora

h_t : Altura del centro de radiación

φ : Ángulo calculado según la geometría de la figura 2.8

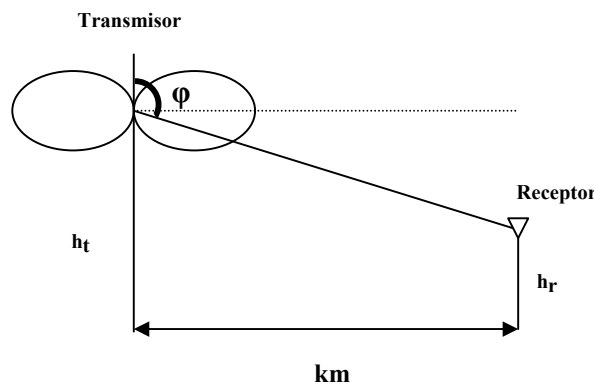


Figura 2.8 - Geometría para el cálculo del ángulo de inclinación

2.5.2 PÉRDIDAS POR DIFRACCIÓN

Los estudios sobre la influencia de las irregularidades del terreno y propagación de ondas electromagnéticas, han demostrado que el parámetro Δh no

⁴ Inclinación del patrón de radiación de la antena respecto al plano horizontal a la antena.

basta por si solo para determinar con precisión el factor de corrección de la atenuación. Se ha comprobado por ejemplo, que en un punto cualquiera de un trayecto de transmisión definido por $\Delta h=50$ m, la estimación de la intensidad de campo mediana puede contener un error superior a 20 dB. No obstante, este error no excede en general de 10 dB y tiende a ser mas pequeño en la banda de ondas métricas que en las decimétricas. Para valores Δh diferentes de 50 m, esos errores podrían ser aun más graves.[7]

Se ha tratado de mejorar la precisión introduciendo empíricamente nuevos factores de terreno, que puedan aplicarse en los casos en que se necesiten estimaciones mas precisas que las que pueden lograrse con el solo parámetro Δh , por ejemplo, existen métodos que agregan factores de corrección debido a la inclinación, pendiente media del terreno, entre otros, todos medidos en las adyacencias de la estación receptora.

Un ejemplo concreto de esto se puede tomar de las recomendaciones de la UIT, donde se indica que, de disponer de la información necesaria para el cálculo del ángulo de despeje del terreno, este factor debe usarse en lugar de la corrección Δh , por lo que podría considerarse como una conjugación de los efectos de todos los factores topográficos que han de tomarse en cuenta, ya sea una pendiente, montañas aisladas, montañas múltiples, terrenos con colina, valles, etc, los cuales podrían catalogarse como los causantes de pérdidas debidas a difracción de la onda. [8]

Para una topografía tan accidentada como la que se puede encontrar en diversas localidades de nuestro país, los modelos que caracterizan las irregularidades del terreno haciendo uso del factor conocido como Δh , pudieran no ser muy confiables ya que, por lo general, son evaluadas las alturas comprendidas en un rango del trayecto de propagación, obviando su forma antes y despues de ciertos límites. Esto podría traducirse en sobreestimaciones de la intensidad de campo o en estimaciones muy por debajo de los valores reales. Por esta razón, en este trabajo, se consideró calcular las pérdidas por difracción a través del modelo clásico de filo de cuchillo y la extensión a múltiples filos de cuchillo propuesta por Deygout. Este

método analiza punto por punto la trayectoria entre transmisor y receptor, identificando las pérdidas causadas por los obstáculos principales y adicionándolas a la solución encontrada al suponer propagación sobre un terreno cuasi suave (de donde parte el método propuesto por la UIT-R).

Para realizar el cálculo, hay que idealizar la forma de los obstáculos, considerándolos como filo de cuchillo. Claro está que los obstáculos reales tienen formas más complejas, y por consiguiente, las indicaciones dadas en la recomendación se han de considerar como una aproximación.

El método hace uso del parámetro v , definido en la ecuación 1.12, el cual agrupa una serie de parámetros geométricos en uno, sin dimensión. Algunas de sus formas equivalentes, además de la ya conocida, son las siguientes:

$$v = \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}} \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$v = \sqrt{\frac{2h\theta}{\lambda}} \quad (v \text{ tiene el mismo signo que } h \text{ y } \theta) \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$v = \sqrt{\frac{2d}{\lambda} \alpha_1 \alpha_2} \quad (v \text{ tiene el mismo signo que } \alpha_1 \text{ y } \alpha_2) \quad \text{Ec. 2.15}$$

donde:

h : altura de la cima del obstáculo sobre la recta que une los dos extremos del trayecto. Si la cima queda por debajo de esa línea, h es negativa.

d_1 y d_2 : distancias desde los dos extremos del trayecto a la cima del obstáculo.

d : longitud del trayecto.

θ : ángulo de difracción (rad); tiene el mismo signo que h .

α_1 y α_2 : ángulos bajo los que, a partir de un extremo, se ven la cima del obstáculo y el extremo opuesto; tienen el mismo signo que h en las relaciones anteriores.

En las ecuaciones anteriores, todos los parámetros deben expresarse en unidades coherentes y se determinan según la figura 2.9.

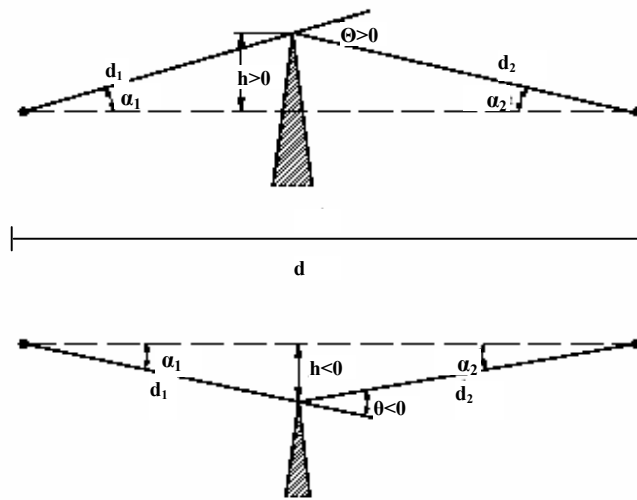


Figura 2.9 - Elementos geométricos h_1 , a_1 , a_2 , d_1 , d_2 , d y θ . [2]

El método toma en cuenta la curvatura de la tierra mediante el concepto de radio efectivo. Para su aplicación se debe disponer de un conjunto de datos del perfil del trayecto radioeléctrico, que conste de muestras de la altura del terreno sobre el nivel del mar ordenadas en intervalos a lo largo del trayecto, siendo la primera y la última las alturas del transmisor y el receptor. A cada par de altura y distancia se lo llama "punto" de perfil y se le asigna un índice, incrementándose los índices de un extremo al otro del trayecto. Aunque no es esencial para el método, en la descripción que sigue se supone que la numeración de los índices aumentan en el sentido del transmisor al receptor. Es preferible, pero no fundamental, que las muestras de perfil tengan la misma separación horizontal. Los cálculos a través de este método son aplicables cuando la longitud de onda es suficientemente pequeña con relación a las dimensiones del obstáculo, o sea, principalmente en el caso de ondas métricas y más cortas ($f > 30$ MHz).

Se debe aplicar la construcción de Deygout a todo el perfil de un trayecto o a una parte del mismo definiéndolo desde el punto de índice a , hasta el punto de índice b ($a < b$). Si $a + 1 = b$, no existe ningún punto intermedio y la pérdida por difracción es cero. En otros casos, la construcción se aplica evaluando v_n ($a < n < b$) y

seleccionando el punto con el valor más alto de v . El valor de v para el punto de perfil n -ésimo viene dado por la ecuación del despeje normalizado:

$$v_n = h \sqrt{\frac{2 \cdot d_{ab}}{\lambda \cdot d_{an} \cdot d_{nb}}} \quad \text{Ec. 2.16}$$

donde:

$$h = h_n + \left[\frac{d_{an} d_{nb}}{2r_e} \right] - \left[\frac{(h_a d_{nb} + h_b d_{an})}{d_{ab}} \right] \quad \text{Ec. 2.17}$$

h_a, h_b, h_n : alturas verticales indicadas en la Fig. 2.10

d_{an}, d_{nb}, d_{ab} : distancias horizontales indicadas en la Fig. 2.10

r_e : radio efectivo de la Tierra

λ : longitud de onda

Todas las h , las d , r_e y λ están en unidades coherentes.

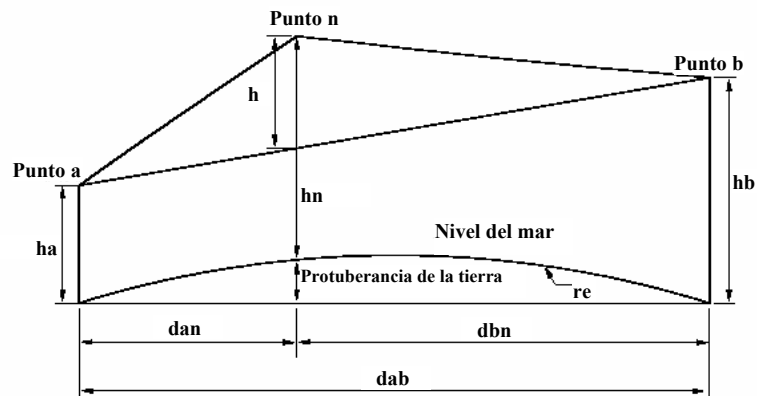


Figura 2.10 - Geometría para una sola arista [2]

Deygout propone que las pérdidas debido a múltiples obstáculos, se calculan tomando el obstáculo con mayor despeje normalizado como si fuera único (Arista principal). Las pérdidas asociadas con el segundo obstáculo se calculan suponiendo una fuente virtual sobre el obstáculo principal, formando un nuevo trayecto hacia el receptor. La pérdida total será la sumatoria de todas las atenuaciones calculadas.

El método fue programado de la siguiente manera:

La construcción Deygout se aplica en primer lugar a todo el perfil del transmisor al receptor: Al punto con el valor más alto de v se le llama arista principal p , y la pérdida correspondiente es $J(v_p)$. La pérdida por difracción viene dada como pérdida de arista $J(v_p)$ según la ecuación 1.19 para $v > -0,78$, y en caso contrario ($v \leq -0,78$) se asume cero. Si $v_p > -0,78$ la construcción se aplica dos veces más:

- (a) Del transmisor al punto p para obtener v_t , y a continuación $J(v_t)$.
- (b) Del punto p al receptor para obtener v_r , y a continuación $J(v_r)$.

El exceso de pérdida por difracción en el trayecto viene dado por la Ec. 2.18:

$$\begin{cases} L = J(v_p) + T [J(v_t) + J(v_r) + C] & \text{para } v_p > -0,78 \\ L = 0 & \text{para } v_p \leq -0,78 \end{cases} \quad \text{Ec. 2.18}$$

donde:

C : corrección empírica

$$C = 8,0 + 0,04D$$

D : longitud total del trayecto (km)

$$T = J(v_p) / 6, \text{ si } J(v_p) \leq 6$$

$$T = 1, \text{ si } J(v_p) > 6$$

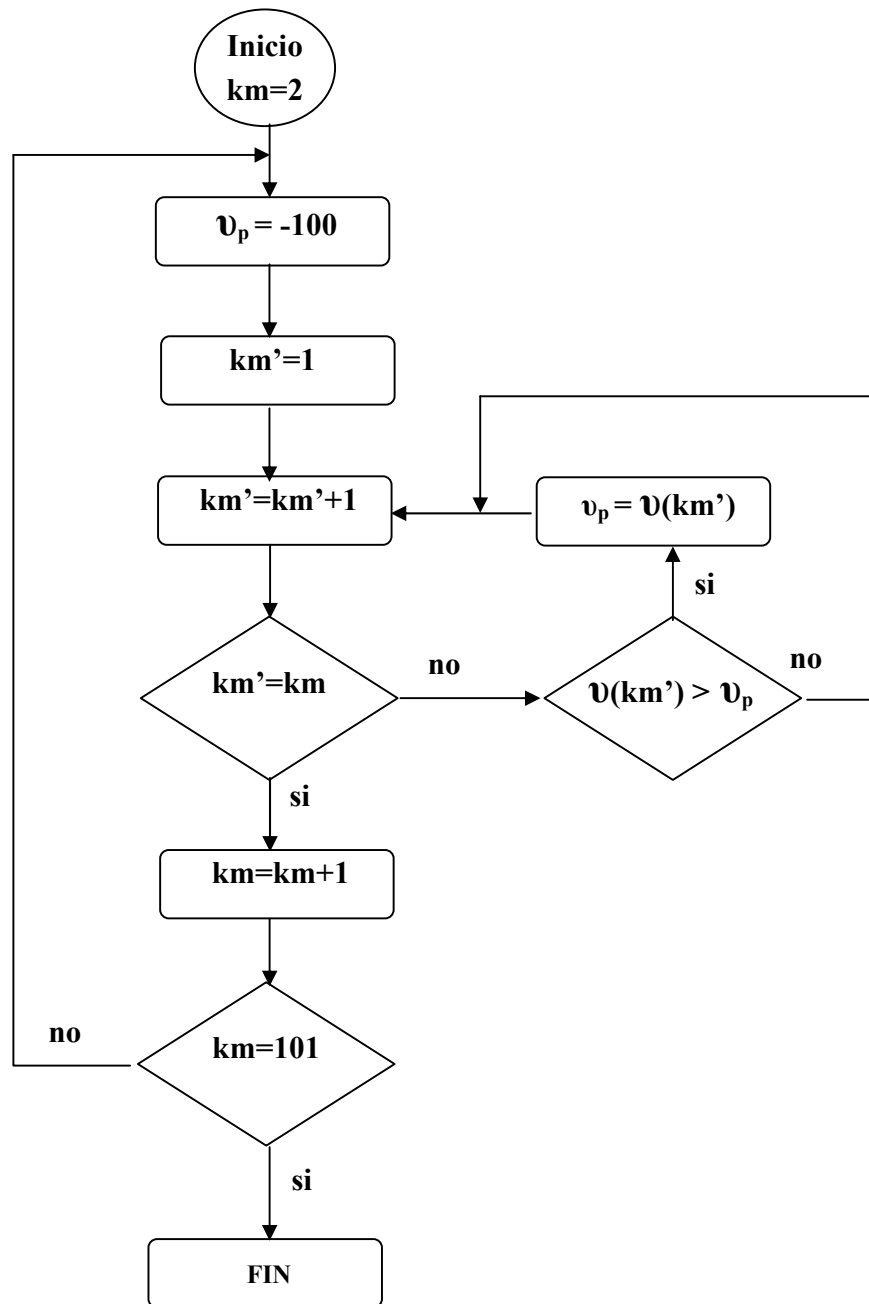
Debido a las condiciones bajo las cuales se ha diseñado el software, por cada uno de los radiales, el móvil podrá tener un total de 100 ubicaciones posibles. Según el método utilizado, se deben realizar una serie de cálculos para precisar en que sitios del perfil topográfico no existe la condición de visibilidad directa, lo cual queda determinado al hacer uso de la ecuación 2.16, haciendo un barrido desde el kilómetro 2 hasta el 100. La distancia d_{ab} (Ec. 2.16 y 2.17) quedará determinada por la posición instantánea del móvil, durante dicho barrido.

Una vez determinados los puntos problemas del perfil, (obstáculos principales entre el móvil y la estación base para cada una de las distancias), se

encontrarán, en caso de ser necesario, los valores correspondientes a v_t y v_r , aplicando el mismo algoritmo, pero adaptándolo a cada uno de estos casos.

Una vez realizado el procedimiento anterior, los valores de pérdidas se almacenan en una variable, de donde son tomados posteriormente para ser totalizados con la intensidad de campo eléctrico obtenida de las curvas sugeridas por la UIT.

Un diagrama de flujo que representa el procedimiento realizado para encontrar los obstáculos principales en un radial se muestra en la figura 2.11.



km' : kilómetro intermedio entre el transmisor y el receptor (Obstáculo hipotético)
 km : Ubicación del móvil en el trayecto de propagación
 v_p : Parámetro dependiente del despeje, asignado a la arista principal de un trayecto

Figura 2.11 - Proceso de búsqueda de obstáculos principales

2.5.3 CÁLCULO DE CONTORNOS DE COBERTURA

Una vez calculada la intensidad de campo, se hace un barrido desde el kilómetro uno hasta el cien, con pasos de un kilómetro, hasta encontrar la distancia para la cual la potencia recibida se encuentra por debajo del umbral de recepción, éste umbral viene determinada por la sensibilidad del equipo, dada por el usuario en dBm o μV , e indica los niveles mínimos necesarios para que el receptor pueda captar la señal.

La potencia recibida es función del campo eléctrico, la ganancia de antena receptora y la frecuencia, y sus valores se calculan como:

$$P_{[dBm]} = -77.215 - 20\log(f_{[MHz]}) + E_{[\mu V / m]} + G_{Rx[dBd]} + 2.15 \quad \text{Ec. 2.19}$$

Una vez es encontrado un nivel de potencia inferior al mínimo requerido, debido a que se están realizando saltos de un kilómetro, se interpola para encontrar el punto en el cual el umbral es igual a la potencia recibida. Según este procedimiento, serán tomados los puntos para los cuales el nivel de potencia cruce el umbral de recepción por primera vez. Por esta razón, pudiera ocurrir que aun lejos del contorno calculado, sea posible mantener comunicaciones de buena calidad, luego que sean superados los obstáculos que obstruían la línea de vista directa para un momento determinado.

Las distancias halladas según lo anterior, son almacenadas en una variable, de donde serán tomadas posteriormente para delimitar el área de cobertura de un transmisor determinado.

2.6 SALIDAS DEL SOFTWARE

Las salidas del programa permiten al usuario observar los resultados directamente en pantalla, o hacer la petición de un reporte impreso para que pueda formar parte de algún proyecto técnico que así lo requiera.

2.6.1 SALIDA POR PANTALLA

Las ventanas del programa⁵, permitirán observar los gráficos de nivel de intensidad de campo y potencia recibida, exigiendo la intervención del usuario en tiempo de ejecución, para suministrar instrucciones acerca de cual radial se desea observar. Se muestran también los gráficos correspondientes a los perfiles topográficos y un diagrama polar que permitirá observar el contorno de cobertura, según determine las características propias de cada transmisor para una ubicación específica.

Quizás, sea esta la función más importante del software, ya que permite al proyectista simular de manera rápida y sencilla, las combinaciones de equipos, antenas y demás elementos del sistema, hasta obtener el comportamiento que más se adapte a las necesidades de comunicación, lo cual sería casi imposible realizar si no se tuviese a la mano una herramienta de cálculo automatizada como el programa desarrollado en este trabajo.

2.6.2 REPORTE IMPRESOS

La ley de Telecomunicaciones establece que la Comisión Nacional de Telecomunicaciones es la encargada de administrar, regular, ordenar y controlar el uso del espectro radioeléctrico. En tal sentido, cualquier ente interesado en realizar alguna actividad vinculada a las telecomunicaciones debe solicitar ante este organismo el otorgamiento de la habilitación general y los atributos asociados a la misma, de conformidad con las previsiones técnicas, legales y económico-financieras contenidas en la ley, sus reglamentos, las condiciones de las habilitaciones generales y demás normas aplicables.

Según la *Guía para la obtención de la habilitación general y sus atributos*⁶ siempre que sea requerido el otorgamiento de una concesión de uso y explotación de porciones del espectro radioeléctrico, a efectos de realizar las actividades de

⁵ El Anexo N° 4 muestra las ventanas del programa (Manual del usuario del programa).

⁶ Consultado en www.conatel.gov.ve

telecomunicaciones para las cuales se ha otorgado una habilitación, se deben presentar diversos recaudos de carácter técnico, entre los cuales se destaca el cálculo del área de cobertura del sistema. Los pasos a seguir para predecir y presentar el área de cobertura son los siguientes:

- (a) Indicar el nombre de la estación o el número de la red a la cual pertenece.
- (b) Trazar 36 radiales como mínimo, espaciados cada 10° tomando como referencia de 0° el norte verdadero.
- (c) Potencia efectiva radiada por radial (W).
- (d) Tabla indicando cotas, en metros, contra distancias (igualmente espaciadas), en kilómetros, a lo largo de cada radial, tomadas cada kilómetro (como máximo).
- (e) Gráfico del perfil y línea de vista.
- (f) Despeje de la primera zona de Fresnel.
- (g) Corrección por curvatura de la tierra (factor K).
- (h) Nivel de intensidad de campo eléctrico recibido a lo largo del radial (dBm y $\text{dB}\mu\text{V/m}$).
- (i) Tabla indicando las distancias en kilómetros a los contornos de servicio y protección para cada radial.
- (j) Indicar la potencia del transmisor.
- (k) Presentar los contornos de servicio y protección sobre un mapa de cartografía nacional o mapa digitalizado a escala adecuada, indicando en el mismo los niveles de intensidad de campo respectivo.

Con el fin de facilitar el trabajo del ingeniero encargado de elaborar la sección técnica del proyecto, que debe ser presentado ante el ente regulador, se ha planeado como salida del software una serie de reportes, los cuales se adaptan a los requerimientos exigidos por la guía antes mencionada. Teniendo como base, las instrucciones para la predicción y presentación del área de cobertura enumeradas con anterioridad, el programa luego de procesar los datos de entrada en conjunto con las

características topográficas del terreno, permite imprimir los datos obtenidos de la siguiente forma:

- (a) *Impresión de gráficos de NSE por radial*: La información referente al nivel de señal esperado en cada radial será impresa en una hoja tamaño carta, cada una de las cuales contendrá un par de gráficos: gráfico de la potencia recibida por un receptor a lo largo del radial (expresada en dBm). Gráfico de la intensidad del campo eléctrico a lo largo del radial (expresado en dB μ V/m), donde el eje de las abscisas representa la distancia en km en ambos casos. Sobre cada una de las gráficas se muestra el umbral de recepción del equipo receptor. Se agrega al reporte el nombre del sitio, azimuth al cual corresponden los datos y el número del radial.
- (b) *Impresión de los datos del perfil topográfico*: Cada radial será impreso en una hoja tamaño carta, la cual constará de los siguientes elementos: gráfico del perfil topográfico, línea de vista y primera zona de Fresnel, además presentando la corrección debida a curvatura de la tierra. Tabla indicando cotas, en metros, contra distancias, en kilómetros, a lo largo del radial, tomadas cada kilómetro. Nombre del sitio, azimuth y numero del radial al cual corresponden los datos.
- (c) *Impresión del área de cobertura*: Dependiendo de la pantalla que se encuentre activa, el usuario podrá imprimir el área de cobertura sobre un diagrama polar o sobre un mapa digitalizado, este último será un mapa digital guardado previamente en la memoria del computador. Serán graficados dos contornos, uno representativo del área en la cual será posible recibir señal (teóricamente) y otro que representa el contorno de protección⁷. Los cálculos serán realizados como base a la sensibilidad del receptor que sea proporcionada por el usuario. En estos gráficos serán presentados los siguientes datos: contorno de

⁷ Contornos de servicio y protección son definidos en el capítulo III

cobertura, nombre del sitio, coordenadas geográficas de ubicación de la estación transmisora, distancia máxima de cobertura.

2.7 VALIDACIÓN DE RESULTADOS

2.7.1.MEDICIONES EN CAMPO

Fueron realizadas, en diversas localidades, un conjunto de mediciones representativas de la potencia recibida, con el fin de hacer una comparación entre éstas y los valores arrojados por el software, y así determinar el grado de confiabilidad del mismo al momento de estimar la cobertura en el entorno de un transmisor.

El equipo utilizado fue el Analizador de sistemas de comunicaciones Motorola R-2001D, que se observa en la figura 2.12. La sección de este equipo que permite realizar mediciones de intensidad de señal (en dBm ó V), opera en un rango de frecuencias comprendidas entre 1 MHz a 999,9999 MHz. Se podrán realizar mediciones siempre que la potencia de entrada al equipo sea un valor comprendido entre -100 y 52 dBm.



Figura 2.12 - Analizador de sistemas de comunicaciones Motorola R-2001D

El alimentador usado, con el fin de llevar la señal desde la antena al equipo receptor, fue un cable coaxial RG-58/U producido por BELDEN, su longitud era de seis metros. Según la tabla de especificaciones proporcionada por los fabricantes, la atenuación por cada 30 metros es de 8.4 dB. La antena era omnidireccional con una ganancia de 3.2 dBi, dispuesta de tal forma que su polarización fuera la misma que la de la antena transmisora.

Se contaba además con un GPS, que permitía obtener las coordenadas geográficas del sitio de medición.

La señal que fuese medida con el analizador de sistemas de comunicaciones, en conjunto con los demás elementos, representaría la señal recibida por un receptor con ganancia de antena de 3.2 dBi, y una pérdida de alimentación de 1.52 dB.

2.7.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

En primer lugar, se verificó el buen funcionamiento del equipo Motorola R-2001D. Fueron inyectadas señales a diferentes frecuencias y potencias dentro del ancho de banda de funcionamiento del equipo (en especial en la banda de operación del sistema de comunicaciones de Venevisión). El resultado fue que el equipo se encontraba trabajando en perfectas condiciones.

Una vez seleccionada la localidad donde serían efectuadas las mediciones de intensidad de campo, el procedimiento a seguir fue el siguiente:

- (a) Ubicar sitios despejados de árboles, para evitar pérdidas adicionales.
- (b) Evitar sitios donde se suponga exceso de señal de RF.
- (c) Tomar todas las precauciones respecto a la correcta disposición del sistema de medición.
- (d) Identificar la estación de la cual se recibirá la señal, para ajustar la frecuencia de recepción del analizador de comunicaciones.
- (e) Hacer mediciones luego de apagar el motor del vehículo.
- (f) Tomar un promedio de cierto número de mediciones, efectuadas a intervalos aproximados a un minuto, para obtener la lectura final de la intensidad de campo.
- (g) Una vez realizada la medición de intensidad de campo, tomar nota de las coordenadas del sitio, verificando que el GPS presente la máxima señal de los satélites.
- (h) Tomar nota de la hora en que se realizaron las mediciones y de las condiciones climáticas.

Este procedimiento de medición no persigue la elaboración de unas curvas empíricas para su utilización en procesos de predicción posteriores, esto implicaría un trabajo más laborioso y dedicado, es por esta razón que no se aplica un procedimiento riguroso, ni se sigue alguna recomendación específica para su realización. Solo se pretende hacer mediciones en forma aleatoria, que permitan comparar los valores teóricos y los prácticos para determinar el grado de ajuste del método implementado.

2.7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El desempeño de un método para el cálculo de cobertura se mide por la veracidad de los resultados en comparación con medidas de campo reales. Por esta razón se hace necesario evaluar si la discrepancia entre estas variables son aceptables o no.

Una vez realizado el conjunto de mediciones y determinada la ubicación geográfica de cada sitio, se generan los perfiles topográficos a ser usados en el proceso de comparación, tratando de reproducir las mismas condiciones en las cuales fueron tomadas las muestras experimentales.

Debido a que la función principal del programa es trazar un contorno y realizar una gráfica de nivel de señal esperado por radial, en ningún momento se muestran valores de campo o potencia recibida para distancias particulares, por lo que pudiera resultar muy impreciso, tomar estos valores directamente de los gráficos impresos o mostrados en pantalla, debido a la resolución de las curvas. Por esta razón se implementó una aplicación muy sencilla que permitió obtener en forma numérica, los valores que han sido graficados, haciendo menos subjetivo el proceso de evaluación.

Los datos teóricos y los tomados en campo corresponden a ubicaciones entorno a estaciones repetidoras que operan en Guarenas y Caracas. Estos datos se muestran en la tabla 2.4.

Es importante señalar que la toma de muestras se vio limitada a zonas cercanas de los sitios de transmisión, esto es debido a que del equipo de medición solo pueden obtenerse lecturas para valores no menores a -100 dBm.

Tabla 2.4 - Datos obtenidos mediante mediciones en torno a estaciones ubicadas en Caracas y Guarenas

F(MHz)	Latitud	Longitud	Clima	P_{RC}(dBm)	P_{RT}(dBm)	%E
503.6875	10°28'28''	66°38'50''	D	--	-82.48	--
503.6875	10°28'17''	66°37'12''	D	-86	-81.39	5,66
508.6875	10°28'17''	66°37'12''	D	--	-180	--
503.6875	10°27'46''	66°34'12''	D	-84.5	-81.98	3,07
503.6875	10°27'05''	66°32'29''	N	-76	-71.38	6,47
503.6875	10°27'46''	66°31'02''	LL	-75.1	-78.09	3,83
508.6875	10°27'46''	33°61'02''	N	--	-63	--
503.6875	10°28'07''	66°32'45''	N	-90	-88.66	1,51
503.6875	10°28'03''	66°33'48''	N	-85	-84.96	0,05
503.6875	10°28'03''	66°34'40''	N	-71	-82,82	14,27
503.6875	10°28'22''	66°37'34''	N	-87	-81.7	6,49
503.6875	10°28'47''	66°44'07''	D	--	-188.21	--
496.8125	10°29'18''	66°48'15''	D	-95	-84.84	11,98
499.8125	10°29'30''	66°48'18''	D	-97	-80	21,25
508.6875	10°29'30''	66°48'18''	D	-90	-72	25,00
496.8125	10°29'30''	66°48'18''	D	--	-77	--
496.8125	10°29'30''	66°49'29''	D	-90	-63	42,86
508.6875	10°29'33''	66°50'43''	D	-83	-66	25,76
496.8125	10°30'39''	66°50'43''	D	-88	-96,19	8,51
499.8125	10°30'39''	66°50'43''	D	-90	-112	19,64

D: despejado N: nublado LL: lluvioso

--: menores a -100 dBm

P_{RC}: Potencia recibida según mediciones realizadas en campo

P_{RT}: Potencia recibida según cálculos teóricos

Mediciones realizadas en el mes de agosto

$$\%E: \text{Error relativo al valor teórico} \left(\left| \frac{(P_{RC} - P_{RT})}{P_{RT}} \right| \cdot 100 \right) \%$$

E_{RMS}: Error cuadrático medio

E_{RMS} [503.6875 MHz] = 5.33 dB (Guarenas)

E_{RMS} [508.6875 MHz] = 17.50 dB (Caracas)

E_{RMS} [496.8125 MHz] = 17.31 dB (Caracas)

E_{RMS} [499.8125 MHz] = 19.65 dB (Caracas)

Para todas las mediciones en conjunto el error cuadrático medio fue: 14.162 dB

Para la estación Auyarito, ubicada en Guarenas, el error cuadrático medio fue menor a 6 dB, donde los valores medidos estuvieron oscilando alrededor del valor teórico. De las mediciones realizadas en Caracas, resultó que el error cuadrático medio correspondía a un valor cercano a 18 dB, los valores medidos estuvieron siempre por debajo del valor esperado. Este resultado puede atribuirse a la gran afluencia de vehículos en las zonas de medición, generando fuertes desvanecimientos de la señal. Un número elevado de veces que se intentó realizar mediciones, el equipo indicaba un valor de potencia menor a -100 dBm, lo cual resultaba inconveniente, por la falta de información que esto representaba.

Debido a lo poco concluyentes que podrían resultar las mediciones antes mencionadas, se optó por realizar una comparación entre ciertos valores obtenidos teóricamente a través del método aplicado, con los arrojados por el *software Radio Mobile*⁸, el cual es ampliamente usado por diversas administraciones, entre ellas, CONATEL. Este programa posee una base de datos topográficos que, en ciertos casos, difiere de la usada por la aplicación creada en este trabajo. Se escogieron situaciones en las cuales, la forma del terreno generada por ambos programas, fueran lo más parecidas posible, de tal forma que este factor resultara poco determinante, en el proceso de validación.

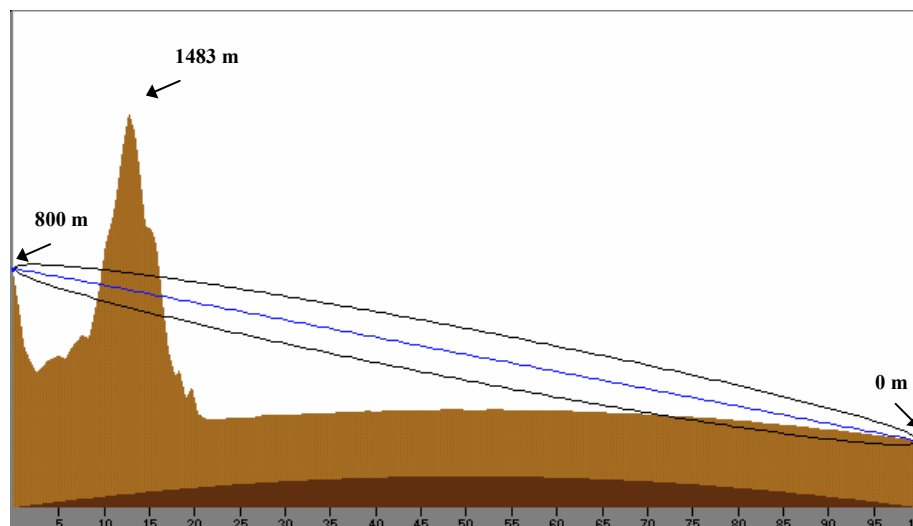
Las figuras 2.13 y 2.14 muestran las zonas de recepción, obtenidas a través de los dos programas, correspondientes al azimut 0° de la estación Auyarito. Observando estas figuras en conjunto, se tiene que mientras los datos topográficos de ambas aplicaciones son similares, son obtenidos valores de intensidad de campo eléctrico concordantes. Tomando en cuenta que las escalas horizontales de las figuras 2.14-(a) y 2.14-(b) son las mismas, puede observarse que la señal se encuentra por encima del umbral de recepción, en la misma porción del trayecto de propagación, para cada uno de los casos presentados. Contrario a esto, las figuras 2.15 y 2.16, ejemplifican un caso en el que los perfiles topográficos difieren entre sí, por lo que

⁸ Programa que puede ser encontrado en <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

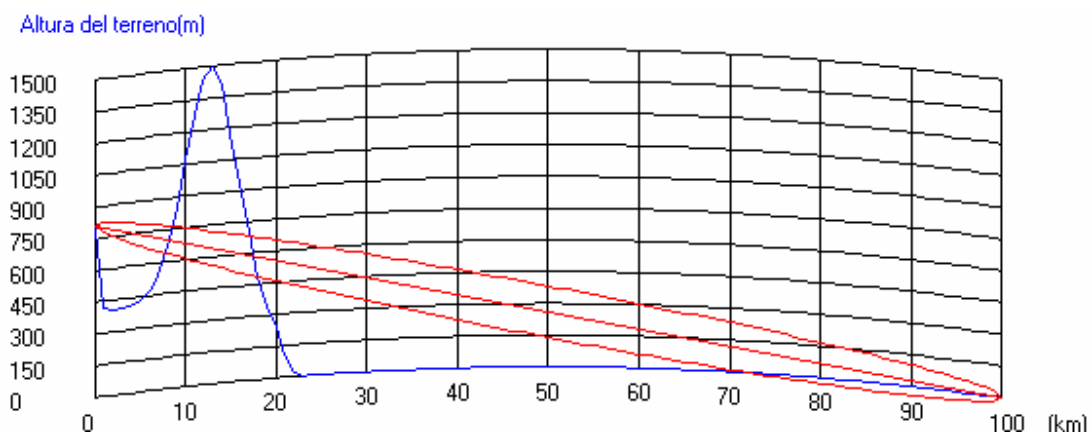
las porciones del trayecto en las cuales es posible la recepción, presentan una semejanza poco aceptable. Según el *Radio Mobile*, puede encontrarse una señal útil entre los kilómetros cero y cuatro. Por su parte, el *software* bajo prueba indica un distancia comprendida entre cero y diecinueve kilómetros.

Las figuras 2.17 y 2.18, permiten observar como se ajusta el nivel de señal, luego de corregir los datos topográficos, según las cotas del terreno obtenidas del *Radio mobile*.

Estación: AUYARITO
Latitud: 10° 26' 5''
Longitud: 66° 34' 24''
Azimut: 0°



(a)

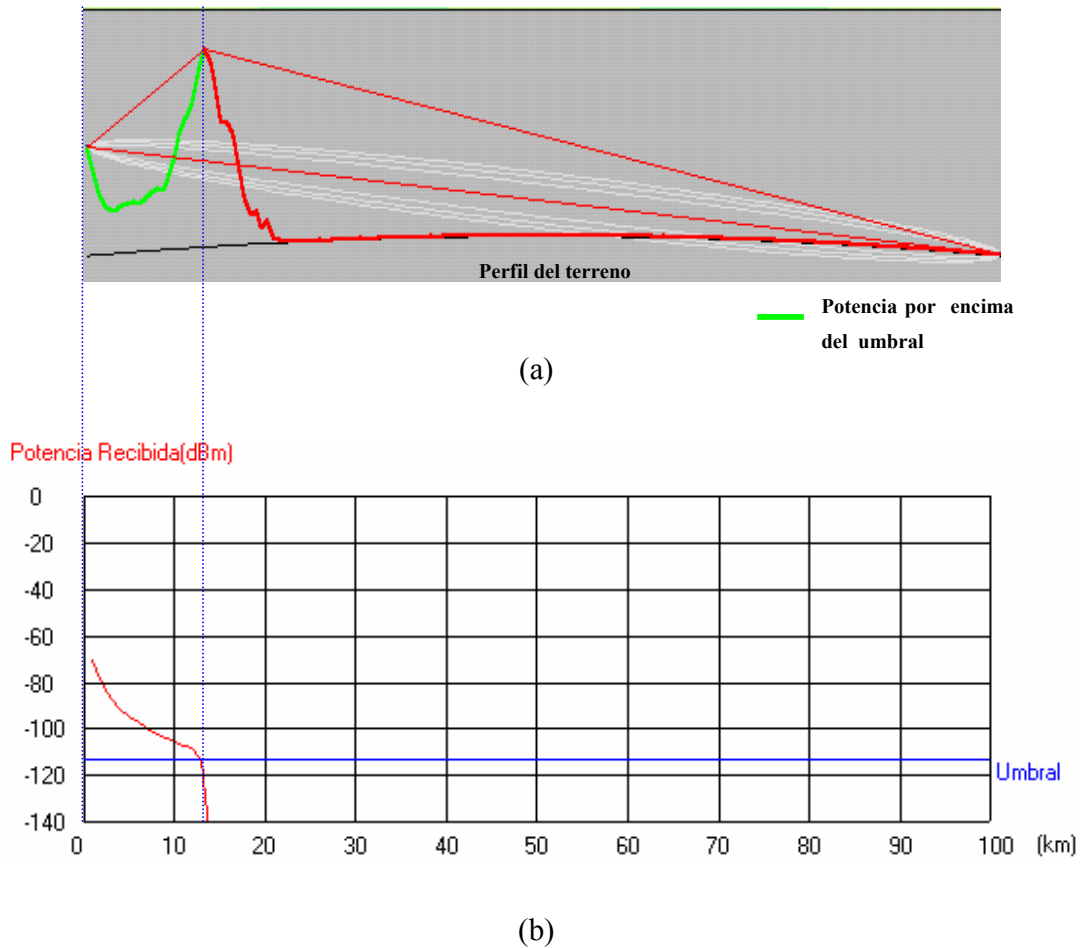


(b)

- (a) Datos topográficos obtenidos del *Radio Mobile*
 (b) Datos topográficos obtenidos del *Path Loss* (Usados por el *software* desarrollado)

Figura 2.13 – Perfiles topográficos de la estación Auyarito, azimut 0°

Estación: AUYARITO
Latitud: 10° 26' 5''
Longitud: 66° 34' 24''
Azimet: 0°



- (a) Zona de recepción obtenida del *Radio Mobile*.
- (b) Zona de recepción obtenida del software desarrollado.

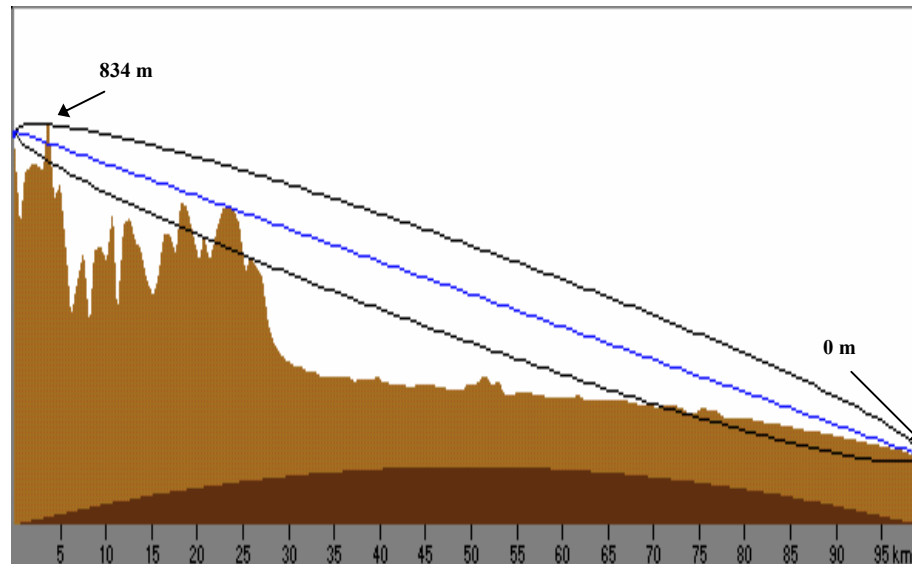
Figura 2.14 – Zonas de recepción de la estación Auyarito, azimet 0°

Estación: AUYARITO

Latitud: 10° 26' 5''

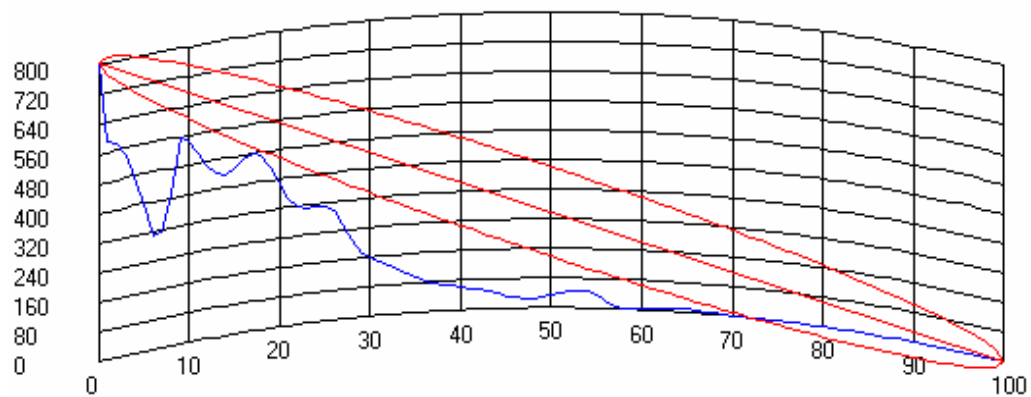
Longitud: 66° 34' 24''

Azimut: 100°



(a)

Altura del terreno(m)



(b)

(a) Datos topográficos obtenidos del *Radio Mobile*

(b) Datos topográficos obtenidos del *Path Loss* (Usados por el *software* desarrollado)

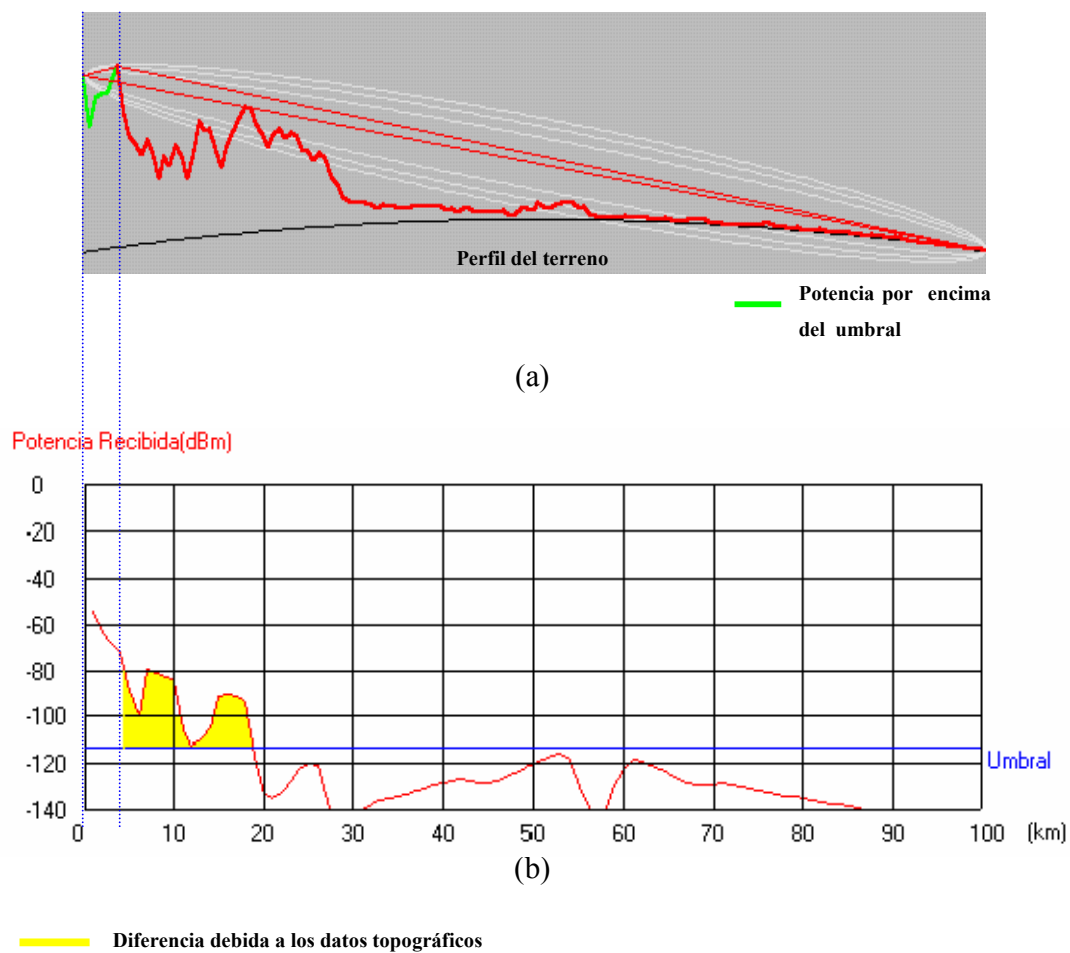
Figura 2.15 - Perfiles topográficos de la estación Auyarito, azimut 100°

Estación: AUYARITO

Latitud: 10° 26' 5''

Longitud: 66° 34' 24''

Azimut: 100°

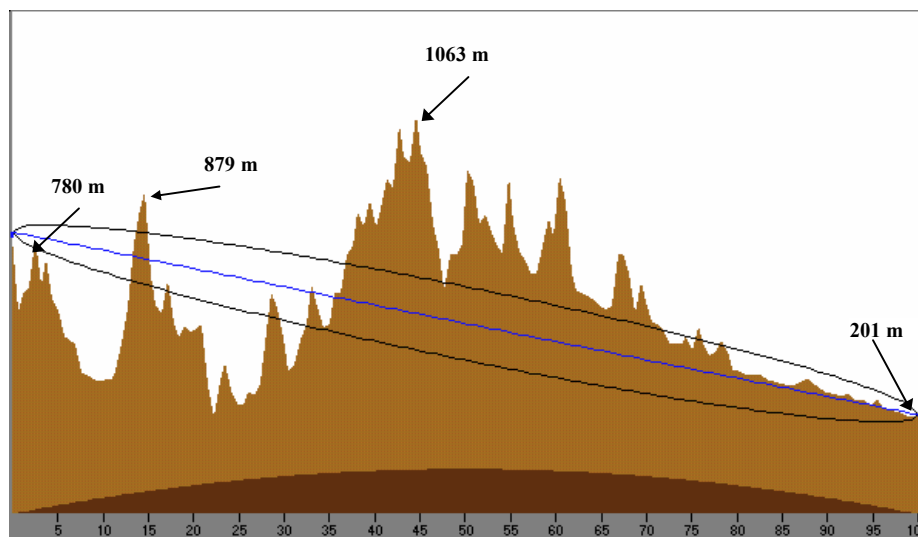


(a) Zona de recepción obtenida del *Radio Mobile*.

(b) Zona de recepción obtenida del software desarrollado.

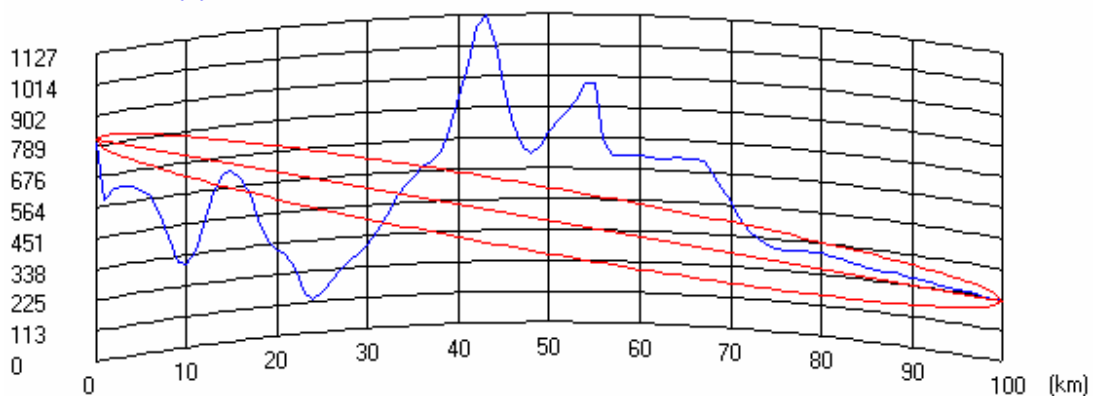
Figura 2.16 - Zonas de recepción de la estación Auyarito, azimut 100°

Estación: AUYARITO
Latitud: 10° 26' 5''
Longitud: 66° 34' 24''
Azimet: 180°



(a)

Altura del terreno(m)



(b)

- (a) Datos topográficos obtenidos del *Radio Mobile*
 (b) Datos topográficos obtenidos del *Path Loss* (Usados por el *software* desarrollado)

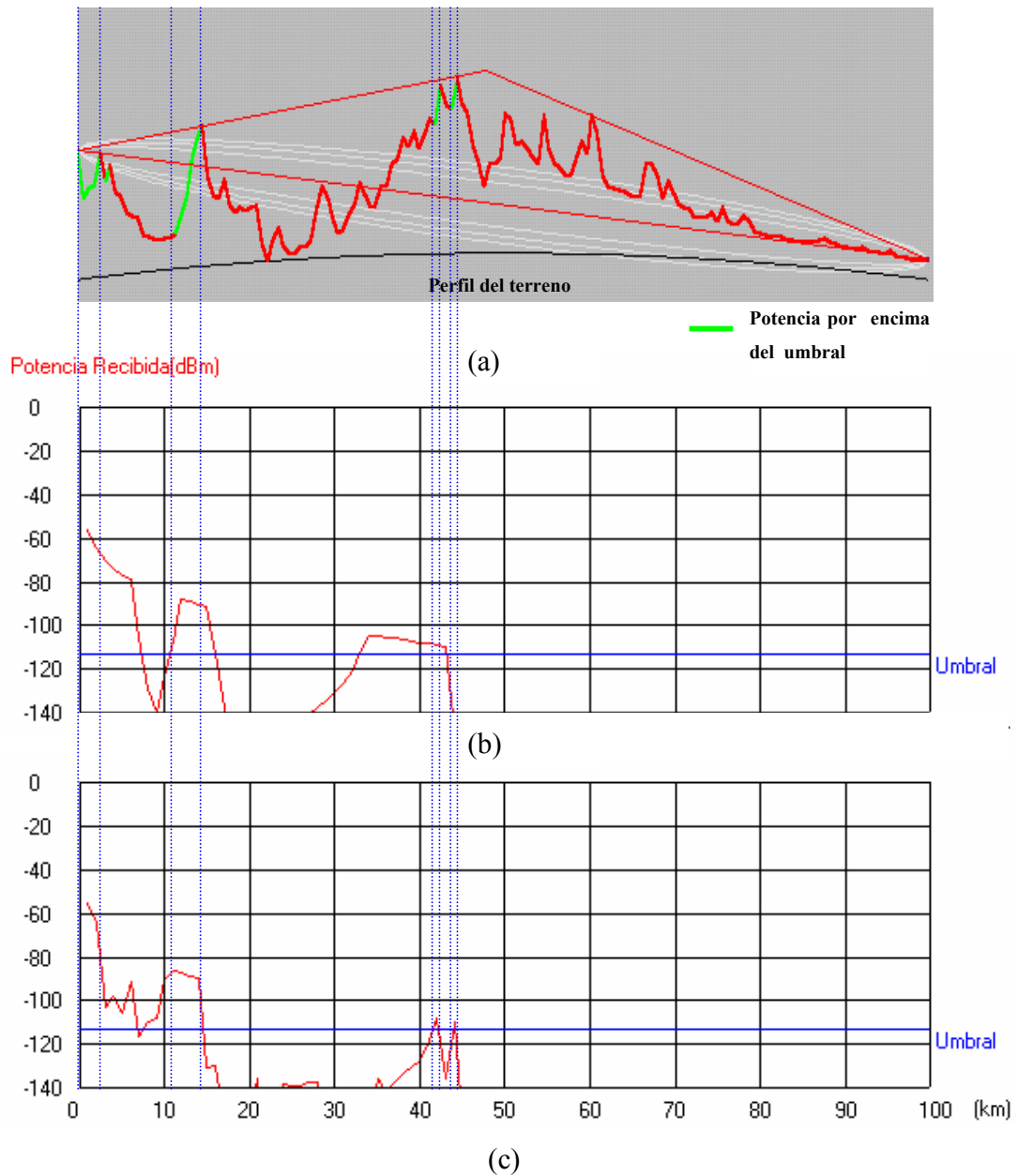
Figura 2.17 - Perfiles topográficos de la estación Auyarito, azimet 180°

Estación: AUYARITO

Latitud: 10° 26' 5''

Longitud: 66° 34' 24''

Azimut: 180°



(a) Zona de recepción obtenida del *Radio Mobile*.

(b) Zona de recepción obtenida del software desarrollado.

(c) Zona de recepción obtenida del software desarrollado, haciendo uso de los datos topográficos tomados del *Radio Mobile*

Figura 2.18 - Zonas de recepción de la estación Auyarito, azimut 180°

CAPÍTULO III

COBERTURA DEL SISTEMA MÓVIL DE VENEVISIÓN

3.1 ELEMENTOS DE LA RED

El sistema de radiocomunicaciones móviles de VENEVISIÓN, es analógico y opera a lo largo del territorio nacional, principalmente en la banda de frecuencia comprendida entre 490-512 Mhz. La arquitectura de la red se conforma básicamente de radios fijos, móviles, portátiles, sistema de antenas, alimentadores y sistemas repetidores.

3.1.1 ANTENAS

La antena, como dispositivo capaz de radiar y recibir ondas de radio eficientemente, es la interfaz entre la entrada y salida del receptor/transmisor y el medio de transmisión. Para cada una de las estaciones del sistema de comunicaciones móviles de VENEVISIÓN se ha seleccionado un tipo de antena, en ocasiones arreglos de éstas, las cuales cumplen con los requerimientos de distribución de energía que permiten ofrecer cobertura a un área de interés.

3.1.2 ESTACIÓN BASE

Se denomina estación base a aquellos elementos de la red que se ubican en un lugar fijo y por lo general, en centros de repetición, permitiendo la comunicación entre operadores de estaciones y el personal que coordina las actividades de gestión y mantenimiento de los sistemas radioeléctricos. Por su carácter de estación fija, permite la utilización de arreglos de antenas que proporcionen mayor ganancia, sobre torres de telecomunicaciones dispuestas para tal fin. El tipo de radio usado, proporciona una potencia de transmisión relativamente alta y opera en modo semiduplex. La figura 3.1 muestra la arquitectura típica de una estación base.

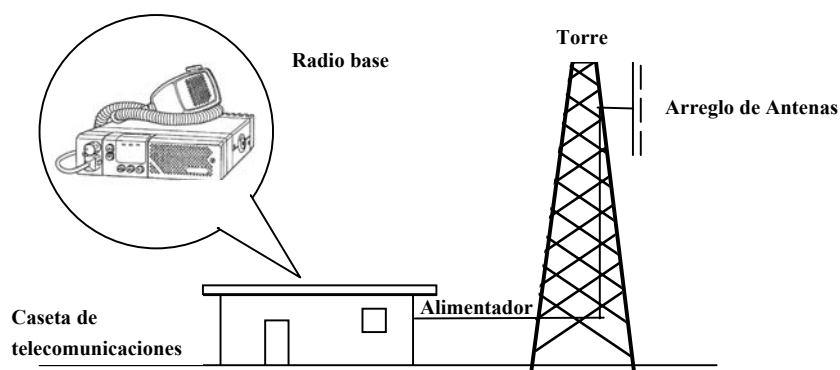


Figura 3.1 - Estación base

El tipo de radio usado en el sistema, es programado vía *software*, y según sea su modelo y uso, pueden ser asignados pares de frecuencia a cada canal, según lo crea conveniente el administrador de la red.

3.1.3 REPETIDORES SIMPLES

Los repetidores simples o sencillos se componen de una antena, un par de radios, una tarjeta controladora y un duplexer. Este tipo de repetidor se caracteriza por transmitir y recibir señales a través del mismo elemento radiante tal como lo ilustra la figura 3.2.

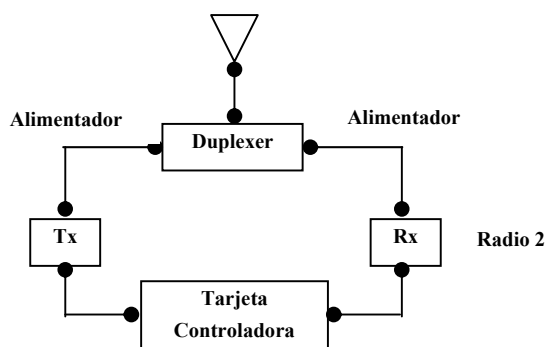


Figura 3.2 - Repetidor Simple

La función de esta configuración es repetir la señal que está recibiendo, permitiendo su regeneración para que pueda alcanzar mayores distancias. Debido a

que la transmisión y la recepción son simultáneas, y a través de la misma antena, aparece la figura del duplexer.

El duplexer es un filtro que cumple la función de aislar eléctricamente las secciones transmisoras y receptoras, ya que si éstas se conectan directamente a la antena, los altos niveles de salida del transmisor pudieran ocasionar graves daños al receptor. Los radios trabajan uno como transmisor y otro como receptor, cada uno de ellos es programado para trabajar con una frecuencia de portadora fija. La potencia de transmisión es programable y la sensibilidad en el receptor viene dada por su capacidad de detectar un nivel de portadora.

3.1.4 REPETIDORES DOBLES

El repetidor doble, a diferencia del anterior, requiere de dos antenas para su funcionamiento. Cada radio se programa para transmitir y recibir, por lo que es necesario contar con dos pares de frecuencias. Cuando un radio recibe una portadora, es activada la sección de transmisión del otro, siendo posible el proceso en ambos sentidos. La conmutación es controlada por la tarjeta electrónica que se incorpora al sistema. La figura 3.3 muestra la arquitectura típica del repetidor doble. Donde el Radio 1 y el radio 2 poseen frecuencias de transmisión y recepción, Tx_1 , Rx_1 y Tx_2 , Rx_2 respectivamente.

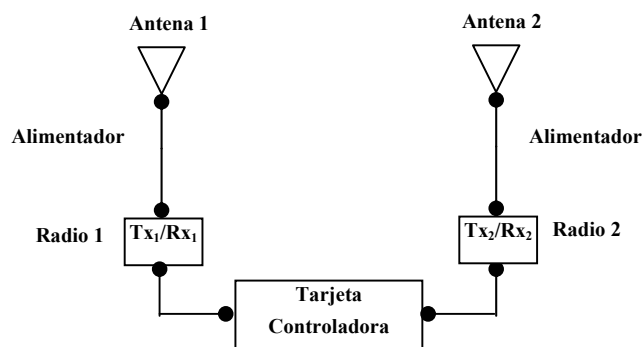


Figura 3.3 - Repetidor doble

Para entender como es el funcionamiento del repetidor, suponga un proceso de comunicación que active uno de los receptores. La señal modulada a una frecuencia Rx_1 es captada por la antena 1, en ese instante, la tarjeta controladora

habilita la sección de transmisión del radio 2. La señal es enviada al radio 2, donde es modulada a frecuencia Tx_2 para su retransmisión. La comunicación puede realizarse en ambos sentidos, es decir se recibe por la antena 2 y retransmite por la antena 1.

3.1.5 RADIOS PORTÁTILES/MÓVILES

Se denominan radios móviles a aquellos que se instalan en el interior de un vehículo. El radio se configura de la misma forma que se hace con las estaciones base, de hecho el modelo de radio es por lo general el mismo. Se instala una antena en el exterior del vehículo, permitiendo así captar y radiar energía electromagnética.

Por su parte, los radios portátiles son unidades lo suficientemente pequeñas que permiten ser llevado por el personal que realiza labores técnicas. El suministro de energía es realizado a través de baterías. Estos equipos, por lo general, permiten el cambio de canal para mantener comunicación con cada uno de los elementos de la red, siempre que las condiciones de propagación lo permitan.

3.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

La red de comunicaciones de VENEVISIÓN, se encuentra instalada a lo largo del territorio nacional y funciona sobre un sistema de repetición en la banda UHF 490-512 MHz. Su estructura se puede dividir en dos partes básicas: una interfaz de radio, la cual permite que los usuarios del sistema establezcan comunicaciones vía radio desde una estación móvil a otro componente de la red, y una red fija que permite que la señal se propague mediante su repetición. Las estaciones repetidoras se encuentran ubicadas en localidades específicas y por lo general en sitios provistos de altura, lo que permite sortear las irregularidades topográficas y otros obstáculos que puedan interferir con la línea de vista entre el transmisor y el receptor. A lo largo de toda la cadena de comunicación, son colocados repetidores simples y dobles, alternados entre sí, con el fin de permitir la propagación de la señal. En el Anexo N° 5 se muestra el esquema del sistema de comunicaciones móviles de VENEVISIÓN.

La señal transmitida por cada repetidor, provee de cobertura a la zona en la cual se encuentra ubicado, y a la vez, permite el enlace con los repetidores contiguos.

Este proceso permite que la señal se propague hasta los extremos de la cadena: “cadena de occidente”, “cadena de oriente”⁹.

La señal que es transportada por el sistema de repetición, proviene de las estaciones base, móviles y portátiles. El proceso de comunicación de estos equipos, puede ocurrir en ambos sentidos pero no al mismo tiempo, por lo tanto la transmisión se debe efectuar en forma secuencial. Para transmitir se debe hacer la petición, que en sistemas de radio convencionales se logra pulsando el botón del terminal denominado PTT, *Push To Talk*.

Las estaciones base tienen un área de cobertura asociada, y se instalan de tal forma que pueda realizarse el enlace con al menos uno de los repetidores. De esta forma, el área de cobertura no es sólo la de la propia estación, sino la sumatoria de todas las áreas cubiertas por los repetidores del sistema, cobertura que eventualmente se extenderá por todo el territorio nacional.

Por su parte, los equipos que dotan de movilidad al sistema, radios móviles y portátiles, requieren que el usuario conozca la frecuencia a la cual transmite el repetidor más cercano a ellos, para ajustar los canales del equipo según sea el caso. Así podrán ser recibidas señales provenientes de cualquier parte del país y realizar el proceso equivalente en transmisión.

Debido a las características de funcionamiento del repetidor doble y a la forma en que son usadas las frecuencias, si una señal proveniente de una estación móvil o portátil entra por uno de sus receptores, solo una de las porciones de la cadena podrá recibirla. Si por el contrario, la señal entra a un repetidor sencillo, la señal podrá propagarse por toda la cadena. Esta es la razón por la cual las estaciones base deben estar orientadas para entrar a los repetidores simples. Los usuarios de los equipos móviles y portátiles, pueden escoger el canal a utilizar para establecer la comunicación, si el objetivo es tener cobertura a nivel nacional, se debe sintonizar el radio con la estación repetidora simple más cercana.

⁹ Ver Anexo N° 5

3.3 CÁLCULO DE LOS CONTORNOS DE SERVICIO Y PROTECCIÓN

El área o zona de cobertura de un sistema móvil de comunicación, viene determinado por la intensidad de señal mínima necesaria para vencer los efectos perjudiciales del ruido interno generado en el receptor y el ruido artificial generado principalmente por vehículos a motor.

Haciendo uso del programa creado, serán calculados los contornos de cobertura y protección, los cuales son una referencia del alcance que tendrá una estación base de radiocomunicación o una estación de repetición, para el servicio móvil terrestre bajo estudio. A continuación se explicarán ciertas consideraciones que fueron tomadas en cuenta para el cálculo de dichos contornos.

3.3.1 CONTORNO DE SERVICIO

Este contorno debe calcularse para un mínimo de 50% del tiempo y 50% de las ubicaciones expresado en dBm o dBμV/m, y es la relación entre la señal deseada y no deseada a la entrada del receptor, que permite obtener una calidad de recepción especificada de la señal deseada a la salida del receptor.

3.3.2 CONTORNO DE PROTECCIÓN

Se calcula para el 50% del tiempo y 50% de las ubicaciones, tomando como referencia el doble de la sensibilidad del receptor. Esta definición, así como la del punto 3.1.1, fue tomada de la *Guía para la obtención de la habilitación general*, que proporciona el ente regulador de las telecomunicaciones en Venezuela.

3.3.3 VALORES MÍNIMOS DE INTENSIDAD DE CAMPO QUE DEBEN PROTEGERSE

El ruido disminuye la calidad de funcionamiento de un sistema de comunicaciones. Para mantener determinada calidad de servicio, es preciso aumentar el nivel de señal deseada. En el servicio móvil terrestre, para frecuencias superiores a 30 MHz, los valores mínimos de campo que deben protegerse están determinados por el ruido interno generado en el receptor, efectos de la propagación por trayectos múltiples que llega a, o parte de, los vehículos en movimiento y por el ruido artificial debido principalmente al encendido de los vehículos a motor.

Una medida adecuada de calidad de funcionamiento de un sistema de comunicaciones la constituye la relación:

$$\frac{\text{señal deseada} + \text{ruido} + \text{distorsión}}{\text{ruido} + \text{distorsión}}$$

Ec. 3.1

La relación SINAD, como se conoce, es un parámetro que provee una medida cuantitativa de la calidad de la señal de audio de un dispositivo de comunicaciones. Según su definición, mientras mayor sea la relación mejor será la señal de audio a la salida del receptor. Basado en esto, puede calcularse la intensidad de campo mínima utilizable para cualquier instalación en ausencia de ruido artificial, de manera tal de lograr un valor de 12 dB de SINAD a la salida del receptor, el cual es considerado un valor aceptable. Dado que las señales interferentes (y también la deseada) suelen variar con el tiempo, se especifica también el tiempo en el que se desea mantener la protección contra la interferencia (...90%, 95%, 99%...), para determinar el valor mínimo de la intensidad mediana de campo que debe protegerse, y lograr un grado de calidad de servicio específico. De esta manera será posible calcular la distancia de cobertura del transmisor, que no es más que la distancia para la cual el campo producido por dicho transmisor es igual al valor del campo utilizable.

Existen curvas que permiten obtener los valores mínimos y medianos de intensidad de campo que pueden usarse para estaciones portátiles, donde solo se toma en cuenta el ruido propio del receptor. Éstas se muestran en la figura 3.4, donde un servicio de calidad normal se refiere a valores mínimos de campo que deben rebasarse para un 90% del tiempo y una calidad alta se refiere a rebasar dichos valores un 99% del tiempo. (Valores basados en una señal de entrada mínima utilizable con una f.e.m. de 0,7 μ V en ausencia de ruido artificial)

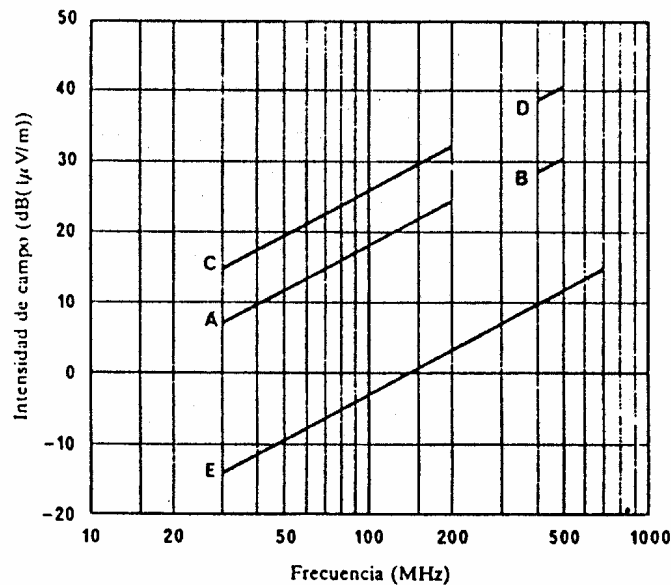


Figura 3.4 - Intensidad de campo mínima utilizable y mediana. Estaciones portátiles [9]

Valores supuestos: ganancia de la antena (dB) A y C: -9dB

Valores supuestos: ganancia de la antena (dB) B y D: -6 dB

A, B: valor mediano para un servicio de calidad normal

C, D: valor mediano para un servicio de alta calidad

E: intensidad de campo mínima utilizable (antena dipolo)

Por otra parte, los valores mínimos de la intensidad de campo que deben protegerse pueden determinarse subjetivamente teniendo en cuenta el ruido artificial y la propagación por trayectos múltiples. Los sistemas de encendido de los vehículos de motor suelen ser la fuente más importante de los ruidos artificiales. Las anulaciones del campo ocasionadas por la propagación por trayectos múltiples son causa de molestias semejantes a las ocasionadas por los sistemas de encendido. Cuando un equipo móvil se desplaza, ambas molestias se producen simultáneamente. En cambio cuando el equipo móvil permanece fijo sólo subsisten los efectos del ruido del receptor y del ruido artificial. La separación entre vehículos de motor es generalmente inferior en marcha lenta o con tráfico detenido y, en tales circunstancias, particularmente en las frecuencias más bajas, es superior la

degradación de la señal en un equipo móvil parado que cuando está en movimiento.[9]

Se pueden emplear las figuras 3.5 y 3.6 para determinar la degradación combinada de los efectos del ruido artificial y de la propagación por trayectos múltiples en vehículos en movimiento. Las cifras están basadas en pruebas subjetivas en las condiciones de tráfico experimentadas habitualmente por la mayoría de los vehículos móviles. Las distintas condiciones son específicamente las de un vehículo que se desplaza en una zona de poco ruido, rodeado de otros vehículos, o que está parado y rodeado de otros vehículos parados o en movimiento.

La tendencia de las curvas de las figuras 3.6 y 3.7 a unirse en las frecuencias mas elevadas se debe a que el efecto de degradación debido a los trayectos múltiples es casi constante con la frecuencia, mientras que el ocasionado por el ruido artificial disminuye con ésta.

El termino degradación se define como el incremento necesario de la señal de entrada deseada para restablecer un grado particular de calidad de recepción impuesto únicamente por los efectos del ruido receptor, el cual se define tal como se indica en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 – Definición del grado de calidad de la señal [9]

Tipo	Efecto de la interferencia	Tipo de conversación
5	Casi nulo	Comprensible aunque creciente esfuerzo a medida que disminuye la calidad
4	Perceptible	
3	Molesto	
2	Muy molesto	
1	Suficientemente molesto para que apenas pueda percibirse la palabra	

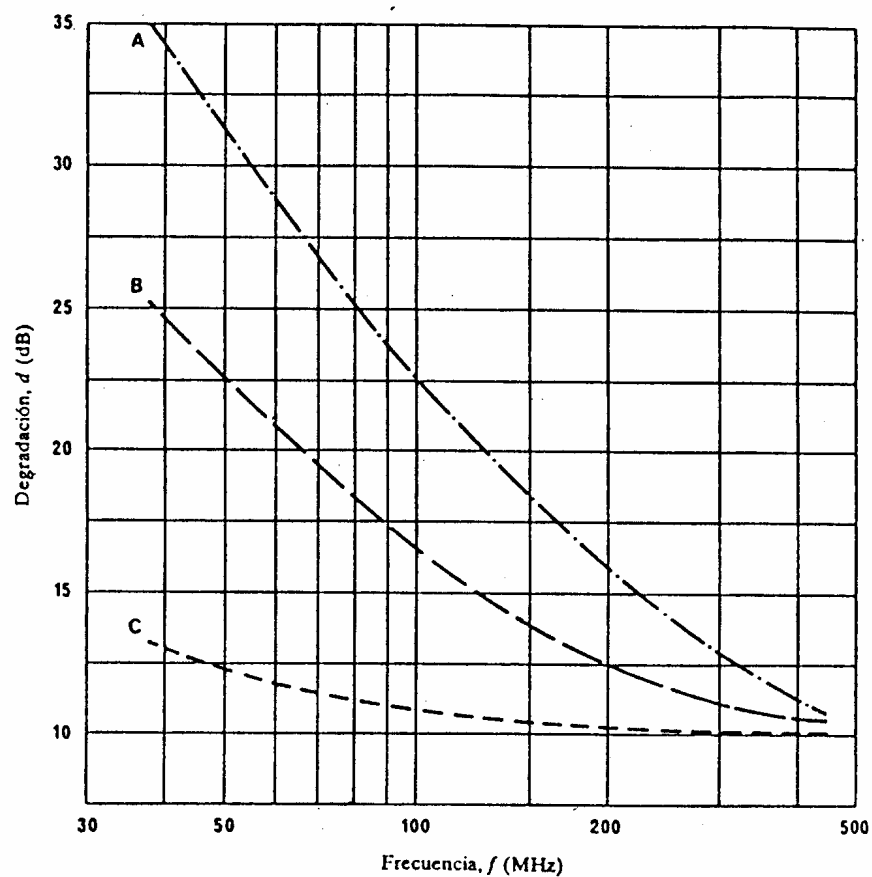


Figura 3.5 - Degradación de la calidad de recepción en una estación móvil para una señal de calidad tipo 3 y una sensibilidad del receptor de $0,7 \mu V$ (f.e.m.) [9]

Intensidad de campo = $-41 + d + 20 \log f$ dB ($\mu V/m$)

A: vehículo parado en una zona de mucho ruido

B: vehículo en movimiento en una zona de mucho ruido

C: vehículo en movimiento en una zona de poco ruido

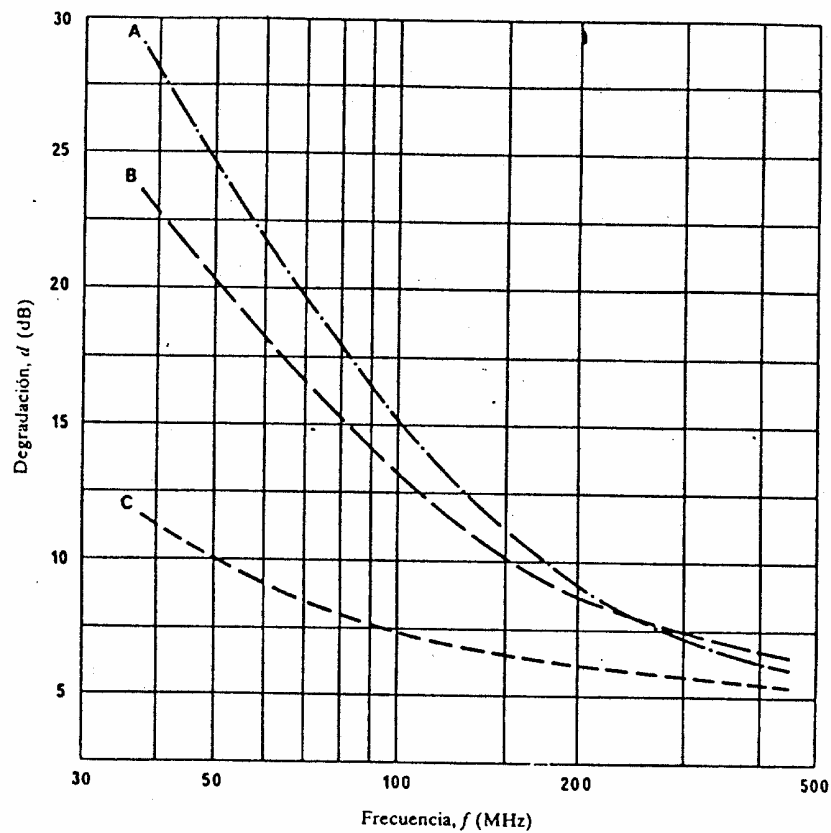


Figura 3.6 - Degradación de la calidad de recepción en una estación móvil para una señal de calidad tipo 3 y una sensibilidad del receptor de $0,7 \mu V$ (f.e.m.) [9]

$$\text{Intensidad de campo} = -41 + d + 20 \log f \text{ dB } (\mu V/m)$$

A: vehículo parado en una zona de mucho ruido

B: vehículo en movimiento en una zona de mucho ruido

C: vehículo en movimiento en una zona de poco ruido

Partiendo de lo anterior, la cobertura de un sistema de comunicaciones será determinada por la capacidad del receptor para discriminar entre la señal deseada y no deseada, y poder obtener a su salida una señal de calidad específica.

Según lo anterior, pueden tomarse dos criterios para determinar los valores que determinan el umbral de recepción, la diferencia básica entre éstos, es el tomar en cuenta o no la presencia de ruido artificial.

Basándose en la relación de SINAD, es posible conocer que valor de voltaje debe generarse en los terminales de la antena receptora debido a la intensidad de campo eléctrico en su entorno, sin tomar en cuenta la presencia de ruido artificial. Por ejemplo, una estación móvil típica en el sistema de comunicaciones de VENEVISIÓN, según datos proporcionados por los fabricantes, posee una relación SINAD de 12 dB para valores de sensibilidad de $0.32\mu\text{V}$. Si la impedancia de entrada del receptor es de $50\ \Omega$, la potencia que debe recibirse es de $-116.8\ \text{dBm}$, y es calculada con la ecuación 3.2.

$$P = 10 \cdot \log\left(\frac{1000}{R} \cdot V^2\right) \quad \text{Ec. 3.2}$$

donde:

P = Potencia mínima para recepción [dBm]

R = Impedancia de entrada del receptor [Ω]

V = sensibilidad del receptor [V]

De las ecuaciones 1.4 y 1.8 se puede obtener la relación entre la potencia recibida y el campo eléctrico en el entorno del receptor (Ec. 3.3). Así es posible determinar la mínima intensidad de campo eléctrico requerida para generar un voltaje en la antena del receptor. Para el caso particular de $0.32\mu\text{V}$ y asumiendo una ganancia de receptor de 0 dBi para una frecuencia de trabajo de 490 MHz, el campo eléctrico será de $14\ \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$. Este valor de campo eléctrico determinaría el área de cobertura o contorno de servicio del sistema de radio.

$$P_{R[\text{dBm}]} = E_{\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}} - 77.213 - 20 \log f_{[\text{MHz}]} + G_{R[\text{dBi}]} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Si se desea tomar en cuenta la existencia de ruido artificial y propagación por multitrayecto, asumiendo un grado de calidad particular, se puede obtener el valor de la degradación de la calidad de la señal, el cual va a depender, tal como es dado, exclusivamente de la frecuencia de operación del sistema de comunicación. Luego, haciendo uso de la ecuación 3.4, se puede obtener el valor que determina el contorno de cobertura que se desea calcular.

$$\text{Intensidad de campo} = -41 + d + 20 \log f \quad \text{Ec. 3.4}$$

Como puede observarse, las curvas (figuras 3.5 y 3.6) se han obtenido tomando como base una sensibilidad de receptor de $0.7\mu\text{V}$, por lo tanto se debe realizar un ajuste de las mismas en caso que la sensibilidad de los equipos portátiles y/o móviles, que sean objeto de estudio, no coincida con este valor. Para un caso particular de $0.32\mu\text{V}$ los valores mínimos de campo eléctrico requeridos serán ajustados según la siguiente expresión:

$$20 \cdot \log \left(\frac{0.7\mu\text{V}}{S_1} \right) \quad \text{dB} \quad \text{Ec. 3.5}$$

donde:

$$S_1 = 0.32 \mu V$$

Por lo tanto la intensidad de campo para cualquier valor de sensibilidad, se obtendrá como sigue:

$$\text{Intensidad de campo} = -41 + d + 20 \log f - 20 \cdot \log \left(\frac{0.7 \mu V}{S_1} \right) \quad \text{dB} \mu V/m \quad \text{Ec. 3.6}$$

Así, tomando en cuenta los efectos del ruido artificial y de multitrayectoria, la intensidad de campo en el entorno del receptor, según recomendación tomada del informe 358-5 (CCIR), asumiendo que la estación móvil se encuentra en una zona de mucho ruido (que representa la peor condición) y su sensibilidad es de $0.32 \mu V$:

$$\text{Intensidad de campo} = -41 + 11.25 + 20 \log 490 - 20 \cdot \log \left(\frac{0.7 \mu V}{0.32 \mu V} \right) \text{ dB} \mu V / m$$

$$\text{Intensidad de campo} = 17.25 \quad \text{dB} \mu V/m$$

Haciendo un análisis de los valores obtenidos, se puede decir que el primero indica que son necesarios $14 \text{ dB} \mu V/m$ (Tomando en cuenta sólo el ruido propio del receptor), el segundo indica que es necesaria una intensidad de campo de $17.25 \text{ dB} \mu V/m$. De esto se puede interpretar que el último cálculo cumple con la relación SINAD mínima necesaria para obtener una calidad adecuada a la salida del receptor, y además sobrepasa este nivel en un margen que permitirá contrarrestar los efectos del ruido artificial y desvanecimiento debido a multitrayecto.

Una vez conocido este valor, es sencillo calcular el contorno de protección, ya que según su definición, son los valores mínimos de campo que deben rebasarse para el doble de la sensibilidad del receptor. El doble de la sensibilidad se traduce de inmediato como un aumento en 6,02 dB del valor que limita el área de servicio del sistema.

3.4 USO DEL SOFTWARE EN EL CÁLCULO DE LA COBERTURA

Con el fin de agilizar el cálculo de los contornos de servicio y protección y a efectos de determinar el nivel mínimo de intensidad de campo eléctrico que debe protegerse, se tomarán valores resultantes al evaluar la Ec. 3.6, asumiendo que las

estaciones que conforman la red de comunicaciones de VENEVISIÓN, operan a una frecuencia de 502 MHz. Tomando en cuenta que el sistema trabaja en la banda comprendida entre 496 y 509 MHz, y que la Ec 3.6 presenta dependencia directa de la frecuencia, se podría estar cometiendo un error máximo de 0.12 dB (cuando $f=496\text{MHz}$), lo cual se considera despreciable. Partiendo de esto, el valor mínimo de campo eléctrico medio tomado como referencia para una calidad de señal tipo cuatro¹⁰ y una sensibilidad de receptor de $0.32 \mu\text{V}$:

$$\text{Intensidad de campo} = -41 + 11.25 + 20 \log 502 - 20 \cdot \log \left(\frac{0.7 \mu\text{V}}{0.32 \mu\text{V}} \right) [\text{dB} \mu\text{V} / \text{m}]$$

$$\text{Intensidad de campo} = 18,00 [\text{dB} \mu\text{V} / \text{m}]$$

La sensibilidad del equipo receptor a introducir en el programa, tiene una dependencia directa de este valor y se puede calcular como:

$$S_R = 18.00 [\text{dB} \mu\text{V} / \text{m}] - 77.213 - 20 \log(f_{[\text{MHz}]}) [\text{dBm}]$$

donde:

f : frecuencia de operación del transmisor.

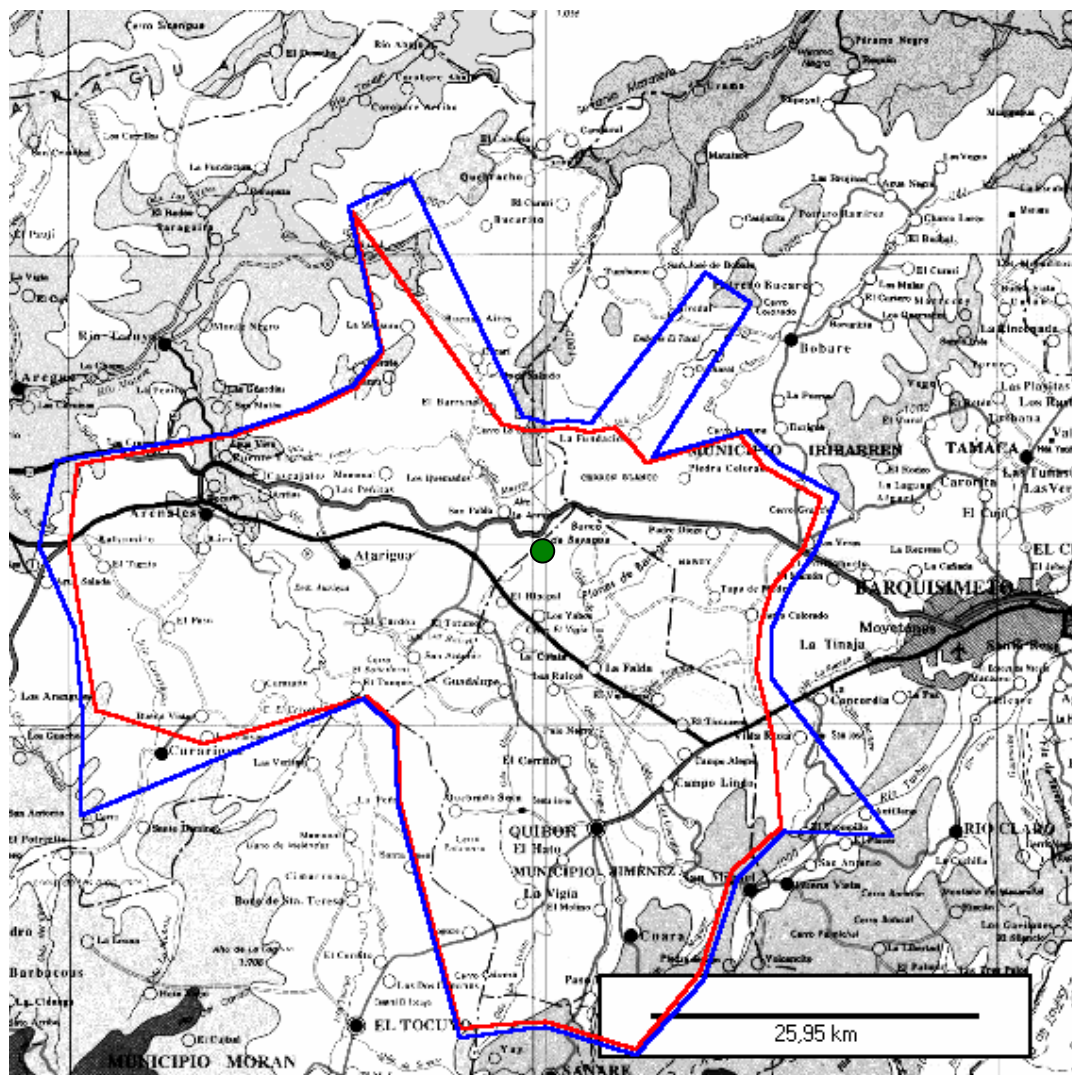
Basado en lo anterior, el contorno de protección, tal como fue definido al final de la sección 3.3.3, será de $24.02 \text{ dB} \mu\text{V}/\text{m}$.

En la tabla 1 del Anexo N° 6 se presentan los datos técnicos de todas las estaciones de comunicación bajo estudio, los cuales serán utilizados como entrada al software creado para el cálculo de cobertura.

La figura 3.7 muestra el reporte generado por el programa “cobertura de comunicaciones móviles”, el cual presenta los contornos de servicio y protección (sobre un mapa digitalizado) de la estación “Las Flores”, para una ganancia de antena receptora de 0 dBd. Se agrega el “reporte del sitio”, donde podrán observarse con detalle las distancias calculadas para cada contorno.

¹⁰ Ver tabla 3.1

Debido al gran numero de transmisores existentes (70) y a que resulta bien laborioso crear tal cantidad de mapas digitales, en el Anexo N° 7 se muestran, sobre un diagrama polar, los contornos de servicio y protección de cada uno de los transmisores que conforman el sistema, con lo cual se tendrá una idea general del área de cobertura de cada una de las estaciones. En vista de que los trayectos de propagación pueden ser muy variados a lo largo de un radial, se asumió que la propagación ocurre en un entorno urbano, lo cual representa un caso pesimista, y no se considera la atenuación debida a la vegetación.



- Contorno de Servicio -113.19 dBm
- Contorno de protección $24.02 \text{ dBuV/m } (-107.17 \text{ dBm})$

Frecuencia de transmisión: 499, 8375 MHz
 Potencia: 30 W
 Tipo de antena transmisora: Omnidireccional 3.8 dB

Figura 3.7 – Contornos de servicio y protección estación Las Flores.

Reportes de las flores

CONCLUSIONES

Se pudo constatar que la cobertura de un sistema de radiocomunicaciones móviles depende, entre otros factores, de las características del entorno tanto de transmisión como de recepción: tipo de terreno, características del ambiente de propagación y características de la atmósfera.

Se obtuvo una representación matemática de las curvas de propagación propuestas por la UIT-R, calculándose errores, respecto a los valores tomados de las curvas, menores a 1.1 dB, lo cual resulta una aproximación robusta teniendo en cuenta que éstas se presentan en una escala cuyos saltos son de 5 dB.

Al crear una aplicación bajo ambiente *Windows*, se facilitó la labor del ingeniero encargado de la planificación y supervisión de la red de comunicaciones móviles de VENEVISIÓN, permitiendo manejar de manera relativamente sencilla, la gran cantidad de datos necesarios para la realización de los cálculos ligados a la propagación de las ondas, pudiéndose hallar en forma automatizada, la potencia a la entrada de un receptor y la intensidad de campo eléctrico en las adyacencias del mismo, a lo largo de 36 radiales en torno a un transmisor ubicado en un sitio específico.

Se validó el método propuesto en este trabajo mediante mediciones en campo y haciendo uso del *software Radio Mobile*. Los resultados arrojados de tal proceso, indicaron que las predicciones realizadas por el programa son satisfactorias. Se observó semejanza con las mediciones realizadas en campo, detectándose errores de mayor magnitud en el área metropolitana de Caracas. Estas diferencias pueden atribuirse a la degradación que sufre la señal, producto del ruido generado por los motores de los vehículos y la gran afluencia de los mismos en la zona. En lo que respecta al proceso de comparación de resultados con el *software Radio Mobile*, se constató que la predicción presenta una alta sensibilidad a las diferencias existente entre los datos topográficos reales y los utilizados por la aplicación desarrollada, lo que sin duda, es otra de las razones por las cuales los mediciones en campo presentaron desviaciones, respecto a los niveles de señal esperado. De lo anterior se concluye que el software *Cobertura de*

Comunicaciones Móviles es completamente válido para realizar predicciones de cobertura, en las bandas VHF y UHF para el servicio móvil terrestre, y su precisión estará sujeta a la veracidad de los datos topográficos que se utilicen.

Es de suponer que cualquier valor de intensidad de campo que se obtenga en base a un método empírico esté sujeto a errores, sobre todo cuando las condiciones reales de propagación no coinciden con las condiciones bajo las cuales se fundamentó dicho método (tipo de suelo, zona geográfica, topografía, clima, etc). La diferencia entre los valores reales y los obtenidos a través del *software*, no implica que el método carezca de validez, ya que la propagación de las ondas en un medio no ideal está sujeta a fluctuaciones de índole probabilísticas, por lo que cualquier método utilizado para el cálculo de cobertura debe considerarse tan solo como una guía, que permite obtener una idea de los niveles de campo eléctrico que pueden ser recibidos en un sitio determinado.

Las salidas del *software* se diseñaron en función de los requerimientos técnicos exigidos por CONATEL, por lo que es posible hacer uso de ellas para el desarrollo de los proyectos que deben ser entregados al ente regulador, lo cual es necesario cuando se pretende ampliar la cobertura del sistema, ya sea con la instalación de nuevas estaciones o modificación la potencia efectiva radiada de las ya existentes. Además, permiten al proyectista simular de manera rápida y sencilla, las combinaciones de equipos, antenas y demás elementos del sistema, hasta obtener el comportamiento que más se adapte a las necesidades de comunicación.

Haciendo uso del software, fueron generados los diagramas de cobertura de las estaciones que conforman el sistema. Se obtuvo, para cada uno de los transmisores, los contornos de servicio y protección sobre un diagrama polar. Estos contornos, por ser derivados del método propuesto por la UIT-R, permiten representar una cobertura con carácter estadístico, lo que implica que las áreas que se representan teóricamente cubiertas, lo están en un determinado porcentaje de ubicaciones y de tiempo (50%-50%).

RECOMENDACIONES

Se recomienda tomar como parte de las herramientas de trabajo del departamento de Planificación y Desarrollo/VENEVISIÓN el software “Cobertura de comunicacines móviles”, y hacer uso del mismo para realizar las predicciones de coberturas referentes al servicio móvil terrestre, necesarias para la planificación y desarrollo de la red.

Debido a que los cálculos de propagación son altamente sensibles a las discrepancias existentes entre la base de datos topográfica y las cotas reales del terreno, si se requiere mayor precisión en los cálculos de los niveles de intensidad de campo y potencia recibida, las cotas deben ser corroboradas con la toma de altitudes mediante el uso de instrumentos destinados para tal fin o mapas que contengan este tipo de información.

Las antenas, ven afectado su patrón de radiación al ser instaladas en una torre de telecomunicaciones. Los fabricantes proporcionan un diagrama que toma en cuenta este fenómeno. Se recomienda hacer uso del mismo, al momento de tomar los datos referentes a la ganancia de la antena transmisora, para lograr mayor exactitud en el cálculo de la potencia efectiva radiada en una dirección dada.

La recomendación UIT-R PN.833-1 puede ser usada para obtener los datos referentes a la atenuación debida a la vegetación, y hacerlos parte de la entrada (Otras pérdidas) en la realización de los cálculos de cobertura. De igual forma, existen curvas que relacionan la variación de ganancia en función de la altura de la antena receptora, a los cuales podría recurrirse en caso de ser necesario referenciar la altura del receptor a una diferente de 1.5 metros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Recomendación UIT-R P.341-4, *Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos*.
- [2] Recomendación UIT-R P.526-5, *Propagación por difracción*.
- [3] CONATEL, “Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias”.
- [4] Recomendación UIT-R P.529-2, *Métodos de predicción requeridos para el servicio móvil terrestre terrenal en las bandas de ondas métricas y decimétricas*
- [5] Publications of the telecommunication group
http://tele1.dee.fct.unl.pt/csf_2003_2004/folhas/introducao.pdf
- [6] [www.phasak.com/ pw9216-spa.htm](http://www.phasak.com/pw9216-spa.htm)
- [7] Informe 239-5 CCIR, *Datos estadísticos de necesarios para los servicios de radiodifusión en la gama de frecuencias de 30 a 1000.MHz*,1982.
- [8] Recomendación UIT-R P.370-7, *Curvas de propagación en las ondas métricas y decimétricas para la gama de frecuencias comprendidas entre 30 y 1000 MHz*.
- [9] Informe 358-5 (CCIR), *Relaciones de protección e intensidades mínimas de campo necesarias en los servicios móviles*.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, Faride. Diseño de radioenlaces móviles por el método de Okumura./ Faride Alvarado (Tesis).—Universidad Simón Bolívar, 1991.

Bullington, K. Radio Propagation for Vehicular Communications, IEEE, 1977.

Charte, Francisco. Programación con Visual Basic 6, Madrid: Editorial Amaya, 1998.

Duque soto, José. Optimización del sistema móvil operacional troncalizado de la IPPCN región oriente. /José Duque (Tesis).-- Universidad Simón Bolívar, 1997.

Gooding, Clemente: Apuntes de Sistemas de Telecomunicaciones III. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1995.

Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, segunda edición. México: Prentice Hall, 1996.

Rodriguez Bucarely, Carlos. VISUAL BASIC 6.0, Programación Orientada a Objetos, Primera edición. Republica Dominicana: 2004.

National Association of Broadcasters.Engineering Handbook, 7º Edición, Washinngton: 1985.

Recomendación UIT-R SM.378-6, mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica.

Sierra Castañer. Radiación y Propagación, Publicaciones de la ETSI de la Universidad Politécnica de Madrid, Septiembre 2004.

Suárez, Luis. Visual Basic - Guía del Estudiante. Madrid: 1998.

Tiznado Santana, Marco Antonio. Visual Basic 6.0. Colombia: McGraw-Hill, 2000

Recomendación UIT-R P.1146, Predicción de la intensidad de campo para los servicios móvil terrestre y de radiodifusión terrenal en la banda de frecuencias de 1 a 3 GHz

Australian communications authotity, Investigation of modified Hata propagation models.http://www.acma.gov.au/acmainterwr/radcomm/frequency_planning
[Consulta:2005]

Efectos del terreno en la propagación electromagnética en entornos urbanos sobre la región andina, usando el modelo COST 231-Walfisch-Ikegami y herramientas de planificación basadas en GIS
<http://www.icesi.edu.co/es/publicaciones/publicaciones/sistemas_telematica.php>
[Consulta: 2005]

Introducción a las comunicaciones móviles, Pontificia Universidad del Perú,<<http://www.pucp.edu.pe/fac/cing/telecom/>>[Consulta: 2005]

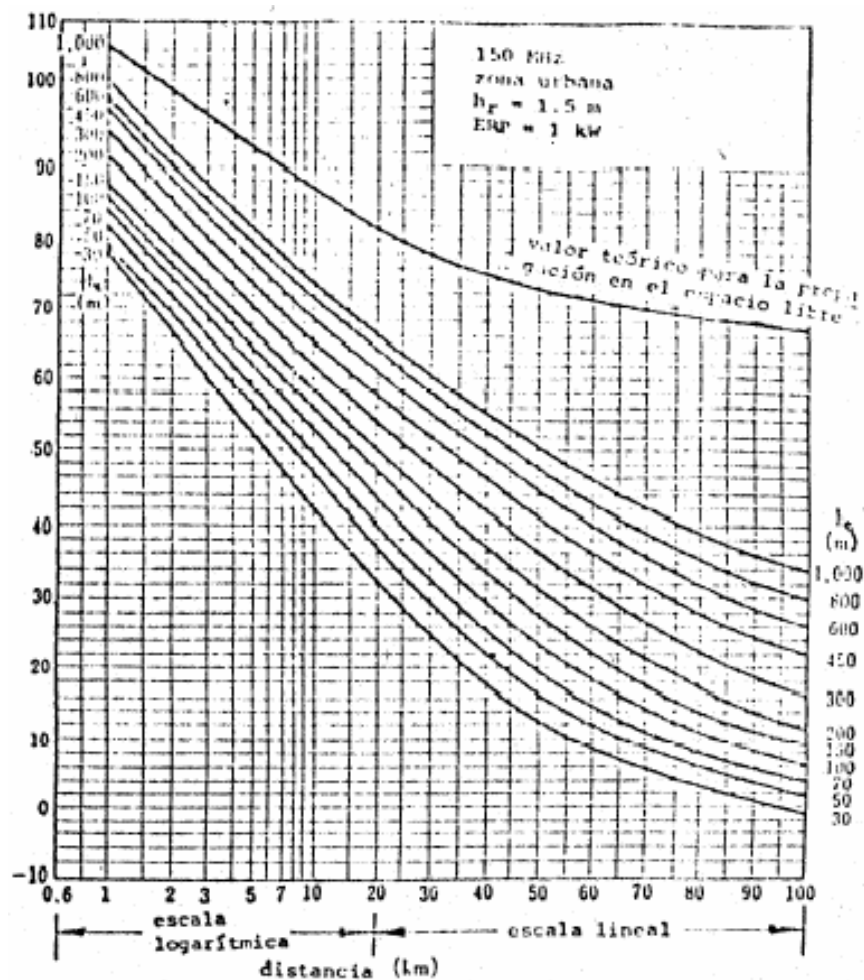
Sistemas de comunicación inalámbrica. Transmisión de voz.
<<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/mauriem.html>>[Consulta: 2005]

Comunicaciones inalámbricas <<http://docentes.uacj.mx/vhinostr/>>
[Consulta: 2005]

ANEXOS

[ANEXO N° 1]

Campo eléctrico para frecuencias cercanas a 150 MHz



Intensidad de campo (dB(μV/m)) para 1 kw de potencia radiada aparente para una frecuencia aproximada de 150 MHz en zona urbana; 50% del tiempo; 50% de los emplazamientos; altura de antena del receptor = 1,5 m.

[ANEXO N° 2]

Ajuste por mínimos cuadrados

Conocidos los datos $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ con $x_0, x_1, \dots, x_n$, se desea encontrar un polinomio $P_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$, con $m < n$ tal que sea mínima la siguiente expresión

$$S(a_0, a_1, \dots, a_m) = \sum_{k=0}^n (p_m(x_k) - y_k)^2 = \sum_{k=0}^n (a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m - y_k)^2$$

Una condición necesaria para la existencia de un mínimo relativo de esta función es que las derivadas parciales de $S(a_0, a_1, \dots, a_m)$ con respecto a a_j , $j = 0, 1, 2, \dots, m$ sean cero. Resultan entonces las siguientes $m+1$ ecuaciones lineales en las incógnitas $a_0, a_1, \dots, a_m$:

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = \sum_{k=0}^n 2(a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m - y_k) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = \sum_{k=0}^n 2(a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m - y_k)(x_k) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_2} = \sum_{k=0}^n 2(a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m - y_k)(x_k^2) = 0$$

.....

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = \sum_{k=0}^n 2(a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m - y_k)(x_k^j) = 0$$

.....

$$\frac{\partial S}{\partial a_m} = \sum_{k=0}^n 2(a_0 + a_1x_k + a_2x_k^2 + \dots + a_mx_k^m - y_k)(x_k^m) = 0$$

Si en las ecuaciones anteriores se cancela el 2, se desarrollan los paréntesis y se toma que:

$$\sum_{k=0}^n a_0 = (n+1)a_0, \text{ se obtiene:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (n+1)a_0 + \left(\sum_{k=0}^n x_k\right)a_1 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^2\right)a_2 + \dots + \left(\sum_{k=0}^n x_k^m\right)a_m = \left(\sum_{k=0}^n y_k\right) \\ \left(\sum_{k=0}^n x_k\right)a_0 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^2\right)a_1 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^3\right)a_2 + \dots + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{m+1}\right)a_m = \left(\sum_{k=0}^n x_k y_k\right) \\ \left(\sum_{k=0}^n x_k^2\right)a_0 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^3\right)a_1 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^4\right)a_2 + \dots + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{m+2}\right)a_m = \left(\sum_{k=0}^n x_k^2 y_k\right) \\ \vdots \\ \left(\sum_{k=0}^n x_k^j\right)a_0 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{1+j}\right)a_1 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{2+j}\right)a_2 + \dots + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{m+j}\right)a_m = \left(\sum_{k=0}^n x_k^j y_k\right) \\ \vdots \\ \left(\sum_{k=0}^n x_k^m\right)a_0 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{1+m}\right)a_1 + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{2+m}\right)a_2 + \dots + \left(\sum_{k=0}^n x_k^{m+m}\right)a_m = \left(\sum_{k=0}^n x_k^m y_k\right) \end{array} \right.$$

Este es un SEL de $m+1$ ecuaciones lineales en las $m+1$ incógnitas $a_0, a_1, \dots, a_m$, que se llama Sistema de Ecuaciones Normales. Este sistema de ecuaciones normales se puede escribir en forma simplificada como sigue:

$$\sum_{i=0}^m a_i \sum_{k=0}^n x_k^{i+j} = \sum_{k=0}^n x_k^j y_k \quad \text{con } j = 0, 1, \dots, m$$

Estas ecuaciones se pueden reproducir a partir de:

$$p_m(x_k) = a_0 + a_1 x_k + a_2 x_k^2 + \dots + a_m x_k^m = y_k$$

Multiplicando a ambos lados por $x_k^j, j = 0, 1, \dots, m$,

$$a_0 x_k^j + a_1 x_k x_k^j + a_2 x_k^2 x_k^j + \dots + a_m x_k^m x_k^j = y_k x_k^j \Rightarrow$$

$$a_0 x_k^j + a_1 x_k^{1+j} + a_2 x_k^{2+j} + \dots + a_m x_k^{m+j} = x_k^j y_k$$

Sumando sobre k

$$a_0 \sum_{k=0}^n x_k^j + a_1 \sum_{k=0}^n x_k^{1+j} + a_2 \sum_{k=0}^n x_k^{2+j} + \dots + a_m \sum_{k=0}^n x_k^{m+j} = \sum_{k=0}^n x_k^j y_k \quad \text{con } j = 0, 1, 2, \dots, m$$

Entonces, el polinomio de segundo grado o parábola de mínimos cuadrados que mejor se ajusta a un conjunto de datos, se obtiene calculando los coeficientes del polinomio

$p_2(x) = a_0 + a_1x + a_1x^2$, resolviendo el sistema lineal de tres ecuaciones con tres incógnitas y suponiendo un total de cuatro muestras:

$$\text{SEL}_{3 \times 3} = \begin{cases} \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^0 \right) a_0 + \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k \right) a_1 + \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 \right) a_2 = \left(\sum_{k=0}^{n=3} y_k \right) \\ \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k \right) a_0 + \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 \right) a_1 + \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^3 \right) a_2 = \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k y_k \right) \\ \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 \right) a_0 + \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^3 \right) a_1 + \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^4 \right) a_2 = \left(\sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 y_k \right) \end{cases}$$

El SEL de 3x3, puede escribirse como:

$Ax = z$, donde

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad z = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix}$$

Identificando las partes y escribiendo la ecuación matricial del SEL de 3x3:

$$\begin{pmatrix} \sum_{k=0}^{n=3} x_k^0 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^3 \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^3 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=0}^{n=3} y_k \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k y_k \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 y_k \end{pmatrix}$$

Calculando el vector de incógnitas:

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=0}^{n=3} x_k^0 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^3 \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^3 & \sum_{k=0}^{n=3} x_k^4 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{k=0}^{n=3} y_k \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k y_k \\ \sum_{k=0}^{n=3} x_k^2 y_k \end{pmatrix} \quad (1)$$

Se calcula entonces la función con $m = 2$:

$$p_m(x_k) = a_0 + a_1 x_k + a_2 x_k^2 + \dots, a_m x_k^m = y_k \Rightarrow$$

$$p_2(x_k) = a_0 + a_1 x_k + a_2 x_k^2 = y_k \Rightarrow p_1(x_k) = a_0 + a_1 x_k + a_2 x_k^2 = y_k$$

$$\text{o bien } y_i^{\text{calc}} = a_2 x_k^2 + a_1 x_k + a_0 \quad (2)$$

[ANEXO N° 3]

Funciones para frecuencias cercanas a 150 MHz

Altura efectiva [m]	$1 \leq km \leq 20$	$20 < km \leq 100$
1000	$(66-102) \cdot \log(km) / \log(20) + 102$	$.2663490053e-2 \cdot km^2 - .7273669904 \cdot km + 79.2319884$
800	$(63-100) \cdot \log(km) / \log(20) + 100$	$.3201075202e-2 \cdot km^2 - .8131847143 \cdot km + 79.04927631$
600	$(60-98) \cdot \log(km) / \log(20) + 98$	$.2871193406e-2 \cdot km^2 - .7760202063 \cdot km + 75.25026812$
450	$(57-96) \cdot \log(km) / \log(20) + 96$	$.3208405908e-2 \cdot km^2 - .8348876436 \cdot km + 73.46251228$
300	$(54-92) \cdot \log(km) / \log(20) + 92$	$.3008033262e-2 \cdot km^2 - .8292448631 \cdot km + 69.13591894$
200	$(50-89) \cdot \log(km) / \log(20) + 89$	$.3008033262e-2 \cdot km^2 - .8292448631 \cdot km + 65.13591894$
150	$(46-86) \cdot \log(km) / \log(20) + 86$	$.3352576471e-2 \cdot km^2 - .8681687406 \cdot km + 62.26260971$
100	$(42-83) \cdot \log(km) / \log(20) + 83$	$.4034332182e-2 \cdot km^2 - .9446525494 \cdot km + 60.32309427$
70	$(39-81) \cdot \log(km) / \log(20) + 81$	$.4027001475e-2 \cdot km^2 - .9171384821 \cdot km + 55.56119003$
50	$(36-80) \cdot \log(km) / \log(20) + 80$	$.4034332182e-2 \cdot km^2 - .9126912904 \cdot km + 52.40541873$
30	$(2-78) \cdot \log(km) / \log(20) + 78$	$.4171172037e-2 \cdot km^2 - .9184583200 \cdot km + 48.44361192$

Funciones para frecuencias cercanas a 450 MHz

Altura efectiva [m]	$1 \leq km \leq 20$	$20 < km \leq 100$
1000	$-38 \cdot \log(km) / \log(20) + 102$	$.2354378593e-2 \cdot km^2 - .7336150195 \cdot km + 77.51906974$
800	$(-38) \cdot \log(km) / \log(20) + 100$	$km^2 \cdot .2626836520e-2 - .7873753461 \cdot km + 76.63433165$
600	$(59-96) \cdot \log(km) / \log(20) + 96$	$km^2 \cdot .2760499737e-2 - .8178943510 \cdot km + 75.0142791$
450	$(55-94) \cdot \log(km) / \log(20) + 94$	$km^2 \cdot .2786401567e-2 - .8109299313 \cdot km + 70.58406480$
300	$(51-90) \cdot \log(km) / \log(20) + 90$	$km^2 \cdot .3217447113e-2 - .8863842105 \cdot km + 68.28451863$
200	$(47.5-87) \cdot \log(km) / \log(20) + 87$	$km^2 \cdot .3721555368e-2 - .9531241744 \cdot km + 65.68806120$
150	$(45-85) \cdot \log(km) / \log(20) + 85$	$km^2 \cdot .3761874254e-2 - .9620786635 \cdot km + 62.97901881$
100	$(42-83) \cdot \log(km) / \log(20) + 83$	$km^2 \cdot .4171172037e-2 - 1.003204083 \cdot km + 60.52835768$
70	$(38-81) \cdot \log(km) / \log(20) + 81$	$km^2 \cdot .4335379865e-2 - 1.005572460 \cdot km + 56.27963745$
50	$(34-79) \cdot \log(km) / \log(20) + 79$	$km^2 \cdot .4866367377e-2 - 1.057087572 \cdot km + 53.92452867$
30	$(30-76) \cdot \log(km) / \log(20) + 76$	$km^2 \cdot .4860258455e-2 - 1.033109949 \cdot km + 48.90522590$

[ANEXO N° 4]

Manual del Usuario del Programa “Cobertura de comunicaciones móviles”

Manual de operación del programa
“Cobertura de comunicaciones móviles”

ÍNDICE

ÍNDICE	1
REQUERIMIENTOS	2
1. VENTANA INICIAL	3
1.1 DATOS DEL SISTEMA	3
1.1.1 Características del sistema	4
1.1.2 Nombre y ubicación	5
1.1.3 Tipo de área	5
1.1.4 Selección del archivo topográfico	6
1.1.4.1 Selección de un archivo topográfico	6
1.1.4.2 Creación de los archivos topográficos	7
1.2 CARACTERÍSTICAS ANTENA TRANSMISORA	10
1.2.1 Antena Tipo Omnidireccional	11
1.2.2 Antena tipo sectorizada	11
1.2.2.1 Crear archivo de antena	12
2. INICIO DE LOS CÁLCULOS	15
3. OPCIONES DE SALIDA	22
3.1 OPCIONES DE COPIADO	22
3.2 OPCIONES DE IMPRESIÓN	23
3.2.1 Ventana “Potencia y campo eléctrico recibido”	23
3.2.1.1 Imprimir reporte del sitio	23
3.2.1.2 Imprimir gráficos	24
3.2.2 Ventana “Área de cobertura”	25
3.2.3 Ventana “Cobertura del sistema”	25
ANEXOS	26

REQUERIMIENTOS

S.O WINDOWS 9x/me/XP

Memoria RAM: 32 MB o mayor

Velocidad del Procesador: 233 MHz o mayor

Resolución de pantalla: 800x600 mínimo

Configuración Regional: Español (Venezuela)

A continuación serán descritas cada una de las ventanas del software “Cobertura de comunicaciones móviles”, y los pasos a seguir para su uso.

1. VENTANA INICIAL

Cuando el programa es cargado en memoria, aparecerá la ventana que se muestra en la figura 1, interfaz inicial entre el usuario y el computador.

Figura 1. Ventana Datos del sistema

En la ventana inicial se pueden encontrar dos “plantillas”, las cuales se etiquetan con los nombres “Datos del sistema” y “Características Antena Transmisora”.

1.1 DATOS DEL SISTEMA

En “Datos del sistema” pueden encontrarse cuatro secciones específicas:

- Características del sistema.
- Nombre y Ubicación.
- Tipo de Área.
- Selección del archivo topográfico del sitio.

1.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

Permite introducir los siguientes parámetros:

Frecuencia: Se refiere a la frecuencia de operación del equipo transmisor, o a la cual se proyecta que trabaje. Los valores de frecuencia deben estar comprendidos entre 100 y 700 MHz.

Altura del centro de radiación sobre el terreno (m): se refiere a la altura del centro de la antena, medida desde el nivel del suelo.

Índice troposférico: Corrección debida a la curvatura de la tierra. Es la relación entre el radio ficticio y el radio verdadero de la Tierra, por defecto es usado $k=4/3$.

Potencia Tx (dBm): Se refiere a la potencia que entrega el equipo transmisor a la salida de sus terminales. Se expresa en Watt o dBm. Cuando la potencia es introducida en alguna de las unidades antes mencionadas, el campo correspondiente a su equivalente es actualizado una vez que el cursor deja la casilla que se ha modificado.

Ganancia antena Rx (dB): Ganancia del equipo receptor (móvil o portátil).

Pérdidas en alimentadores (dB): Los alimentadores se encargan de transportar la energía en RF desde el transmisor hacia los extremos de la antena transmisora. Los fabricantes proporcionan datos de atenuación por unidad de distancia. El usuario debe verificar previamente la longitud del alimentador e introducir la pérdida en dB debido a ésta.

Otras pérdidas: Cualquier otra pérdida que a criterio del usuario sea importante para la realización de los cálculos. Debe ser expresada en dB.

Sensibilidad del receptor: Se refiere a la potencia mínima necesaria debida al campo eléctrico en algún punto de recepción. Esta potencia tiene asociado un voltaje que será el generado en los bornes de la antena, la relación es la siguiente:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log \left(\frac{V^2}{5 \cdot 10^{10}} \right)$$

Donde se asume una resistencia de 50Ω y V se expresa en μV

Por tratarse de valores equivalentes, al introducir alguno de estos parámetros, el campo correspondiente a su equivalente es actualizado una vez que el cursor deja la casilla que se ha modificado.

1.1.2 NOMBRE Y UBICACIÓN

Permite introducir los siguientes parámetros:

Coordenadas del sitio: Se refiere a las coordenadas geográficas donde se encuentra ubicada la estación transmisora.

Nombre del sitio: Se debe introducir el nombre que identifica la estación transmisora.

Estos datos, con fines de calcular la cobertura, no son usados en ningún procedimiento del *software*, de hecho no son datos obligatorios. Sin importar el contenido de estos campos, los cálculos serán los mismos. Toman importancia al momento de solicitar la impresión en papel de los resultados obtenidos. Los reportes impresos serán rotulados con el nombre del sitio y sus coordenadas, con el fin de facilitar su posterior identificación.

1.1.3 TIPO DE ÁREA

Permite seleccionar el tipo de área sobre la cual se realiza el proceso de comunicación. El tipo de área define el grado de congestionamiento ambiental. Se encuentran tres clasificaciones:

- a) Área urbana: se refiere a ciudades con altos edificios y casas de mas de un piso, altamente concentradas, con presencia de tránsito automotor.
- b) Área sub-urbana: zonas atravesadas por autopistas o áreas pobladas con casas y árboles bajos. Presentan obstáculos cerca del móvil, que no producen una congestión elevada del trayecto de propagación.
- c) Área abierta: Espacios en los cuales se considera la no existencia de árboles o edificios de gran tamaño, que obstruyan la trayectoria directa de propagación.

1.1.4 SELECCIÓN DEL ARCHIVO TOPOGRÁFICO

Permite seleccionar el archivo que contiene los datos topográficos de cada uno de los 36 radiales, necesarios para realizar los cálculos referentes a una ubicación determinada. Este archivo se debe encontrar guardado con extensión “.txt”.

1.1.4.1 Selección de un archivo topográfico

Para ubicar y seleccionar el archivo topográfico que se encuentre en algún directorio del computador, se debe hacer uso del botón “Examinar”, pudiéndose visualizar lo siguiente:

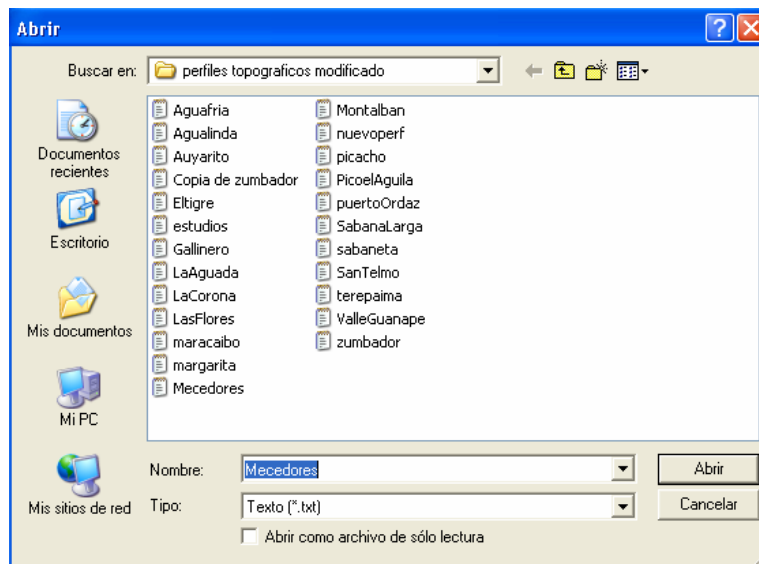


Figura 2. Ventana Abrir

Se mostrarán solo archivos con la extensión adecuada. Recuerde que no necesariamente los archivos “.txt” son archivos de datos topográficos. Luego de seleccionar el archivo, debe hacer *clic* sobre el botón “Abrir”, con lo que se mostrará nuevamente la ventana principal, pero ahora con la ubicación del archivo correspondiente. En caso de seleccionar un archivo erróneo, una vez que intente iniciar los cálculos se mostrará una ventana indicando que el archivo topográfico no es válido.

1.1.4.2 Creación de los archivos topográficos

Para crear un archivo topográfico se debe presionar el botón “Crear perfil”. Se tienen dos formas para crear el archivo topográfico:

- a) Crear datos topográficos manualmente
- b) Crear datos topográficos tomados del *Pathloss*

1.1.4.2.1 Crear datos topográficos manualmente

Se presenta un cuadro como el siguiente:

Cargar datos topográficos

Alturas (m)

	Radial 1	Radial 2	Radial 3	Radial 4	Radial 5
Km 0	0	0	0	0	0
Km 1	0	0	0	0	0
Km 2	0	0	0	0	0
Km 3	0	0	0	0	0
Km 4	0	0	0	0	0
Km 5	0	0	0	0	0
Km 6	0	0	0	0	0
Km 7	0	0	0	0	0
Km 8	0	0	0	0	0
Km 9	0	0	0	0	0
Km 10	0	0	0	0	0
Km 11	0	0	0	0	0
Km 12	0	0	0	0	0
Km 13	0	0	0	0	0
Km 14	0	0	0	0	0
Km 15	0	0	0	0	0
Km 16	0	0	0	0	0

guardar Salir

Figura 3. Cargar datos topográficos

Aquí deben ser introducidas las alturas en metros para cada radial. Al finalizar se debe presionar el botón guardar para dar nombre al archivo y ubicarlo en alguna carpeta del disco duro del computador. Luego, si desea trabajar con el archivo creado debe realizar el procedimiento del punto **1.1.4.1**

1.1.4.2.2 Crear datos topográficos tomados del *Pathloss*

La creación de archivos topográficos suele ser un tanto engorrosa, ya que deben tomarse 100 muestras por cada uno de los 36 radiales bajo estudio para poder realizar el

procedimiento del punto anterior. Por lo tanto se hace uso de una base de datos topográficos contenida en el *Pathloss*¹, y se transforman los datos arrojados por éste en un archivo “.txt”, adaptándolos a las características requeridas por el programa “Cobertura de comunicaciones móviles”. Los pasos a seguir para realizar la transformación son los siguientes:

En primer lugar se deben crear los 36 archivos “.pl3”² haciendo uso del *Pathloss*, con espaciamientos de las muestras de 1 km para cada radial, con una distancia máxima de 100 km. El espaciamiento entre radiales debe ser de 10°. El radial de inicio debe ser el de azimut 10° y el radial final el de 360°. Esto se muestra en la figura 4.

USGS 30 Second (World) - Radial Profiles

Site #1
010 10 10 N
067 00 00 W

Start Bearing - deg 10.00
End Bearing - deg 360.00
Bearing Inc. - deg 10.00
Distance Inc. - km 1.0000
Distance - km 100.00
Site 1 Elevation - m
File Name
Files Path c:\docume~1\dlegui~1\escrit~1

Ok
Cancel
Help

Bearing Ref
☐ UTM Grid
☒ Geographic

Figura 4. Ventana del *Pathloss*

¹Software perteneciente al departamento de planificación y desarrollo para la realización de diversos cálculos de propagación.

² Extensión de los archivos creados por el *Pathloss*

Una vez realizado este procedimiento, serán generados 36 archivos de extensión “.pl3”, cada uno con la información referente a cada radial. Esta información quedará guardada en una ubicación, según haya sido escogido por el usuario.

Luego de haber seleccionando la opción “Crear datos topográficos tomados del *Pathloss*”, se mostrará la ventana de búsqueda mostrada en la figura 5.

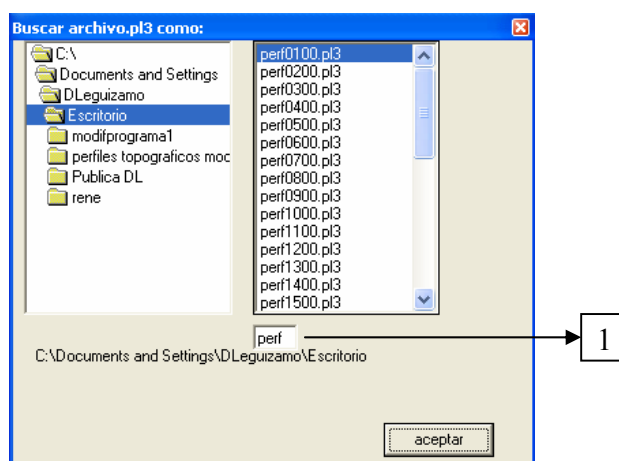


Figura 5. Ventana de búsqueda de los archivos “.pl3”

En esta ventana, luego de entrar al directorio en el cual fueron guardados los archivos “.pl3” se debe hacer *clic* sobre alguno de ellos para poder identificar cual es su nombre y ser posteriormente procesados. Luego de seleccionarlo, el nombre aparecerá en el recuadro “1” figura 5.

Presione aceptar y se mostrará un cuadro de diálogo que permitirá dar nombre al archivo y ubicarlo en alguna carpeta del disco duro del computador (figura 6).

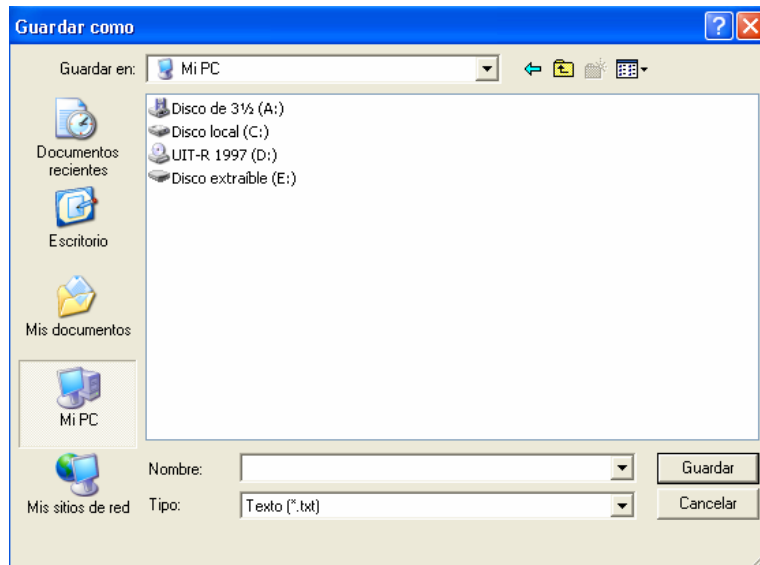


Figura 6. Cuadro de dialogo guardar

Por defecto el sistema guardará el archivo procesado con la extensión “.txt”, por lo tanto solo seleccione la carpeta donde desea guardar y escriba un nombre para el archivo topográfico. Luego, si desea trabajar con el archivo creado debe realizar el procedimiento descrito en el punto **1.1.4.1**

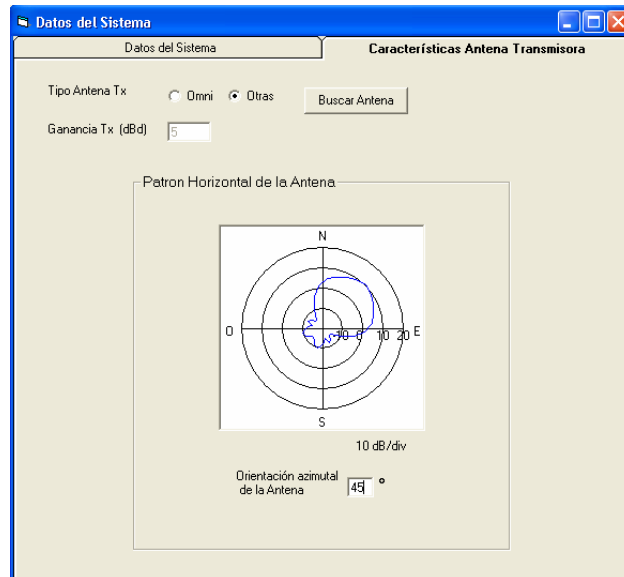
Es importante señalar que los archivos “.pl3” son eliminados automáticamente luego de tomar la información contenida en ellos.

1.2 CARACTERÍSTICAS ANTENA TRANSMISORA

Permite observar las características de la antena seleccionada para la transmisión.

En la *figura 7* se pueden distinguir dos opciones principales, estas son las de elegir si la antena es del tipo omnidireccional o del tipo sectorizada. En todo momento se podrá observar la forma del patrón de radiación horizontal de la antena en un diagrama polar dispuesto para tal fin. El patrón que se encuentre “dibujado” en este sitio, se encontrará cargado en memoria para ser utilizado al momento de realizar los cálculos de cobertura.

Una vez que se ha seleccionado el tipo de antena transmisora, se debe volver a la plantilla “datos del sistema” para dar inicio a los cálculos.



1.2.1 ANTENA TIPO OMNIDIRECCIONAL

Se debe activar la casilla “Omni” e introducir la ganancia referida al dipolo de media onda. El gráfico se actualizará de manera inmediata.

1.2.2 ANTENA TIPO SECTORIZADA

Cuando el tipo de antena a utilizar es del tipo sectorizada, se debe activar la casilla “otras”, que se muestra en la figura 7. Los datos de este tipo de antena son guardados en un archivo de texto de extensión “.txt”, por lo tanto estarán disponibles en cualquier momento. Si no se dispone del patrón de radiación horizontal para un modelo de antena en particular, es posible crear un nuevo archivo con los datos requeridos. Luego de presionar la opción de “Buscar antena” (figura 7), se muestra una ventana con el mismo nombre (figura 8). El procedimiento a seguir es similar al usado para seleccionar y crear archivos de datos topográficos.

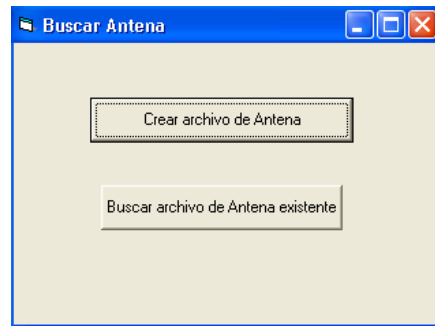


Figura 8. Opciones de búsqueda y creación de archivos “Antenas”

Una antena direccional requiere que su máximo sea orientado según las necesidades del sistema de comunicación, Una vez sea visualizado el patrón de radiación, como se muestra en la figura 7, es posible introducir su orientación azimutal en grados, respecto al norte magnético.

1.2.2.1 Crear archivo de antena

La interfaz para introducir los datos de una antena se muestra en la figura 9. Deben introducirse los valores de ganancia de 36 radiales, con separación angular entre ellos de 10°. El valor de ganancia máxima debe ser introducido en la celda correspondiente a 0°, luego debe asignarse a las celdas subsiguientes los valores respectivos. El cambio de los valores de ganancia hará cambiar de inmediato el gráfico representativo del patrón de radiación de la antena.

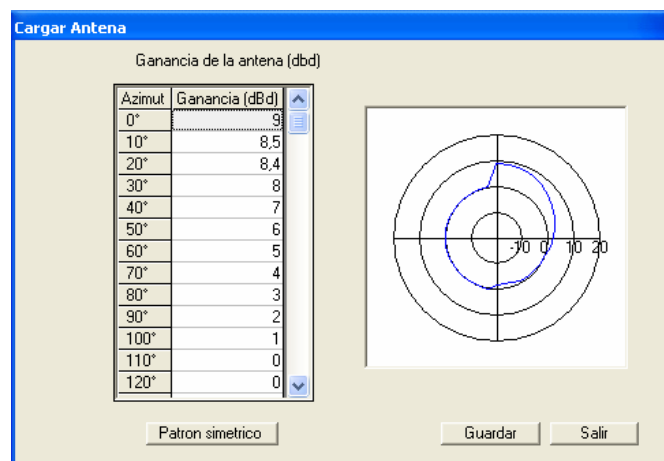


Figura 9. Ventana para cargar datos de una antena

En caso que el patrón de radiación sea simétrico respecto a la vertical del gráfico mostrado en la ventana “Cargar antena”, o se considere que es una buena aproximación, se puede hacer uso del botón “Patrón Simétrico”. El resultado será como el que se muestra en la figura 10. Así es posible ahorrar tiempo al momento de introducir la ganancia de antena para cada radial.

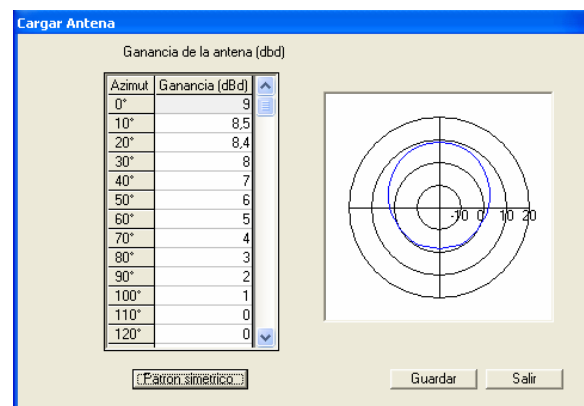


Figura 10. Uso del botón “Patrón simétrico”

Luego de visualizar el patrón de radiación deseado, se procede a guardar en una ubicación cualquiera del disco del computador. Al igual que los archivos topográficos, son salvados con extensión “.txt”.

1.2.2.2 Buscar archivo de antena existente

Esta opción permite encontrar los archivos “.txt” que contienen los datos de las antenas. Cuando es seleccionado el archivo, se puede visualizar la forma de radiación de la antena (siempre que sea un archivo válido), con el fin de facilitar su selección (figura 11).

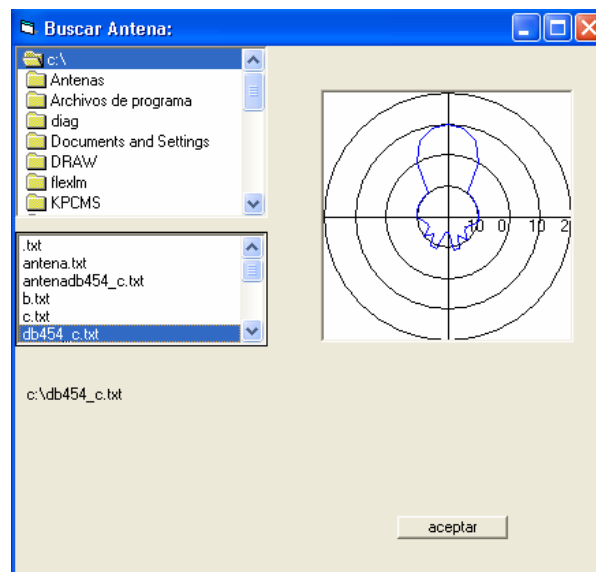


Figura 11. Ventana "Buscar Antena"

2. INICIO DE LOS CÁLCULOS

Una vez que se han llenado correctamente los datos de entrada, se hace *clic* sobre el botón “Iniciar cálculo” ubicado en la plantilla “Datos del sistema” de la ventana inicial. Luego que la información es procesada, se muestra la ventana “Potencia y Campo eléctrico recibido” (figura 12). A continuación se explicarán cada uno de los elementos de esta ventana.

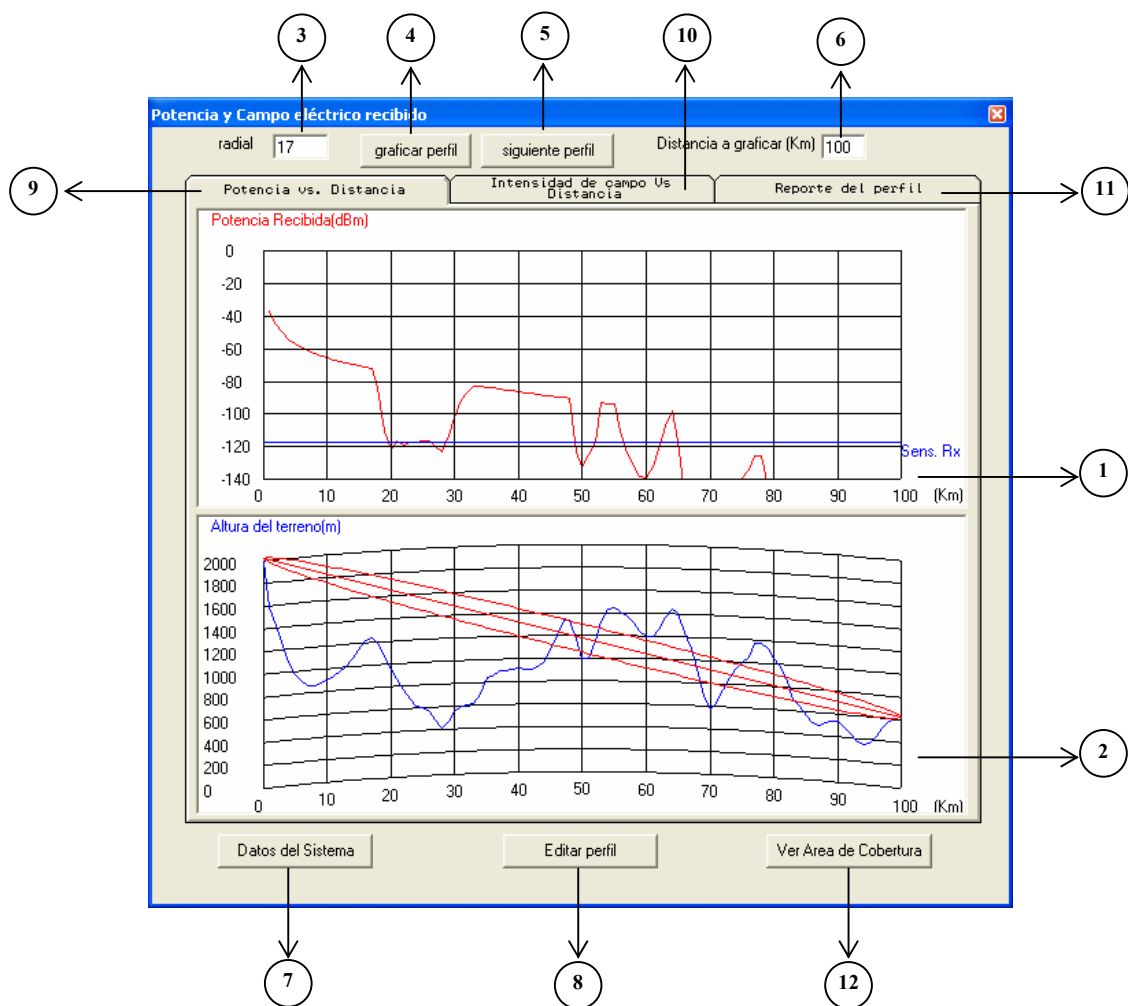


Figura 12. Potencia y campo eléctrico recibido

1.-*Potencia recibida*: Gráfico sobre el cual se muestra el nivel de potencia recibido en el equipo receptor (Graficado en rojo) debido al nivel campo eléctrico en su entorno, para porcentajes de tiempo y ubicación de 50%. Se puede observar también, el nivel mínimo de potencia requerido ó sensibilidad del receptor (Graficado en azul). Las escalas de potencia y distancia vienen dadas en dBm y kilómetros respectivamente. La curva representa la potencia recibida en función de la distancia, bajo ciertas condiciones específicas que están determinadas por los datos de entrada y la topografía del terreno.

2.-*Altura del terreno*: Gráfico sobre el cual se representan las muestras de altura del terreno tomadas cada kilómetro en el trayecto que une al Transmisor y al receptor en un radial determinado (Graficado en azul). Las escalas de altura y distancia vienen dadas en metros y kilómetros respectivamente. La curva representa la altura del terreno en función de la distancia. El perfil se encuentra graficado incluyendo la corrección por índice troposférico. Se muestra la elipse representativa de la primera zona de Fresnel y la línea que une el trayecto directo entre el transmisor y el receptor (color rojo), asumiendo que el receptor se encuentra a una distancia como la indicada en 6.

3.- *Radial*: Recuadro que indica el radial graficado, permite ser modificado por el usuario para visualizar un radial cualquiera. Requiere el uso del botón 4 luego de la escogencia. El programa esta diseñado para calcular 36 radiales, si se pide graficar un radial superior a este número, por defecto se mostrará el radial 36. Cada radial representa un ángulo en azimut. Radial 1 corresponde Azimut 10° , radial 2 corresponde al azimut 20° ... Así sucesivamente hasta llegar al radial 36 el cual representa el azimut 0° .

4.- *Graficar perfil*: Actualiza los datos mostrados en la ventana (gráfico del perfil, topográfico, nivel de potencia y campo recibido, reporte del radial) según el valor indicado en el recuadro 3.

5.- *Siguiente perfil*: Grafica el perfil siguiente al que se indica en 3, una vez superado el radial 36, se mostrará el radial 1.

6.- *Distancia a graficar*: Indica la distancia máxima que se muestra en los gráficos. Este valor puede ser modificado por el usuario, para que el cambio surta efecto se debe hacer

clic en el botón 4 ó 5, este campo permanecerá constante, siempre que no sea modificado por el usuario.

7.- *Datos del sistema*: Permite volver a la ventana inicial, desde donde se puede retornar a haciendo *clic* sobre el botón “Ver curvas” o “Recalcular”. El primero toma los datos calculados anteriormente y los grafica nuevamente. El segundo iniciará los cálculos y tendrá un tiempo de retardo mayor por razones obvias.

8.- *Editar perfil*: Activa una ventana de edición de los datos topográfico (figura 13).

8.1- Toma los datos de los 36 perfiles topográficos y los muestra en un cuadro que permite visualizar la altitud del terreno en cada kilómetro para cada radial, de ser necesario permite la edición de cualquier cota. En caso de modificar la altura en el sitio de transmisión (km=0), todos los radiales serán actualizados de manera automática con el valor seleccionado.

8.2.- Si se realiza algún cambio se debe guardar haciendo uso de este botón. Los cambios serán permanentes. Se sobrescribirá en el archivo al cual pertenecen los datos topográficos. Para que los cálculos se vean afectados por estos cambios, se debe hacer un recálculo, motivo por el cual se envía a la pantalla inicial luego de guardar.

8.3.- Al hacer *clic* sobre este botón, se perderán de inmediato los cambios que se hayan realizado sobre la ventana “Editar archivo topográfico”. El botón cerrar (8.4) tiene el mismo efecto.

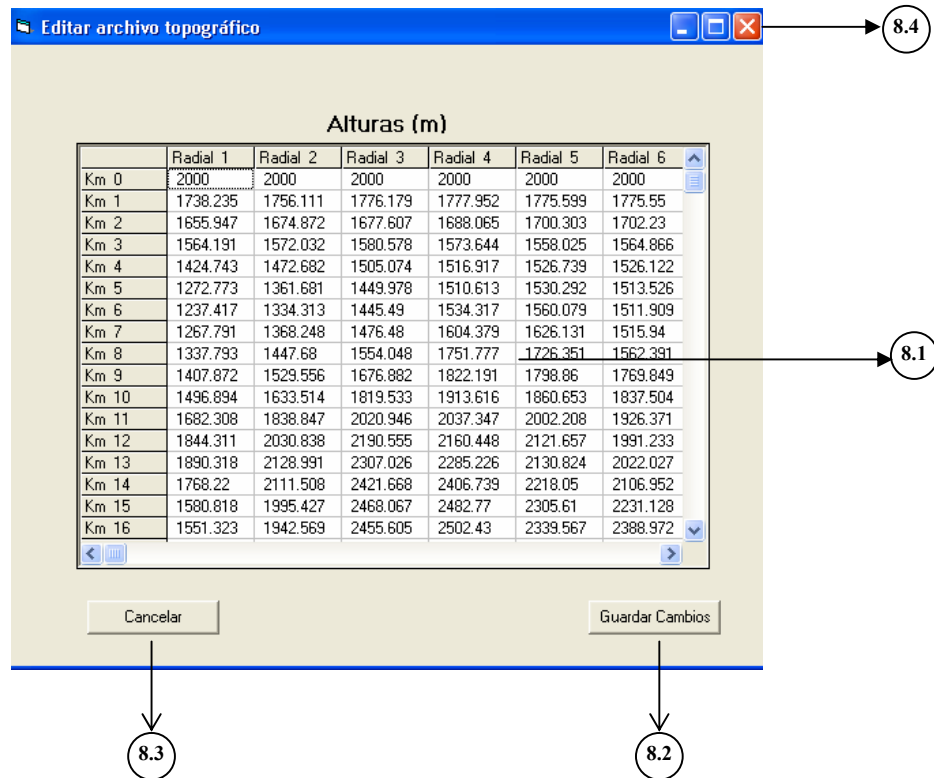


Figura 13. Editar archivo topográfico

9.- *Potencia vs. distancia*: Al hacer clic sobre esta pestaña, se mostrará la ventana como se observa en la figura 12.

10.- *Intensidad de campo vs. distancia*: Al hacer clic sobre esta pestaña, se mostrará la ventana como se observa en la figura 14. En esta vista se presente un cuadro gráfico sobre el cual se muestra la intensidad de campo eléctrico que se espera recibir en el entorno del receptor (Graficado en rojo) y el nivel mínimo necesario para cumplir con los requerimientos de sensibilidad del mismo (Graficado en azul). Las escalas de intensidad de campo y distancia vienen dadas en $\text{dB}\mu\text{V/m}$ y kilómetros respectivamente. La curva representa la intensidad de campo eléctrico en el entorno del receptor, en función de la distancia, bajo ciertas condiciones específicas que están determinadas por los datos de entrada y las características topográficas del terreno. El gráfico corresponde al número de radial que se muestra en 3, hasta una distancia indicada en 6. Aplican instrucciones del 2 al 9.

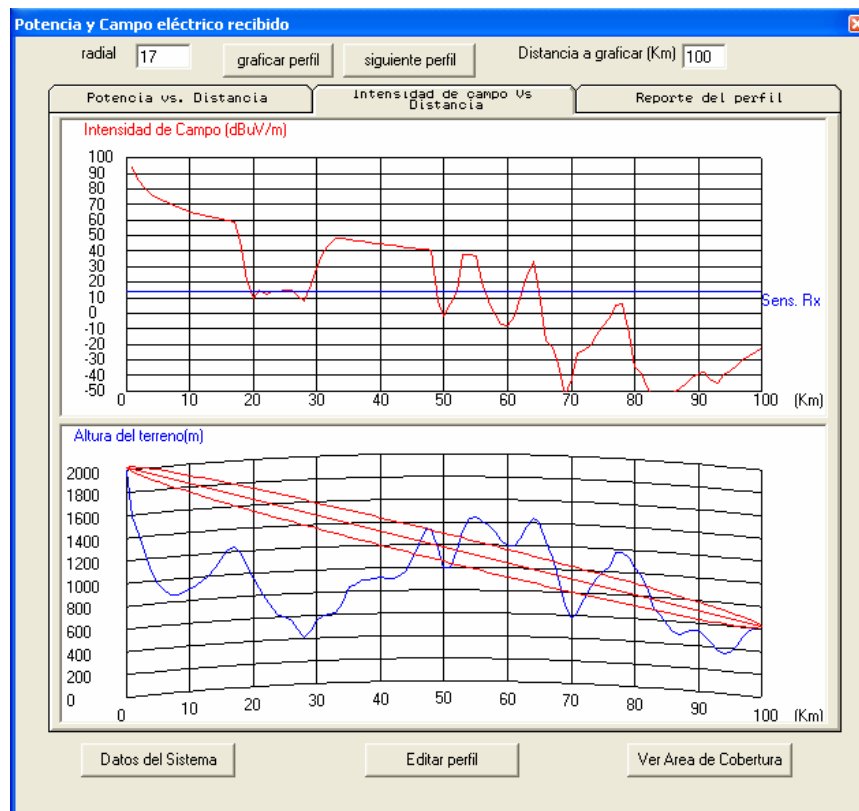


Figura 14. Intensidad de campo vs. distancia

11.- *Reporte del perfil*: Al hacer *clic* sobre esta pestaña, se mostrará la ventana como se observa en la figura 15. Se trata de una pantalla donde puede observarse un reporte que contiene datos como:

- Potencia del Tx
- Ganancia máxima en dirección del radial
- Potencia efectiva radiada máxima
- Altura promedio del terreno entre 3 y 15 kilómetros
- Altura efectiva del centro de radiación

Estos datos pertenecerán al radial del cual se hayan obtenidos las gráficas de potencia y campo recibido. Aplican instrucciones del 2 al 9.

Potencia y Campo eléctrico recibido

radial: 17 graficar perfil siguiente perfil Distancia a graficar (Km): 100

Potencia vs. Distancia Intensidad de campo Us Distancia Reporte del perfil

Nombre del sitio: Sin Nombre
 Coordenadas del Sitio: Latitud: 0° 0' 0" N
 Longitud: 0° 0' 0" O
 Azimut: 170°

Índice Troposférico: 1.333333333
 Potencia de Tx: 47.7815 dBm
 Ganancia en la dirección del radial: 5 dBd
 Potencia Efectiva Radiada máxima: 52.7815 dbm
 Altura del sitio de Tx (SNM): 2000 m
 Altura del centro de radiación (SNM): 2020 m
 Altura promedio del terreno (entre 3 y 15 Km): 985.6 m
 Altura efectiva del centro de radiación: 1034.4 m

Datos del Sistema Editar perfil Ver Área de Cobertura

Figura 15. Reporte del perfil

12.-Ver área de cobertura: Muestra el área de cobertura sobre un diagrama polar (color azul) y el contorno protegido del sistema (color rojo). Éste último se calcula tomando como base el doble de la sensibilidad del receptor, dada en μV . La escala se ajusta según la distancia de alcance máximo y se muestra en la esquina inferior derecha. Además se proporcionan los valores de distancia máxima de cobertura y el área de cobertura en km^2 (Ver figura 16). En esta ventana se puede visualizar el botón “Ver sobre un mapa”, el cual permite abrir un nuevo formulario sobre el cual será trazado el contorno de cobertura en un mapa digital a escala apropiada. El nombre de este formulario es “Cobertura del sistema”. La imagen del mapa debe encontrarse guardada en el computador en un formato adecuado (JPEG, mapa de bits), si el formato no es compatible, se le indicará al usuario que el archivo seleccionado no es válido.

El tamaño de la imagen del mapa no es importante siempre que sea un cuadrado que cumpla con las condiciones planteadas a continuación: el centro del mapa se debe hacer coincidir con la ubicación del centro de radiación, cada lado del mapa debe representar dos veces la distancia máxima de cobertura (figura 17). Este valor es dado en la ventana “Área de cobertura”.

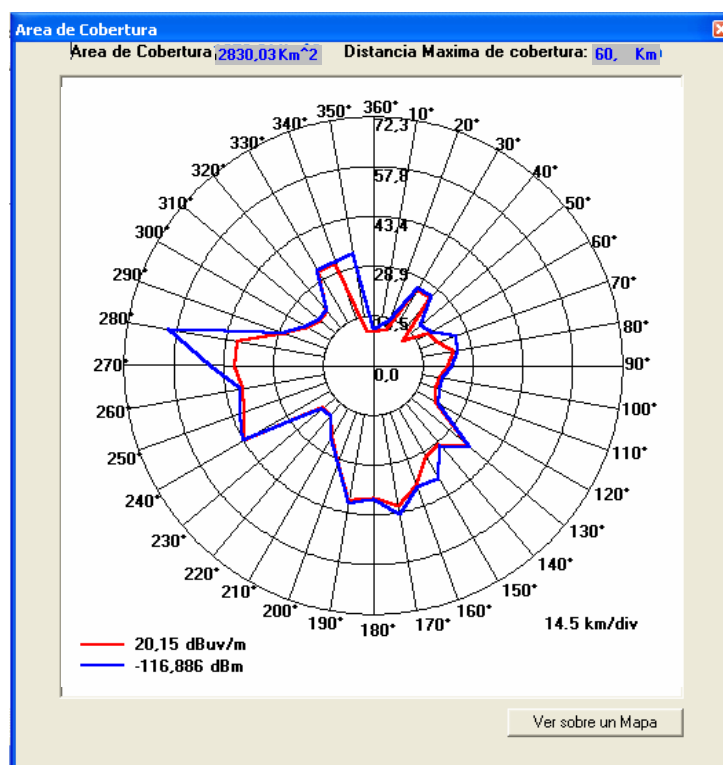


Figura 16. Ventana “Área de cobertura”

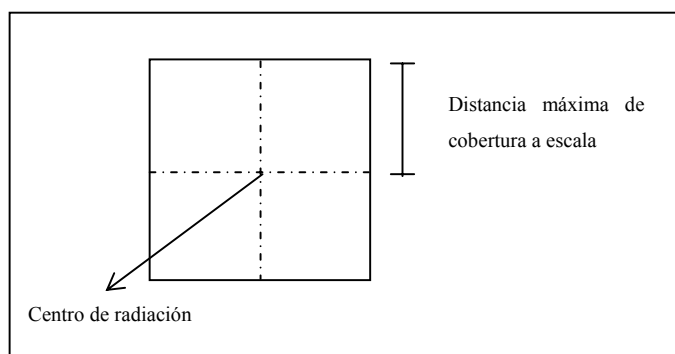


Figura 17: Requerimientos para graficar el área de cobertura sobre un mapa digitalizado

3. OPCIONES DE SALIDA

Al hacer *clic* en el botón derecho del ratón, sobre cualquiera de los gráficos presentados en alguna de las ventanas del programa, aparecerá un menú emergente, el cual permitirá que los datos obtenidos puedan ser tomados según la preferencia del usuario (figura 18).

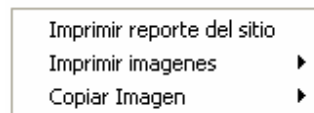


Figura 18. menú emergente ventana “Potencia y campo eléctrico recibido”

3.1 OPCIONES DE COPIADO

Al hacer *clic* en el botón derecho del ratón sobre alguno de los objetos gráficos de la ventana “Potencia y campo eléctrico recibido”, seleccionando la opción “copiar imagen” aparecerá un menú como el siguiente:

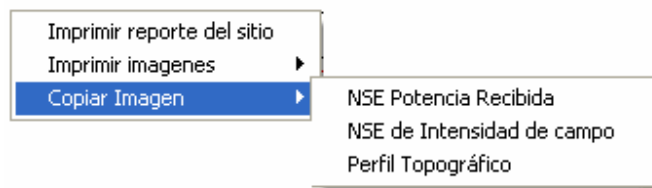


Figura 19 Opciones de copiado

Tal como puede observarse en la figura 19, podrá copiar al portapapeles de Windows los gráficos siguientes:

- Nivel de señal esperado de potencia
- Nivel de señal esperado de intensidad de campo eléctrico
- Perfil topográfico

Para las ventanas “Área de cobertura” (figura 20-a) y “cobertura del sistema” (figura 20-b), existe un menú similar que realiza la misma función.



Figura 20. Opciones de copiado

3.2 OPCIONES DE IMPRESIÓN

Las características de calidad y color de la impresión, estarán dadas por la configuración predeterminada de la impresora del sistema, se requiere que el papel sea tamaño carta.

3.2.1 VENTANA “POTENCIA Y CAMPO ELÉCTRICO RECIBIDO”

Se presentan dos opciones principales de impresión:

- a) Imprimir reporte del sitio
- b) Imprimir gráficos

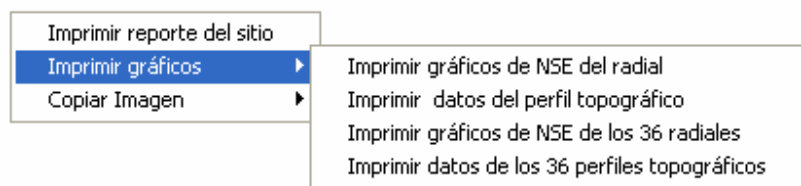


Figura 21. Opciones de impresión de “Potencia y campo eléctrico recibido”

3.2.1.1 Imprimir reporte del sitio

El reporte contiene la información siguiente:

- Nombre del sitio.
- Coordenadas geográficas del sitio.
- Potencia del transmisor (W).
- Altura del sitio de transmisión (SNM).
- Altura del centro de radiación (SNM).
- Frecuencia de transmisión.

Permite observar sobre una tabla, datos como:

- Numero del radial.
- Azimut (Grados respecto al norte magnético).
- Potencia efectiva radiada máxima (W).
- Altura promedio del terreno (m).
- Altura efectiva del centro de radiación (m).
- Distancia en kilómetros al contorno de cobertura (km).

3.2.1.2 Imprimir gráficos

Permite obtener un reporte “gráfico” de los resultados obtenidos al realizar los cálculos. La vista de los gráficos impresos será la misma que la observada en pantalla.

3.2.1.2.1 Imprimir gráficos del NSE del radial

Permite imprimir en una misma página el gráfico de nivel de potencia y campo eléctrico que se espera medir en el entorno del receptor, para un perfil particular que se muestre en pantalla. Será identificado con el nombre del sitio. Se indica además el radial y el azimut al cual corresponden.

3.2.1.2.2 Imprimir gráficos del NSE de los 36 radiales

Permite imprimir los gráficos correspondientes a los 36 radiales de manera automática, se recomienda su uso cuando la distancia máxima que se desea graficar es la misma en todos los radiales y se desea acelerar el proceso de impresión. Debe recordarse que la distancia máxima a la cual se esta graficando varía según se indique en el recuadro 6 de la figura 12. Al momento de imprimir el conjunto de los 36 gráficos, todos tendrán la misma distancia por radial.

3.2.1.2.3 Imprimir datos del perfil topográfico

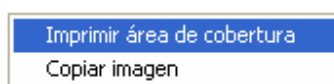
Proporciona una salida que consiste en una tabla que contiene las cotas del terreno tomadas cada kilómetro y el gráfico correspondiente a dicha tabla. Será identificado con el nombre del sitio, se indica además el radial y azimut al cual pertenecen estos datos.

3.2.1.2.4 Imprimir datos de los 36 perfiles topográficos

Permite imprimir las tablas y los gráficos correspondientes a los 36 radiales de manera automática (un radial por página), se recomienda su uso cuando la distancia máxima que se desea graficar es la misma en todos los radiales y se desea acelerar el proceso de impresión.

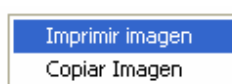
3.2.2 VENTANA “ÁREA DE COBERTURA”

Se muestra un menú emergente que permite imprimir el área de cobertura con la vista mostrada en pantalla. Será identificado con el nombre del sitio y sus coordenadas geográficas, se indica además la distancia máxima a la cual se logra recepción (Distancia teórica).



3.2.3 VENTANA “COBERTURA DEL SISTEMA”

Se muestra un menú emergente que permite imprimir el área de cobertura sobre un mapa digitalizado. Será identificado con el nombre del sitio y sus coordenadas geográficas, se indica además la distancia máxima a la cual se logra recepción (Distancia teórica).



ANEXOS

[ANEXO N° 1]

SALIDAS IMPRESAS DEL PROGRAMA

- (a) Reporte del sitio
- (b) Gráfico del NSE del radial
- (c) Datos del perfil topográfico
- (d) Contornos de cobertura (Diagrama polar)
- (e) Contornos de cobertura (Mapa digitalizado)

Nombre del sitio: LA CORONA

Coordenadas del Sitio:

Latitud: 10° 1' 35" N

Longitud: 64° 7' 40" O

Potencia del Transmisor: 30 W

Altura del sitio de Transmisión (SNM): 2200 m

Altura del centro de radiación (SNM): 2203 m

Frecuencia de Transmisión: 497.2125 MHz

Altura de la antena receptora: 1,5 m

Radial	Azimut	PERMax(W)	APT(m)	AECR(m)	DCS(km)	DCP(km)
1	10 °	3,29	1401,04	801,96	8,0	7,8
2	20 °	4,33	1549,01	653,99	9,4	9,1
3	30 °	2,67	1645,88	557,12	10,4	10,1
4	40 °	2,86	1704,14	498,86	14,8	14,4
5	50 °	3,86	1623,78	579,22	15,5	15,3
6	60 °	5,33	1469,16	733,84	17,8	17,5
7	70 °	5,33	1425,67	777,33	18,6	18,4
8	80 °	5,33	1464,29	738,71	14,0	13,7
9	90 °	5,33	1391,34	811,66	17,2	16,8
10	100 °	5,33	1232,13	970,87	17,8	17,5
11	110 °	10,63	1150,20	1052,80	14,7	14,5
12	120 °	80,65	971,61	1231,39	99,7	77,1
13	130 °	260,99	913,50	1289,50	100,0	92,3
14	140 °	453,54	902,52	1300,48	30,4	30,1
15	150 °	497,30	880,51	1322,49	100,0	100,0
16	160 °	344,05	878,38	1324,62	100,0	82,4
17	170 °	140,16	906,67	1296,33	86,0	82,3
18	180 °	26,71	976,73	1226,27	86,8	14,0
19	190 °	5,33	1063,78	1139,22	67,8	13,9
20	200 °	5,33	1071,61	1131,39	46,8	46,1
21	210 °	5,33	1035,88	1167,13	67,8	49,9
22	220 °	5,33	1023,93	1179,07	67,8	49,9
23	230 °	5,33	1026,65	1176,35	20,9	20,6
24	240 °	5,33	1006,94	1196,06	67,8	49,9
25	250 °	5,33	995,41	1207,59	24,0	23,6
26	260 °	4,33	1066,02	1136,98	13,9	6,0
27	270 °	2,67	1210,43	992,57	6,5	6,2
28	280 °	3,29	1424,62	778,38	6,9	6,7
29	290 °	4,33	1632,00	571,00	7,8	7,6
30	300 °	3,52	1592,69	610,31	8,6	8,4
31	310 °	6,71	1456,86	746,14	8,2	8,0
32	320 °	4,43	1458,52	744,48	8,0	7,8
33	330 °	1,69	1513,80	689,20	8,7	8,4
34	340 °	2,55	1457,62	745,38	7,1	6,9
35	350 °	6,71	1355,08	847,92	7,2	6,9
36	360 °	5,09	1263,78	939,22	7,3	7,1

PERMax: Potencia efectiva radiada maxima

APT: Altura promedio del terreno entre 3 y 15 km

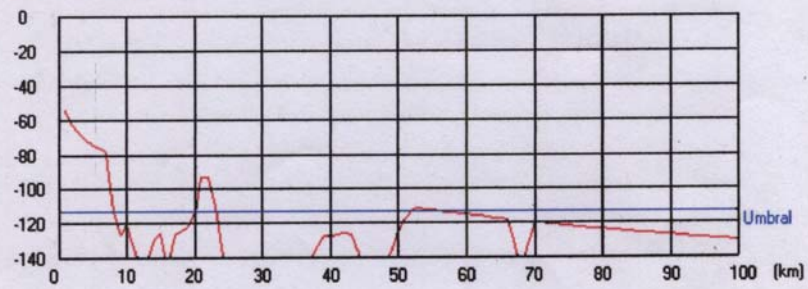
AECR: Altura efectiva del centro de radiación

DCS: Distancia al contorno de Servicio -113,14 dBm

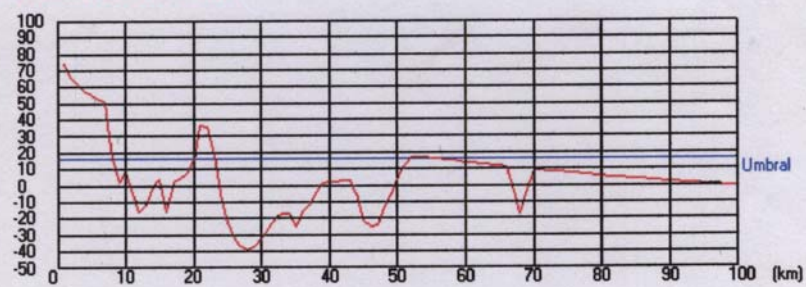
DCP: Distancia al contorno de protección 24,02 dBuV/m

LA CORONA
Nivel de señal Esperado
Azimut: 10°
Radial: 1

Potencia Recibida(dBm)



Intensidad de Campo (dBuV/m)



LA CORONA

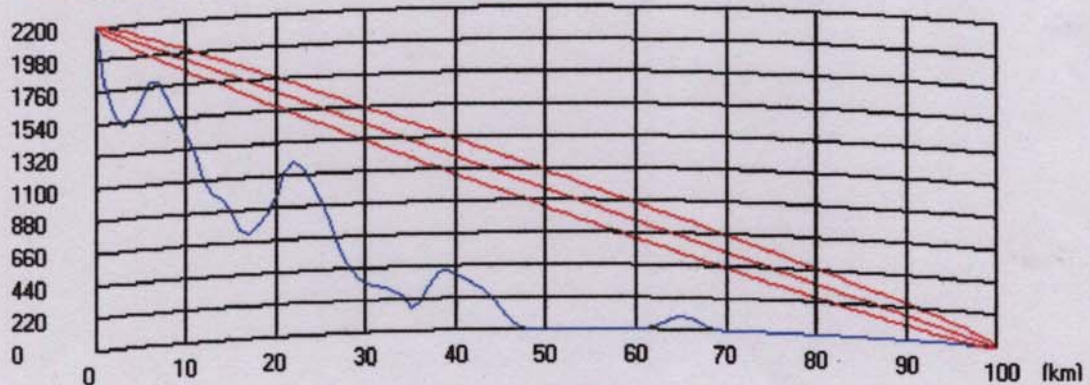
Datos topográficos

Azimut: 10°

Radial: 1

d(km)	h(m)	d(km)	h(m)	d(km)	h(m)	d(km)	h(m)	d(km)	h(m)
1	1807,1	21	1110,3	41	340,0	61	0,0	81	0,0
2	1607,0	22	1186,8	42	311,7	62	24,0	82	0,0
3	1513,6	23	1138,7	43	270,6	63	49,2	83	0,3
4	1556,8	24	1038,8	44	207,9	64	72,7	84	1,0
5	1679,4	25	917,6	45	135,7	65	82,6	85	1,0
6	1787,9	26	764,5	46	64,6	66	77,8	86	1,0
7	1792,2	27	608,1	47	6,3	67	49,3	87	1,0
8	1664,9	28	467,0	48	0,0	68	10,1	88	0,3
9	1527,2	29	371,9	49	0,0	69	0,2	89	0,0
10	1429,3	30	331,7	50	0,0	70	0,0	90	0,0
11	1292,1	31	317,1	51	0,0	71	0,0	91	0,0
12	1116,4	32	300,8	52	0,0	72	0,0	92	0,0
13	1008,9	33	274,7	53	0,0	73	0,0	93	0,0
14	958,6	34	241,7	54	0,0	74	0,0	94	0,0
15	886,4	35	157,6	55	0,0	75	0,0	95	0,0
16	738,6	36	195,3	56	0,0	76	0,0	96	0,0
17	714,5	37	312,5	57	0,0	77	0,0	97	0,0
18	766,5	38	403,4	58	0,0	78	0,0	98	0,4
19	837,4	39	411,1	59	0,0	79	0,0	99	1,4
20	948,3	40	375,0	60	0,0	80	0,0	100	2,5

Altura del terreno(m)



Altura del sitio= 2200m
Factor K= 1.333333333

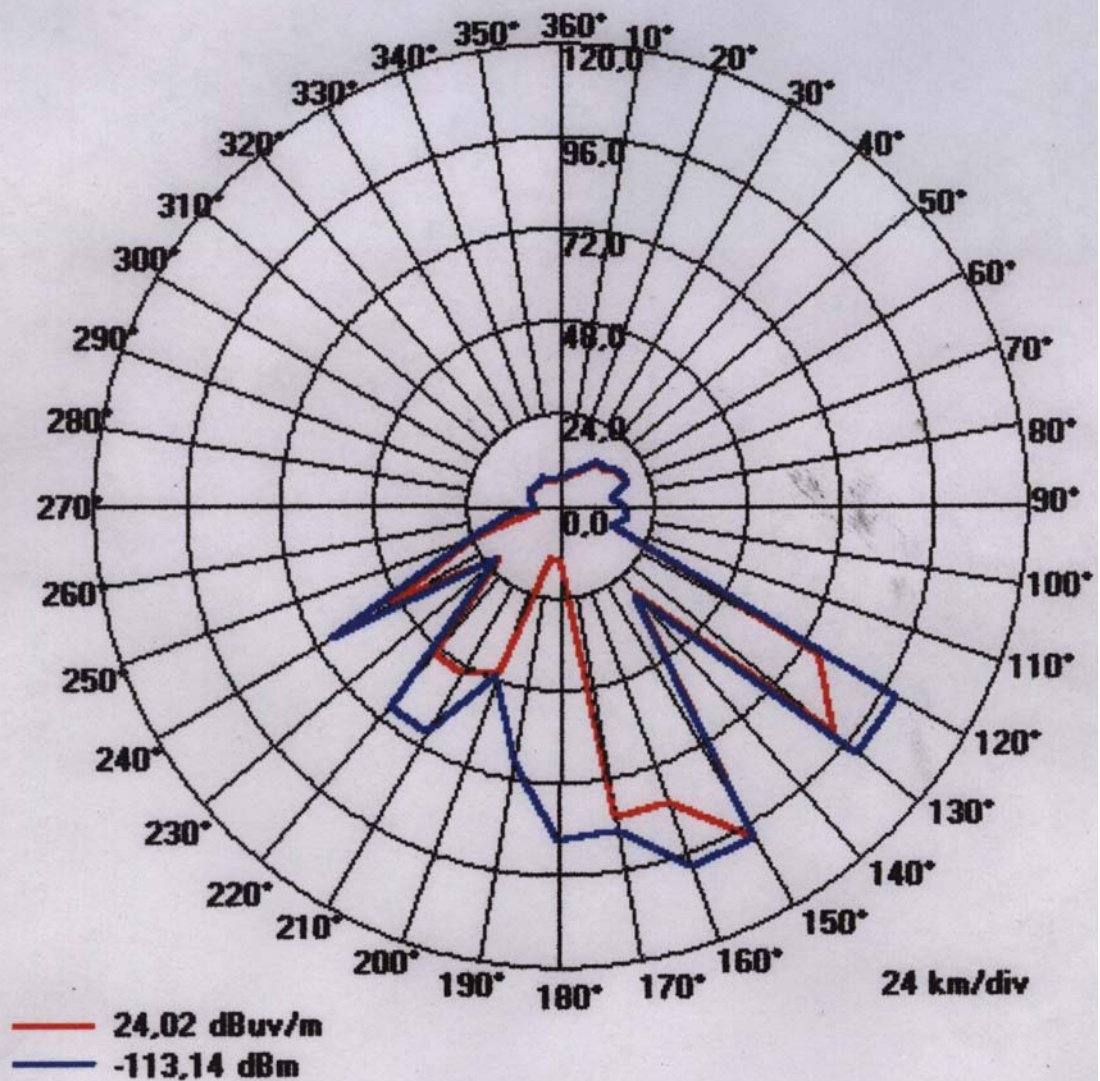
LA CORONA

Latitud: 10° 1' 35" N

Longitud: 64° 7' 40" O

Distancia Máxima de cobertura: 100,00 km

Frecuencia de Operación: 497,2125 MHz

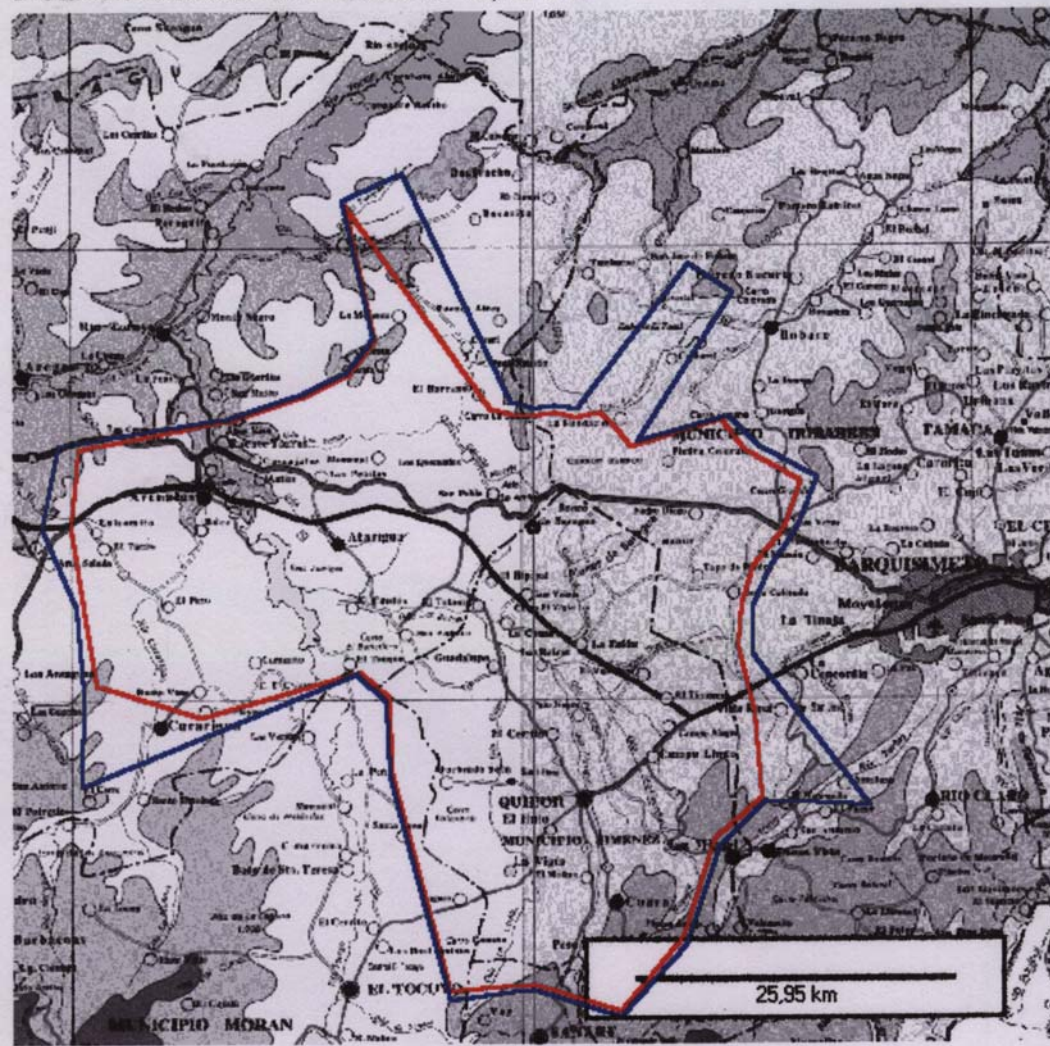


LAS FLORES

Latitud: 10° 7' 50" N

Longitud: 69° 39' 20" O

Distancia Máxima de cobertura: 43,25 km



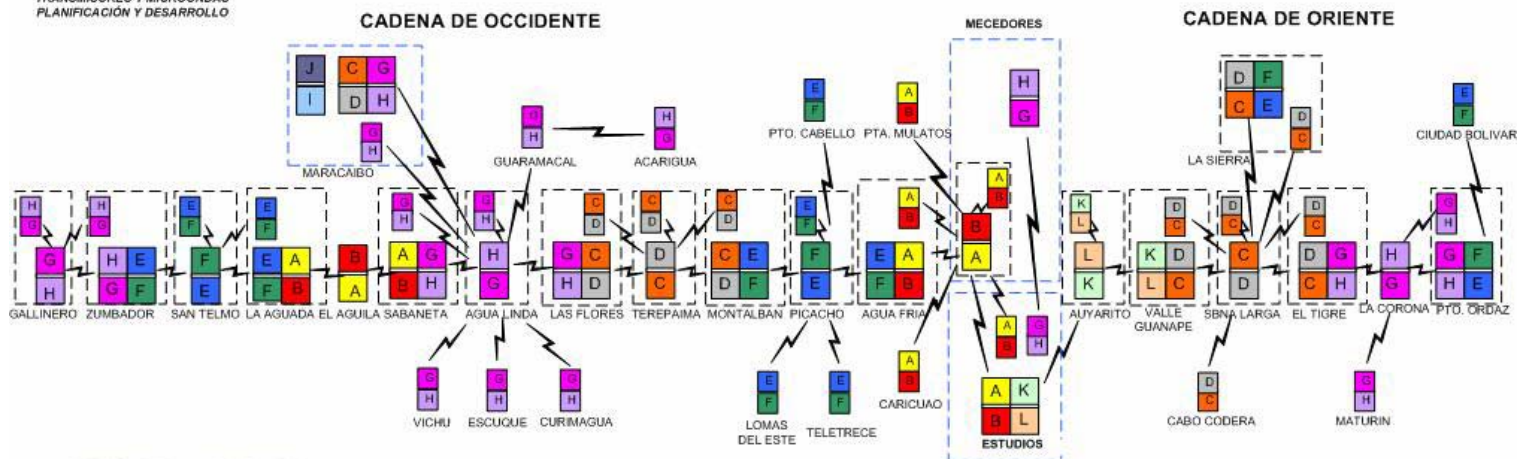
[ANEXO N° 5]

Esquema del sistema de comunicaciones móviles de VENEVISIÓN



VICEPRESIDENCIA DE INGENIERÍA
TRANSMISORES Y MICROONDAS
PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO

ESQUEMA DE SISTEMA DE COMUNICACIONES MÓVILES SUBSISTEMA INGENIERÍA VENEVISIÓN BANDA UHF 490 - 512 MHz



FREC. TX	FREC. RX
A: 499.8125	B: 496.8125
C: 499.8375	D: 496.8375
E: 499.9125	F: 496.9125
G: 500.2125	H: 497.2125

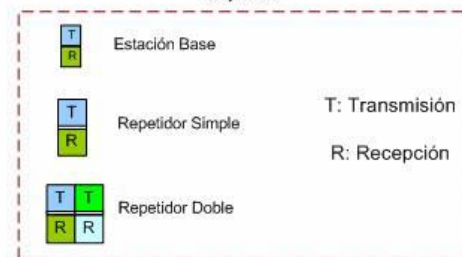
SCAN

B: 496.8125	A: 499.8125
D: 496.8375	C: 499.8375
F: 496.9125	E: 499.9125
H: 497.2125	G: 500.2125

SCAN

I: 503.7375	J: 508.7375
J: 508.7375	I: 503.7375
K: 508.6875	L: 503.6875
L: 503.6875	K: 508.6875

Leyenda



ULTIMA ACTUALIZACIÓN: Marzo 2005

[ANEXO N° 6]

Datos técnicos usados para el cálculo de los diagramas de cobertura

Estación	Latitud	Longitud	Tipo Antena	Ganancia (dBd)	Potencia TX (W)	Altura Centro de radiación (m)	Pérdida de Potencia x Guía (dB)	Frecuencia (MHz)
ACARIGUA	9° 33' 40"	69° 13' 01"	Sectorizada	10	30	15	0.915	497.2125
AGUA FRÍA	10° 22' 08"	67° 08' 31"	Omni	6.6	30	15	0.562	499.9125
			Omni	3.8	30	15	0.54	499.8125
			Omni	2	30	9	0.4496	499.8125
AGUA LINDA	10° 08' 43"	70° 42' 47"	Omni	9.2	30	20	0.79	497.2125
			Omni	3	15	20	0.615	500.2125
AUYARITO	10° 26' 05"	66° 34' 24"	Omni	6.6	30	13	0.5148	503.6875
			Omni	2	15	10	0.4515	508.6875
CABO CODERA	10° 34' 43"	66° 03' 05"	Sectorizada	10	30	20	0.9554	496.8375
CARICUAO	10° 26' 42"	66° 58' 58"	Omni	10	30	3	0.251	499.8125
CIUDAD BOLIVAR	08° 08' 39"	63° 33' 01"	Sectorizada	10	30	32.24	2.769	499.9125
CURIMAGUA	11° 10' 46"	9° 42' 05"	Sectorizada	13	30	50	2.394	500.2125
EL TIGRE	08° 57' 25"	64° 16' 54"	Sectorizada	10	30	23.5	1.0678	496.8375
			Sectorizada	10	30	29	1.2645	500.2125
			Sectorizada	10	30	20	1.6566	469.8375
ESCUQUE	9° 20' 29"	70° 40' 04"	Sectorizada	10	30	4	2.13	500.2125
ESTUDIOS	10° 30' 40"	66° 52' 54"	Sectorizada	10	30	35	1.608	508.6875
			Omni	3	30	35	1.7325	499.8125
			Omni	3	30	30	1.784	499.8125
			Omni	3	30	30	1.544	500.2125
GALLINERO	7° 52' 17"	72° 14' 03"	Omni	9	30	16.5	1.53988	500.2125
			Omni	10	15	28.3	1.124	497.2125
GUARAMACAL	9° 14' 03"	70° 11' 03"	Omni	2	30	37	1.341213	500.2125
LA AGUADA	8° 34' 03"	71° 05' 24"	Sectorizada	13	30	20	1.368	499.9125
			Omni	3.8	30	20	0.843	499.8125
			Omni	3	30	20	1.368	499.9125
LA CORONA	10° 01' 35"	64° 07' 40"	Sectorizada	13	30	3	0.5058	497.2125
MARGARITA	11° 00' 02"	63° 54' 35"	Sectorizada	10	30	70	4.104	496.8375
			Omni	6.6	30	70	2.529	496.9125
			Omni	2	30	70	3.168	496.8375
LAS FLORES	10° 07' 50"	69° 39' 20"	Omni	3.8	30	7	0.915	500.2125
			Omni	3.8	30	9	0.9882	499.8375
			Omni	3	30	10	2.4	499.8375
LOMAS DEL ESTE	10° 12' 07"	67° 59' 11"	Omni	3.8	30	20	1.255	499.9125
MARACAIBO	10° 40' 21"	71° 35' 57"	Omni	6.6	30	70	2.529	508.7375
			Omni	6.6	30	70	2.529	499.8375

			Sectorizada	10	30	35	7.2	500.2125
			Sectorizada	10	30	30	5.6	500.2125
MECEDORES	10° 31' 50"	66° 52' 33"	Sectorizada	7.5	30	40	1.405	497.2125
			Omni	9	30	40	2.28	496.8125
			Omni	3	15	40	1.87	499.8125
MONTALBÁN	10° 13' 53"	68° 22' 02"	Omni	3.8	30	5	0.374	499.9125
			Omni	3.8	30	5	0.375	499.8375
			Omni	3	30	5	0.281	499.8375
PICACHO	10° 04' 03"	67° 42' 45"	Sectorizada	7.5	30	35	2.408	496.9125
			Omni	9	15	4	0.245	499.9125
PICO EL ÁGUILA	8° 51' 29"	70° 49' 16"	Omni	3.8	30	10	1.5	496.8125
PUERTO CABELLO	10° 29' 04"	67° 58' 25"	Sectorizada	10	30	70	2.529	499.9125
PUERTO ORDAZ	8° 17' 58"	62° 43' 26"	Sectorizada	16	30	63	2.10	496.9125
			Omni	3.8	30	27	1.12	500.2125
			Sectorizada	10	30	54	3.437	500.2125
PUNTA DE MULATOS	10° 36' 19"	66° 54' 42"	Sectorizada	10	30	20	1.005	499.8125
SABANA LARGA	10° 10' 41"	64° 32' 49"	Omni	9.2	30	28	1.464	499.8375
			Omni	3	15	20	1.757	496.8375
SABANETA	9° 20' 51"	70° 27' 47"	Sectorizada	10	30	3.5	0.77275	500.2125
			Omni	3.8	30	12	0.77275	499.8125
			Omni	3	30	3.5	3.0175	500.2125
SAN TELMO	8° 14' 09"	71° 57' 02"	Omni	9.2	30	25.5	1.03127	496.9125
			Omni	3	15	8.5	0.69407	499.9125
TELETRECE	10° 11' 42"	68° 00' 34"	Omni	2	30	10	0.772	499.9125
TEREPAIMA	9° 57' 38"	69° 16' 48"	Sectorizada	7.5	30	36	2.0862	496.8375
			Omni	3	15	12	2.88	499.8375
VALLE GUANAPE	9° 57' 19"	65° 39' 03"	Sectorizada	13	30	10	0.8992	508.6875
			Sectorizada	13	30	10	0.8992	496.8375
			Sectorizada	10	30	10	5.12	496.8375
VICHU	9° 23' 04"	70° 24' 53"	Sectorizada	10	30	12.2	1.004	500.2125
ZUMBADOR	7° 58' 47"	72° 06' 37"	Sectorizada	10	30	17	0.7025	499.9125
			Omni	3.8	30	17	0.9835	497.2125
			Sectorizada	10	30	17	0.7025	497.2125