

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS PREDICTIVOS DE COBERTURA PARA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE, COMISIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL)

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Brito B., Danilo A.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS PREDICTIVOS DE COBERTURA PARA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE, COMISIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL)

Tutor Académico: Prof. Zeldivar Bruzual.
Tutor Industrial: Ing. Luis Duque.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Brito B., Danilo A.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 05 de junio de 2013

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 Danilo A. Brito B., titulado:

**“EVALUACIÓN DE LOS MODELOS PREDICTIVOS DE COBERTURA
PARA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL
TERRESTRE, COMISIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
(CONATEL)”**

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. Luis Fernández
Jurado

Prof. Franklin Martínez
Jurado

Prof. Zeldivar Bruzual
Prof. Guía

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater Universidad Central de Venezuela y al cuerpo profesoral y tutores, que marcaron cada etapa de mi camino universitario, y que me ayudaron en las asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

A la Comisión Nacional de Telecomunicaciones, por prestarme todo el apoyo para el desarrollo de esta tesis, en especial por haber hecho posible la realización de mis pasantías.

Al Ingeniero Luis Duque por su gran vocación profesional y de gran ayuda para la culminación del presente trabajo.

DEDICATORIA

Debo agradecer a **mi Dios Todopoderoso** por su gran bondad, amor e infinita misericordia, habiéndome permitido superar todos los obstáculos que se me presentaron, cumpliendo hoy uno de mis objetivos.

De igual manera a ti mi **madre Sandra Isvett**, por tu amor y apoyo incondicional en todo momento, tus certeros consejos, valores, la motivación constante, por tu espíritu de lucha y superación.

No puedo dejar de nombrar a mi **padre Oswaldo Ismael**, que aunque la distancia de los continentes nos separa, es indudable que nuestro afecto nos acerca.

Así mismo no puedo dejar de mencionar a mi **tía Lesbia**, de quien he aprendido que sin fe no podemos lograr las metas, y por haberme acogido en su hogar junto con su esposo Luis y mi querida Laura,

Tengo la esperanza de que mi ejemplo haga eco en las vidas de mis **amados y pequeños hermanos**: Amelie, Dylan y Andrea Rebeca, así como en mis primos.

Quiero reconocerle a mis **Abuelos**: Paulo, Mireya, Ana y Oswaldo, el hecho de que han sido los precursores de éste, mi primer éxito.

Durante los tres últimos años he tenido la bendición de haber conocido a **Dubisay**, quien me ha apoyado, comprendido y fortalecido con su amor incondicional.

A todos mis tíos y amigos que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y a aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis: ¡Gracias!.

A todos Dios los bendiga.

Brito B., Danilo A.

**EVALUACIÓN DE LOS MODELOS PREDICTIVOS DE COBERTURA
PARA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL
TERRESTRE, COMISIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.**

Profesor guía: Zeldivar Bruzual. **Tutor Industrial:** Ing. Luis Duque. **Tesis.** Caracas. U.C.V. **Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). 2013. 136h. + Anexos.**

Palabras claves: Televisión Digital Abierta, estimación, cobertura, modelo de la UIT-R P.1546, Longley-Rice, FCC, Okumura-Hata, factor de corrección.

Resumen. Se plantea realizar el estudio de los modelos de estimación de cobertura para la Televisión Digital Abierta, debido a la implementación de la misma en Venezuela. En la televisión digital no está limitado todavía por ningún reglamento el consumo de energía, hay diversos factores que indican que no se debe sobredimensionar un transmisor de televisión digital. Los modelos que se estudiaron para el estudio de cobertura en la ciudad de Caracas fueron: el modelo de la UIT- R P.1546 en sus dos versiones, modelo de la FCC, modelo de Longley-Rice y el modelo de Okumura-Hata. Los resultados de estos modelos fueron comparados con los resultados obtenidos en las mediciones de la ciudad de Caracas con el fin de llegar a un factor que partiendo de estos modelos se pueda llegar a un valor aproximado de la intensidad de campo real. Se llega a la conclusión de que los modelos propuestos no son las mejores estimaciones de cobertura y se plantea formular un modelo de estimación de cobertura venezolano, el cual se adapte mejor a los diversos factores climáticos, topográficos del terreno así como otros diversos factores que influyen en la señal de televisión digital.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	19
1. EL PROBLEMA	19
1.1 El problema de investigación	19
1.1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.1.2 Justificación	23
1.1.3 Antecedentes	25
1.1.4 OBJETIVO GENERAL.....	27
1.1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
1.1.6 Alcance.....	27
CAPÍTULO II	28
2. Metodología.....	28
2.1 Fases Metodológicas	28
CAPÍTULO III	31
3 Marco teórico.....	31
3.1 Televisión Digital.....	31
3.2 Televisión Digital Terrestre	32
3.3 Ventajas de la Televisión Digital frente a la Televisión Analógica	33
3.3.1 Mayor calidad de imagen y sonido	33
3.3.2 Mayor número de emisiones de televisión.....	34
3.3.3 Mayor flexibilidad de las emisiones y servicios adicionales	35
3.4 Características de la Televisión Digital Terrestre	35

3.5 Estándares de la televisión digital terrestre.....	37
3.5.1 ATSC (Advanced Television System Committee)	38
3.5.2. DVB (Digital Video Broadcasting).....	38
3.5.4 DMB-T/H de China (DTMB)	39
3.5.5 ISDB-T (Terrestrial - Integrated Services Digital Broadcasting)	40
3.5.5.1 Modulación	41
3.5.5.2 Codificación de Video y Audio	42
3.5.5.3 Middleware	43
3.6 OFDM (multiplexación por división de frecuencias ortogonales).....	44
3.6.1 Modulaciones Digitales en ISDB-T	45
3.6.2 Intervalo de guarda en OFDM	48
3.6.3 Interleaving en el tiempo.....	51
3.7 Distribución de Frecuencias.....	53
3.7.1 Red de una sola Frecuencia (SFN).....	53
3.8 Métodos para la estimación de cobertura.....	54
3.8.1 Método propuesto por la UIT según la recomendación de la UIT-R P.1546.	54
3.8.2 Método de Predicción de cobertura mediante las curvas digitalizadas de la FCC F (50,90).	56
3.8.3 Método de propagación Longley-Rice.....	57
3.8.4 Método de Okumura - Hata	59
3.8.5 La atenuación en el espacio libre	61
3.9 Altura efectiva del terreno.....	63
3.10 La difracción	65
3.10.1 Difracción “filo de cuchillo”	65
3.11 Método de Deygout.....	66
3.11.1 Corrección de Causebrook (a Deygout).....	68
3.12 Ajuste de curvas.....	69
CAPÍTULO IV	71
4. DESARROLLO	71
4.1 Levantamiento del perfil del terreno.....	71
4.2. Valores máximos de la intensidad de campo	77
4.3. Determinación de la altura de la antena transmisora/de base, h_1	79

4.4. Cálculo de la intensidad de campo eléctrico mediante altura de antena transmisora/de base, h_1 , en la gama de 10 a 3 000 m.	81
4.5 Interpolación de la intensidad de campo en función de la distancia	85
4.6 Corrección para altura de antena receptora/móvil	87
4.7 Corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno.	90
4.9 Cálculo de de cobertura mediante las curvas digitalizadas de la FCC F (50,90).	93
4.10 Cálculo de intensidad de campo eléctrico por el método de Okumura-Hata	95
4.11 Cálculo de intensidad de campo por el método de Longley-Rice.....	96
4.12 Propagación de ondas en el espacio libre.....	99
4.13 Atenuación debida a la vegetación.....	100
4.14 Atenuación debida a los obstáculos –.....	101
4.15 Presupuesto de enlace.....	102
4.16 Funciones Matemáticas de los modelos de estimación de cobertura.	104
4.17 Mediciones de campo.	111
CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES	126
BIBLIOGRAFÍA	128
REFERENCIAS	131
ANEXOS	132

Lista de ilustraciones

Ilustración 3-0-1. Arquitectura básica de un sistema de televisión digital	32
Ilustración 3-0-2. Estándares de la televisión digital	38
Ilustración 3-0-3. a) Ejemplo de señal de OFDM con 8 subportadoras en el dominio de la frecuencia; b) la señal total o resultante	45
Ilustración 3-0-4. Señal sinusoidal de ejemplo.	46
Ilustración 3-0-5. Modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM	47
Ilustración 3-0-6. Tasa de transmisión en función de la razón de potencia de portadora a ruido y razón de corrección de error.	48
Ilustración 3-0-7. Multitrayectorias, dispersión en el tiempo y OFDM.....	50
Ilustración 3-0-8. Multitrayectorias e intervalo de guarda.....	50
Ilustración 3-0-9. Interleaving en el dominio del tiempo	52
Ilustración 3-0-10. Sistema de una sola frecuencia.....	53
Ilustración 3-0-11. Altura efectiva del terreno.....	64
Ilustración 3-0-12. Coeficiente de obstrucción	66
Ilustración 3-0-13. Atenuación por difracción	66
Ilustración 3-0-14. Método Deygout.....	67
Ilustración 4-0-1. Radiales sobre Caracas	72

Ilustración 4-0-2. Ejemplo de perfil del terreno Radio Mobile.....	73
Ilustración 4-0-3. Perfil del terreno en el radial 90°	75
Ilustración 4-0-4. Perfil del terreno para el radial 210	76
Ilustración 4-0-5. Perfil del terreno para el radial 230.	77
Ilustración 4-0-6. Curvas de Estimación de cobertura según la recomendación UIT-R P.1546.	83
Ilustración 4-0-7. Mapa de caracas con los puntos de medición.....	112
Ilustración 4-0-8. Error Cuadrático Medio radial 230.	116
Ilustración 4-0-9. Error Cuadrático Medio radial 210	116
Ilustración 4-0-10. Intensidad de campo eléctrico en función de la distancia	119
Ilustración 4-11. Altura del terreno en el Radial 230.....	119

Lista de Tablas

Tabla 1. Parámetros de Transmisión.....	71
Tabla 2. Alturas del radial 90.....	74
Tabla 3. Alturas del radial 210.....	75
Tabla 4. Alturas del radial 230.....	76
Tabla 5. Intensidad máxima de campo eléctrico.....	78
Tabla 6. Cálculo de Altura Efectiva para cada radial.....	79
Tabla 7. Cálculo de la altura h1	80
Tabla 8. Cálculo de la altura h1	81
Tabla 9. . Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la altura de la antena base transmisora. Radiales 90-170 con un p.r.a de 1kW	84
Tabla 10. Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la altura de la antena base transmisora. Radiales 180-250 con un p.r.a de 1kW	84
Tabla 11. Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la distancia a la que se requiere la predicción, Radiales 90-170 con un p.r.a de 1kW.	86
Tabla 12. Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la distancia. Radiales 180-270 para un p.r.a de un 1kW	86
Tabla 13. Corrección para la altura de la estación receptora. Radiales 90-180	89
Tabla 14. Corrección para la altura de la estación receptora. Radiales 190-270	89
Tabla 15. Valores de factor de corrección de despejamiento del terreno. (Radiales 90- 170)	91
Tabla 16. Valores del factor de corrección de despejamiento del terreno. (Radiales 180-270)	92

Tabla 17. Estimación de la Intensidad de campo mediante el método de la FCC radiales 90-180. Para un p.r.a de 1kW	93
Tabla 18 .Estimación de la Intensidad de campo mediante el método de la FCC radiales 190-270. Para un p.r.a de un 1kW	94
Tabla 19. Estimación de intensidad de campo por el Método Okumura-Hata, Radiales 90-170	95
Tabla 20 Estimación de intensidad de campo por el Método Okumura-Hata, Radiales 180-270	96
Tabla 21. Estimación de intensidad de campo con el método de Longley-Rice, Radiales 90-170.....	97
Tabla 22. Estimación de intensidad de campo con el método de Longley-Rice, Radiales 180-270.....	98
Tabla 23. Atenuación debida a la propagación en el espacio libre	99
Tabla 24. Atenuación debido a un terminal en zona boscosa	101
Tabla 25. Presupuesto de enlace, desde 1km hasta 50km, considerando la atenuación por vegetación.	103
Tabla 26. Intensidad de campo eléctrico para el radial 230.	113
Tabla 27. Error Cuadrático Medio para el radial 230.	114
Tabla 28. Intensidad de campo eléctrico para el radial 210.....	114
Tabla 29. Error Cuadrático Medio para el radial 210	115
Tabla 30. Estimación para el método de la FCC para el radial 230.....	120
Tabla 31. Estimación para el método de la UIT 1546-a para el radial 230.....	121
Tabla 32. Estimación para el método de la UIT 1546-b para el radial 230	122
Tabla 33. Estimación para el método de Longley-Rice para el radial 230	122

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 60's la televisión ha sido un medio de comunicación masivo con un gran impacto sobre la población, más aún, se le ha atribuido la responsabilidad de los cambios culturales en gran escala. Este impacto lejos de decrecer puede incrementarse y transformarse con la aparición de nuevas tecnologías como es la televisión digital. La televisión digital representa el cambio tecnológico más radical en la industria televisiva, después de la aparición de la Televisión a color, además del surgimiento de nuevos servicios como la televisión móvil, la televisión interactiva, el servicio a la carta y otros muchos más beneficios. Prometen unir estos medios en uno solo y hacer del aparato televisor un terminal multimedia de mejores características. [2]

La televisión digital es una opción obligatoria, la televisión analógica va a desaparecer en 10-15 años. De hecho ahorita no se están fabricando transmisores analógicos ni sus repuestos. La opción era elegir el estándar que va a favorecer en los aspectos sociales, tecnológicos, económicos, creación de industria de Venezuela.

En 2009, Venezuela se enrumbó en la llamada televisión digital, entonces el Gobierno venezolano firmó con su homólogo japonés un memorándum de entendimiento con miras a iniciar la migración de la actual televisión analógica a la Televisión Digital Terrestre, siguiendo el modelo desarrollado por el país asiático con las mejoras introducidas por Brasil. Se proyectó el salto de la actual televisión al híbrido japonés-

brasileño denominado Transmisión digital de servicios integrados- terrestre brasileño, mejor conocido por sus siglas ISDB-Tb. [3]

Para explicar un poco que es el concepto de televisión digital se debe referir a la televisión analógica. La televisión analógica es el hecho de llevar una imagen y un sonido desde una distancia donde ocurren los hechos hacia los usuarios o personas destinatarias de ese mensaje. Para ello se muestrea mediante barridos como hacen las cámaras, las señales y se canalizan mediante la variación de las señales sinusoidales en amplitud, frecuencia y fase y esa la información que se envía.

Es lanzada a través del espectro radioeléctrico con un nivel de potencia, recibido por antenas y desmodulada para recuperar información que llega al usuario. Esta es la televisión analógica actual que todavía tenemos.

La televisión digital es un cambio de paradigma tecnológico. Es tanto como la energía eléctrica que produce una central hidroeléctrica y la energía eléctrica que produce una central nuclear. Así de complejo es cambiar a Digital y así de complejo ha sido el proceso para el cambio.

En televisión digital se procesa pixel a pixel, la cual es la mínima unidad de imagen. El color y la luminancia de cada uno de los puntos se traduce a un código digital que genera una cantidad de 0 y 1, los cuales se van armando en una trama y eso es lo que luego se modula sobre una portadora continua y se lanza al aire.

El decodificador reconstruye esa información bit a bit mediante algoritmos que por la parte digital le permite dar la construcción de la imagen aunque contenga errores y proporciona una imagen mucho más real, del fenómeno que ocurrió donde fue captado por la cámara.

El precio que se paga para tener esta mejora de la imagen, está en el umbral de recepción. En televisión analógica está dado por una apreciación subjetiva donde la señal a veces se podía ver defectuosa, con manchas, granulada y con diversos defectos. Mientras que en digital la señal se mantiene perfecta hasta un punto donde empiezan a ocurrir 3 fallas: Pixelado, que consiste en la pérdida de segmentos de información; congelado de la imagen, donde no se tiene información suficiente para presentar un nuevo cuadro y finalmente la pérdida completa de la señal. Eso ocurre en un pequeño margen muy cercano a la sensibilidad del receptor, el cual se conoce como efecto “precipicio”.

También influye la naturaleza de la señal, que en el caso de una señal analógica su distribución espectral de potencia es de tipo Gaussiano, lo cual hace que los canales analógicos no se puedan otorgar en forma adyacente. Es decir, no se puede tener el canal 31 y el 32 uno al lado del otro operando juntos, si no que es necesario guardar un canal de espaciamiento, al que se le conoce como canales tabú (no se pueden otorgar a otro operador).

La televisión digital está compuesto por un conjunto de portadoras ortogonales entre si (OFDM) y presenta una alta inmunidad al ruido y a la interferencia de canales adyacentes. Esto permite que los canales tabú que se han dejado de usar por la televisión analógica, puedan ahora ser ocupados.

La transmisión de la televisión digital se hará en los canales tabú, o los canales no utilizados por la televisión analógica, de manera que la transmisión se hará en forma simultánea (“simultcast”), hasta que ocurra el apagón analógico. Todos los canales que antes eran usados para la televisión analógica, serán desocupados, y dicho espectro, quedará disponible, tanto la parte inferior de la banda VHF como la parte superior de la banda UHF.

El Estudio a realizar es relevante para la implementación de la Televisión Digital Terrestre en el país, debido a que se desea disminuir el margen de error en los métodos de cobertura de televisión el cual es actualmente amplio [5]. Este proceso se llevara a cabo mediante mediciones y datos de cobertura previamente establecidos con la ayuda de distintos métodos de estimación de cobertura, considerando los factores que influyen en los métodos de cobertura en Venezuela y efectuando análisis de tipo matemático que permitan una disminución en el dimensionamiento de la potencia de los transmisores. Esto traerá consigo un ahorro en recursos a invertir, minimización del impacto ambiental, tanto en el consumo de energía como en generación de calor.

Venezuela está suscrita a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), organismo que emite recomendaciones sobre las normas en el ámbito de las telecomunicaciones, de coexistencia entre países y regiones; además emite recomendaciones para el mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico y uso de los estándares, definiendo parámetros de operación obtenidos por investigación y experimentación de las diversas administraciones del mundo, tanto de proveedores, operadores y académicos,

que permiten una mejor prestación de los servicios y desarrollo de las características.

El presente informe del proyecto de trabajo de grado fue estructurado de la siguiente manera: Capítulo I: Donde se plantea el problema de estudio, la justificación del proyecto y los objetivos a cumplir. Capítulo II: Se especifica el método de estudio seguido, explicando los pasos o fases seguidas para el cumplimiento de los objetivos trazados en el primer capítulo. Capítulo III: Se exponen los conceptos básicos a tener en cuenta para la comprensión del desarrollo. Capítulo IV: En esta parte del trabajo se explica con detalle el proceso de desarrollo, describiendo cada fórmula, tabla, gráfica y cálculos necesarios para cumplir con los requerimientos del diseño. Capítulo V: se establecen las conclusiones a las que llegó el investigador, exponiendo sucesivamente las recomendaciones a tomar para su aplicación y futuros estudios.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 El problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del problema

La Comisión Nacional de Telecomunicaciones es la encargada de llevar a cabo todas las mediciones y las adaptaciones que tienen que ver con el cambio de Televisión Analógica a la Televisión Digital Terrestre. Actualmente, CONATEL tiene un documento introducido en la UIT, donde se cuestionan los métodos predictivos de propagación establecido por la UIT, debido al margen de error que tienen estos métodos.

En el proceso de estimación de un servicio de televisión, el valor de la intensidad de campo especificado en los bordes del área de cobertura es un valor medio. Este representa un valor promedio de todos los valores reales de intensidad de campo que pueden ser medidos dentro de un área pequeña, siendo de 100m x 100m. Esto quiere decir, que dentro de esta área la mitad de los valores se encontrarán por encima de este valor promedio y la otra mitad por debajo (Margen de error relativo). Estas variaciones que afectan el valor promedio de la intensidad de campo dependen de diversos factores, los cuales se definen en la recomendación UIT-R P.1812-1.

En el caso de la televisión digital, es conocido que el comportamiento de los receptores es completamente diferente con respecto a los receptores de

televisión analógica. Cuando el valor de la relación C/N o C/I cae por debajo de un valor “mínimo” con menos de 1 dB, la imagen desaparece por completo. A este comportamiento se le define como “abismo digital” y el valor límite de la intensidad de campo se designa como intensidad de campo mínimo. Si el mismo concepto de cobertura utilizado para transmisión analógica se aplicara al caso digital, esto significaría que el 50% de las áreas a cubrir se encontrarían sin señal ya sea en los bordes del área de cobertura o cualquier otra área con obstrucciones locales. Esto es debido a que en la transmisión digital no existe una degradación continúa del servicio, la imagen cambia de perfecta a no verse, sin ningún tipo de niveles intermedios. Por lo tanto este valor de 50% es claramente inaceptable, niveles superiores de porcentaje de ubicaciones deben ser seleccionados para permitir la recepción en un mayor número de hogares, con instalaciones de recepción estándares. Es por esto que se habla de un valor mediano mínimo equivalente, ya que se busca aumentar el nivel de intensidad de campo mínimo, fijando un nuevo valor de 50% de ubicaciones, como una forma de disminuir los efectos producidos por la variación en las localidades.

La función del factor de corrección es elevar el nivel de intensidad de campo eléctrico de forma tal que el margen negativo de esta variación suba, asegurándose así que siempre se tenga la cobertura deseada para la recepción de la señal de transmisión de televisión digital.

Los métodos de estimación de cobertura para la televisión actualmente tienen un margen de error relativo amplio. Este margen de error relativo actual es la principal causa del sobredimensionamiento de los transmisores de televisión digital, los planificadores de redes han creado un factor de corrección para garantizar en mayor proporción, la recepción de la señal. Este

factor de corrección varia en distintos países y su función es de desplazar el margen de error negativo para que la señal transmitida tenga un mayor nivel y pueda ser recibida y decodificada correctamente, cumpliendo así con las recomendaciones de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT). [5]

Aquí se está pensando en el impacto ambiental y en las radiaciones no ionizantes en el efecto que pueda causar en la salud, y en el ahorro y consumo de energía, debido a que estos transmisores son de baja eficiencia, porque se paga la eficiencia en una gran exactitud en el procesamiento de las señales. Estos tipos de amplificadores en el mejor de los días llegan a un 20% de rendimiento, es decir, que de cada 100 vatios, 20 lo procesa como energía útil y los otros 80 los disipa en forma de calor. Y cuando se maneja altos niveles de potencia es un impacto ambiental severo. Sin considerar el proceso de refrigeración y extracción de la potencia disipada, lo que genera aún un mayor consumo eléctrico.

El dimensionamiento de un transmisor en el sistema analógico, cuyo rendimiento típico de los transmisores es de 50 ó 60%, no se ve tan afectado.

Como consecuencia del sobredimensionamiento de los transmisores, debido al factor de corrección, se aumenta directamente la potencia de transmisión. Un error en sobredimensionamiento ocasionaría un exagerado consumo de energía, la cual es vital para Venezuela, cabe recordar que hace dos años Venezuela; sufrió una crisis energética, y una contaminación radioeléctrica y térmica del ambiente que debe ser considerada, además del

ahorro que significaría comprar los transmisores en el rango de potencia necesario y no más del que se necesita.

Otra razón por la cual es necesario reducir el factor de corrección del nivel de potencia transmitido, es que ahora se emplearán los canales adyacentes en el espectro radio eléctrico, que implican una mayor densidad espectral de potencia en el medio ambiente y cuya repercusión para los operadores de los sistemas y población en general, dentro de su zona de cobertura es una mayor absorción de radiaciones no ionizantes.

Ante esta problemática cabe destacar las siguientes preguntas:

¿Los errores relativos de los modelos predictivos existentes (que generalmente hacen sobredimensionar los transmisores) representan un daño al medio ambiente y la población circundante al sitio de transmisión?

¿Se puede llegar a una relación matemática entre los valores predichos a través métodos existentes y valores registrados mediante mediciones en campo?

¿Se puede plantear un método propio (venezolano) para realizar los cálculos de las nuevas estaciones de Televisión Digital Abierta y verificar el error relativo o absoluto para corregirlo sin degradar el margen de desvanecimiento?

1.1.2 Justificación

Actualmente Venezuela se encuentra en la implementación de la Televisión Digital Abierta, la cual cambiaría la forma en que se disfruta la televisión en el país.

Mediante esta tecnología los venezolanos y venezolanas pueden disfrutar de este nuevo concepto de televisión la cual trae consigo numerosas ventajas como poder aplicar técnicas de compresión de datos, logrando así un aprovechamiento del espectro radio eléctrico. Por ejemplo, un canal analógico tiene un ancho de banda típico de 6 MHz en América y 8 MHz en Europa. En este mismo ancho de banda pueden transmitirse varios canales de video y audio digital. [6] Otra de las ventajas es la de añadir servicios de interactividad, agregando un decodificador o directamente en un televisor digital que cuente con este dispositivo integrado.

También posibilita resoluciones superiores en video, efectos en el sonido (envolvente y dolby), y sobre todo, mejor uso del ancho de banda. Entre la información adicional que proporciona un canal digital de televisión se encuentra, fecha, hora, descripción del programa, subtítulos en varios idiomas , audio en varios idiomas, guía de programación en tiempo real, búsquedas, etc. Quizá la característica más importante de la TV digital, para los padres de familia, es la clasificación de los programas. Esto permite controlar la televisión para que a infantes y adolescentes les sean restringidos programas no aptos para su edad. Con la televisión analógica no se puede efectuar esta función.

Pese a que la digitalización en que se apoya la Televisión Digital Terrestre hace que aumente de manera significativa la capacidad potencial de las redes de transmisión, el crecimiento de la demanda de ancho de banda hace que los recursos sigan siendo un problema clave para la regulación; destaca entre ellos el problema del acceso al espectro radioeléctrico. El cual sigue siendo un recurso finito, incluso en la era digital.

Aunque el paso de las tecnologías analógicas a las digitales, tanto para la telefonía móvil como para la radiodifusión, se traducirá en última instancia en ahorros significativos, esta transición se efectuará con lentitud.

El deseo en mejorar y seguir apuntando a un mundo más avanzado tecnológicamente ha dado cabida a este enorme proyecto en el cual se unió Venezuela. Pero como es de conocimientos público, estos grandes proyectos tienen sus dificultades y necesitan una gran inversión para poder llevarlos a cabo.

Es por eso que el gobierno bolivariano ha tomado la misión de llevar a gran parte de la nación esta tecnología, el despliegue de la misma trae consigo algunas limitantes y propuestas de mejora ya que se encuentra en el punto de desarrollo, el cual no es el óptimo hablando de la eficiencia y practicidad.

Es necesario hacer los estudios de cobertura con diferentes métodos predictivos y formar una matriz comparativa entre métodos, para luego

obtener las medidas de los niveles de señales de recepción, comparar todos los métodos teóricos.

El mejoramiento de este sistema se tendrá que llevar a cabo mediante simulaciones con paquetes de simulación del tipo Computer Asist Design (CAD) y por análisis matemáticos los cuales se esperan que se pueda reducir este margen de error y así inducir en el mercado transmisores de menor tamaño y que disipen menos potencia al medio ambiente.

Si se lograra minimizar este margen de error se podría evitar un sobre-dimensionamiento, disminuyendo así el consumo de energía, y minimizando la contaminación radioeléctrica y térmica del ambiente, la cual debe ser considerada, además de evitar un derroche de dinero en adquirir transmisores en el rango de potencia que no se utilizarían.

1.1.3 Antecedentes

Desde el año 2001, CONATEL ha estado analizando los diversos estándares de Televisión Digital Terrestre (TDT), esto con el propósito de tomar una decisión para seleccionar el que será implementado en el país, para que los venezolanos empiecen a disfrutar de este nuevo concepto de televisión, que ofrece la posibilidad de recibir muchos más canales en su televisor y añadir servicios de interactividad, agregando un decodificador o directamente en un televisor digital que cuente con ese dispositivo integrado. El estudio

realizado se trata del desempeño entre los estándares de Televisión Digital Terrestre DVB-T e E ISDB-T [7]

Parra, R (2008, pág. 5) “Se planteó el estudio del diseño de un sistema de televisión digital terrestre configurado como red de frecuencia única, basándose en el estándar europeo DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial), para cubrir la ciudad de Caracas, Distrito Capital. Se utilizó el canal radioeléctrico 4 8, con el propósito de trabajar en la banda UHF, ya que esta será la que eventualmente se destinará para el uso de los sistemas de televisión digital terrestre. Primero fue necesario establecer la cantidad y calidad de los programas a transmitir en el sistema, para luego definir los parámetros, realizar los cálculos pertinentes, y simular los valores hallados, determinando las características que debía tener la red para poder cumplir con lo establecido. Se recurrió a tablas, formulas, y el método de predicción de cobertura basado en la recomendación UIT-R Rec. P.1546 para poder definir los parámetros de transmisión. El estudio permitió comprobar la factibilidad del diseño para una posible implementación del sistema, cumpliendo con los requisitos impuestos por CONATEL. Las redes de frecuencia única supondrán un ahorro en espectro y economía jamás imaginado con sistemas analógicos”

En el presente trabajo se basará en las recomendaciones de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), de la serie P, específicamente en la UIT-R P1812 y en la UIT –R P1546, las cuales tratan sobre los métodos de predicción de modelos de propagación en distintas bandas de frecuencia.

1.1.4 OBJETIVO GENERAL

EVALUAR LOS MODELOS PREDICTIVOS DE COBERTURA PARA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE, COMISIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL).

1.1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ★ Estudiar la estructura organizativa y operativa de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).
- ★ Estudiar los métodos predictivos de: UIT R-P.1546, Okumura-hata, FCC, Longley-Rice para de estimación de cobertura.
- ★ Evaluar dichos los métodos predictivos de estimación de cobertura, para formar una matriz comparativa entre ellos.
- ★ Realizar simulaciones mediante programas de diseño asistido por computadora, los cuales sean validados por las recomendaciones de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), para contrastar los resultados obtenidos con mediciones experimentales.
- ★ Estimar las tendencias para determinar el factor de corrección del método que mejor se aproxime más a los valores experimentales de acuerdo a la matriz comparativa.
- ★ Proponer el factor final con sus limitaciones.

1.1.6 Alcance

El trabajo estará delimitado para un factor de corrección de forma tal que el sistema transmisión conste de un equipo transmisor (sin estaciones repetidoras) y para usuarios fijos de televisión digital terrestre.

CAPÍTULO II

2. Metodología

2.1 Fases Metodológicas

A continuación se enuncian las fases metodológicas del proyecto, siendo cada una de ellas tratadas con mayor detalle en el capítulo 4 de Desarrollo, constituyendo las etapas de evolución del trabajo de grado:

1. Se realizó el estudio técnico y documentación acerca de la Televisión Digital Terrestre, mediante investigaciones sobre la tecnología de la Televisión Digital implementado por distintos países, en los cuales ya está funcionando esta tecnología, distintas charlas dadas por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones sobre el estándar de TDA, sobre el estado actual de la TDA en Venezuela.
2. Se estudiaron las recomendaciones de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) con relación a la serie p, específicamente en la UIT-R P.1812, P.1546, P.369, P.525, P.526, P.832, P.833 para poder aplicar los métodos de estimación de cobertura y conocer el cálculo de los diferentes valores que estos métodos exigen para su completo desarrollo.
3. Se Investigaron los distintos métodos más usados para el cálculo de cobertura como son el método descrito en la recomendación P.1546 de la UIT de dos formas distintas como es en función de la altura de la antena transmisora y en función de la distancia, con las debidas correcciones que lleva consigo el método de la UIT, el

método de la FCC, el método de Longley-rice, el método de Okumura-Hata y el modelo de propagación en el espacio libre.

4. Se realizó un estudio de los distintos programas de diseño asistido por computadora (CAD, por las siglas en inglés de Computer Asist Design) y los cuales estén acorde las reglas de correspondencia con respecto a las recomendaciones de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) (Serie P) para las estimaciones de intensidad de campo eléctrico.
5. Se realizó una matriz comparativa en la cual se muestran los distintos métodos de predicción de cobertura estudiados, con los valores obtenidos en las mediciones hechas en la ciudad de Caracas. Se comparó los métodos teóricos estudiados con los valores medidos en la ciudad de Caracas; la comparación se hizo con el criterio matemático del error cuadrático medio, el cual compara los valores predichos con los valores reales y arroja como resultado que método de estimación de cobertura es el más aproximado a los valores encontrados en las mediciones de intensidad de campo para la ciudad de Caracas. El método más adecuado viene indicado por el menor error cuadrático medio para el cálculo de predicción de cobertura para los radiales de trabajo.
6. Teniendo los resultados anteriores se procedió a identificar una regla de correspondencia del factor de corrección, la cual se llevó a cabo a través de análisis matemáticos de datos obtenidos mediante métodos teóricos y mediciones reales tomando el valor promedio de las funciones matemáticas de los valores medidos y estimados, se compararon para sacar un factor de corrección que dependiendo del método de estimación de cobertura se le añade y

da como resultado una aproximación de los valores medido en la ciudad de caracas.

CAPÍTULO III

3 Marco teórico.

En el presente capítulo se presentan algunos conceptos básicos para el entendimiento del desarrollo del proyecto, cualquier otra información clave se encuentra referida a los anexos.

3.1 Televisión Digital.

La televisión digital es una tecnología de transmisión avanzada que ha transformado la experiencia de ver televisión. TVD permite a los broadcasters disponer de televisión con una mejor calidad de imagen y sonido, y varios canales de programación.

En contraste con la televisión tradicional, que envía sus ondas de manera analógica, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria, habilitando así la posibilidad de crear vías de retorno entre consumidor y productor de contenidos, abriendo así la posibilidad de crear aplicaciones interactivas. (Canal Digital, 2012).

Es importante resaltar que la arquitectura básica de un sistema de TV digital, en lo que al segmento de transmisión se refiere, básicamente está compuesta por los bloques que muestra la ilustración 3-0-1. (Comisión Nacional de Telecomunicaciones, Conatel, 2007) .

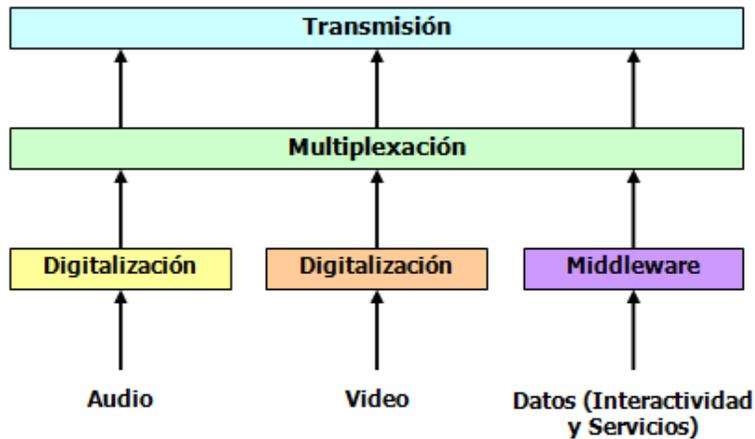


Ilustración 3-0-1. Arquitectura básica de un sistema de televisión digital

Fuente: Comisión Nacional de Telecomunicaciones.

3.2 Televisión Digital Terrestre

La Televisión Digital Terrestre (TDT) es la aplicación de la tecnología digital a la transmisión de contenidos, siendo más robusta frente al ruido e interferencias. Así se consiguen mayores posibilidades, como proveer de un mayor número de canales, mejor calidad de imagen o imagen en alta definición (HD) y mejor calidad de sonido. También permite la posibilidad de crear vías de retorno entre consumidor y productor de contenidos (interactividad). El alcance de la TDT no tiene relación con la recepción de televisión por cable o satélite. (Cipriano, 2009)

3.3 Ventajas de la Televisión Digital frente a la Televisión Analógica

Las principales ventajas de la televisión digital frente a la televisión analógica actual son las que se describen a continuación:

3.3.1 Mayor calidad de imagen y sonido

La imagen, sonido y datos asociados a una emisión de televisión se codifican digitalmente en un formato prácticamente idéntico al MPEG-2 usado en los DVD. La calidad de imagen y sonido transmitidos es directamente proporcional a la velocidad binaria a que se codifica cada uno de los flujos. Sin embargo, en el dispositivo receptor del usuario la calidad puede verse degradada por las interferencias en la señal transmitida, que en la televisión analógica se traducen en nieve, ruido en la imagen, dobles imágenes, colores deficientes y sonido de baja calidad. En la TDT el flujo binario resultante de codificar la imagen, el sonido y los datos del programa se transmite mediante una modulación de espectro digital llamada COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Esta modulación permite los posibles rebotes de la señal en los obstáculos del entorno, los cuales hacen que las señales se superpongan de manera aditiva entre sí (es decir, que aumenten la potencia y relación señal a ruido) siempre que la señal rebotada llegue durante el tiempo de símbolo. De esta manera, y en los entornos habituales, las interferencias no degradan sino que mejoran la potencia y relación señal a ruido de la señal recibida. (Canal Digital, 2012)

3.3.2 Mayor número de emisiones de televisión

La tecnología de televisión analógica actual sólo permite la transmisión de un único programa de televisión por cada canal UHF de 6 MHz. Además los canales adyacentes al que tiene lugar una emisión han de estar libres para evitar las interferencias mutuas entre las señales (Canales Tabú). La mayor capacidad de canales se consigue en TDT mediante dos mejoras. Por una parte la modulación digital COFDM genera formas de onda en el dominio frecuencial mucho más cuadradas que las analógicas, minimizando la señal de un canal que llega a los adyacentes. Además se pueden variar ciertos parámetros de COFDM como el intervalo de guarda para asegurarse de reducir las interferencias entre canales al mínimo. Debido a todo lo anterior es posible hacer uso de más canales UHF que en el caso de las transmisiones analógicas, y además con esta tecnología es posible el despliegue de redes SFN (Single Frequency Network), o redes de ámbito nacional donde se usa siempre la misma frecuencia para unos determinados programas.

En segundo lugar, la codificación digital de los programas permite que en el ancho de banda disponible en un solo canal UHF se puedan transmitir varios programas con calidad digital similar a la de un DVD. El número de programas simultáneos depende de la calidad de imagen y sonido deseadas, si bien en la actualidad es de cinco programas (lo cual da una buena calidad en imágenes con movimientos lentos). Sin embargo la gran flexibilidad de la codificación MPEG-2 permite cambiar estos parámetros en cualquier momento, de manera transparente a los usuarios. (Canal Digital, 2012)

3.3.3 Mayor flexibilidad de las emisiones y servicios adicionales

En cada canal radio-frecuencias se emite un único flujo MPEG-4 (para el estándar ISDB-Tb), que puede contener un número determinado de flujos de vídeo, audio y datos. Aunque varios operadores compartan en uso de un canal multiplexado (multiplex), cada uno puede gestionar el ancho de banda que le corresponde para ofrecer los contenidos que desee. El aprovechamiento de toda esta información por parte del usuario es posible gracias a las diversas aplicaciones de que dispone el receptor TDT. (Canal Digital, 2012)

3.4 Características de la Televisión Digital Terrestre.

La transmisión terrestre de televisión se ve afectada por dispersión de energía, zonas de sombra y reflexiones que provocan ecos. En transmisión analógica, esos problemas se manifiestan como nieve, ruido en la imagen, dobles imágenes, colores deficientes y sonido de baja calidad. En transmisión digital, al estar la señal codificada, se recibe una imagen siempre íntegra, pero se acaba llegando al denominado “abismo digital”: cuando la señal no es suficiente para los circuitos decodificadores se pierde completamente la recepción. Una recepción óptima suele necesitar menor potencia de señal que una transmisión analógica de calidad normal.

La imagen, sonido y datos asociados a una emisión de televisión se codifican digitalmente en formato MPEG-4. La calidad de imagen y sonido transmitidos es proporcional al caudal de datos asignado dentro del flujo final transmitido por cada múltiplex.

El problema de los ecos se ha solventado en el sistema europeo aplicando la modulación COFDM (La duración de los bits es superior a los retardos, evitando ecos y permitiendo reutilizar las mismas frecuencias en antenas vecinas).

En la TDT el flujo binario resultante de codificar la imagen, el sonido y los datos del programa se transmite mediante miles de portadoras entre las que se reparte la energía de radiación.

Una de las grandes ventajas de la COFDM es que, como la velocidad de transmisión de cada portadora es extremadamente baja, la señal modulada permanece en el mismo estado de modulación durante un intervalo de tiempo considerable. Gracias a esto, a diferencia de lo que sucedía con la modulación VSB, utilizada en analógico, ahora cuando llega al receptor la misma señal con diferentes retardos, se tiene interferencia constructiva mientras la diferencia entre los tiempos de llegada no sea superior al llamado intervalo de guarda. Además, la codificación incorporada a este tipo de modulación dispone de mecanismos para la detección y corrección de errores que mejoran la tasa de error en las señales recibidas en entornos especialmente desfavorables.

La codificación digital de los programas permite que en el ancho de banda disponible en un solo canal UHF se puedan transmitir varios programas con calidad digital similar a la de un DVD. El número de programas simultáneos depende de la calidad de imagen y sonido deseadas; es decir, entre más información pueda enviarse, mejor es la calidad en la recepción.

El bloque de cuatro canales de emisión que se emite por un canal habitual de UHF recibe el nombre de MUX (múltiplex). El flujo binario del MUX es la multiplexación de los programas que lo componen. La relación de flujo de cada programa multiplexado se puede regular a voluntad, lo que es equivalente a regular la calidad de los mismos. Como el flujo depende del contenido de la imagen, muchas variaciones o mucho detalle de una imagen producen más flujo binario, el aprovechamiento óptimo del MUX se produce cuando todos sus componentes tienen la misma importancia comercial, lo cual se realiza mediante un control estadístico del flujo. En cada canal de radiofrecuencia se emite un único flujo MPEG-4, que puede contener un número arbitrario de flujos de vídeo, audio y datos. Aunque varios operadores compartan el uso de un canal multiplexado (múltiplex), cada uno puede gestionar el ancho de banda que le corresponde para ofrecer los contenidos que desee.(Parra, 2008)

3.5 Estándares de la televisión digital terrestre.

Debido al desarrollo de los distintos sistemas de transmisión de televisión analógica a color, se han creado varios estándares para la transmisión de televisión digital terrestre. Existen tres zonas de normalización en cuanto a Televisión Digital se refiere: Japón, Estados Unidos y Europa.



Ilustración 3-0-2. Estándares de la televisión digital

Fuente: <http://es.wikitel.info/wiki/Imagen:MundoTDT.JPG>

3.5.1 ATSC (Advanced Television System Committee)

Desarrollado en Estados Unidos en 1993 por la Gran Alianza, consorcio integrado por AT&T, Zenith, MIT, entre otros. Sus características están basadas en el sistema NTSC. El sistema de modulación utilizado es el 8VSB.

3.5.2. DVB (Digital Video Broadcasting)

El proyecto DVB (*Digital Video Broadcasting*) es una alianza de aproximadamente 300 compañías de difusión, fabricantes, operadores de red, desarrolladores de software, entidades reguladoras y otras instituciones más a nivel mundial, creado en 1993, con el fin de elaborar especificaciones para la difusión de televisión digital y la provisión de servicios de datos, para que sean estandarizadas por Instituto Europeo de Estandarización de Telecomunicaciones (ETSI). El DVB se caracteriza por ser un estándar abierto, flexible, ínter operable y de propósitos comerciales, que además cuenta con la capacidad de recepción móvil.

3.5.4 DMB-T/H de China (DTMB)

China (con Hong Kong y Macao) eligió DMB-T/H (Digital Multimedia Broadcasting- Terrestrial/Handheld) como estándar DTV. Aunque originalmente se le llamó Transmisión-Terrestre/Portátil Digital (DMB-T/H por las siglas en inglés de Digital Multimedia Broadcast-Terrestrial/Handheld), la confusión con la norma coreana DMB hizo que el estándar haya sido oficialmente bautizado como Transmisión Digital Terrestre Multimedia (DTMB por las siglas en inglés de Digital Terrestrial Multimedia Broadcast). En Corea usan la norma norteamericana ATSC para la transmisión de TDT, pero también tienen su propia norma para dispositivos móviles conocida como DMB (con sus variantes T-DMB y H-DMB). Aunque las siglas de esa norma coreana sean prácticamente las mismas de la norma china, estas dos no tienen nada que ver.

La norma china fue definida en 2006 y recibió la aprobación final de la República Popular China en Agosto 2007, comenzando transmisiones en Hong Kong el 31 de Diciembre 2007. Su definición estuvo a cargo de la Universidad Jiaotong en Shanghai y la Universidad Tsinghua en Beijing. DTMB es una fusión de varias tecnologías e incluye derivaciones de la norteamericana ATSC y la europea DVB-T. La transmisión de datos es implementada mediante el estándar TDS-OFDM ("Time Domain Synchronuous-Orthogonal frequency-division multiplexing"), el cual, de acuerdo con el co-desarrollador de DMB-T con la Universidad Tsing Hua, es capaz de transmitir calidades "aceptables" de señal para receptores HDTV moviéndose (por ejemplo un vehículo) a velocidades de hasta 200 Km/h. Otra de sus ventajas es que tiene un alcance 10 Km mayor a la norma DVB-T. También permite la transmisión de varios canales por una misma frecuencia. Finalmente, es uno de los pocos estándares que incluye desde sus inicios soporte para dispositivos móviles, como celulares y reproductores multimedia. Una de las desventajas es que no define codecs de compresión (como MPEG-4 y MPEG-2), dejando esa decisión a discreción del

transmisor. Eso significa que los receptores tendrán que ser capaces de descifrar múltiples formatos, lo que los haría más caros.

Las Olimpiadas Beijing 2008 se transmitieron en China y Hong Kong en el formato DTMB, en alta definición (720p o 1080i) y con sonido Dolby Digital 5.1. (Espinosa, 2009)

3.5.5 ISDB-T (Terrestrial - Integrated Services Digital Broadcasting)

El estándar ISDB fue desarrollado por el Digital Broadcasting Experts Group (DiBEG) y el consorcio ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) en Japón. Este incluye radiodifusión de televisión digital, sonidos y servicios de datos y es designado como Radiodifusión Digital de Servicios Integrados (ISDB), incluye los estándares para servicios terrestres, por cable y por satélite. La investigación y desarrollo comenzó en la década de los 80, comprende varios documentos que especifican la distribución de video digital por cable (ISDB-C), por satélite (ISDB-S) y terrestre (ISDB-T), este último incluye terminales móviles. El estándar ISDB-T comenzó a utilizarse en Japón en diciembre del 2003 y en Brasil en diciembre del 2007.

De forma general se puede decir que el estándar ISDB tiene las siguientes características:

- Provisión de servicios interactivos con diversos canales de retorno (líneas telefónicas fijas, teléfonos móviles, redes de área local cableadas e inalámbricas, etc).
- Transmisiones de señales mediante redes de frecuencia única.
- Acceso condicional y protección de copia.

-Distribución de datos genéricos, no restringidos a audio y video, aunque posibilitando por ejemplo flujos de video alternativos como MPEG-4.

Las velocidades de transmisión en ISDB-T pueden variar hasta aproximadamente 34 Mbps.

3.5.5.1 Modulación

El estándar ISDB-T emplea COFDM. Sin embargo, en este caso, se han incorporado las siguientes variantes:

- Incorporación de un “interleaver” temporal, en el cual la posición temporal de un grupo de bits es permutada de acuerdo a una determinada secuencia. El objetivo de este bloque es mejorar el desempeño del sistema en presencia de interferencias tales como el ruido impulsivo.
- División de la banda de RF de 6 MHz en 13 segmentos independientes, haciendo posible el envío de 3 programaciones SDTV diferentes de forma simultánea, cada una de ellas con modulación diferente, o una HDTV. Asimismo, uno de estos segmentos es asignado directamente para recepciones portátiles y móviles. Por esta razón, la modulación en ISDB-T es llamada BST-OFDM (Band Segmented Transmisión – OFDM), es decir, OFDM segmentada.
- Además de los modos de transmisión configuraciones de 2 mil y 8 mil portadoras (2K y 8K), ISDB-T incorpora el modo 4 mil portadoras (4K). En el caso de 2K y 8K el número de portadoras difiere de las de DVB-T.
- Incorporación de la modulación DQPSK

Por otra parte, en ISDB-T también se implementan las mismas “intervalos de guarda” que en DBV-T, es decir, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.

3.5.5.2 Codificación de Video y Audio

Al igual que en DVB-T, la técnica de compresión de video utilizada por ISDB-T es MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1 – ITU-T H.222.0). Sin embargo, y también al igual que en DVB-T, recientemente también se ha incorporado la técnica MPEG-4 que disminuye la tasa del bit en relación a MPEG-2, para una misma resolución de video.

Para la compresión del audio, el estándar ISDB-T utiliza MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding), del estándar ISO/IEC 13818-7. MPEG-2 ACC que soporta hasta 48 canales con tasas de muestreo desde 8 kHz a 96 kHz, capacidades multicanal (canal monofónico, canal estereofónico y sistema 5.1), multilinguaje y multi-programa. Las tasas de bit, por canal, varían desde 8 kbps (para señal monofónica), hasta 128 kbps (para señal estereofónica) y 320-384 kbps (para el sistema 5.1). No obstante, el ahorro en el consumo de bits empleados para la codificación redonda en una mayor complejidad computacional.

Por otra parte, MPEG-2 ACC suele presentar un mejor desempeño que MPEG-2 Audio, pero no es compatible con MPEG-1.

3.5.5.3 Middleware

El middleware utilizado en ISDB-T es el estándar ARIB (Association of Radio Industries and Business), que define las reglas de aplicación de un modelo de referencia para el servicio de radiodifusión de datos, transportado como parte del servicio de radiodifusión digital, definido por el estándar japonés ISDB.

El middleware ARIB es un modelo de aplicación que permite la programación de contenido y aplicaciones. Este middleware está definido por un conjunto de estándares, siendo los principales el ARIB STD-B24 y ARIB STD-23

El ARIB STD-B24 (Data Coding and Transmission Specification for Digital Broadcasting), que entre otras cosas, especifica un lenguaje declarativo BML (Broadcast Markup Language), desarrollado por la propia ARIB. El lenguaje BML se basa en XML (Extensible Markup Language), y se usa para especificar servicios multimedia para TV digital interactiva.

El ARIB STD-B23 (Application Execution EnginePlatform for Digital Broadcasting), basado en el middleware DVB-MHP, es una tentativa de la ARIB que busca establecer un núcleo común entre los dos (02) otros middlewares existentes en el mercado, es decir, MHP y ACAP (Advanced Common Application Platform), éste último el middleware de ATSC-T, con el objetivo de poder compartir la misma plataforma, en el futuro.

3.6 OFDM (multiplexación por división de frecuencias ortogonales)

OFDM tiene su origen en la década de 1960 en los laboratorios de Bell Labs. Se basa en varias señales ortogonales moduladas a frecuencias ligeramente diferentes y transmitidas simultáneamente a través de una conexión física como un cable o un canal inalámbrico. La tecnología OFDM divide el flujo de datos en varios subcanales.

En primer lugar OFDM permite utilizar en una forma más eficiente el espectro debido al solape que existe entre subcanales adyacentes tal como se muestra en la ilustración 3-3. Otorga además una mayor robustez frente a interferencia en el canal y por último ofrece un desempeño excelente frente al problema de multitrayectorias generado por la reflexión, difracción y dispersión de las señales radioeléctricas en el terreno.

Tales perturbaciones en el medio de propagación pueden producir interferencias entre símbolos de información diferentes que han sido transmitidos consecutivamente. El problema se agrava a medida que la tasa de transmisión aumenta, o equivalentemente, a medida que el espacio de tiempo entre símbolos consecutivos disminuye. Utilizando OFDM el espacio de tiempo entre símbolos consecutivos en cada subcanal se torna decenas o cientos de veces mayor que en un canal normal equivalente a decir que la tasa de transmisión de datos en cada subcanal se torna mucho menor. Esto permite solucionar o al menos mitigar drásticamente el problema de interferencia entre símbolos consecutivos.

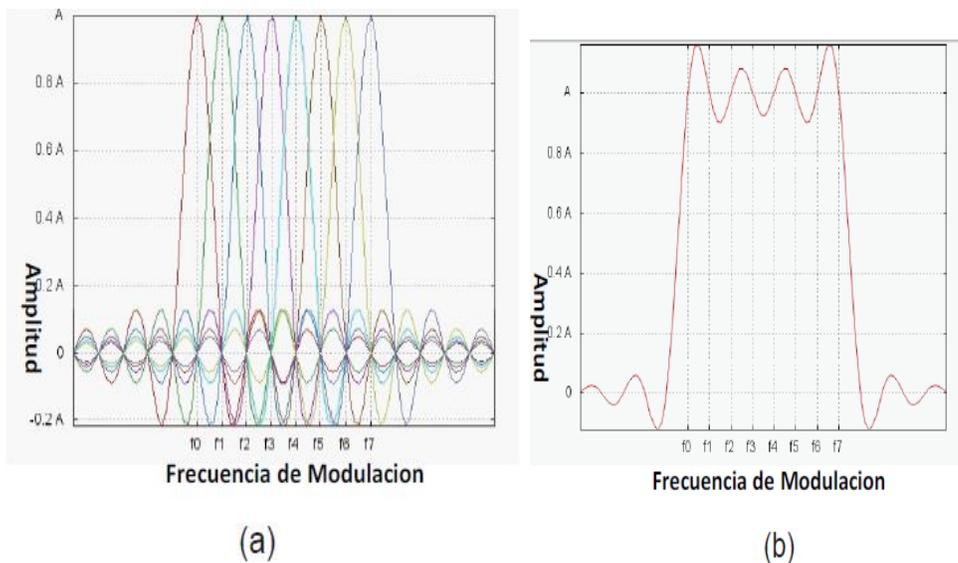


Ilustración 3-0-3. a) Ejemplo de señal de OFDM con 8 subportadoras en el dominio de la frecuencia; b) la señal total o resultante

Fuente: Televisión Digital al alcance de todos, Luis A. Loyola.

De esta forma si la primera subportadora tiene una frecuencia F , la segunda tendrá una frecuencia $2F$, la tercera $3F$, etc. Todas estas frecuencias son múltiplos de la frecuencia Fundamental. OFDM es un sistema de modulación de multiportadora que nos permite alcanzar una enorme eficiencia en el uso de espectro radioeléctrico en las transmisiones inalámbricas. (Loyola, 2011)

3.6.1 Modulaciones Digitales en ISDB-T

La modulación es una técnica que permite representar la información transmitida de un punto a otro mediante la variación de la forma de una señal. Si lo que se está transmitiendo es información digital, ésta vendrá en forma de bits. La modulación nos permite mapear esos bits de información a señales sinusoidales en el tiempo. Una señal sinusoidal como la que se aprecia en la

cuánto demora un ciclo de la señal. En el sistema 16 QAM no se modula sólo la fase sino también la amplitud de la señal sinusoidal según la combinación que se grafica en la ilustración 3-0-5. El sistema 16 QAM consta de 16 símbolos donde cada símbolo representa 4 bits de información. El caso de 64 QAM es similar al de 16 QAM sólo que éste consiste de 64 símbolos donde cada uno representa 6 bits de información como se observa en la ilustración 3-5. Debido a problemas de espacio en el caso de 64QAM sólo se han incluido los valores numéricos de 6 bits en la línea superior de la figura. (Loyola, 2011)

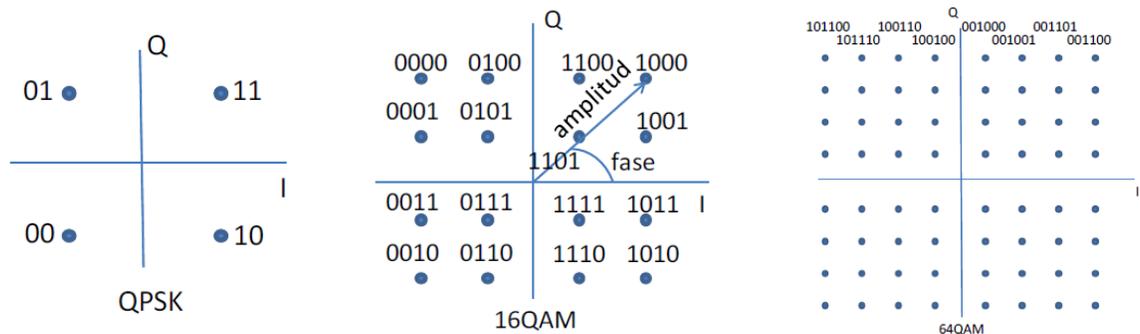


Ilustración 3-0-5. Modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM

Fuente: Televisión Digital al alcance de todos, Luis A. Loyola.

La modulación 64 QAM permite enviar 3 y 1,5 veces más información que QPSK y 16QAM por símbolo transmitido, respectivamente. Sin embargo, la mejor modulación dependerá finalmente de cuánto sea el nivel de potencia con que se pueda recibir la señal por sobre la potencia de ruido e interferencia. La ilustración 3-0-6 muestra la tasa de transmisión que puede alcanzarse en función de la potencia o calidad de recepción en cualquiera de estos 3 sistemas de modulación. Como puede observarse en la ilustración 3-6 existe un balance o *trade-off* entre la potencia de recepción de la señal y la tasa de transferencia de datos. Vale la pena mencionar que la potencia de la señal en decibeles por

sobre la de ruido e interferencia denominada SNIR por sus siglas en inglés (Signal to Noise and Interference Ratio) se calcula de acuerdo a la siguiente expresión: (Loyola, 2011)

$$SNIR_{db} = 10 \log \left(\frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido} + \text{Potencia Interferencia}} \right)$$

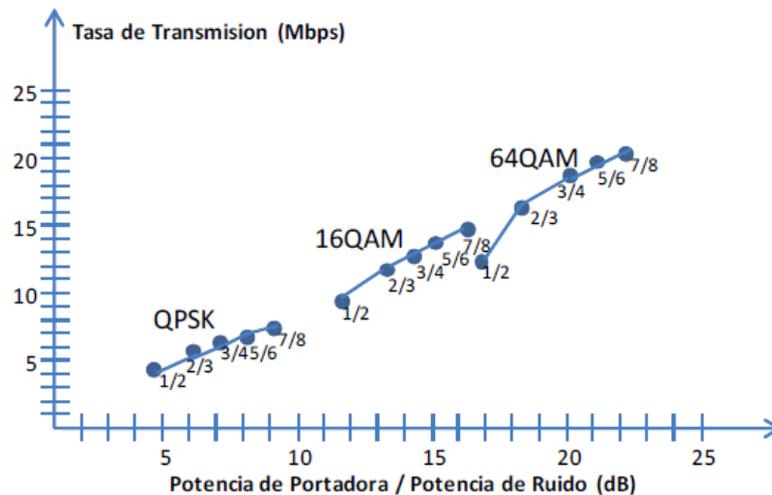


Ilustración 3-0-6. Tasa de transmisión en función de la razón de potencia de portadora a ruido y razón de corrección de error.

Fuente: Televisión Digital al alcance de todos, Luis A. Loyola.

3.6.2 Intervalo de guarda en OFDM

En la sección 3.6 se mencionaron las ventajas que ofrece OFDM frente al problema de multitrayectorias producido por las reflexiones (o “rebotes”) y refracciones de una señal electromagnética que viaja por el aire en obstáculos como edificios, árboles, postes de alumbrado, etc. Para graficar un poco mejor en qué consiste este problema consideremos la ilustración 3-0-7 en que un receptor recibe tres rayos de una señal: uno en línea directa desde el transmisor y otros dos que provienen de la misma señal reflejada en obstáculos. Lo

primero que se debe considerar es que los tres rayos llegarán en tiempos diferentes al receptor. El rayo que llega más rápido es lógicamente aquel que llega en línea directa desde el transmisor mientras que los rayos reflejados llegarán con cierto retraso que dependerá básicamente de la distancia que hayan recorrido en total incluyendo sus reflexiones o rebotes. El tiempo que se demora un rayo desde el transmisor al receptor puede ser calculado como la distancia total recorrida por el mismo dividida por la velocidad de propagación en la atmósfera, la cual en la práctica resulta ser un poco menor que la velocidad de la luz. En la práctica estas diferencias de tiempo entre diferentes rayos de emisión son del orden de decenas o centenas de microsegundos dependiendo del canal de propagación, especialmente si éste es urbano, rural, o si la propagación se realiza dentro de alguna edificación. El problema principal radica en que esos escasos microsegundos son suficientes para producir interferencia entre símbolos enviados consecutivamente por el transmisor. A modo de ejemplo que un transmisor usa QPSK y envía datos a 4 Mbps.

Eso equivale a una tasa de transmisión aproximada de 2 millones de símbolos por segundo. El espacio de tiempo entre dos símbolos consecutivos será en este caso la mitad de un microsegundo. Si el segundo y tercer rayo incidente en el receptor arriban tan sólo 1 y 2 microsegundos más tarde que el primero se producirá un traslape de símbolos diferentes con amplitudes disímiles (como se muestra en la ilustración 3-0-8) que hacen más difícil al receptor la tarea de decodificar correctamente la información transmitida. La herramienta que se utiliza para corregir esta interferencia que produce el traslape parcial de diferentes símbolos con amplitudes disímiles se llama *ecualizador* y es una parte importantísima de todo sistema de recepción de portadora única. (Loyola, 2011)

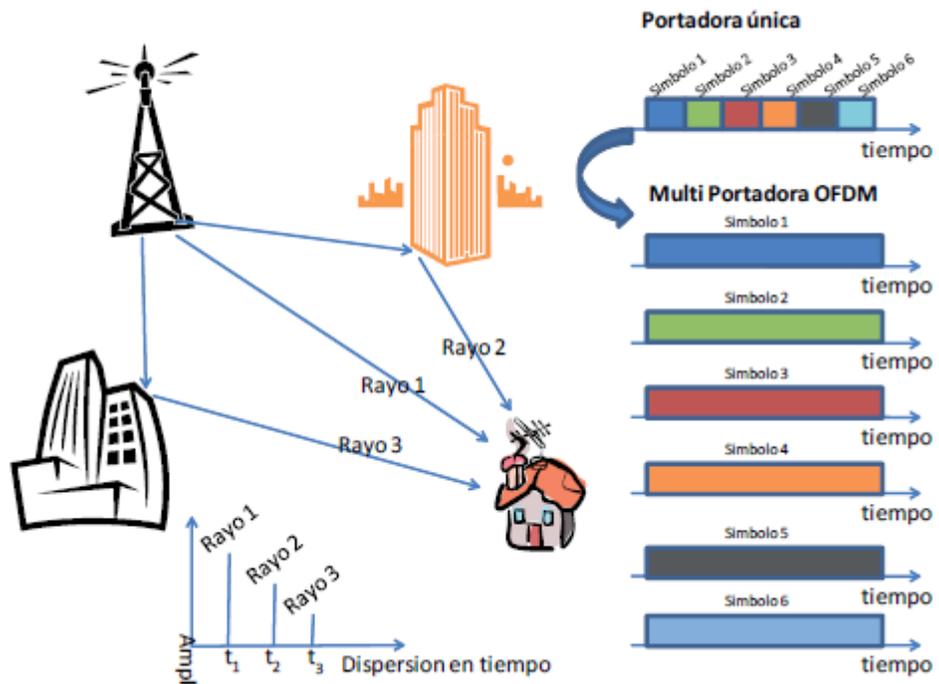


Ilustración 3-0-7. Multitrayectorias, dispersión en el tiempo y OFDM

Fuente: Televisión Digital al alcance de todos, Luis A. Loyola.

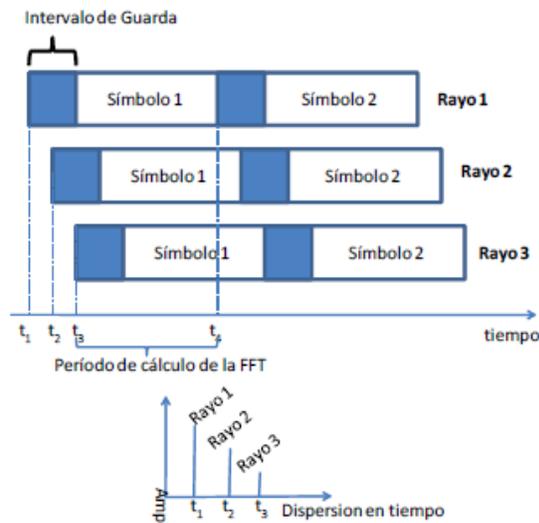


Ilustración 3-0-8. Multitrayectorias e intervalo de guarda

Fuente: Televisión Digital al alcance de todos, Luis A. Loyola.

Utilizando OFDM en uno de los 3 modos de transmisión de ISDB-T (2K, 4K, 8K) se puede dividir el flujo de símbolos de información en 432 subportadoras.

OFDM ofrece enormes ventajas con respecto a un sistema convencional de transmisión que utiliza una portadora única como el caso del sistema estadounidense de televisión ATSC. Tal como se muestra en la ilustración 3-0-8 si la máxima dispersión en el tiempo de la señal debido a las multitrayectorias no es mayor al intervalo de guarda entonces será capaz de decodificar perfectamente el símbolo usando el período de cálculo de FFT que se observa en la figura y un ecualizador de tan sólo una etapa.

Una de las mayores ventajas técnicas proporcionadas por OFDM es su resistencia frente al fenómeno de multitrayectorias experimentado por cualquier señal inalámbrica. Dicho fenómeno se produce por los fenómenos de reflexión, difracción y dispersión que experimenta la señal en obstáculos físicos que encuentra en su propagación a través del aire o del espacio. El fenómeno de trayectorias múltiples se resuelve en un sistema tradicional de portadora única con un componente llamado ecualizador que atenúa el efecto que produce el solape de símbolos consecutivos. (Loyola, 2011)

3.6.3 Interleaving en el tiempo

Tal como se muestra en la ilustración 3-0-9 la técnica de Interleaving en el tiempo consiste en alterar el orden temporal de transmisión de los paquetes de información después de que éstos han sido codificados con los códigos de corrección de errores de Reed-Solomon y convolucionales. Si en el canal de transmisión se produce una ráfaga de errores como la que se aprecia en la ilustración 3-0-9 la técnica de Interleaving ayuda a distribuir

homogéneamente los errores en el tiempo para facilitar la tarea del decodificador en el equipo receptor. El período de tiempo en el que se reordenan los paquetes de información es el factor más importante del Interleaving ya que define la latencia o tardanza con que llegarán los paquetes antes de poder reconstruir el orden de transmisión original. Lógicamente, entre mayor es el período de Interleaving mayor resistencia se tiene frente a los errores en ráfaga debido a que la información queda mejor distribuida temporalmente, pero al mismo tiempo existe la desventaja de una mayor latencia o tardanza antes de poder reconstruir el orden de transmisión original y lógicamente un mayor procesamiento en el receptor para hacer este reordenamiento a tiempo. En ISDB-T la técnica de Interleaving se usa en cada uno de los 13 segmentos de información y el período del Interleaving se ajusta al modo de transmisión de manera de proveer el mejor nivel de recepción posible.

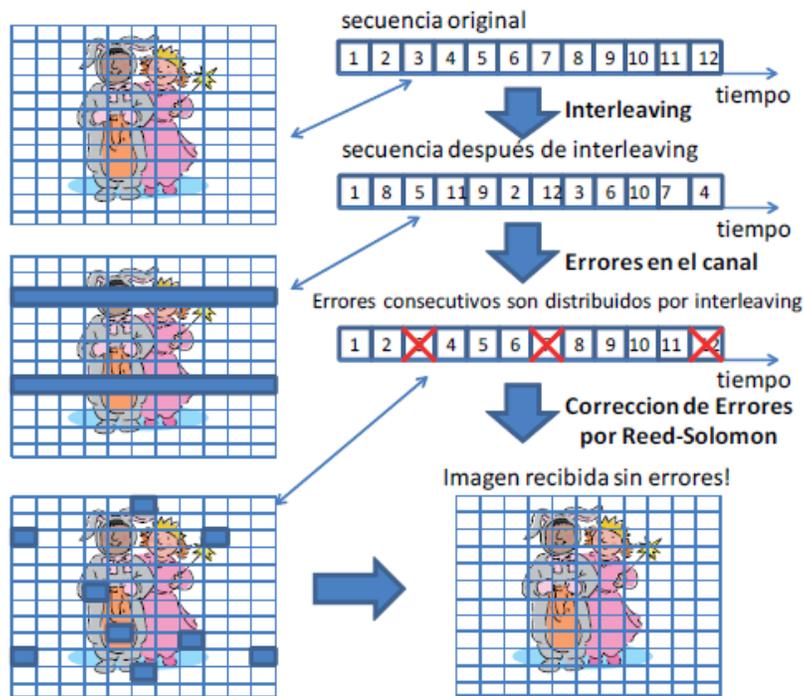


Ilustración 3-0-0-9. Interleaving en el dominio del tiempo

Fuente: Televisión Digital al alcance de todos, Luis A. Loyola.

3.7 Distribución de Frecuencias

3.7.1 Red de una sola Frecuencia (SFN)

El sistema ISDT-B ha contemplado el uso de un sistema con una única frecuencia por canal televisivo en el que una estación base de origen transmite la señal con alta potencia y otras estaciones la amplifican y retransmiten a una menor potencia utilizando exactamente la misma frecuencia original. El mayor problema asociado a este tipo de redes es la relación con la interferencia entre símbolos producida en el receptor por causa de múltiples antenas transmitiendo en la misma frecuencia. Este problema es drásticamente reducido en ISDB-T gracias al intervalo de guarda que utiliza OFDM. Lógicamente, entre mayor es el intervalo de guarda mayor es la protección contra la interferencia procedente de otras antenas y por esa razón los modos de transmisión 2 y 3 de la Tabla (Anexo1) son los elegidos en este tipo de situaciones. La ilustración 3-10 muestra un diagrama del sistema. (Loyola, 2011)

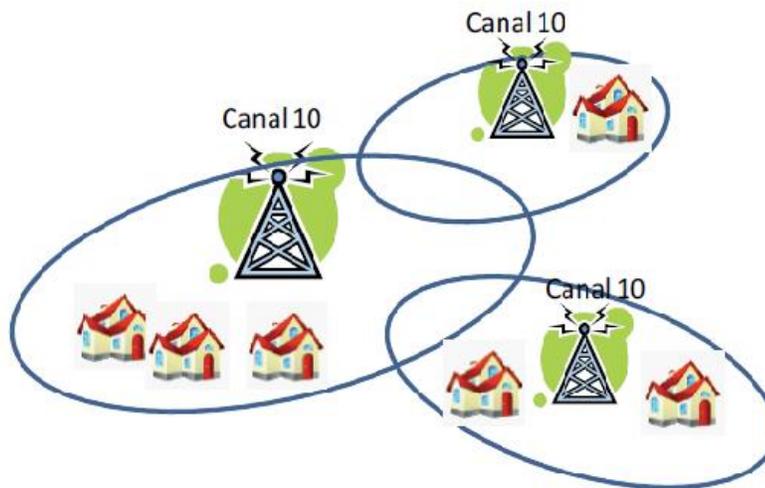


Ilustración 3-0-10. Sistema de una sola frecuencia

Fuente: Televisión Digital al alcance de todos, Luis A. Loyola.

3.8 Métodos para la estimación de cobertura.

3.8.1 Método propuesto por la UIT según la recomendación de la UIT-R P.1546.

El método de la UIT para la predicción de cobertura, es un método empírico que predice el valor de E(dBu) en enlaces zonales; este modelo es aplicable para radiodifusión, enlaces móviles y fijos punto-multipunto. Es válido para rangos de frecuencias entre 30MHz y 3GHz y de distancias 1 y 1000Km.

El método consiste en familias de curvas estándar aplicables a dos entornos de propagación de tierra y mares; las curvas están representadas para una potencia de emisión (PRA) de 1KW, alturas efectivas de antenas de estación base de 10 a 1200m, alturas representativas de terminales de 10m y para frecuencias de 100, 600 y 2000MHz. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2011)

Para sacar el valor final de campo E(dBu), se interpola en las curvas en el siguiente orden:

- Interpolación en función de la altura de la antena transmisora h_1 .
- Interpolación en función de la distancia.
- Corrección para la altura de antena receptora.
- Corrección debida al ángulo de despejamiento de terreno.

El método se fundamenta en una amplia base de información sobre mediciones de Intensidad de campo y pérdidas de trayecto que han sido formulados para alcanzar el grado de exactitud requerido para iniciar la

planificación de los servicios radioeléctricos que funcionan en determinadas bandas de frecuencia. Es un procedimiento de punto a zona que radica anticipadamente el valor intermedio de la distribución espacial del área estudiada.

El método considera los efectos que una topografía irregular, a medida que el terreno es más irregular, las señales se moderan por efecto de dispersión, sombra o divergencia de las ondas difractadas razón por la cual el método requiere la aplicación de factores de corrección que consideren los efectos que puede tener un terreno irregular en la propagación.

Muestran valores ajustados para que la intensidad de campo eléctrico corresponda a una potencia radiada aparente de 1kW y un porcentaje de tiempo y ubicaciones de 50%.

Además, se añaden las correcciones oportunas de entre las cuales están las siguientes:

- Corrección por ángulo de despeje: 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.
- 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 1,5m.
- 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.

De este método de la UIT-R P.1546 se puede sacar 2 estimaciones distintas de intensidad de campo eléctrico como son en función de la antena transmisora h1 y en función de la distancia a la cual se requiere la predicción, en el capítulo 4 se mencionaran los métodos de 1546-a y 1546-b los cuales son los dos métodos comentados anteriormente y respectivamente.

3.8.2 Método de Predicción de cobertura mediante las curvas digitalizadas de la FCC F (50,90).

El método propuesto por la FCC para el cálculo de cobertura, se basa en el análisis de una cantidad considerable de datos experimentales obtenidos a través de mediciones realizadas en Norte América. Las curvas de predicción para la intensidad de campo se refieren a un tipo de terreno montañoso irregular.

En este método los efectos locales del terreno en el área de recepción no son tomados en cuenta. La familia de curvas usada en este método, fueron obtenidas en forma experimental por medio de mediciones de intensidad de campo eléctrico a diferentes distancias del centro de irradiación y para diferentes alturas de la antena de transmisión.

La altura sobre nivel promedio del terreno es calculada tomando puntos de elevación con igual separación (sobre el nivel del mar) junto con al menos ocho (8) radiales de igual separación desde el sitio del transmisor (comenzando en el norte verdadero). Los puntos de elevación son distribuidos en un segmento entre 3 a 15km a lo largo de cada radial. Los puntos de elevación junto con cada radial son promediados, luego los radiales promedios se promedian para obtener así el valor final del HAAT. Las variaciones del terreno dentro de los 3km del sitio donde se ubica el transmisor usualmente no tienen un gran impacto en la cobertura de la estación.

Con la ayuda de las curvas de la FCC es posible hacer una estimación para la cobertura de televisión digital, estas curvas de la FCC son públicas y también están digitalizadas en la página principal de la FCC. Estas curvas digitalizadas generan una mayor precisión con referencia a utilizar las mismas curvas no digitalizadas, en cuanto a la estimación del campo eléctrico en diferentes puntos.

Se necesitaron diferentes parámetros de entrada para el uso correcto de las curvas digitalizadas de la FCC, los cuales fueron los siguientes valores de entrada.

3.8.3 Método de propagación Longley-Rice.

Método de propagación Longley-Rice (ITS irregular terrain model).

Este método se aplica a sistemas punto a punto y a sistemas de comunicación en el rango de frecuencias desde VHF hasta EHF, es decir, desde los 40MHz hasta los 100GHz, sobre diferentes tipos de terrenos. La pérdida media de propagación es

obtenida utilizando información sobre la geometría del terreno entre el receptor y transmisor, y las características refractivas de la troposfera. El programa Radio Mobile está programado en base al método mencionado.

En general este método necesita unos parámetros iniciales que se requieren definir para realizar la predicción de cobertura, dentro de estos se encuentran:

- Banda de frecuencia.
- Polarización.
- Alturas de las antenas con respecto a la tierra y ganancia de las mismas.
- Refractividad de la superficie. UIT-R P.453
- Radio efectivo de la tierra.
- Clima.
- Conductividad del terreno. UIT-R P.832
- Constante dieléctrica del terreno. UTI-R P.527
- Topografía del terreno.
- Potencia del transmisor.
- Sensibilidad del equipo receptor.

Además de todos los datos preliminares en cuanto a la atenuación usa las pérdidas por difracción por obstáculos aislados que son estimadas utilizando el modelo de “filo de cuchillo” (Knife Edge) de Fresnel-Kirchoff.

Este método también analiza los fenómenos de dispersión en la troposfera para hacer predicciones sobre distancias largas. El método Longley-Rice dispone de una detallada descripción del perfil del terreno, facilitando la obtención de los parámetros de propagación, a esto se le conoce como modo de predicción punto a punto.

Este método de propagación se puede simular gracias al software Libre Radio Mobile, este programa está basado en el modelo de predicción de propagación sobre terreno irregular del US Institute for Telecommunications Science (ITS), conocido como modelo de Longley-Rice.

Puede evaluar si un radio enlace es posible entre dos lugares dados y calcula las prestaciones de dicho enlace.

Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED.

3.8.4 Método de Okumura - Hata

Fue elaborado por Masaharu Hata en 1980, quien recolectó información de las curvas de intensidad de campo eléctrico creadas por Okumura y creó un grupo de ecuaciones para calcular las pérdidas por trayecto. Consiste en una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de VHF y UHF, de los 150MHz a los 1500MHz. Hata, presentó las pérdidas dentro de un área urbana como una fórmula estándar

$$L_{urbano}(dB) = 69.55 + 26.16 * \log(fc) - 13.82 * \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 * \log(h_{te}) * \log(d))$$

Ecuación 1

Donde:

$$h_{re}: \text{altura de la antena receptora } (1 \text{ m} < h_{re} < 30 \text{ m})$$

h_{te} : altura de la antena transmisora ($30\text{ m} < h_{te} < 200\text{ m}$)

f_c : frecuencia de la portadora ($150\text{ Mhz} < f_c < 1500\text{MHz}$)

$a(hre)$: factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que es función del tipo de área de servicio

d : distancia entre transmisor y receptor.

El factor de corrección para altura efectiva ' $a(hre)$ ', está definido según sea el tamaño de la ciudad.

Para pequeñas y medianas ciudades:

$$a(hre) = (1.1 * \log(fc) - 0.7) * hre - (1.56 * \log(fc) - 0.8) \text{ (dB)}$$

Para grandes ciudades:

$$a(hre) = 8.29 * (\log(1.54 * hre))^2 - (1.1) \text{ (dB) para } f_c < 300\text{MHz}$$

$$a(hre) = 3.2 * (\log(11.75 * hre))^2 - (4.97) \text{ (dB) para } f_c > 300\text{MHz}$$

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

$$L(\text{dB}) = L_{\text{urbano}} - 2 * (\log(fc/28))^2 - 5.4$$

Para aéreas rurales:

$$L(\text{dB}) = L_{\text{urbano}} - 4.78 * (\log(fc))^2 + 18.33 * \log(fc) - 40.94$$

A pesar de que el modelo de Hata no tiene correcciones específicas para distintas rutas, lo que sí existen para el modelo de Okumura, las predicciones de Hata son muy similares a las predicciones de Okumura para distancias Tx - Rx mayores a 1km.

En el presente estudio se utilizó el presente método dado con las variaciones de la UIT, el cual en el capítulo 4 se define la ecuación y sus diversos parámetros.

3.8.5 La atenuación en el espacio libre

El espacio libre se define como un medio dieléctrico homogéneo, isótropo y alejado de cualquier obstáculo, lo cual hace que esta circunstancia se de pocas veces en nuestro entorno.

La superficie de la tierra como ya se conoce no es uniforme, y además la tierra presenta una curvatura; por lo tanto si las antenas están dispuestas de forma conveniente y sin ningún obstáculo entre ellas, se puede considerar que la única atenuación producida es la del espacio libre.

Para calcular las pérdidas, se supone un equipo transmisor con una potencia denominada PT , Además de que la antena de dicho equipo radia igual en todas las direcciones del espacio y si el medio no posee pérdidas, no se produce absorción de energía.

Por lo tanto cualquier superficie esférica centrada en la antena será constante, con lo que la densidad de potencia (S) en cualquiera de las esferas centradas en la antena será proporcional al inverso del cuadrado de la distancia (d) a la antena, quedando de la siguiente manera:

$$S = \frac{Pt}{4\pi d^2} [W/m^2]$$

Ecuación 2

Debido a que las antenas no son omnidireccionales, sino que concentran la energía en determinadas direcciones; se llamará GT a la

ganancia o incremento de radiación en la dirección de interés, con lo que en dicha dirección tenemos:

$$S = \frac{Pt * Gt}{4\pi d^2} [W/m^2]$$

Ecuación 3

El equipo receptor tendrá una antena que captará parte de esa densidad de potencia y este la entregará al receptor. Para calcular el valor de dicha energía se debe definir el área efectiva o apertura AE de la antena receptora como la relación de potencia captada por la antena receptora (PR) y la densidad de potencia incidente sobre ella. Por lo tanto la potencia recibida (PR) quedara expresada como:

$$Pr = S * Ae = \frac{Pt}{4\pi d^2} * Gt * Ae$$

Ecuación 4

Existe una expresión que relaciona la apertura efectiva con la directividad de la antena receptora (D), la cual es:

$$Ae = \frac{\lambda^2}{4\pi} * D$$

Ecuación 5

Haciendo uso de la ecuación X y teniendo en cuenta la eficiencia de las antenas, se sustituye la directividad por la ganancia, se puede calcular la atenuación como el cociente entre la potencia recibida y transmitida. [2]

$$A = \frac{Pt}{Pr} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 * \frac{1}{Gt * Gr}$$

Ecuación 6

La atenuación en el espacio libre se conoce como la atenuación sin tener en cuenta la ganancia de las antenas receptora (GR) y transmisora (GT):

$$A = \frac{Pt}{Pr} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

Ecuación 7

Se puede expresar también en decibeles, lo cual resulta:

$$A_{EL}(dB) = 32.45 + 20 * \log(f_{MHz}) + 20 * \log(d_{Km})$$

Si se consideran las ganancias de las antenas receptora (GR) y transmisora (GT), se obtiene entonces la fórmula de Friis.

$$A(dB) = 32.45 + 20 * \log(f_{MHz}) + 20 * \log(d_{Km}) - Gt - Gr$$

Ecuación 8

Conociendo el valor de la atenuación en el espacio libre, y suponiendo que no existe otro fenómeno, ya que se encuentra en un medio ideal, se puede entonces calcular la potencia recibida.

$$Pr_{dB} = Pt_{dB} - A_{dB}$$

Ecuación 9

Se puede entonces decir que la atenuación del espacio libre se debe únicamente a la expansión de las ondas electromagnéticas en el espacio y al tamaño físico limitado de las antenas y que no tiene relación con ningún otro fenómeno. (Gamez, 2007)

3.9 Altura efectiva del terreno

Este estudio permite calcular la altura efectiva de un transmisor en aquellos radiales definidos por el usuario mediante una separación en azimut.

La altura efectiva de un transmisor, según se define en las recomendaciones UIT-R P.370 y UIT-R P.1546, es la altura de la antena sobre el nivel medio del terreno para distancias comprendidas entre 3 y 15 km en la dirección de la antena receptora.

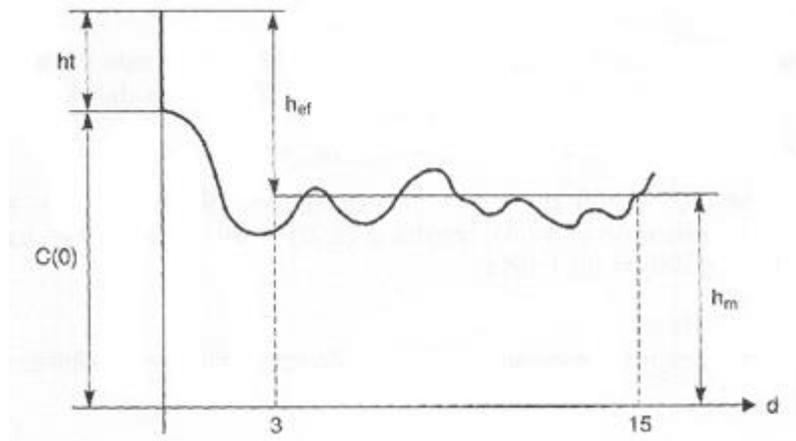


Ilustración 3-0-0-11. Altura efectiva del terreno

Fuente: http://www.xirio-online.com/help/es/effective_height.html

$$H_{eff} = H_{Tx} + H_{Tsnm} - H_{prom}. \text{ Ecuación 10}$$

Donde:

H_{eff} : altura efectiva del cada radial.

H_{Tx} : altura de la antena o mástil.

H_{Tsnm} : $C(0)$ en la ilustración 3-0-11, altura de la estación base transmisora, Sobre el nivel del mar.

h_{prom} : altura promedio de cada radial, tomando en cuenta la altura del terreno sobre el nivel del mar en los kilómetros del 3-15.

Cuando el $H_{eff} \leq 0$, Se toma un $H_{eff} = 90$.

El H_{eff} se calcula para cada radial, debido a que cada radial tiene alturas promedio distintas.

3.10 La difracción

Se conoce como difracción al fenómeno que ocurre cuando una onda electromagnética incide sobre un obstáculo. En ciertas ocasiones la Tierra y sus irregularidades pueden impedir la visibilidad entre las antenas transmisora y receptora, y la zona oculta ante la antena transmisora es la que se conoce como zona de difracción. En esta zona los campos no son nulos debido a la difracción causada por el obstáculo, y por tanto es posible la recepción, y hasta con atenuaciones superiores a las del espacio libre. (Martínez, 2002).

3.10.1 Difracción “filo de cuchillo”

El filo de cuchillo es el modelo más simple para una obstrucción aguda, que en un plano por lo general horizontal puede considerarse infinita. Para el cálculo de la atenuación producida por este obstáculo, se utiliza un parámetro que depende del despeje normalizado, al cual se le denota con el símbolo v , y 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, entre el radio del elipsoide que delimita la primera zona de Fresnel. (Zamora M, 2012)

Este cociente se multiplica por 2 y si la altura del obstáculo queda por encima de la línea que une al trayecto h es positiva, en caso contrario será negativa, lo que define el signo de v ; esto se puede observar en la ecuación:

$$V = h \sqrt{\frac{3(d_1+d_2)}{\lambda * d_1 * d_2}}$$

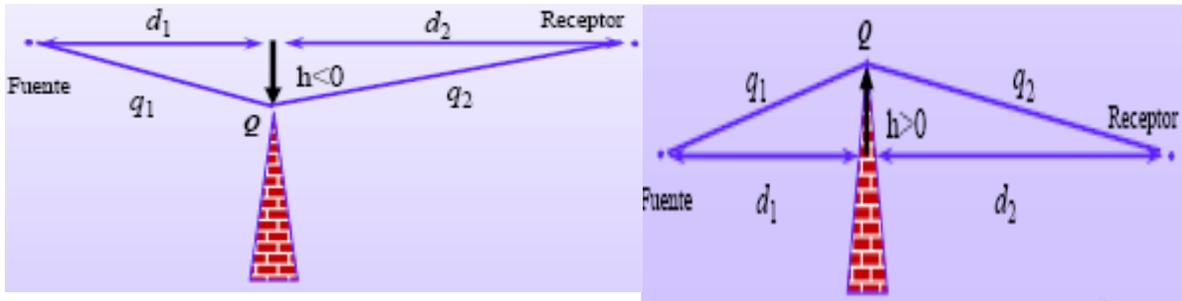


Ilustración 3-0-12. Coeficiente de obstrucción

fuelle:http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo2.pdf

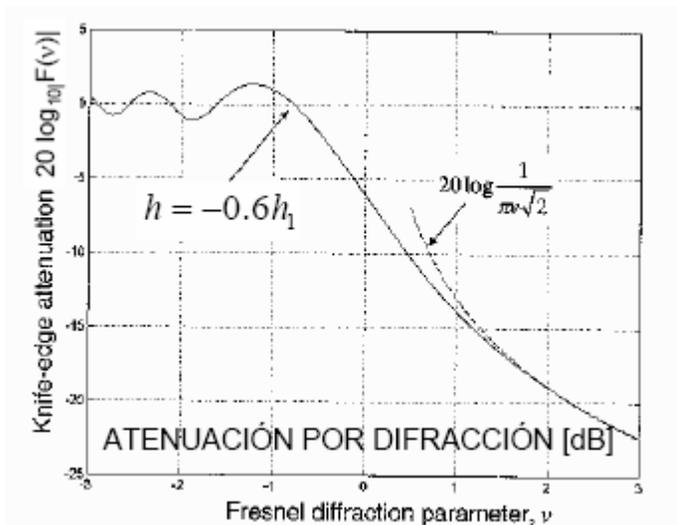


Ilustración 3-0-13. Atenuación por difracción

fuelle:http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo2.pdf

3.11 Método de Deygout

Es un método simple de aplicar y da resultados razonables bajo ciertas circunstancias restrictivas. Primero, el parámetro de difracción v para un obstáculo agudo simple se expresa, en general como:

$$V(d_a, d_b, h) = h * \sqrt{\frac{2(d_a + d_b)}{\Lambda * d_a d_b}}$$

Ecuación 11

Donde:

d_a : es la distancia desde la fuente hasta el obstáculo.

d_b : es la distancia desde el obstáculo hasta el punto de campo destino.

h : es la altura en exceso del obstáculo considerado.

Se considerará la situación mostrada a la izquierda. El parámetro v de cada obstáculo agudo se estima primero como si el obstáculo fuese único, es decir:

$$v_1 = v(d_1, d_2 + d_3 + d_4, h_1)$$

$$v_2 = v(d_1 + d_2, d_3 + d_4, h_2)$$

$$v_3 = v(d_1 + d_2 + d_3, d_4, h_3)$$

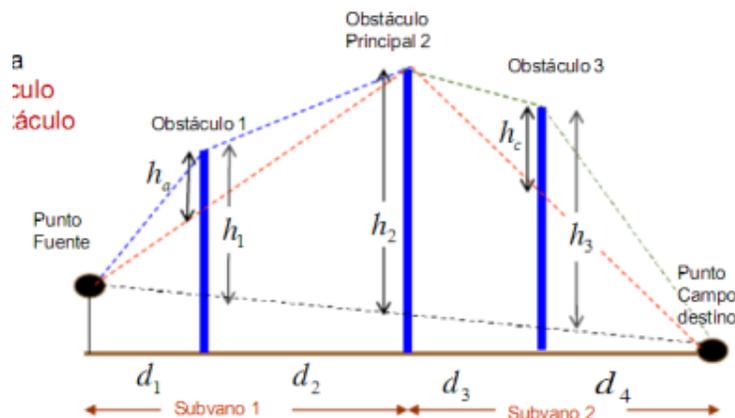


Ilustración 3-0-14. Método Deygout

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/112043892/Lecture-9-Analisis-de-Radiopropagacion-P7>

El borde (obstáculo) con el valor positivo más grande de v se designa el borde principal, en este caso el borde 2. Las pérdidas del borde único (dB) para este borde se obtienen igual que antes:

$$L_{Princ} = L_D(v_2)$$

El borde principal ahora se usa para dividir el vano o trayecto en dos subvanos. El punto en la cúspide del borde principal se trata como si fuera el punto de destino con respecto a la fuente, y como una fuente para el punto destino original. Los nuevos parámetros v se calculan para los dos segmentos de trayectos (vanos) con respecto a estos nuevos trayectos:

Las pérdidas totales por exceso se calculan al combinar las pérdidas desde el borde principal y desde cada uno de los subvanos:

$$L_{exe} = L_D(v1^*) + L_D(v2) + L_D(v3^*)$$

Ecuación 12

En el ejemplo, los dos subvanos contienen solamente un único borde (obstáculo). Si se presentan múltiples bordes, el método completo puede ser re aplicado al subvano y esto se continúa hasta que cada subvano contiene un solo borde o ninguno. De esta forma, se puede predecir la difracción sobre cualquier número de bordes.

3.11.1 Corrección de Causebrook (a Deygout)

El método Deygout tiende a sobreestimar las verdaderas pérdidas de trayectoria cuando hay un número grande bordes, o cuando pares de bordes se encuentran muy cercanos. A efecto de reducir este problema, Causebrook propuso una corrección aproximada derivada del análisis exacto de la solución propuesta por Millington para dos bordes. Partiendo del resultado de Deygout en dB:

$$L_{exe} = L_1^* + L_2 + L_3^*$$

Ecuación 13

La expresión de corrección está dada por:

$$L_{exe}^{Corr} = L_1^* + L_2 + L_3^* - C1 - C2$$

Ecuación 14

Los factores de corrección C1 y C2 están dados por:

$$C1 = (6 - L_2 + L1) * \cos\alpha_1; \quad C2 = (6 - L_2 + L3) * \cos\alpha_3$$

Ecuación 15

Donde:

$$\cos\alpha_1 = \sqrt{\frac{d1(d3 + d4)}{(d1 + d2) * (d2 + d3 + d4)}}$$

Ecuación 16

$$\cos\alpha_3 = \sqrt{\frac{d4(d1 + d2)}{(d3 + d4) * (d2 + d3 + d1)}}$$

Ecuación 17

Y L_1 y L_3 son las pérdidas debido a los bordes 1 y 3, respectivamente, obtenidas en el caso que solo ellos existieran (uno a la vez) con respecto a el punto fuente y el punto de campo destino. En este método, solo los bordes que están encima del trayecto LOS relativo se toman en cuenta.

3.12 Ajuste de curvas

El ajuste de curvas se utiliza cuando se tiene una serie de datos calculados y se desea conocer valores intermedios no conocidos, o también en aquellos casos en que se desee una versión simplificada de una función que se ajuste a un número de valores concretos, y posteriormente usar la función simplificada para derivar nuevos valores.

Ajustar una curva implica ajustar una función $g(x)$ a un conjunto de datos (x_i, y_i) , $i=1,2,\dots,L$. $g(x)$ puede ser un polinomio, una función lineal o combinación de funciones conocidas.

Hay básicamente dos métodos para lograr ajuste de curvas:

1. Si los datos no son muy exactos o tienen asociado un error entonces la mejor manera es establecer una sola curva que represente la tendencia general de los datos

observados. Se conoce como regresión lineal, cuyo método más sencillo es la regresión por mínimos cuadrados.

2. Si los datos que se tienen son precisos se trazan una o varias curvas que pasan por cada uno de los puntos de datos. A esto se le llama interpolación, la cual puede ser lineal o curvilínea. (Romero, 2007)

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO

4.1 Levantamiento del perfil del terreno.

El primer paso para analizar el terreno es el levantamiento de un perfil. Para este procedimiento es necesario ubicar la estación base transmisora, el cual está en Mecedores con una latitud de $10^{\circ}31'54.00''N$, y longitud de $66^{\circ}52'31.00''O$. Gracias a la software de trabajo libre 'Radio Mobile', se ubicó la estación base de transmisión, según este software la altitud sobre el nivel del mar (ASNM) es de 1858 m.

Los parámetros de transmisión son:

Tabla 1. Parámetros de Transmisión

Parámetros	Valores
Numero de segmentos	13
Ancho del segmento	428.75kHz
Banda UHF	5.572MHz (Modo 3)
Numero de portadoras	5617 (Modo 3)
Método de modulación	64-QAM
Duración de Símbolo	1008 μ s (Modo 3)
Separación de portadoras	0.992kHz (Modo 3)
Duración del intervalo de guarda	252; 126; 63; 31,5 μ s (modo 3)
Duración total de los símbolos	1 260; 1 134; 1 071; 1 039,5 μ s (modo 3)
Duración del cuadro de transmisión	204 símbolos OFDM
Codificación de canal	3/4
Entrelazamiento interno	0; 95; 190; 380 símbolos (modo 3)
P.r.a del transmisor Mecedores	1kW
Tipo de antena	Cardiode
Ganancia de antena	13.4dBi (Sugerida por CONATEL)

En el Anexo1 se encuentra con más detalle todos los parámetros de transmisión.

Se utilizó una herramienta del Excel para generar radiales, cuyo centro era la ubicación de la estación de Mecedores, tomando como 0° el norte y el recorrido de los radiales va en el sentido de las agujas del reloj, estos radiales están equi-espaciados de 10° cada uno (Ver ilustración 4-1), hasta una distancia de 50km como lo pide CONATEL.

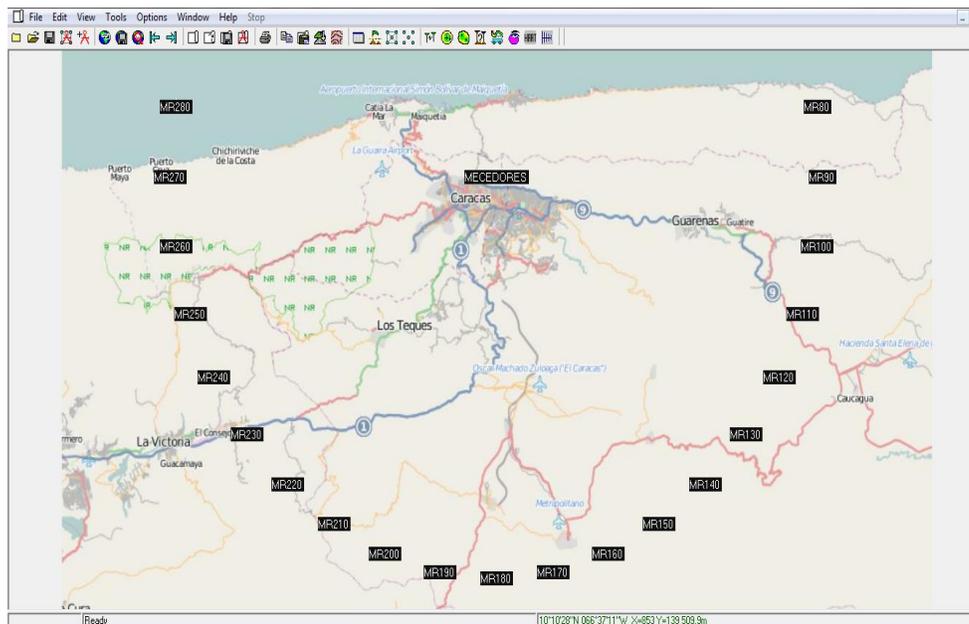


Ilustración 4-0-1. Radiales sobre Caracas

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el presente estudio se enfoca en la ciudad de Caracas, solo se realizó el estudio del perfil del terreno de los radiales comprendidos en 90° a 270°, y tomándose una separación de 20° entre los radiales, siendo 90°, 110°, 130°, 150°, 170°, 180°, 190°, 210°, 230°, 250°, 270° los radiales escogidos para el levantamiento del perfil del terreno. Para obtener la

información del terreno se ubicaron diferentes estaciones de recepción en cada uno de los extremos de los radiales.

Se hicieron enlaces desde la estación base transmisora hasta cada uno de los distintos puntos señalados como MR en la ilustración 4-1, con ayuda de la herramienta del Software Radio Mobile se puede visualizar el perfil del terreno entre dos puntos.

Para el cálculo de la altura promedio del radial, se tomaron en cuenta los valores de la elevación entre los kilómetros 3 y 15, en pasos Equi-espaciados, y luego solo se realizó un promedio entre los valores de elevación. Para el cálculo de la altura efectiva del terreno, se usó la fórmula definida en el capítulo 3, sección 3.9.



Ilustración 4-0-2. Ejemplo de perfil del terreno Radio Mobile

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes tablas de los perfiles del terreno que se muestran, están cortadas hasta la distancia de 20 kilómetros debido al gran tamaño que representan tenerlas de 50 kilómetros, además solo se muestran las tablas e ilustraciones para los radiales 90, 210, 230, estos dos últimos son los radiales los cuales se hicieron las mediciones de campo. En el anexo 4 están completas las tablas de los perfiles del terreno hasta 50 kilómetros con todos los cálculos y todos los radiales con sus respectivas ilustraciones.

Radial 90

Tabla 2. Alturas del radial 90

D(km)	ASN(m)
0	1859
1	1512.7
2	1820.2
3	1927.9
4	2098.8
5	2064.7
6	1611.5
7	1881.7
8	2223.1
9	2224.7
10	2047.1
11	2214.2
12	1983
13	1517.8
14	1445.7
15	1523.1
16	1428.4
17	1584.5
18	1889.5
19	1736.3
20	1909

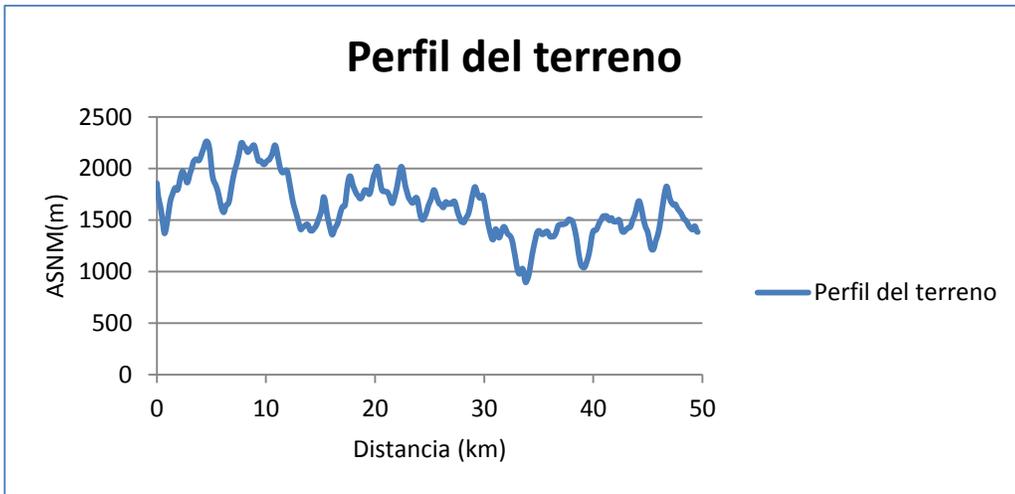


Ilustración 4-0-3. Perfil del terreno en el radial 90°

Fuente: elaboración propia

Radial 210

Tabla 3. Alturas del radial 210

D(km)	ASNM (m)
0	1859
1	1527.8
2	1066.5
3	933.3
4	879.3
5	912.5
6	877.5
7	922.8
8	995.6
9	906.9
10	907.4
11	916.7
12	928
13	1057.7
14	1062.8
15	1102.4
16	1352.5
17	1498.1
18	1433.4

19	1425.7
20	1392.6

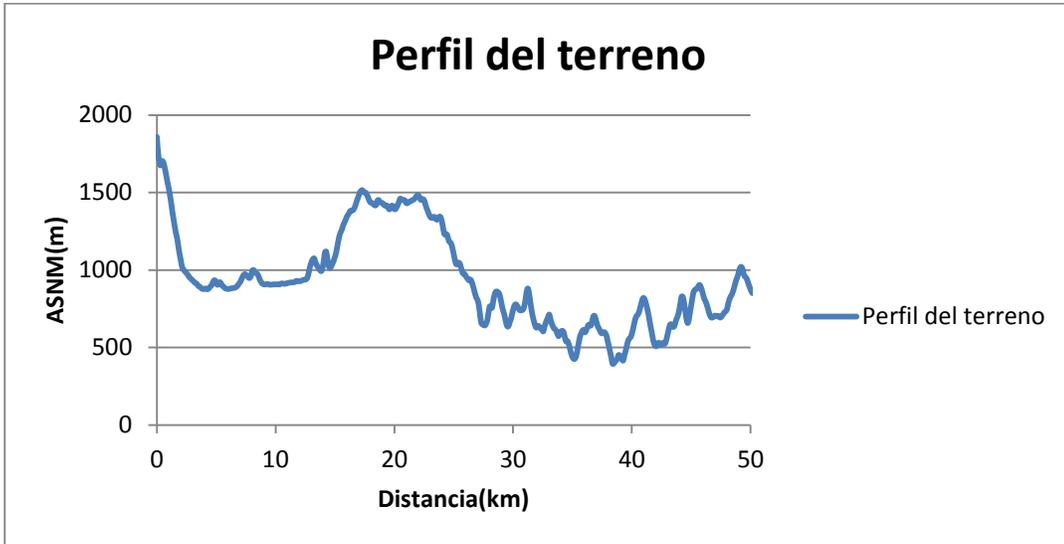


Ilustración 4-0-4. Perfil del terreno para el radial 210

Fuente: Elaboración propia

Radial 230

Tabla 4. Alturas del radial 230

D(km)	ASNM (m)
0	1859
1	1528.7
2	1128.7
3	948.1
4	898.1
5	888.9
6	892.3
7	903
8	983.5
9	1014.3
10	968.7
11	980
12	1192.1
13	1295.1

14	1334.9
15	1163.1
16	990.3
17	1058.5
18	1114.7
19	1050.2
20	1091

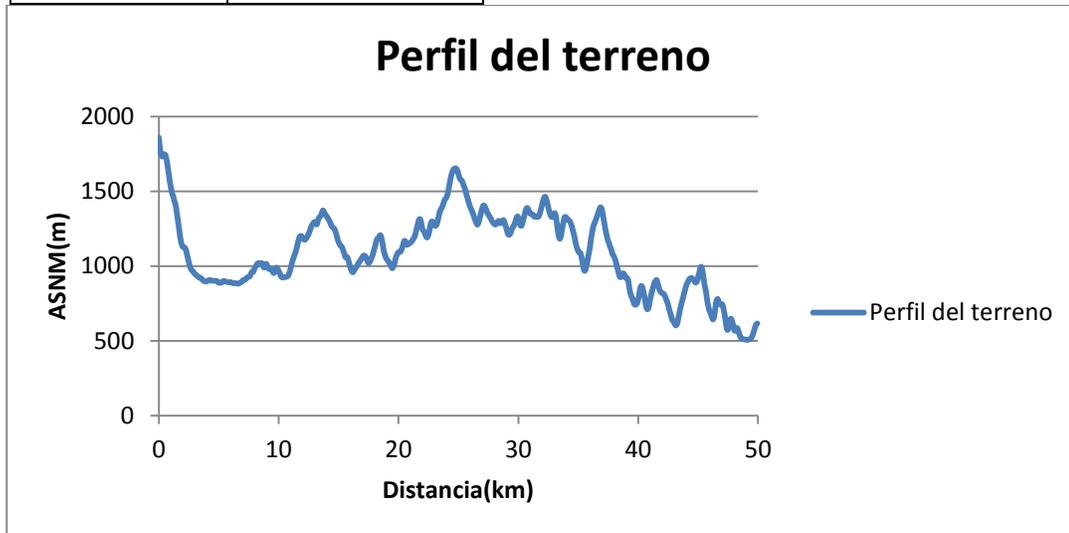


Ilustración 4-0-5. Perfil del terreno para el radial 230.

4.2. Valores máximos de la intensidad de campo

Según la recomendación UIT-R P.1546 la intensidad de campo estimado no debe rebasar un valor máximo, $Emáx$, dado por:

$Emáx = Efs$ dB ($\mu V/m$) para trayectos terrestres

Efs es la intensidad de campo en espacio libre para una p.r.a. de 1 kW dada por:

$$Efs = 106,9 - 20 \log (d) \text{ dB}(\mu V/m) \quad \text{Ecuación 18}$$

Efs (dB($\mu V/m$))

Cálculo de la Máxima intensidad de campo

Tabla 5. Intensidad máxima de campo eléctrico

d(km)	E(dBuV/m)
1	106.9
2	100.87
3	97.35
4	94.858
5	92.92
6	91.33
7	89.99
8	88.83
9	87.81
10	86.9
11	86.07
12	85.31
13	84.62
14	83.9
15	83.3
16	82.817
17	82.29
18	81.79
19	81.32
20	80.87

4.3. Determinación de la altura de la antena transmisora/de base, h_1

La altura de la antena transmisora/de base, h_1 , que se ha de utilizar en el cálculo depende el tipo y la longitud del trayecto y de diversos datos de alturas. El valor de h_1 se calcula de acuerdo con la longitud del trayecto, d , como sigue:

$$h_1 = h_a \text{ m para } d \leq 3 \text{ km} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a) (d - 3) / 12 \text{ m para } 3 \text{ km} < d < 15 \text{ km} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde h_a es la altura de la antena sobre el suelo (por ejemplo, altura del mástil).

Trayectos terrestres de 15 km o superiores

Para estos trayectos: $h_1 = h_{eff}$ m

Tabla 6. Cálculo de Altura Efectiva para cada radial

	Altura promedio (m)		Altura Efectiva (m)
Radial 90	1902.95	Heff1	90.00
Radial 110	1026.56	Heff2	862.44
Radial 130	882.13	Heff3	1006.87
Radial 150	1018.09	Heff4	870.91
Radial 170	1030.38	Heff5	858.63
Radial 190	1107.50	Heff6	781.50
Radial 210	955.80	Heff7	933.20
Radial 230	1042.83	Heff8	846.17

Radial 250	1125.45	Heff9	763.55
Radial 270	884.29	Heff10	1004.71

En la tabla 5, se muestran las alturas promedio por cada radial estudiado y luego las alturas efectivas calculadas para cada radial, tomando en cuenta la formulas anteriormente descritas para su respectivo cálculo.

Para el cálculo de la altura de la antena base/transmisora h_1 se empleo el procedimiento anteriormente para los diferentes radiales.

Tabla 7. Cálculo de la altura h_1

Distancia(km)	ht90 (m)	ht110 (m)	ht130 (m)	ht150 (m)	ht170 (m)	ht180(m)
1.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
2.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
3.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
4.00	35.91	100.28	112.32	100.99	99.97	102.43
5.00	40.83	169.57	193.64	170.98	168.94	173.86
6.00	45.75	238.86	274.97	240.98	237.91	245.29
7.00	50.66	308.14	356.29	310.97	306.88	316.72
8.00	55.58	377.43	437.61	380.96	375.84	388.15
9.00	60.50	446.72	518.93	450.95	444.81	459.58
10.00	65.41	516.00	600.26	520.95	513.78	531.01
11.00	70.33	585.29	681.58	590.94	582.75	602.44
12.00	75.20	654.58	762.90	660.93	651.72	673.87
13.00	80.16	723.86	844.22	730.92	720.69	745.30
14.00	85.08	793.15	925.54	800.92	789.66	816.73
15.00	90.00	862.44	1006.87	870.91	858.63	888.16
16.00	90.00	862.44	1006.87	870.91	858.63	888.16
17.00	90.00	862.44	1006.87	870.91	858.63	888.16
18.00	90.00	862.44	1006.87	870.91	858.63	888.16
19.00	90.00	862.44	1006.87	870.91	858.63	888.16
20.00	90.00	862.44	1006.87	870.91	858.63	888.16

Tabla 8. Cálculo de la altura h1

Distancia(km)	ht190(m)	ht210(m)	ht230(m)	ht250(m)	ht270(m)
1.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
2.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
3.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
4.00	93.54	106.18	98.93	92.05	112.14
5.00	156.08	181.37	166.86	153.09	193.28
6.00	218.63	256.55	234.79	214.14	274.43
7.00	281.17	331.73	302.72	275.18	355.57
8.00	343.71	406.92	370.65	336.23	436.71
9.00	406.25	482.10	438.58	397.28	517.85
10.00	468.79	557.28	506.51	458.32	599.00
11.00	531.33	632.47	574.44	519.37	680.14
12.00	593.88	707.65	642.38	580.41	761.28
13.00	656.42	782.83	710.31	641.46	842.42
14.00	718.96	858.02	778.24	702.50	923.57
15.00	781.50	933.20	846.17	763.55	1004.71
16.00	781.50	933.20	846.17	763.55	1004.71
17.00	781.50	933.20	846.17	763.55	1004.71
18.00	781.50	933.20	846.17	763.55	1004.71
19.00	781.50	933.20	846.17	763.55	1004.71
20.00	781.50	933.20	846.17	763.55	1004.71

4.4. Cálculo de la intensidad de campo eléctrico mediante altura de antena transmisora/de base, h_1 , en la gama de 10 a 3 000 m.

Para el cálculo de la intensidad de campo en función de la altura de la antena transmisora, se realizaron los cálculos de la altura de la antena transmisora como se indicó anteriormente, si el valor calculado de h_1 coincide con una de las ocho alturas para las que se dan curvas, a saber, 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 ó 1200 m, la intensidad de campo requerida puede obtenerse directamente de las curvas trazadas en la recomendación. En los demás casos, la intensidad de campo requerida tuvo que interpolarse o extrapolarse

a partir de las intensidades de campo obtenidas de dos curvas utilizando la ecuación siguiente:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \log (h1 / h_{inf}) / \log (h_{sup} / h_{inf}) \quad \text{dB } (\mu\text{V/m})$$

Ecuación 21

Donde:

h_{inf}: 600 m si $h1 > 1200$ m, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por debajo de $h1$.

h_{sup}: 1200 m si $h1 > 1200$ m, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por encima de $h1$.

E_{inf}: valor de la intensidad de campo para *h_{inf}* a la distancia requerida.

E_{sup}: valor de la intensidad de campo para *h_{sup}* a la distancia requerida.

Para el cálculo de *E_{inf}* y *E_{sup}*, se utilizaron el *h_{inf}* y *h_{sup}* respectivamente, como indica en la definición de *h_{inf}* y *h_{sup}*, estas alturas son valores nominales inferiores y superiores de la altura de la antena base transmisora (10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 ó 1200 m) , como ejemplo se tiene, si la altura de la antena base transmisora es de 450 metros el *h_{inf}* tomaría el valor nominal inferior, es decir, 300 metros, mientras que el *h_{sup}* tomaría el valor de 600 metros, debido a que cada curva es diferente para las distintas alturas, no se tiene continuidad en los puntos, esto puede generar algunos saltos en la estimación de campo eléctrico ya que depende de la alturas *h_{inf}* y *h_{sup}* que a su vez dependen de la altura de la antena base transmisora la cual depende la altura promedio de cada radial. Esta estimación toma en cuenta la altura del terreno por el motivo anteriormente expuesto. Los valores de *E_{inf}* y *E_{sup}* se leyeron de la curva de la recomendación, estos dependiendo de los valores de *h_{inf}*, *h_{sup}* y de la distancia del punto de estudio.

600MHz, Trayecto terrestre. 50% del tiempo

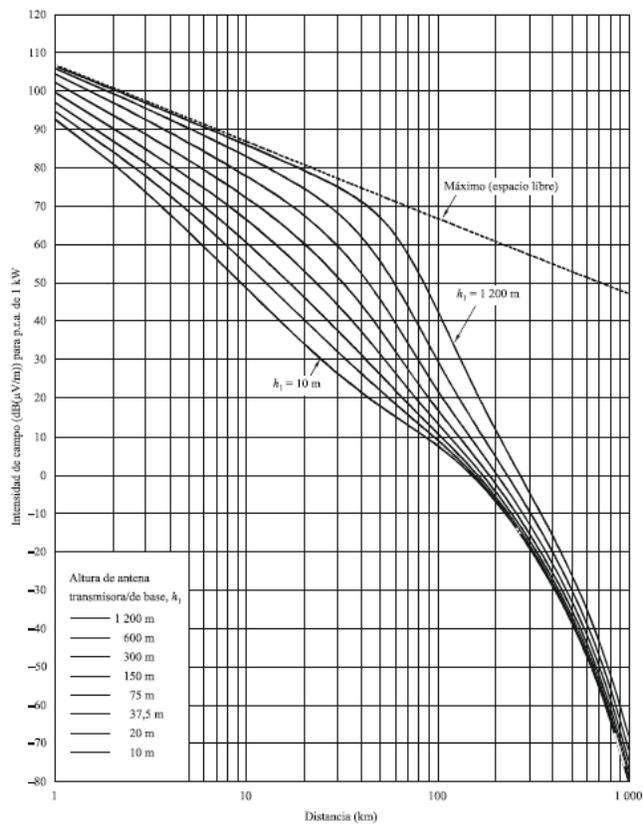


Ilustración 4-0-6. Curvas de Estimación de cobertura según la recomendación UIT-R P.1546.

Fuente: Recomendación de la UIT-R P.1546

Las tablas que contienen los valores de h_{inf} y h_{sup} para cada radial, y en función de la distancia se encuentran completas en los anexos.

En las siguientes tablas, se muestra la estimación de intensidad de campo eléctrico E para cada radial y cada kilómetro, en función de la altura de la antena base transmisora h_1 , según la ecuación x, las cuales consideran la intensidad de campo E_{inf} y E_{sup} y la distancia a la cual se requiere la estimación.

Tabla 9. . Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la altura de la antena base transmisora. Radiales 90-170 con un p.r.a de 1kW

d(km)	E(ht90) dBuV/m	E(ht110) dBuV/m	E(ht130) dBuV/m	E(ht150) dBuV/m	E(ht170) dBuV/m
1.00	95.99	95.99	95.99	95.99	95.99
2.00	85.99	85.99	85.99	85.99	85.99
3.00	80.10	80.10	80.10	80.10	80.10
4.00	77.47	82.39	75.92	75.24	75.17
5.00	72.49	83.01	83.86	83.06	82.98
6.00	71.75	82.99	84.23	83.07	82.95
7.00	70.96	77.94	79.98	78.23	78.06
8.00	69.35	77.02	78.58	77.47	77.36
9.00	64.52	76.99	82.35	80.32	80.12
10.00	62.67	81.25	82.22	81.31	81.22
11.00	62.11	80.99	82.92	81.89	81.79
12.00	61.59	80.73	81.71	70.66	72.04
13.00	61.13	80.48	81.46	60.40	61.75
14.00	60.70	80.23	81.22	51.59	52.91
15.00	60.31	79.99	80.99	43.98	45.27
17.00	59.11	78.59	79.58	44.18	45.43
18.00	58.56	77.95	78.94	44.41	45.62
19.00	58.04	77.34	78.33	44.65	45.83
20.00	57.54	76.76	77.76	44.90	46.05

Tabla 10. Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la altura de la antena base transmisora. Radiales 180-250 con un p.r.a de 1kW

d(km)	E(ht180) dBuV/m	E(ht190) dBuV/m	E(ht210) dBuV/m	E(ht230) dBuV/m	E(ht250) dBuV/m	E(ht270) dBuV/m
1.00	95.99	95.99	95.99	94.12	95.99	95.99
2.00	85.99	85.99	85.99	84.02	85.99	85.99
3.00	80.10	80.10	80.10	77.00	80.10	80.10
4.00	75.33	76.15	75.56	72.91	74.64	75.91
5.00	83.17	83.15	83.44	82.08	82.35	83.84
6.00	83.22	82.21	83.62	76.76	82.02	84.07
7.00	78.47	84.43	79.06	75.52	81.39	78.27
8.00	77.62	76.64	78.00	74.05	75.54	78.05
9.00	80.59	78.81	81.28	78.28	81.13	83.26
10.00	81.44	80.64	81.75	77.08	80.49	82.21

11.00	82.23	81.12	82.39	76.02	80.96	82.62
12.00	68.75	84.94	63.94	81.36	84.81	81.70
13.00	58.54	70.68	53.84	82.19	79.70	81.45
14.00	49.77	61.63	45.19	82.90	79.45	81.21
15.00	42.21	53.77	37.73	83.51	79.21	80.97
17.00	42.46	53.71	38.11	82.73	78.49	80.25
18.00	42.73	53.67	38.50	81.98	77.81	79.57
19.00	43.02	53.65	38.90	81.27	77.17	78.92
20.00	43.32	53.66	39.32	80.59	76.56	78.32

En los anexos se muestran completos los cálculos de la intensidad de campo eléctrico, hasta las distancias de 50 km.

4.5 Interpolación de la intensidad de campo en función de la distancia

La intensidad de campo E (dB(μ V/m)) se interpola linealmente para el logaritmo de la distancia utilizando la ecuación siguiente:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (d / d_{inf}) / \log (d_{sup} / d_{inf}) \text{ (dB}(\mu\text{V/m))}$$

Ecuación 22

Donde:

d : distancia para la que se requiere la predicción

d_{inf} : distancia de la tabulación más cercana inferior a d

d_{sup} : distancia de la tabulación más cercana superior a d

E_{inf} : valor de la intensidad de campo para d_{inf}

E_{sup} : valor de la intensidad de campo para d_{sup} .

La presente Recomendación no es válida para valores de d inferiores a 1 km o superiores a 1000 km.

Para la obtención de los parámetros d_{inf} y d_{sup} , se requiere la distancia d . El d_{inf} , será el valor nominal por debajo de d , y el d_{sup} será, el valor nominal por encima de d .

Tabla 11. Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la distancia a la que se requiere la predicción, Radiales 90-170 con un p.r.a de 1kW.

d(km)	E(ht90) dBuV/m	E(ht110) dBuV/m	E(ht130) dBuV/m	E(ht150) dBuV/m	E(ht170) dBuV/m
1.00	96.66	97.77	104.44	97.77	97.77
2.00	87.55	96.37	99.09	96.37	96.37
3.00	81.92	94.06	95.96	94.06	94.06
4.00	86.87	92.42	93.74	92.42	92.42
5.00	81.88	90.38	92.01	90.38	90.38
6.00	86.57	88.79	90.60	88.79	88.79
7.00	87.10	87.69	89.41	87.69	87.69
8.00	88.82	86.59	88.38	86.59	86.59
9.00	87.18	86.07	87.47	86.07	86.07
10.00	86.08	81.64	86.40	81.64	81.64
11.00	84.97	84.87	85.44	84.87	84.87
12.00	83.86	83.21	84.32	83.21	83.21
13.00	82.75	82.19	83.30	82.19	82.19
14.00	81.65	81.23	82.34	81.23	81.23
15.00	67.20	80.35	81.46	80.35	80.35
16.00	66.09	79.52	80.63	79.52	79.52
17.00	64.98	78.74	79.85	78.74	78.74
18.00	63.87	78.01	79.12	78.01	78.01
19.00	57.63	77.32	78.43	77.32	77.32
20.00	60.57	76.74	77.85	76.74	76.74

Tabla 12. Estimación de la intensidad de campo eléctrico en función de la distancia. Radiales 180-270 para un p.r.a de un 1kW

d(km)	E(ht180) dBuV/m	E(ht190) dBuV/m	E(ht210) dBuV/m	E(ht230) dBuV/m	E(ht250) dBuV/m	E(ht270) dBuV/m
1.00	97.77	100.00	97.77	97.77	100.00	104.44
2.00	96.37	96.32	96.37	96.37	75.77	99.09
3.00	94.06	94.16	94.06	94.06	75.89	95.96
4.00	92.42	92.64	92.42	92.42	75.99	93.74
5.00	90.38	91.45	90.38	90.38	76.07	92.01
6.00	88.79	90.48	88.79	88.79	76.14	90.60
7.00	87.69	89.66	87.69	87.69	76.20	89.41
8.00	86.59	88.96	86.59	86.59	76.25	88.38

9.00	86.07	88.33	86.07	86.07	76.32	87.47
10.00	81.64	87.77	81.64	81.64	76.38	86.40
11.00	84.87	86.09	84.87	84.87	68.23	85.44
12.00	83.21	84.56	83.21	83.21	50.40	84.32
13.00	82.19	83.14	82.19	82.19	50.60	83.30
14.00	81.23	81.84	81.23	81.23	50.79	82.34
15.00	80.35	80.62	80.35	80.35	50.97	81.46
16.00	79.52	79.48	79.52	79.52	51.14	80.63
17.00	78.74	78.42	78.74	78.74	51.31	79.85
18.00	78.01	77.41	78.01	78.01	51.46	79.12
19.00	77.32	76.45	77.32	77.32	51.82	78.43
20.00	76.74	75.49	76.74	76.74	55.28	77.85

4.6 Corrección para altura de antena receptora/móvil

Los valores de intensidad de campo dados por las curvas de trayectos terrenos y las tabulaciones asociadas de la presente Recomendación corresponden a una altura de antena receptora/móvil de referencia, R (m), que representa la altura de la ocupación del terreno que rodea a la antena receptora/móvil, con un límite inferior de altura de 10 m. Las alturas de referencia son: 20 m para una zona urbana, 30 m para una zona urbana densamente poblada y 10 m para una zona suburbana. Como la antena receptora/móvil está situada en el terreno, se tiene en cuenta en primer lugar el ángulo de elevación del rayo incidente calculando una altura representativa de los obstáculos circundantes modificada, R' (m), dada por:

$$R' = (1000 d R - 15 h_1) / (1000 d - 15) \text{ m.}$$

Ecuación 23

Como el valor de R' depende de h_1 y de la distancia a la cual se requiere la predicción, R' cambiara a medida que se aleja de la antena transmisora.

Donde:

h_1 : es la altura de la antena transmisora calculada anteriormente.

R (m): altura de ocupación del terreno.

d (km): la distancia a la cual se requiere la predicción.

Cuando la antena receptora/móvil está en un entorno urbano, la corrección viene dada por:

$$\text{Corrección} = 6,03 - J(v) \text{ dB} \quad \text{para} \quad h_2 < R'$$

Ecuación 24

$$\text{Corrección} = Kh_2 * \log(h_2/R') \text{ dB} \quad \text{para} \quad h_2 \geq R'$$

Ecuación 25

$$J(v) = [6.9 + 20 * \text{Log}(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1)] \text{dB}$$

Ecuación 26

$$v = K_{nu} * \sqrt{h_{dif} * \theta_{clut}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$H_{dif} = R' - h_2 \quad \text{m} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$\theta_{clut} = \text{arctg}(h_{dif} / 27) \quad \text{grados} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$Kh_2 = 3,2 + 6,2 \log(f) \quad \text{Ecuación 30}$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad \text{Ecuación 31}$$

f : frecuencia (MHz).

$f = 668$ MHz

$R(m) = 20$ m.

$h_2 = 1.5$ m.

Con los datos descritos se calculó la corrección de la antena receptora/móvil para cada radial.

Tabla 13. Corrección para la altura de la estación receptora. Radiales 90-180

d(km)	Crr(dB) 90	Crr(dB) 110	Crr(dB) 130	Crr(dB) 150	Crr(dB) 170	Crr(dB) 180
1.00	-23.70	-23.70	-23.70	-23.70	-23.70	-23.70
2.00	-23.73	-23.73	-23.73	-23.73	-23.73	-23.73
3.00	-23.74	-23.74	-23.74	-23.74	-23.74	-23.74
4.00	-23.74	-23.64	-23.62	-23.64	-23.64	-23.64
5.00	-23.74	-23.58	-23.54	-23.57	-23.58	-23.57
6.00	-23.74	-23.53	-23.49	-23.53	-23.53	-23.53
7.00	-23.74	-23.50	-23.46	-23.50	-23.50	-23.49
8.00	-23.74	-23.48	-23.43	-23.48	-23.48	-23.47
9.00	-23.74	-23.46	-23.41	-23.46	-23.46	-23.45
10.00	-23.74	-23.45	-23.39	-23.44	-23.45	-23.44
11.00	-23.74	-23.44	-23.38	-23.43	-23.44	-23.43
12.00	-23.74	-23.43	-23.37	-23.42	-23.43	-23.42
13.00	-23.74	-23.42	-23.36	-23.41	-23.42	-23.41
14.00	-23.74	-23.41	-23.35	-23.41	-23.41	-23.40
15.00	-23.74	-23.40	-23.34	-23.40	-23.41	-23.39
16.00	-23.74	-23.43	-23.37	-23.42	-23.43	-23.42
17.00	-23.74	-23.45	-23.39	-23.44	-23.45	-23.44
18.00	-23.74	-23.47	-23.41	-23.46	-23.47	-23.46
19.00	-23.74	-23.48	-23.43	-23.48	-23.48	-23.47
20.00	-23.74	-23.50	-23.45	-23.49	-23.50	-23.49

Tabla 14. Corrección para la altura de la estación receptora. Radiales 190-270

d(km)	Crr(dB) 190	Crr(dB) 210	Crr(dB) 230	Crr(dB) 250	Crr(dB) 270
1.00	-23.70	-23.70	-23.70	-23.70	-23.70
2.00	-23.73	-23.73	-23.73	-23.73	-23.73
3.00	-23.74	-23.74	-23.74	-23.74	-23.74
4.00	-23.65	-23.63	-23.64	-23.65	-23.62
5.00	-23.59	-23.56	-23.58	-23.60	-23.54
6.00	-23.56	-23.51	-23.54	-23.56	-23.49

7.00	-23.53	-23.48	-23.51	-23.53	-23.46
8.00	-23.51	-23.46	-23.49	-23.51	-23.43
9.00	-23.49	-23.44	-23.47	-23.50	-23.41
10.00	-23.48	-23.42	-23.45	-23.49	-23.39
11.00	-23.47	-23.41	-23.44	-23.48	-23.38
12.00	-23.46	-23.40	-23.43	-23.47	-23.37
13.00	-23.45	-23.39	-23.42	-23.46	-23.36
14.00	-23.45	-23.38	-23.42	-23.45	-23.35
15.00	-23.44	-23.37	-23.41	-23.45	-23.34
16.00	-23.46	-23.40	-23.43	-23.47	-23.37
17.00	-23.48	-23.42	-23.45	-23.49	-23.39
18.00	-23.50	-23.44	-23.47	-23.50	-23.41
19.00	-23.51	-23.46	-23.49	-23.52	-23.43
20.00	-23.52	-23.47	-23.50	-23.53	-23.45

4.7 Corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno.

En el caso de trayectos terrestres, y cuando la antena receptora/móvil se halla en una sección terrestre de un trayecto mixto, si se ha de predecir con mayor precisión la intensidad de campo para condiciones de recepción en zonas específicas, por ejemplo en una zona de recepción pequeña, se puede efectuar una corrección basada en el ángulo de despejamiento del terreno. El ángulo de despejamiento del terreno θ_{tca} viene dado por:

$$\theta_{tca} = \theta - \theta_r \text{ grados}$$

Ecuación 32

Donde θ es el ángulo de elevación de la línea que, con origen en la antena receptora/móvil, es rasante a todos los obstáculos hasta una distancia de 16 km, pero sin ir más allá, de la antena transmisora. El valor de θ_{tca} debe limitarse de manera que no sea inferior a $+0,55^\circ$ o superior a $+40,0^\circ$.

Cuando se dispone de la información pertinente sobre el ángulo de despejamiento del terreno, la corrección de la intensidad de campo que se debe efectuar se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Corrección} = j(v') - J(v) \text{ dB}$$

Ecuación 33

$J(v)$ se obtiene mediante la ecuación usada anteriormente en la corrección por la altura de la antena receptora.

$$v' = 0,036 * \sqrt{f}$$

Ecuación 34

$$v = 0,065 * \theta_{tca} * \sqrt{f}$$

Ecuación 35

θ_{tca} : ángulo de despejamiento del terreno (grados)

f : frecuencia requerida (MHz).

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_{2SNM} - h_{1SNM}}{1000 * d} \right)$$

Radianes

Ecuación 36

$$\theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{h_{1SNM} - h_{2SNM}}{1000 * d} - \frac{d}{2 * ae} \right)$$

Radianes

Ecuación 37

$$ae = K * Ro$$

km

Ecuación 38

$$K = 4/3$$

$$Ro = 6371 \text{ km}$$

$$f = 668 \text{ MHz}$$

Tabla 15. Valores de factor de corrección de despejamiento del terreno. (Radiales 90-170)

d(km)	Crr90 dB	Crr110dB	Crr130dB	Crr150dB	Crr170dB
1	-35.58	-35.98	-35.98	-35.98	-35.98
2	-10.79	-35.98	-34.43	-35.71	-35.98
3	0.62	-35.98	-33.92	-34.44	-34.79
4	0.62	-35.98	-32.13	-32.54	-32.65
5	0.62	-35.98	-30.68	-30.95	-30.92
6	-17.33	-35.98	-29.35	-29.58	-29.24
7	0.62	-35.98	-28.05	-27.73	-27.88
8	0.62	-35.98	-26.95	-26.54	-26.40

9	0.62	-35.98	-26.10	-25.28	-23.90
10	0.62	-35.98	-25.19	-23.82	-23.97
11	0.62	-35.98	-23.58	-22.01	-23.04
12	0.62	-35.98	-22.81	-19.65	-19.81
13	-13.30	-35.98	-23.34	-17.50	-15.65
14	-14.33	-35.98	-22.12	-18.94	-19.24
15	-11.88	-35.98	-20.69	-19.06	-18.75
16	-13.50	-35.98	-21.44	-19.75	-18.03
17	-8.98	-35.98	-21.11	-20.81	-20.25
18	0.62	-35.98	-19.97	-17.91	-19.73
19	-1.30	-35.98	-18.13	-18.44	-20.43
20	0.62	-35.98	-18.96	-19.42	-20.44

Tabla 16. Valores del factor de corrección de despejamiento del terreno. (Radiales 180-270)

d(km)	Crr180	Crr190	Crr210	Crr230	Crr250	Crr270
1	-35.98	-35.98	-35.22	-35.20	-35.15	-35.06
2	-35.98	-35.98	-35.98	-35.98	-35.31	-30.62
3	-34.81	-34.89	-34.64	-34.51	-33.91	-30.65
4	-32.68	-32.74	-32.73	-32.57	-32.07	-29.88
5	-30.88	-30.64	-30.55	-30.76	-29.98	-27.92
6	-27.76	-28.15	-29.30	-29.17	-28.71	-24.69
7	-27.38	-25.82	-27.57	-27.75	-27.11	-26.31
8	-26.31	-25.25	-25.71	-25.83	-25.38	-26.78
9	-25.21	-24.91	-25.54	-24.50	-24.63	-24.97
10	-23.50	-23.25	-24.61	-24.03	-23.23	-24.85
11	-22.93	-21.45	-23.70	-23.09	-19.76	-25.33
12	-21.01	-18.27	-22.83	-19.91	-20.40	-25.05
13	-18.44	-16.25	-20.81	-17.73	-17.89	-24.58
14	-19.13	-15.70	-20.10	-16.43	-15.46	-23.93
15	-21.34	-18.33	-19.04	-18.31	-12.43	-23.55
16	-20.32	-16.06	-14.93	-19.69	-12.63	-23.06
17	-18.78	-15.24	-11.39	-18.43	-9.52	-21.75
18	-16.79	-15.54	-12.33	-17.28	-9.39	-20.60
19	-19.03	-15.46	-12.00	-17.53	-4.47	-18.69
20	-17.79	-14.62	-12.19	-16.61	-0.36	-19.52

Una vez obtenidos los factores de corrección, se aplicaron a las estimaciones de cobertura hechas para la recomendación de la UIT-R P.1546.

4.9 Cálculo de de cobertura mediante las curvas digitalizadas de la FCC F (50,90).

Unidad métrica: en metros, kilómetros

Potencia en: kilowatts (kW)

Unidad de la intensidad de campo: dBuV/m

Tipo de servicio considerado: Televisión digital, canales entre el 14 y el 69 F (50,90)

Parámetro de salida: Intensidad de campo dado la distancia.

Potencia de entrada 1kW.

Para la gama de distancias de 1km – 20km

Para cada radial (HAAT)

Según la página oficial de la FCC:

<http://transition.fcc.gov/mb/audio/bickel/curves.html#START>

Una vez ingresado todos los valores necesarios para la estimación del campo eléctrico, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 17. Estimación de la Intensidad de campo mediante el método de la FCC radiales 90-180. Para un p.r.a de 1kW

	Radial90	Radial110	Radial130	Radial 150	radial170	Radial180
d(km)	E(dBu)	E(dBu)	E(dBu)	E(dBu)	E(dBu)	E(dBu)
1.00	104.84	105.49	105.46	105.44	105.49	105.05
2.00	96.66	100.72	100.76	100.77	100.74	100.73
3.00	90.11	96.85	96.99	96.86	96.90	96.88
4.00	85.39	94.14	94.34	94.15	94.22	94.20
5.00	81.73	91.99	92.23	92.01	92.10	92.07
6.00	78.61	90.13	90.40	90.15	90.25	90.21
7.00	75.84	88.45	88.82	88.47	88.60	88.55

8.00	73.43	86.98	87.49	87.01	87.19	87.12
9.00	71.42	85.76	86.38	85.80	86.03	85.94
10.00	69.55	84.60	85.30	84.65	84.92	84.82
11.00	67.80	83.50	84.30	83.57	83.85	83.74
12.00	66.21	82.46	83.27	82.52	82.84	82.72
13.00	64.76	81.47	82.40	81.54	81.88	81.75
14.00	63.47	80.55	81.52	80.61	80.97	80.84
15.00	61.84	79.59	80.90	79.69	80.22	80.02
16.00	60.79	78.70	80.04	78.80	79.33	79.13
17.00	59.95	77.88	79.24	77.97	78.51	78.31
18.00	59.11	77.05	78.43	77.15	77.69	77.48
19.00	58.27	76.22	77.62	76.32	76.86	76.66
20.00	57.43	75.40	76.81	75.49	76.04	75.83

Tabla 18 .Estimacion de la Intensidad de campo mediante el método de la FCC radiales 190-270. Para un p.r.a de un 1kW

	Radial190	Radial 210	Radial 230	Radial 250	Radial270
d(km)	E(dBu)	E(dBu)	E(dBu)	E(dBu)	E(dBu)
1.00	105.52	105.47	105.51	105.53	105.47
2.00	100.72	100.75	100.73	100.70	100.75
3.00	96.83	96.95	96.86	96.79	96.95
4.00	94.12	94.28	94.16	94.06	94.28
5.00	91.97	92.17	92.02	91.89	92.17
6.00	90.10	90.33	90.15	90.00	90.33
7.00	88.41	88.72	88.48	88.28	88.72
8.00	86.93	87.35	87.02	86.77	87.35
9.00	85.69	86.22	85.81	85.48	86.22
10.00	84.52	85.14	84.66	84.27	85.14
11.00	83.41	84.10	83.57	83.13	84.10
12.00	82.36	83.12	82.53	82.05	83.12
13.00	81.37	82.18	81.55	81.04	82.18
14.00	80.44	81.29	80.63	80.09	81.29
15.00	79.43	80.64	79.71	78.97	80.64
16.00	78.54	79.77	78.82	78.07	79.77
17.00	77.71	78.95	78.00	77.24	78.95
18.00	76.88	78.13	77.17	76.40	78.13
19.00	76.06	77.31	76.34	75.57	77.31
20.00	75.23	76.49	75.52	74.74	76.49

4.10 Cálculo de intensidad de campo eléctrico por el método de Okumura-Hata

Este método se extrajo directamente de la misma recomendación de la UIT-R P.1542, página 58, donde enuncia como se formula el método mencionado y los diferentes parámetros por el cual se rige.

$$E = 69.82 - 6.16 * \text{Log}(f) + 13.82 * \text{Log}(ht) + a(h2) - (44.9 - 6.55 * \text{Log}(ht)) * (\text{Log}(d))^b$$

Ecuación 39

Donde:

E: intensidad de campo (dB(μV/m)) para una p.r.a. de 1 kW

f: frecuencia (MHz)

*H*₁: altura efectiva de la antena de la estación de base por encima del suelo (m) en la gama de 30 a 200 m

*H*₂: altura de la antena de la estación móvil por encima del suelo (m) en la gama de 1 a 10 m

d: distancia (km)

$$a(H_2) = (1,1 \log f - 0,7) H_2 - (1,56 \log f - 0,8)$$

$$b = 1 \text{ para } d \leq 20 \text{ km}$$

$$b = 1 + (0,14 + 0,000187 f + 0,00107 H_1') (\log [0,05 d])^{0.8} \text{ para } d > 20 \text{ km}$$

Tabla 19. Estimación de intensidad de campo por el Método Okumura-Hata, Radiales 90-170

	Radial90	Radial110	Radial130	Radial 150	Radial170
d(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
1.00	69.57	79.38	80.05	79.42	79.36
2.00	58.99	68.81	69.48	68.85	68.78
3.00	52.80	62.62	63.29	62.66	62.59
4.00	48.42	58.23	58.90	58.27	58.21
5.00	45.01	54.83	55.50	54.87	54.81
6.00	42.23	52.04	52.72	52.09	52.02
7.00	39.88	49.69	50.36	49.73	49.67
8.00	37.84	47.65	48.33	47.70	47.63
9.00	36.04	45.86	46.53	45.90	45.84
10.00	34.43	44.25	44.92	44.29	44.23
11.00	32.98	42.80	43.47	42.84	42.78
12.00	31.65	41.47	42.14	41.51	41.45
13.00	30.43	40.25	40.92	40.29	40.23

14.00	29.30	39.12	39.79	39.16	39.09
15.00	28.25	38.06	38.74	38.11	38.04
16.00	27.26	37.08	37.75	37.12	37.06
17.00	26.34	36.15	36.83	36.20	36.13
18.00	25.47	35.28	35.95	35.32	35.26
19.00	24.64	34.46	35.13	34.50	34.44
20.00	23.86	33.67	34.35	33.72	33.65

Tabla 20 Estimación de intensidad de campo por el Método Okumura-Hata, Radiales 180-270

	Radial180	Radial190	Radial 210	Radial 230	Radial 250
d(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
1.00	79.51	78.95	79.72	79.30	78.85
2.00	68.93	68.38	69.15	68.72	68.28
3.00	62.75	62.19	62.96	62.54	62.09
4.00	58.36	57.80	58.57	58.15	57.70
5.00	54.95	54.40	55.17	54.74	54.30
6.00	52.17	51.62	52.39	51.96	51.51
7.00	49.82	49.26	50.03	49.61	49.16
8.00	47.78	47.23	48.00	47.57	47.13
9.00	45.98	45.43	46.20	45.77	45.33
10.00	44.38	43.82	44.59	44.17	43.72
11.00	42.92	42.37	43.14	42.71	42.27
12.00	41.60	41.04	41.81	41.39	40.94
13.00	40.37	39.82	40.59	40.16	39.72
14.00	39.24	38.69	39.46	39.03	38.59
15.00	38.19	37.64	38.41	37.98	37.53
16.00	37.21	36.65	37.42	37.00	36.55
17.00	36.28	35.73	36.50	36.07	35.62
18.00	35.41	34.85	35.62	35.20	34.75
19.00	34.58	34.03	34.80	34.37	33.93
20.00	33.80	33.25	34.02	33.59	33.15

4.11 Cálculo de intensidad de campo por el método de Longley-Rice

Los parámetros de entrada para la simulación mediante el programa Radio Mobile son los siguientes.

Frecuencia Mínima 667 MHz

Frecuencia Máximo 674 MHz

Polarización Vertical.

Modo de variabilidad.

Broadcast.

50% del tiempo

50% de localidades

70% de las situaciones

Clima ecuatorial

Conductividad de la tierra: 0.004 S/m (UIT-R P.832)

Refractividad: 301 (UIT-R P.453)

Permiatividad relativa: 15 (UTI-R P.527)

Potencia de transmisión: 1000Watts

Umbral de recepción: 54uV o 77,2 dBm (Norma brasileña Sobre las características de los equipos de recepción para el formato de televisión digital ISDB-Tb)

Perdidas de línea: 3dB (el peor caso de conectores)

Ganancia de la antena sugerida: 13.44 dBi (Ganancia de la antena sugerida en las mediciones para la definición del estándar a usar en Venezuela en el 2007)

Perdidas adicionales de los cables 3 dB/m.

Tabla 21. Estimación de intensidad de campo con el método de Longley-Rice, Radiales 90-170

	Radial90	Radial110	Radial130	Radial 150	radial170
d(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
1.00	109.80	109.50	109.40	109.60	109.60
2.00	104.40	104.30	104.20	69.50	72.70
3.00	69.10	77.50	65.60	105.20	104.00
4.00	71.80	57.40	98.20	98.20	103.50
5.00	11.20	33.40	99.50	100.80	96.30
6.00	2.30	33.70	98.80	94.80	94.80
7.00	20.30	39.80	97.60	97.80	93.40
8.00	21.70	92.90	92.20	97.60	97.60
9.00	14.60	42.40	95.80	91.20	91.50
10.00	17.10	68.00	90.40	95.30	76.40

11.00	7.80	89.60	94.70	89.60	89.60
12.00	12.30	69.40	22.30	89.60	88.90
13.00	-3.30	20.30	31.00	22.20	32.80
14.00	0.50	73.70	87.50	23.70	9.30
15.00	8.70	43.60	13.10	31.80	22.00
16.00	-5.80	44.70	25.30	20.60	34.70
17.00	13.00	85.90	36.90	20.70	9.30
18.00	2.00	59.00	85.30	48.60	26.50
19.00	14.60	11.20	22.80	16.60	24.90
20.00	20.90	89.70	37.00	20.00	2.30

Tabla 22. Estimación de intensidad de campo con el método de Longley-Rice, Radiales 180-270

	Radial180	Radial190	Radial 210	Radial 230	Radial 250	Radial270
d(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
1.00	109.70	70.40	80.60	54.90	69.10	61.80
2.00	55.60	53.80	55.00	48.20	56.50	104.80
3.00	100.20	100.50	100.90	64.90	97.80	57.90
4.00	100.30	103.30	98.10	99.00	98.20	79.50
5.00	101.50	98.00	98.10	101.70	101.40	25.10
6.00	94.90	100.00	94.80	96.40	93.40	36.60
7.00	38.30	95.70	98.30	94.00	92.30	25.90
8.00	63.20	92.30	95.20	92.30	91.30	28.90
9.00	92.80	58.30	76.50	91.30	95.70	34.10
10.00	93.50	95.60	93.70	59.60	90.10	58.50
11.00	89.60	31.50	93.60	94.90	39.30	32.40
12.00	89.60	88.80	92.80	55.40		44.70
13.00	88.90	34.70	88.10	88.30	30.50	88.20
14.00	37.60	25.80	87.50	32.80	87.50	20.70
15.00	14.40	14.30	87.10	16.30	87.30	61.40
16.00	19.80	41.70	86.50	15.20	55.70	86.90
17.00	31.40	57.90	86.60	38.20	85.90	89.80
18.00	62.50	31.80	22.80	54.30	18.30	86.30
19.00	5.70	48.30	42.30	11.00	84.90	88.30
20.00	22.70	37.80	37.90	44.00	85.00	14.80

4.12 Propagación de ondas en el espacio libre.

Las pérdidas vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$L_{fs} = 32.44 + 20\text{Log}(f) + 20\text{Log}(d);$$

Ecuación 40

f es la frecuencia expresada en MHz
d es la distancia expresada en km

f= 668 MHz

En la siguiente tabla se encuentran los valores para un radiador isotrópico:

Tabla 23. Atenuación debida a la propagación en el espacio libre

d(km)	L _{fs}
1.00	88.94
2.00	94.96
3.00	98.48
4.00	100.98
5.00	102.91
6.00	104.50
7.00	105.84
8.00	107.00
9.00	108.02
10.00	108.94
11.00	109.76
12.00	110.52
13.00	111.21
14.00	111.86
15.00	112.46
16.00	113.02
17.00	113.54
18.00	114.04
19.00	114.51
20.00	114.96

Estas pérdidas obtenidas con un radiador isotrópico no se adecuan a las pérdidas en la realidad. Debido que no se consideran muchos factores que influyen que en la propagación de la onda, como son:

- Difracción por obstáculos.

- Pérdidas debido a la vegetación.
- Atenuación por las lluvias. (No se considera debido a la frecuencia que se trabaja)
- Perdidas en el mismo sistema de transmisión (perdidas de conectores, perdida en la línea de transmisión, etc)
- Atenuación debida a la difracción por obstáculos.

4.13 Atenuación debida a la vegetación

Según la recomendación de la UIT-R P.833. La atenuación debida a la vegetación de un trayecto terrenal con un terminal en zona boscosa, o en una zona similar de vegetación extensa, la pérdida adicional debida a la vegetación puede describirse en base a dos parámetros:

- El índice de atenuación específica (dB/m) debida fundamentalmente a la dispersión de energía fuera del trayecto radioeléctrico, que se mediría en un trayecto muy corto;
- La atenuación adicional total máxima debida a la vegetación en un trayecto radioeléctrico (dB) limitada por el efecto de otros mecanismos, entre ellos, la propagación de ondas de superficie por encima del medio vegetal y la dispersión dentro del mismo

El transmisor está fuera de la zona boscosa y el receptor está a una cierta distancia, d , dentro de la misma. La atenuación excesiva, A_{ev} , debida a la presencia de la vegetación viene dada por:

$$A_{ev} = A_m [1 - \exp(-d \gamma / A_m)] \quad \text{Ecuación 41}$$

Siendo:

d : longitud del trayecto dentro de la zona boscosa (m)

γ : Atenuación específica para trayectos en vegetación muy cortos (dB/m)

A_m : atenuación máxima cuando un terminal está dentro de una zona de vegetación de un tipo y profundidad específicos (dB).

Unas mediciones en la gama de frecuencias de 900-1 800 MHz realizadas en un parque con árboles tropicales en Río de Janeiro (Brasil) mostraron una dependencia de la frecuencia de A_m :

$$A_m = 0,18f^{0,752} \quad (2)$$

Donde f es la frecuencia (MHz).

$f = 668$ MHz

Se muestran en la tabla, dada a continuación los siguientes valores de la atenuación:

Tabla 24. Atenuación debido a un terminal en zona boscosa

Am dB	d(m)	Aev dB
22.1025431	1000	22.0775924
22.1025431	2000	22.1025149
22.1025431	3000	22.102543
22.1025431	4000	22.1025431

4.14 Atenuación debida a los obstáculos –

Para el cálculo de la atenuación debida a los obstáculos fillos de cuchillo, se hicieron los cálculos mediante el método de multi-obstáculos de Deygout con su debida corrección, el cual fue explicado en detalle en el capítulo 3.

Con los perfiles del terreno en los distintos radiales, se identificaron los posibles obstáculos de filo de cuchillo y procedió al cálculo de cada uno de estos obstáculos y

luego se le calcularon los factores de corrección para los distintos trayectos, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

A los 50km

Radial 130° L_{total} (dB)= 30.2047624.

Radial 180° L_{total} (dB)= 46.6873635.

Radial 230° L_{total} (dB)= 99.4512402.

Radial 250° L_{total} (dB)= 35.2790908.

Radial 270° L_{total} (dB)= 20.3056339.

El procedimiento completo de los cálculos, se refleja en el anexo 5.

4.15 Presupuesto de enlace

Presupuesto de Enlace desde la estación base transmisora de medidores hasta un punto de estudio a una distancia de 50km con una frecuencia de 668 MHz.

Perdidas por el cable : 3dB/80m

Perdidas por los conectores :

0.3dB/conec, 4 conectores de cada lado

Perdidas por las antenas

-0.457574906

Ganancia de las antenas en dBi

13.44 sugerida en los estudios realizados previos por CONATEL

Sensibilidad en el receptor (dBm)

-77.2 según la norma brasileña Sobre las características de los equipos de recepción para el formato de televisión digital ISDB-Tb

Perdidas por espacio libre (dB) para 50km

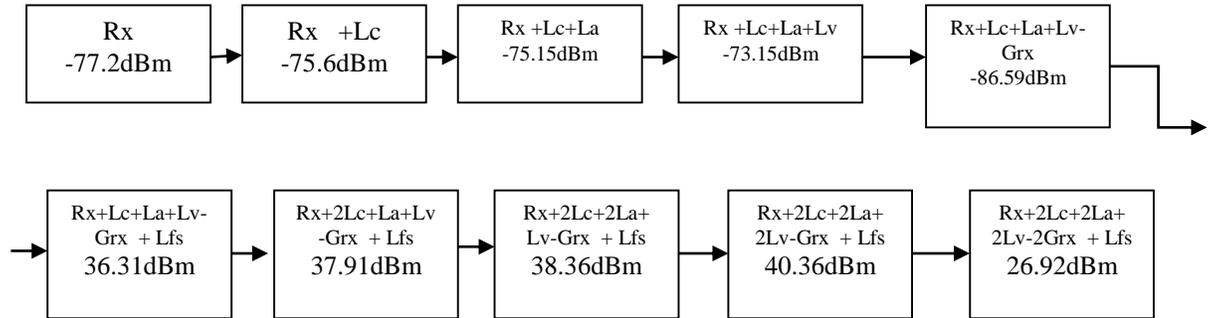
122.90

$L_c=1.6$ dB

$L_a=0.45$ dB

$L_v= 2$ dB

Lfs=122,9019168 dB



El diagrama de bloques anterior, muestra la potencia en dBm necesaria para la recepción de la señal a 50 kilómetros, pero este diagrama solo estaría considerando las pérdidas por espacio libre.

En la siguiente tabla de valores se muestra el nivel de potencia necesario desde 1 kilómetro hasta 50 kilómetros, incorporando la atenuación debida a la vegetación.

Tabla 25. Presupuesto de enlace, desde 1km hasta 50km, considerando la atenuación por vegetación.

d(km)	Lbfs	Rx	en la antena Rx	En la antena Tx(dBm)	Tx(dBm)
1.00	112.82	-77.20	-86.59	26.23	16.84
2.00	118.84	-77.20	-86.59	32.25	22.86
3.00	122.36	-77.20	-86.59	35.77	26.38
4.00	124.86	-77.20	-86.59	38.27	28.88
5.00	126.80	-77.20	-86.59	40.21	30.82
6.00	128.39	-77.20	-86.59	41.80	32.41
7.00	129.72	-77.20	-86.59	43.13	33.74
8.00	130.88	-77.20	-86.59	44.29	34.90
9.00	131.91	-77.20	-86.59	45.32	35.93
10.00	132.82	-77.20	-86.59	46.23	36.84
11.00	133.65	-77.20	-86.59	47.06	37.67
12.00	134.41	-77.20	-86.59	47.82	38.43
13.00	135.10	-77.20	-86.59	48.51	39.12

14.00	135.75	-77.20	-86.59	49.16	39.77
15.00	136.34	-77.20	-86.59	49.75	40.36
16.00	136.90	-77.20	-86.59	50.31	40.92
17.00	137.43	-77.20	-86.59	50.84	41.45
18.00	137.93	-77.20	-86.59	51.34	41.95
19.00	138.40	-77.20	-86.59	51.81	42.42
20.00	138.84	-77.20	-86.59	52.25	42.86

4.16 Funciones Matemáticas de los modelos de estimación de cobertura.

Se tienen distintos métodos de estimación de cobertura, se evaluó para cada radial estos métodos. Se realizó una tabla con los distintos valores de intensidad de campo eléctrico prevista en un trayecto de 50km. Esto genera que para cada radial se obtenga tantas curvas como métodos de predicción sean usados, lo más importante es poder comparar los resultados de las estimaciones realizadas con las mediciones que se planean efectuar.

Una vez realizadas estas mediciones se obtendrán una serie de puntos, los cuales se graficarán y se buscará un modelo matemático el cual se ajusta de la mejor forma.

Este modelo matemático se obtiene por un ajuste de curva por el método de mínimos cuadrados, esta curva resultante es la que mejor se adapta a los puntos previamente medidos, mas sin embargo tiene un error de correlación con los puntos.

La necesidad de obtener el modelo matemático de cada uno de los métodos empleados para la estimación de cobertura es poder relacionar las funciones matemáticas que se obtengan con la función matemática de las

mediciones realizadas y mediante esta comparación de las funciones se podrá elegir el modelo de estimación de cobertura el cual tenga un menor error.

Radial 90

1546-a

Curva ajustada: $Y = 90.5343 * \exp(-0.0616055 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.864839$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 54.0841 * \exp(-0.0352556 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.907025$

FCC

Curva ajustada: $Y = 83.0981 * \exp(-0.0150872 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.938199$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 50.8334 * \exp(-0.0341523 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.961203$

Longley-rice

Curva ajustada: $Y = 79.4864 + -23.0339 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.787403$

Radial 110

1546-a

Curva ajustada: $Y = 44.7897 * \exp(-0.0496335 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.975334$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 33.0664 * \exp(-0.00332429 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.334864$.

FCC

Curva ajustada: $Y = 98.5607 * \exp(-0.0130715 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.99301$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.2397 * \exp(-0.0235949 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.947335$

Longley - Rice

Curva ajustada: $Y = 103.269 + -21.5348 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.639744$

Radial 130**1546-a**

Curva ajustada: $Y = 40.9576 * \exp(-0.00824627 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.944923$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 33.0664 * \exp(-0.00332429 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.334864$

FCC

Curva ajustada: $Y = 98.3799 * \exp(-0.0120753 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.992227$

Longley

Curva ajustada: $Y = 80.3576 * \exp(-0.0425891 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.675405$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.8235 * \exp(-0.0231225 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.946697$

Radial 150**1546-a**

Curva ajustada: $Y = 40.7402 * \exp(-0.0106771 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.919898$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 33.3704 * \exp(-0.00536888 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.455975$

FCC

Curva ajustada: $Y = 98.5878 * \exp(-0.0130348 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.993051$

Longley

Curva ajustada: $Y = 123.556 + -27.0761 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.697041$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.2765 * \exp(-0.0235647 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.947294$.

Radial 170**1546-a**

Curva ajustada: $Y = 41.0438 * \exp(-0.0109373 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.92087$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 33.5654 * \exp(-0.00572731 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.473371$

FCC

Curva ajustada: $Y = 97.4313 * \exp(-0.0118497 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.990378$

Longley-Rice

Curva ajustada: $Y = 111.47 + -21.9291 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.635722$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.2229 * \exp(-0.0236087 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.947352$

Radial 180**1546-a**

Curva ajustada: $Y = 41.0227 * \exp(-0.0102587 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.919063$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 33.6404 * \exp(-0.00475583 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.413684$

FCC

Curva ajustada: $Y = 97.4761 * \exp(-0.0119434 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.990979$

Longley rice

Curva ajustada: $Y = 109.88 + -21.7743 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.61118$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.3499 * \exp(-0.0235036 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.94721$

Radial 190

1546-a

Curva ajustada: $Y = 45.5115 * \exp(-0.0159945 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.908417$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 35.2817 * \exp(-0.00630592 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.478269$

FCC

Curva ajustada: $Y = 99.4534 * \exp(-0.0139137 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.994233$

Longley-rice

Curva ajustada: $Y = 101.106 + -19.7584 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.564985$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 57.8711 * \exp(-0.0239068 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.947756$

Radial 210

1546-a

Curva ajustada: $Y = 41.4474 * \exp(-0.00811566 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.754396$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 34.1216 * \exp(-0.00227423 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.187464$

FCC

Curva ajustada: $Y = 99.1108 * \exp(-0.0128782 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.993526$

Longley-Rice

Curva ajustada: $Y = 131.934 + -29.5396 * \ln X$

Coeficiente de correlación: $r = 0.733193$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.5364 * \exp(-0.0233519 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.947007$

Radial 230

1546-a

Curva ajustada: $Y = 41.7321 * \exp(-0.00667507 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.615315$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 33.9331 * \exp(-0.00134544 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.0794299$

FCC

Curva ajustada: $Y = 99.1272 * \exp(-0.0134719 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.99381$

Longley-rice

Curva ajustada: $Y = 112.467 + -25.5604 * \ln X$

Coeficiente de correlación: $r = 0.687877$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.1683 * \exp(-0.0236547 * X)$

Coeficiente de correlación: $r = 0.947417$

Radial 250

1546-a

Curva ajustada: $Y = 20.1087 * \exp(0.0162998 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.394279$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 34.4721 * \exp(0.00543841 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.234625$

FCC

Curva ajustada: $Y = 99.4633 * \exp(-0.0142178 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.994349$

Longley-Rice

Curva ajustada: $Y = 125.124 + -28.7288 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.707245$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 57.7846 * \exp(-0.0239817 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.947857$

Radial 270

1546-a

Curva ajustada: $Y = 43.2254 * \exp(0.00170747 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.193745$

1546-b

Curva ajustada: $Y = 34.6903 * \exp(0.00720428 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.356774$

FCC

Curva ajustada: $Y = 98.6345 * \exp(-0.0124794 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.992812$

Longley-rice

Curva ajustada: $Y = 83.7419 + -15.4716 * \ln X$

Coefficiente de correlación: $r = 0.425362$

Okumura-Hata

Curva ajustada: $Y = 58.8153 * \exp(-0.0231287 * X)$

Coefficiente de correlación: $r = 0.946706$

4.17 Mediciones de campo.

Las mediciones de campo fueron realizadas los días 25, 26 del mes de Marzo del presente año. Por accesibilidad no se hicieron mediciones en el radial 90, de igual manera no se llegó a medir hasta los 50 kilómetros porque el presente estudio se limita sobre la ciudad de Caracas, aun así sabiendo que se hicieron las estimaciones teóricas de la intensidad de campo eléctrico. Estas mediciones se realizaron gracias al equipo de medición para el estándar ISDB-Tb del IUT-Región capital, en colaboración de CONATEL prestando el personal especializado para las mediciones de televisión digital y los vehículos para el traslado sobre la ciudad de Caracas. El personal especializado de CONATEL se encargó de calibrar el equipo e instalar la antena de recepción externa, esta fue ubicada en la parte superior de la unidad móvil de CONATEL, no se necesitó ningún decodificador, debido a que el equipo utilizado está diseñado para trabajar directamente con el estándar de Televisión Digital que se tiene en actual emisión. En los días que se realizaron las mediciones no llovió en ninguna zona del desplazamiento, las temperaturas estuvieron rodeando los 28° grados centígrados y se empezaron las mediciones desde las 9:30 am hasta la 4:30 pm.

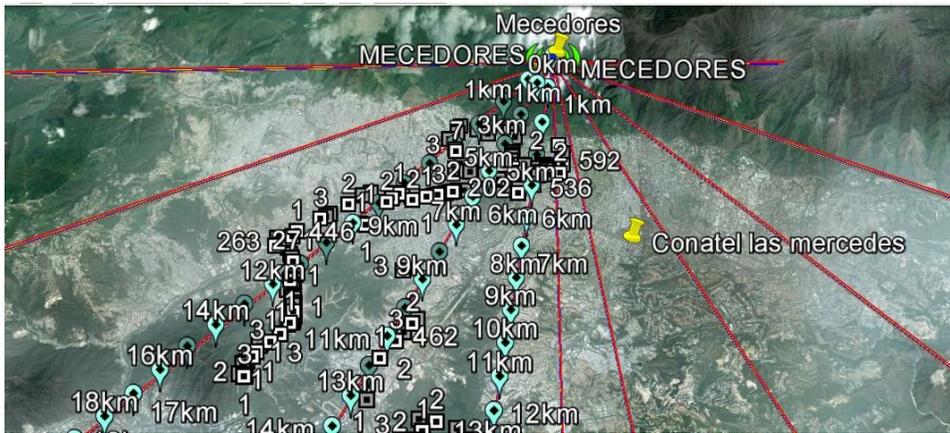


Ilustración 4-0-7. Mapa de caracas con los puntos de medición

El punto amarillo Mecedores es donde está ubicada la estación base transmisora, se puede observar los radiales (rectas de color rojo) que salen de dicho punto. Los puntos Verdes son los puntos teóricos a los cuales se les realizó la estimación de campo eléctrico, estos se encuentran equi-espaciados cada uno por 1kilometro. Los cuadros que se pueden observar son los puntos de medición por donde se pasó con la unidad móvil. Los cuadritos negros con blanco tienen diferentes números, 1 2 3 que se refieren a los distintos canales de Televisión Digital Abierta en emisión actual. A medida que se desplazaba la unidad móvil el equipo de medición tomaba un tiempo para tomar los valores de cada uno de los canales, este equipo tiene un software que permite controlarlo con la computadora y a su vez guardar todos los datos de las mediciones, con ayuda del GPS se sincronizó la hora de este instrumento con la hora de la laptop, y a medida que se desplazaba por la ciudad el GPS iba tomando las coordenadas para las distintas horas, posteriormente se comparaban las horas de medición con las horas del GPS y así se pudo obtener las coordenadas de los puntos de medición a medida que ocurría el desplazamiento.

Una vez exportados los puntos medidos, se ubicaron en el google earth sobre el resto de punto que anteriormente se tenían dispuestos, a los nuevos puntos se les agrego en la descripción el valor de la intensidad de campo eléctrico medida en dB uV/m.

Se calculó el Error Cuadrático Medio de los valores de medición y los valores de intensidad de campo eléctrico obtenidos mediante los diferentes métodos de estimación anteriormente descritos.

Tabla 26. Intensidad de campo eléctrico para el radial 230.

	1546-a	1546-b	Longley-Rice	FCC	Medición
D(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
1	37.09	38.87	54.90	105.51	
2	26.27	36.65	48.20	100.73	
3	21.84	35.81	64.90	96.86	45.90
4	18.90	36.22	99.00	94.16	50.70
5	28.56	36.04	101.70	92.02	45.00
6	29.73	36.08	96.40	90.15	38.70
7	24.44	36.43	94.00	88.48	52.90
8	27.16	37.27	92.30	87.02	64.80
9	33.96	38.11	91.30	85.81	61.70
10	33.64	34.15	59.60	84.66	30.80
11	35.15	38.34	94.90	83.57	40.70
12	37.27	39.87	55.40	82.53	40.20
13	39.20	41.03	88.30	81.55	35.40
14	40.27	41.39	32.80	80.63	42.60
15	38.15	38.63	16.30	79.71	49.60

Tabla 27. Error Cuadrático Medio para el radial 230.

1546-a		1546-b		Longley-Rice		FCC	
diferencia	dif^2	diferencia	dif^2	diferencia	dif^2	diferencia	dif^2
-24.06	578.75	-10.09	101.81	19.00	361.00	50.96	2596.92
-31.80	1011.47	-14.48	209.67	48.30	2332.89	43.46	1888.77
-16.44	270.18	-8.96	80.28	56.70	3214.89	47.02	2210.88
-8.97	80.39	-2.62	6.86	57.70	3329.29	51.45	2647.10
-28.46	810.11	-16.47	271.26	41.10	1689.21	35.58	1265.94
-37.64	1416.99	-27.53	757.90	27.50	756.25	22.22	493.73
-27.74	769.40	-23.59	556.49	29.60	876.16	24.11	581.29
2.84	8.09	3.35	11.22	28.80	829.44	53.86	2900.90
-5.55	30.76	-2.36	5.57	54.20	2937.64	42.87	1837.84
-2.93	8.59	-0.33	0.11	15.20	231.04	42.33	1791.83
3.80	14.47	5.63	31.70	52.90	2798.41	46.15	2129.82
-2.33	5.44	-1.21	1.46	-9.80	96.04	38.03	1446.28
-11.45	131.07	-10.97	120.34	-33.30	1108.89	30.11	906.61
Suma	5135.72	Suma	2154.68	Suma	20561.15	Suma	22697.91
ECM	5.74	ECM	3.72	ECM	11.48	ECM	12.06

Tabla 28. Intensidad de campo eléctrico para el radial 210

	Medido	1546-a	1546-b	FCC	Longley-rice
d(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
1.00		37.07	38.85	105.47	80.60
2.00		26.27	36.65	100.75	55.00
3.00	45.70	21.71	35.67	96.95	100.90
4.00	41.70	19.20	36.07	94.28	98.10
5.00	60.60	29.33	36.27	92.17	98.10
6.00	46.30	30.80	35.98	90.33	94.80
7.00	40.50	28.01	36.64	88.72	98.30
8.00	42.60	28.83	37.42	87.35	95.20
9.00	50.50	32.31	37.10	86.22	76.50
10.00	56.80	33.71	33.60	85.14	93.70
11.00	53.00	35.29	37.77	84.10	93.60
12.00	50.00	35.01	36.99	83.12	92.80
13.00	45.80	36.78	37.98	82.18	88.10

Tabla 29. Error Cuadrático Medio para el radial 210

1546-a		1546-b		FCC		Longley-Rice	
diferencia	dif ²	diferencia	dif ²	diferencia	dif ²	diferencia	dif ²
23.99	575.49	10.03	100.60	-51.25	2626.56	-55.20	3047.04
22.50	506.30	5.63	31.70	-52.58	2764.66	-56.40	3180.96
31.27	978.12	24.33	591.95	-31.57	996.66	-37.50	1406.25
15.50	240.18	10.32	106.50	-44.03	1938.64	-48.50	2352.25
12.49	156.00	3.86	14.90	-48.22	2325.17	-57.80	3340.84
13.77	189.68	5.18	26.83	-44.75	2002.56	-52.60	2766.76
18.19	330.82	13.40	179.56	-35.72	1275.92	-26.00	676.00
23.09	533.07	23.20	538.24	-28.34	803.16	-36.90	1361.61
17.71	313.80	15.23	231.95	-31.10	967.21	-40.60	1648.36
14.99	224.84	13.01	169.26	-33.12	1096.93	-42.80	1831.84
9.02	81.38	7.82	61.15	-36.38	1323.50	-42.30	1789.29
Suma	4129.67	Suma	2052.65	Suma	18120.98	Suma	23401.20
ECM	5.15	ECM	3.63	ECM	10.78	ECM	12.25

La regla matemática por la cual se compararon los métodos de estimación de cobertura es mediante el error cuadrático medio, el cual toma para cada kilómetro la diferencia del valor del punto medido y el valor del punto estimado por los diferentes métodos, luego se eleva al cuadrado y se hace una sumatoria total, luego se divide entre el número de muestras y se toma la raíz cuadrada de esta sumatoria, el resultado final es el ECM. En cuanto menor sea este valor, menor será la diferencia entre el método de estimación y los valores medidos en la ciudad.

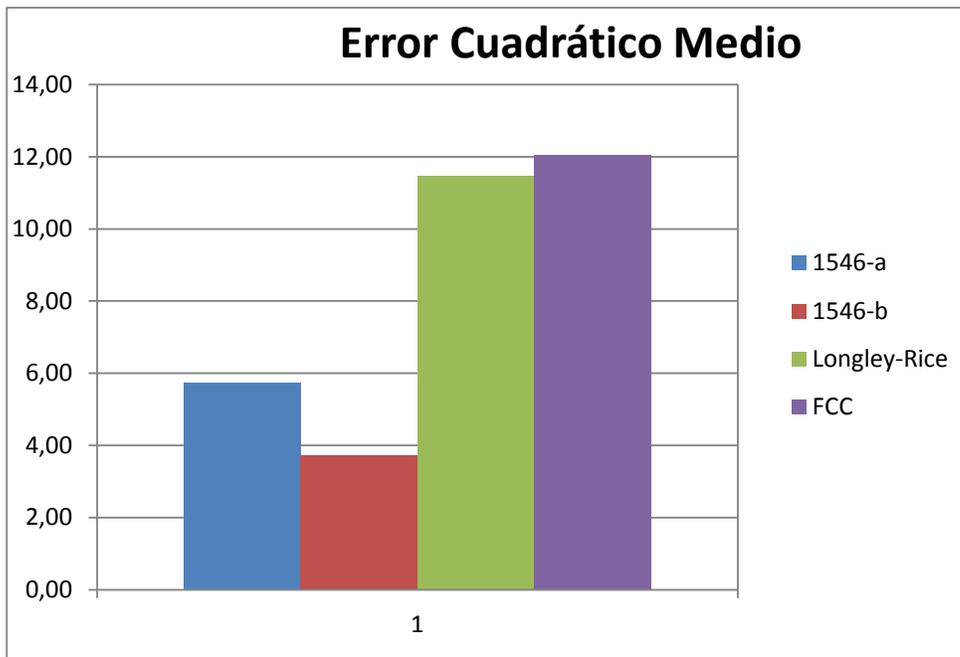


Ilustración 4-0-8. Error Cuadrático Medio radial 230.

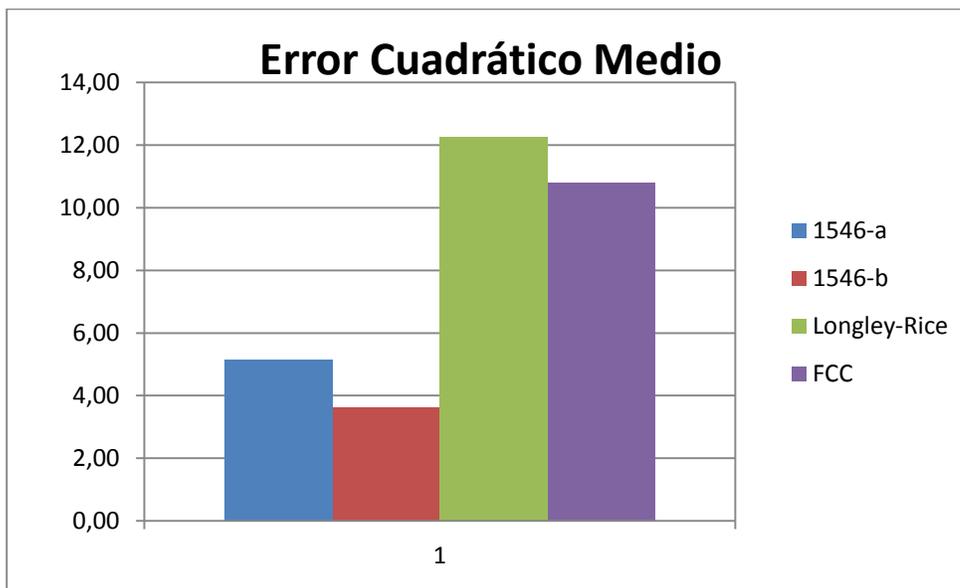


Ilustración 4-0-9. Error Cuadrático Medio radial 210

En las dos ilustraciones anteriores se puede apreciar que el método que tiene el menor error cuadrático medio es el de la UIT-R P.1546- b que es en función de las alturas de la distancia. En el Radial 210 el ECM para los métodos 1546-a, 1546-b y FCC disminuye con respecto al radial 230, mientras

que el ECM para el método de Longley-Rice aumento con respecto al radial 230.

En las tablas 33 y 35 se nota que la intensidad de campo medida es superior a la intensidad de campo estimada para los métodos de la UIT-R 1546-a y b.

Con los valores de los puntos medidos se procedió a buscar el modelo matemático que mejor se ajusta, una vez tenida la función matemática de los puntos de medición y con las funciones matemáticas de los métodos de estimación se calculó la diferencia entre las funciones punto a punto y se sacó un valor promedio de esta. La diferencia de este valor promedio revela que para la recomendación de la UIT-R P.1546 en función de la altura de la antena base transmisora fue de un valor promedio 11.76 dB, es decir, que esta recomendación está por debajo de los valores medidos. Para la recomendación de la UIT-R P.1546 en función de la distancia fue de un valor promedio de 8.4 dB por debajo de los valores medidos. Con respecto al método de estimación de Longley-Rice este método está por encima de las mediciones realizadas en un valor promedio de 13.39 dB. El método de la FCC también se encuentra por encima con un valor promedio de 42.89 dB.

Cuando los valores promedio de estimación de campo eléctrico se encuentran por debajo de los valores promedio medidos en campo, quiere decir que con la potencia que se realizó el estudio, si se está llegando a cubrir las aéreas planteadas. En esta fase no sería necesario mayor consumo de potencia si no encontrar el punto de equilibrio de potencia necesaria para llegar al mismo punto, este sería el caso de las dos recomendaciones de la UIT. En caso

contrario cuando el valor promedio del método estimado se encuentra por encima con respecto al valor promedio medido en el campo, se puede decir que no está llegando la señal.

Como la función matemática depende de la distancia a la cual se requiere la cobertura, esta función matemática es aproximada a los puntos y se puede usar para estimar la intensidad de campo eléctrico para una distancia determinada y con la ayuda del cálculo del error cuadrático medio se puede hacer un estudio por intervalos de distancia donde se pueda apreciar cual método es más preciso, es decir, cual método tiene mejor error cuadrático medio a diversas distancias y así poder sacar un rango de distancias donde sea más preciso aplicar los diferentes métodos de estimación de cobertura.

Cuando se comparan los métodos de estimación de campo teóricos con la intensidad de campo medida, además tomando en cuenta el perfil del terreno (Ilustración 4-11) se puede observar cual método se indica mayor relación con las variaciones del terreno como se puede apreciar en las ilustración 4-10. La curva morada es el método de la FCC, se puede apreciar que tiene una caída exponencial dependiendo de la distancia y que no se ve afectada por las variaciones del terreno. La curva azul oscuro es del método de la UIT-R 1546-a en se ve como cambia según irregularidad del terreno, pero algunos de estos cambios se ven que son inversos a la topografía del terreno, es decir, donde hay una montaña según la ilustración 4-11 debería tener mayor intensidad de campo, lo cual ocurre lo opuesto. La curva Roja es la recomendación 1546-b está en una parte del trayecto va disminuyendo exponencialmente pero luego se ve afectada por las irregularidades del terreno. Por último la curva amarilla que es del método de Longley- Rice se ve como cambia según las irregularidades del terreno en toda la distancia.

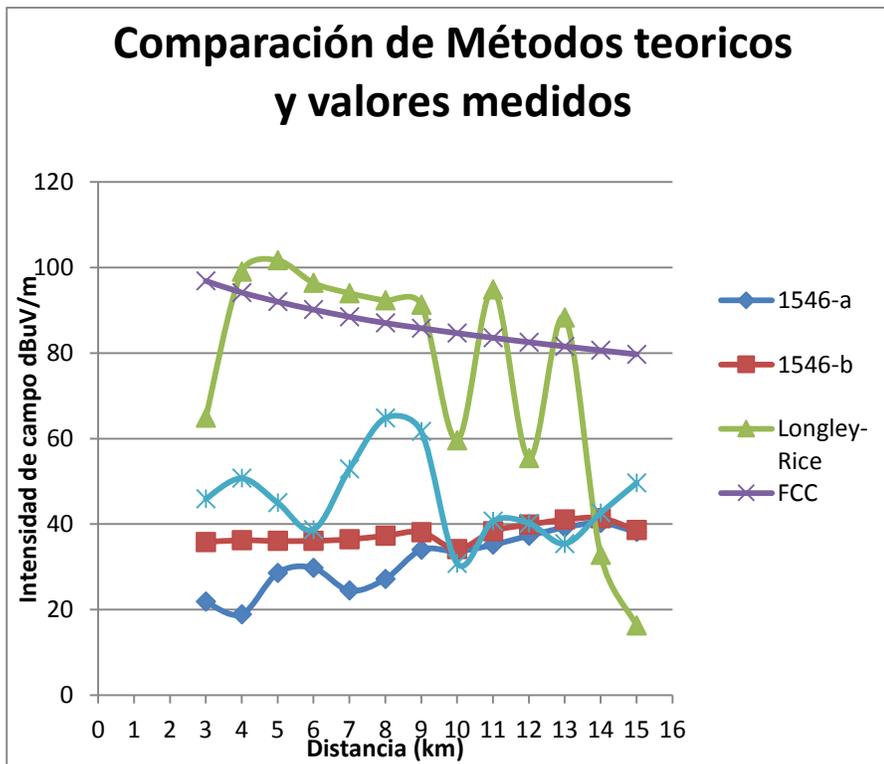


Ilustración 4-0-10. Intensidad de campo eléctrico en función de la distancia

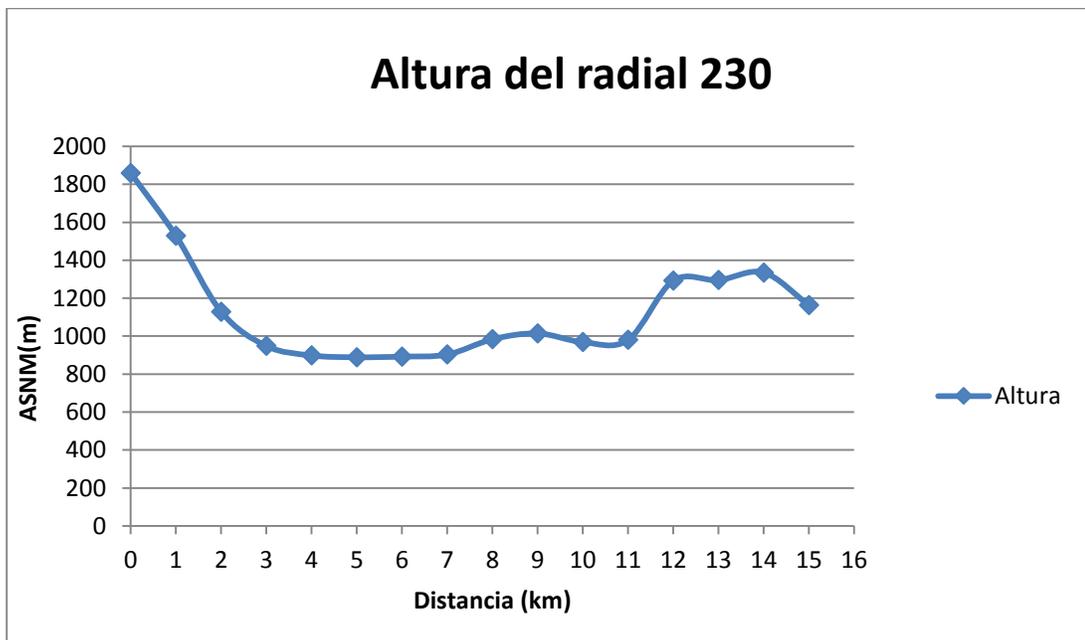


Ilustración 4-11. Altura del terreno en el Radial 230

Haciendo una estimación lineal para cada método teórico de estimación de intensidad de campo, con los valores medidos en el radial 230, se logró calcular un factor de corrección el cual es diferente para cada método de estimación de cobertura, con este factor se puede estimar la intensidad de campo eléctrico partiendo de cualquiera de los métodos estudiados. El factor de corrección viene de la siguiente forma:

a. Teórico + b = Estimado

Factor de corrección para el método de la FCC en el Radial 230

$$a=0.37410378 \quad b=13.6406863$$

$$\text{Curva ajustada: } Y = 99.1272 * \exp(-0.0134719 * X)$$

Si se combina el factor de corrección con la curva ajustada en el radial 230 del método de la FCC, se puede tener una estimación en función de la distancia incluyendo el factor de corrección ya calculado. La estimación quedaría de la siguiente forma $E(D(\text{km})) = 37.0838 * \exp(-0.0134719 * X) + 13.6406 \text{ dBuV/m}$

Tabla 30. Estimación para el método de la FCC para el radial 230.

	Medidos	FCC	Estimación
D(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
3	45.9	96.86	49.87637864
4	50.7	94.16	48.86629843
5	45	92.02	48.06571633
6	38.7	90.15	47.36614226
7	52.9	88.48	46.74138895
8	64.8	87.02	46.19519743
9	61.7	85.81	45.74253185
10	30.8	84.66	45.3123125
11	40.7	83.57	44.90453938
12	40.2	82.53	44.51547145
13	35.4	81.55	44.14884974
14	42.6	80.63	43.80467426
15	49.6	79.71	43.46049878

Factor de corrección para el método de la UIT-R P.1546-a en el Radial 230

$$a=-0.5381975 \quad b= 62.9792241$$

$$\text{Curva ajustada: } Y = 41.7321 * \exp(-0.00667507 * X)$$

Si se combina el factor de corrección con la curva ajustada en el radial 230 del método de la 1546-a, se puede tener una estimación en función de la distancia incluyendo el factor de corrección ya calculado. La estimación quedaría de la siguiente forma $E(D(\text{km}))= -22.4601 * \exp(-0.00667507 * X) + 62.97922 \text{ dBuV/m}$

Tabla 31. Estimación para el método de la UIT 1546-a para el radial 230

	Medidos	1546-a	Estimación
D(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
3	45.9	21.84	51.22498963
4	50.7	18.9	52.80729042
5	45	28.56	47.6083021
6	38.7	29.73	46.97861097
7	52.9	24.44	49.825676
8	64.8	27.16	48.36177867
9	61.7	33.96	44.70203534
10	30.8	33.64	44.87425855
11	40.7	35.15	44.06158026
12	40.2	37.27	42.92060145
13	35.4	39.2	41.88188018
14	42.6	40.27	41.30600881
15	49.6	38.15	42.44698761

Factor de corrección para el método de la UIT-R P.1546-b en el Radial 230

$$a= -0.1800772 \quad b= 52.8557214$$

$$\text{Curva ajustada: } Y = 33.9331 * \exp(-0.00134544 * X)$$

Si se combina el factor de corrección con la curva ajustada en el radial 230 del método de la 1546-b, se puede tener una estimación en función de la distancia

incluyendo el factor de corrección ya calculado. La estimación quedaría de la siguiente forma $E(D(\text{km})) = -6.1078 \cdot \exp(-0.00134544 \cdot X) + 52.85572$ dBuV/m

Tabla 32. Estimación para el método de la UIT 1546-b para el radial 230

	Medidos	1546-b	Estimación
D(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
3	45.9	35.81	46.407157
4	50.7	36.22	46.3333253
5	45	36.04	46.3657392
6	38.7	36.08	46.3585361
7	52.9	36.43	46.2955091
8	64.8	37.27	46.1442442
9	61.7	38.11	45.9929794
10	30.8	34.15	46.7060851
11	40.7	38.34	45.9515616
12	40.2	39.87	45.6760435
13	35.4	41.03	45.467154
14	42.6	41.39	45.4023262
15	49.6	38.63	45.8993393

Factor de corrección para el método de Longley-Rice en el Radial 230

$$a = 0.07356744 \quad b = 40.4920228$$

$$\text{Curva ajustada: } Y = 112.467 - 25.5604 \cdot \ln X$$

Si se combina el factor de corrección con la curva ajustada en el radial 230 del método de la Longley-Rice, se puede tener una estimación en función de la distancia incluyendo el factor de corrección ya calculado. La estimación quedaría de la siguiente forma $E(D(\text{km})) = 152.957 - 1.8801 \cdot \ln X$ dBuV/m

Tabla 33. Estimación para el método de Longley-Rice para el radial 230

	Medidos	Longley-Rice	Estimación
D(km)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)	E(dBuV/m)
3	45.9	64.9	45.26654946

4	50.7	99	47.77519907
5	45	101.7	47.97383115
6	38.7	96.4	47.58392374
7	52.9	94	47.40736189
8	64.8	92.3	47.28229724
9	61.7	91.3	47.20872981
10	30.8	59.6	44.87664204
11	40.7	94.9	47.47357258
12	40.2	55.4	44.5676588
13	35.4	88.3	46.98802749
14	42.6	32.8	42.90503472
15	49.6	16.3	41.691172

Las limitaciones de estos factores de corrección son:

- Cada factor de corrección sirve solo para el método teórico del cual fue calculado.
- Como las mediciones fueron realizadas en la ciudad de Caracas, el factor de corrección no está comprobado para otras ciudades.
- Los factores de corrección son únicos para cada radial.

CONCLUSIONES

Este estudio mediante las mediciones que se realizaron y la comparación con los valores estimados se ha podido comprobar que los valores predichos de la recomendación de la UIT-R P.1546 en sus dos versiones de interpolación, en función de la altura de la antena base transmisora y en función de la distancia, con sus debidas correcciones, estos valores estimados se encontraron por debajo de los valores reales de las mediciones realizadas, lo que se puede llegar a afirmar que este método de estimación de cobertura arroja un resultado no compatible con las diversas características del terreno, de las reflexiones, y de todas las demás particularidades que considera este método, ya que este método no fue desarrollado para una topografía como la ciudad de caracas y toma en cuenta diversos factores que para esta ciudad no aplica y otros factores que si aplican.

Al predecir valores por debajo de la realidad, este método exige un aumento de potencia en la estación base transmisora, para poder asegurar la cobertura en las aéreas, las cuales según su estimación no tienen cobertura, generando así mayor consumo de energía y todo lo mencionado en el planteamiento del problema.

El método de la FCC no se puede aplicar en la ciudad de caracas ya que los valores predichos difieren totalmente de las mediciones hechas, este método no considera muchos factores, uno de ellos las perdidas por la frecuencia, la difracción, la atenuación de la vegetación y otros factores que influyen en la predicción de intensidad de campo eléctrico.

El método Longley-Rice, es un método más completo, es uno de los que más se aproxima a los valores que se tienen en las mediciones, es un buen método para obtener una idea inicial de la potencia en la planificación de redes, como este método es un método punto a punto evalúa con más precisión la intensidad de campo necesaria en un punto determinado, también permite el cálculo de la atenuación por múltiples obstáculos de filo de cuchillo, este método es el que más se adecua a las mediciones de campo según la irregularidad del terreno.

Durante las mediciones una zona visitada fue La Vega, en esta zona se pudo notar que a la entrada de la misma tenía cobertura de la Televisión Digital Abierta sin ningún inconveniente, pero a medida que se iba subiendo a la parte de terrazas de la Vega se fue perdiendo la señal, esto es debido a que no se tenía línea de vista con el transmisor y que la carretera de subida está junto a la montaña, esta montaña absorbía la señal de forma tal que no se tenía cobertura en esa zona. Pero un poco más arriba de terrazas de La Vega donde se tiene línea de vista directa con el transmisor, se pudo ver que llegaba la señal de televisión sin ningún inconveniente.

RECOMENDACIONES

Del siguiente trabajo se desprenden las siguientes recomendaciones:

- Las pruebas de campo para medir la intensidad de campo para la Televisión Digital Abierta se necesitan de más días de salida para poder acumular mayor información.
- Tener un equipo propio de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones para el estándar escogido en Venezuela (ISDB-Tb), y así poder efectuar mayor número de pruebas de campo.
- En el momento de las pruebas de campo, utilizar un atenuador variable, con el fin de lograr encontrar el punto crítico donde se pierde la señal. En puntos clave de las pruebas.
- Sabiendo que el factor de corrección es un valor promedio para los métodos ya existentes de estimación de cobertura, proponer un método de estimación propio (venezolano), considerando otros factores que influyan en las distintas ciudades que tiene Venezuela, como son Costera, rural, densamente poblada, entre otras. Y con este método propuesto poder independizarse y desligarse de los antiguos métodos usados, los cuales se han comprobado que no son muy acertados por nuestra topografía y diversos factores que se tienen en Venezuela.
- Como se piensa desplegar la TDA en toda Venezuela realizar pruebas de campo y estudios para las diversas ciudades para poder definir la potencia necesaria que se necesita.
- En los lugares que por alguna razón el nivel de señal este muy bajo, promover la dotación de antenas de mayor ganancia, las cuales ya han sido diseñadas y probadas por el instituto de ingeniera, para las diferentes situaciones de recepción y así se asegura que llega la

señal sin aumentar la potencia. Si aun así con esta solución de mayor ganancia de antenas poder prestarle el servicio de Televisión Digital a través del satélite Simón Bolívar.

- Definir un contorno de servicio máximo para cada ciudad, donde se pueda asegurar la recepción de Televisión Digital Abierta.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Brasileña de Normas Técnicas. (2007). *ABNT NBR 15602-3*. Rio de Janeiro: ABNT.

Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2007). *Televisión digital terrestre- Sistema de transmisión*. Rio de Janeiro: ABNT.

Barboza, Z. (1996). *Antenas y Propagación*. Mérida: Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería eléctrica.

Canal Digital. (s.f.). *Canal Top Digital*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de http://www.canaltopdigital.com/tv_digital/

Cheng, D. (1998). *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería* (Versión en Español). Editorial Pearson Education, Addison Wesley Logman..

Cipriano, M. (4 de febrero de 2009). *Ministerio de Transporte y Comunicaciones*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de http://www.mtc.gob.pe/portal/tdt/docs/exposiciones/001_DGAT-MTC_presentac1.pdf

Comisión Nacional de Telecomunicaciones, Conatel. (2007). *PROTOCOLO DE PRUEBAS COMPARATIVAS DE DESEMPEÑO ENTRE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE DVB-T E ISDB-T*. Caracas.

Comission, F. C. (s.f.). *Federal Communication Comission FCC*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de Federal Communication Comission FCC: <http://www.fcc.gov/topic/digital-television>

Espinosa, J. (6 de junio de 2009). *Wikitel*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de http://es.wikitel.info/wiki/Televisi%C3%B3n_digital_terreste#cite_note-3 WikiTel:

Federal Communications Comission. (s.f.). *Federal Communications Comission FCC*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de <http://www.fcc.gov/topic/digital-television>

Gamez, D. (2007). DISEÑO DE LA PLATAFORMA PARA TRANSMISIÓN DE SEÑAL ABIERTA DEL CANAL DE TELEVISION DE LA ASAMBLEA NACIONAL (ANTV) EN EL ÁREA METROPOLITANA. *DE SEÑAL ABIERTA DEL CANAL DE TELEVISION DE LA ASAMBLEA NACIONAL (ANTV) EN EL ÁREA METROPOLITANA* . Caracas.

Gómez, P. & García, I. (2005). *Medidores de Campo y su uso en medidas de señales de TV*. Prácticas de Radiocomunicación de la Universidad de Vigo.

Loyola, L. A. (2011). *Televisión Digital al alcance de Todos*. España: Bubok Publishing S.L.

Loyola, L. A. (2011). *Televisión Digital al alcance de Todos*. España: Bubok Publishing S.L.

Martínez, F. (2002). *Escuela de Ingeniería Eléctrica*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012,

Parra, R. (2008). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE CONFIGURADO COMO UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA, UTILIZANDO EL ESTÁNDAR DVB-T PARA CUBIR LA CIUDAD DE CARACAS, DISTRITO CAPITAL*. Caracas: Ucv.

Pérez Vega, C. (2010). *Dpto de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Cantabria*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de personales.unican.es/perezvr/pdf/CH8ST_Web.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (10 de Marzo de 2011). *Unión Internacional de Telecomunicaciones*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de <http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/seminars/glossary/index-es.html>

Zamora M, I. (2012). *Scribd*. Recuperado el 12 de septiembre de 2012, de <http://es.scribd.com/doc/112043892/Lecture-9-Analisis-de-Radiopropagacion-P7>

REFERENCIAS

[1] Comisión Nacional de telecomunicaciones, (n,d). Reseña histórica. Consultado el 7 de agosto de 2012.

<http://www.conatel.gob.ve/#http://www.conatel.gob.ve/index.php/principal/resenahistorica>

[2] Martínez, E (junio 2008). Televisión Digital. Consultado el 7 de agosto de 2012.

<http://www.eveliux.com/mx/el-abc-de-la-television-digital-parte-1.php>

[3] Duque, L (2001). El despliegue de la Televisión Digital en Venezuela: ¿Ausencia de Políticas Públicas o Planificación Estratégica? [versión electrónica]. *CENDES*

[4] Rojas, I (abril 2012). Venezuela impulsa la TV Digital de la mano de Argentina. Consultado el 7 de agosto de 2012.

<http://www.ultimasnoticias.com.ve/noticias/actualidad/economia/venezuela-impulsa-tv-digital-de-la-mano-de-argenti.aspx>.

[5] UIT (Rec. UIT-R P.1546: 2005). RECOMENDACIÓN UIT-R P.1546-2. Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

[6] Informe técnico sobre las pruebas comparativas de desempeño entre los estándares de televisión digital terrestre DVB-T e ISDB-T. Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). Caracas, 21 de diciembre de 2007.

ANEXOS