

## **MODELO DE PREDICCIÓN PARA LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL ABIERTA EN VENEZUELA.**

Guía Velasco, Madeleine Verónica

[madeleineguia@gmail.com](mailto:madeleineguia@gmail.com)

Medina Gonzalez, Fabiana Berenice

[fabmedgon@gmail.com](mailto:fabmedgon@gmail.com)

### **RESUMEN**

El presente trabajo de grado, cuyo tema se titula “Modelo de predicción para la propagación de la señal de Televisión Digital Abierta en Venezuela”, presenta la investigación de los conceptos relevantes para el estudio de la transmisión y recepción de señales, así como los fenómenos que afectan la propagación de señales, con el objetivo de comparar algunos de los modelos teóricos existentes de predicción de cobertura para la propagación de la señal de Televisión Digital Abierta, con la finalidad de elegir el que mejor se adapte a las principales ciudades de Venezuela, ya que actualmente los modelos de predicción existentes se desarrollaron en otros países y sus principales parámetros corresponden con otra realidad distinta a las de Venezuela y por ende su aplicabilidad pudiera requerir algunos ajustes. Por supuesto, ese planteamiento requiere practicar mediciones de campo para comprobar y verificar los valores obtenidos con modelos de predicción teóricos y los valores recogidos en la práctica.

Para alcanzar los objetivos planteados, se utilizó una metodología que consta de 4 fases apoyada en una investigación de tipo documental y exploratoria la cual se llevó a cabo con el estudio de problemas vinculados a la predicción de la señal para la televisión digital abierta, con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, apoyándose principalmente en trabajos previos e información y

datos divulgados por medios electrónicos, con el fin de establecer las pautas dentro del Manual Guía para posteriores investigaciones.

Como resultado de lo antes descrito se obtuvo un manual guía, el cual facilita el proceso para realizar las mediciones de campo y el manejo de los resultados obtenido a través de los modelos teóricos seleccionados y los valores arrojados en el proceso de medición, con el fin de sugerir el o los modelos que mejor se adapten a la predicción de la propagación de señal de televisión digital abierta.

**Palabras Claves:** Modelos de Predicción, Televisión Digital Abierta, Manual Guía.

## AGRADECIMIENTOS

*A lo largo del camino de la vida, se nos presentan diversas oportunidades y nuevos desafíos. La posibilidad de abordarlos y superarlos hace que la vida sea más interesante, pero cabe destacar que, si no fuese gracias a la ayuda y el apoyo de aquellas personas importantes que se presentan en este recorrido, personas a las cuales llamamos nuestros ingenieros de sueños, nuestros logros no serían posibles.*

***A la Universidad Católica Andrés Bello y a la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones,*** por ser una excelente casa de estudios y por permitirnos crecer con alta capacidad profesional y con amplios valores éticos.

***A cada uno de nuestros profesores,*** por formar parte de nuestro desarrollo y progreso profesional durante el transcurso de nuestra carrera.

***Al Prof. Freddy Brito,*** por su carisma, ayuda y profesionalismo; quien nos dio la oportunidad de realizar este proyecto.

***Al Ing. Héctor Reyes,*** por su orientación, instrucciones impartidas, responsabilidad y oportunas recomendaciones; brindadas como Tutor en todo momento lo cual nos permitió culminar con éxito nuestro proyecto.

***Al Ing. Berardo Di Attanasio,*** por proporcionarnos su apoyo, conocimientos y su tiempo en la corrección de nuestro Trabajo Especial de Grado.

***Al Ing. Luis Duque,*** por su colaboración e información aportada para este proyecto.

***A nuestras familias y amigos,*** por su dedicación, optimismo, paciencia y buenos consejos; por ser un apoyo incondicional en nuestras vidas.

*“A quienes nos alentaron con sus palabras en los momentos en los que más necesitábamos una frase de fortaleza, a quienes soñaron con esta meta y este logro igual que nosotras”.*

## DEDICATORIA

A **Dios** por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida junto a una familia maravillosa.

A toda mi familia, en especial a mis padres, **Guillermo Guía** y **Celina Velasco**, y a mi hermano **Jorge Guía**; que gracias a su apoyo y sacrificio ha sido posible culminar esta etapa.

A todos mis amigos, por haber caminado a mi lado y brindarme alegrías y su mayor apoyo durante todo este tiempo.

**Madeleine Guía Velasco**

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN.....                                                   | i   |
| AGRADECIMIENTOS.....                                           | iii |
| DEDICATORIA.....                                               | v   |
| ÍNDICE GENERAL.....                                            | vi  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                         | x   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                          | xii |
| INTRODUCCIÓN.....                                              | 1   |
| <b>CAPÍTULO I</b>                                              |     |
| PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....                                | 3   |
| I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                            | 3   |
| I.2 OBJETIVO GENERAL .....                                     | 5   |
| I.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....                               | 5   |
| I.4 JUSTIFICACIÓN .....                                        | 6   |
| I.5 LIMITACIONES Y ALCANCES .....                              | 6   |
| <b>CAPÍTULO II</b>                                             |     |
| MARCO TEÓRICO.....                                             | 8   |
| II. 1. Historia de la Televisión en Venezuela.....             | 8   |
| II.1.1 Televisión Analógica.....                               | 10  |
| II.1.2 Televisión Digital.....                                 | 10  |
| II.1.3 Transición de la televisión analógica a la digital..... | 10  |
| II.1.4. Televisión Digital Abierta (TDA).....                  | 13  |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.1.5. Televisión Digital Satelital (TDS) .....                                            | 13 |
| II.1.6 Implantación de la TV Digital en el Mundo.....                                       | 14 |
| II.2. Estándar ISDB-Tb.....                                                                 | 21 |
| II.3. Conceptos relevantes para el estudio de la transmisión y recepción de<br>señales..... | 22 |
| II.3.1 Transmisor, receptor, sistema radiante y sus características .....                   | 22 |
| II.3.1.1 Ganancia, Directividad, ROE .....                                                  | 22 |
| II.3.1.2 Características de los transmisores.....                                           | 27 |
| II.3.1.3 Características de los receptores .....                                            | 29 |
| II.3.2 Medio de transmisión .....                                                           | 32 |
| II.3.2.1 Medios guiados .....                                                               | 33 |
| II.3.2.2 Medios no guiados .....                                                            | 34 |
| II.4 Fenómenos que afectan la propagación de señales.....                                   | 36 |
| II.4.1 Pérdidas de la señal en el espacio libre .....                                       | 36 |
| II.4.2 Atenuación.....                                                                      | 38 |
| II.4.3 Difracción .....                                                                     | 39 |
| II.4.4 La difracción por objetos delgados .....                                             | 39 |
| II.5 Banda UHF .....                                                                        | 58 |
| II.6 Características de propagación de campos electromagnéticos.....                        | 59 |
| II.6.1 Nivel de Potencia Efectiva Radiada (PER) .....                                       | 59 |
| II.6.2 Espectro radioeléctrica y banda atribuidas al servicio de TDA en<br>Venezuela .....  | 60 |
| II.7 Margen de desvanecimiento .....                                                        | 62 |

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.8 Modelos de Predicción para la Propagación de la Señal de Televisión Digital Abierta..... | 63        |
| II.9. Modelos de propagación para ambientes abiertos .....                                    | 66        |
| II.9.1 Modelo de Propagación en el Espacio Libre .....                                        | 66        |
| II.9.2 Modelo de Dos Rayos (Reflexión Terrestre).....                                         | 67        |
| II.10 Propagación de RF en Ambientes Urbanos.....                                             | 68        |
| II.10.1 Modelo de Okumura.....                                                                | 69        |
| II.10.2 Modelo Hata (Okumura-Hata).....                                                       | 72        |
| II.10.3 Modelo de la FCC .....                                                                | 74        |
| II.10.4 Modelo Walfisch y Bertoni. ....                                                       | 80        |
| II.10.5 Modelo Bullington .....                                                               | 82        |
| II.10.6 Modelo de Longley-Rice (ITS irregular terrain model) .....                            | 85        |
| II.10.7 Método propuesto por la UIT .....                                                     | 87        |
| <b>CAPÍTULO III</b>                                                                           | <b>89</b> |
| METODOLOGÍA.....                                                                              | 89        |
| III.1 INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN .....                                                     | 90        |
| III.2 PLANIFICACIÓN.....                                                                      | 90        |
| III.3 EJECUCIÓN Y DISEÑO DEL MANUAL .....                                                     | 91        |
| III.4 CIERRE .....                                                                            | 91        |
| <b>CAPÍTULO IV</b>                                                                            |           |
| DESARROLLO.....                                                                               | 92        |
| IV.1 INVESTIGACIÓN TEÓRICA .....                                                              | 92        |
| IV.2 CUADRO COMPARATIVO .....                                                                 | 93        |



|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| IV.3 METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DEL MANUAL GUÍA .... | 97  |
| IV.3.1 RADIALES Y PUNTOS DE MEDICIÓN .....                | 97  |
| IV.3.2 TABLAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....           | 98  |
| IV.3.3 TABLAS DE RESULTADOS .....                         | 101 |
| <b>CAPÍTULO V</b>                                         |     |
| RESULTADOS.....                                           | 103 |
| V.1. SELECCIÓN DE MODELO .....                            | 103 |
| V.2. MANUAL GUÍA.....                                     | 104 |
| <b>CAPÍTULO VI</b>                                        |     |
| CONCLUSIONES .....                                        | 105 |
| RECOMENDACIONES .....                                     | 106 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                         | 113 |
| ANEXOS.....                                               | 118 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Mapa Mundial de estándares adoptados.....                                       | 21 |
| Figura 2. Directividad .....                                                              | 24 |
| Figura 3. Onda estacionaria.....                                                          | 26 |
| Figura 4. Arquitectura básica de un transmisor.....                                       | 27 |
| Figura 5. Sistema transmisor de amplificación común. ....                                 | 27 |
| Figura 6. (a) Display con receptor integrado. (b) Receptor o conversor (Set top box). ... | 29 |
| Figura 7. Modelo de un decodificador. ....                                                | 30 |
| Figura 8. Receptor de televisión digital USB.....                                         | 31 |
| Figura 9. Antena UHF para TD.....                                                         | 32 |
| Figura 10. Antena UHF recepción difícil de 90 elementos.....                              | 32 |
| Figura 11. Difracción. ....                                                               | 39 |
| Figura 12. Difracción por objetos delgados. ....                                          | 40 |
| Figura 13. Refracción en una frontera plana entre dos medios. ....                        | 41 |
| Figura 14. Reflexión. ....                                                                | 42 |
| Figura 15. TX (Transmisor de radio), RX (Receptor de radio).....                          | 43 |
| Figura 16. Zonas de Fresnel. ....                                                         | 44 |
| Figura 17. Diversidad de espacios. ....                                                   | 47 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 18. Propagación de la señal. ....                                            | 49 |
| Figura 19. Modelos de propagación. ....                                             | 65 |
| Figura 20. Modelo de Dos Rayos. ....                                                | 68 |
| Figura 21. Curvas del modelo Okumura para la atenuación media.....                  | 71 |
| Figura 22. Factor de corrección dependiente del entorno para el modelo Okumura..... | 72 |
| Figura 23. Curvas FCC (50,50). Canales del 2-6, 14-69. ....                         | 78 |
| Figura 24. Curvas FCC (50,50). Canales del 7-13. ....                               | 79 |
| Figura 25. Modelo Walfisch y Bertoni. ....                                          | 81 |
| Figura 26. Pérdidas por trayectoria.....                                            | 81 |
| Figura 27. Cálculo de Parámetros del Modelo Bullington.....                         | 83 |
| Figura 28. Pérdidas por difracción en una arista en filo de cuchillo. ....          | 85 |
| Figura 29. Fenómeno de “Filo de cuchillo”. ....                                     | 86 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Implantación de la TV Digital en América Latina.....                                 | 14 |
| Tabla 2. Implantación de la TV Digital en Europa.....                                         | 18 |
| Tabla 3. Implantación de la TV Digital en Asia y Oceanía .....                                | 19 |
| Tabla 4. Estaciones analógicas. ....                                                          | 48 |
| Tabla 5. Estaciones Digitales .....                                                           | 49 |
| Tabla 6. Valores típicos para diferentes tipos de edificios donde sig (dB) son pérdidas. .... | 52 |
| Tabla 7. Pérdidas de acuerdo al tipo de material y frecuencia. ....                           | 54 |
| Tabla 8. Valores típicos de FAF. ....                                                         | 54 |
| Tabla 9. Valores típicos de FAF para tipos de edificios. ....                                 | 55 |
| Tabla 10. Atribución de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico. ....           | 61 |
| Tabla 11. Tipos de celdas y sus características .....                                         | 65 |
| Tabla 12. Comparación de modelos. ....                                                        | 95 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1. Ganancia de Potencia.....                              | 23 |
| Ecuación 2. Rendimiento de radiación .....                         | 23 |
| Ecuación 3. Onda Estacionaria.....                                 | 26 |
| Ecuación 4. Potencia de Antenas Isotrópicas.....                   | 36 |
| Ecuación 5. Atenuación en espacio libre .....                      | 37 |
| Ecuación 6. Formula de Friis .....                                 | 37 |
| Ecuación 7. Pérdidas por trayectoria con ganancia de antenas. .... | 38 |
| Ecuación 8. Pérdidas por trayectoria con ganancia unitaria.....    | 38 |
| Ecuación 9. Pérdidas por obstáculo. ....                           | 40 |
| Ecuación 10. Primera Zona de Fresnel. ....                         | 44 |
| Ecuación 11. Ley de Log-Distancia.....                             | 53 |
| Ecuación 12. Señal Modulada QAM .....                              | 56 |
| Ecuación 13. Potencia Efectiva Radiada.....                        | 59 |
| Ecuación 14. Margen de Desvanecimiento. ....                       | 62 |
| Ecuación 15. Potencia recibida en espacio libre.....               | 66 |
| Ecuación 16. Ganancia de la Antena. ....                           | 67 |
| Ecuación 17. Potencia recibida.....                                | 68 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 18. Potencia recibida en dB.....                           | 68 |
| Ecuación 19. Pérdidas Modelo Okumura.....                           | 70 |
| Ecuación 20. Ganancia hTx. (30-1000) .....                          | 70 |
| Ecuación 21. Ganancia hRx. (1-3).....                               | 70 |
| Ecuación 22. Ganancia hRx. (3-10).....                              | 71 |
| Ecuación 23. Pérdidas Modelos Okumura-Hata.....                     | 73 |
| Ecuación 24. Factor de corrección. $F_c < 300\text{MHz}$ . ....     | 74 |
| Ecuación 25. Factor de corrección. $F_c > 300\text{MHz}$ . ....     | 74 |
| Ecuación 26. Pérdidas en ambiente suburbano. ....                   | 74 |
| Ecuación 27. Pérdidas en áreas rurales. ....                        | 74 |
| Ecuación 28. Nivel de señal esperado.....                           | 76 |
| Ecuación 29. Pérdida Modelo Walfisch y Bertoni. ....                | 80 |
| Ecuación 30. Pérdidas de espacio libre en antenas isotrópicas ..... | 80 |
| Ecuación 31. Pérdidas por Difracción. ....                          | 81 |
| Ecuación 32. Influencia de los edificios en la señal. ....          | 82 |
| Ecuación 33. Altura equivalente del obstáculo. ....                 | 83 |
| Ecuación 34. Distancia 1er obstáculo. ....                          | 83 |
| Ecuación 35. Distancia 2do obstáculo. ....                          | 83 |

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Ecuación 36. Parámetro adimensional ..... | 84 |
| Ecuación 37. Pérdida por obstáculo.....   | 84 |

## INTRODUCCIÓN

La televisión, desde la década de los 70's, se convirtió en el medio de comunicación masiva con más impacto y se le responsabiliza de los mayores cambios culturales en gran escala (positivos y negativos). Este impacto lejos de decrecer puede incrementarse y transformarse con la aparición de nuevas tecnologías: la televisión digital. (Martínez, Ascencio, & Fraga, 2008).

La televisión digital representa el cambio tecnológico más radical en la industria televisiva, después de la aparición de la TV a color. (Martínez, Ascencio, & Fraga, 2008).

En Venezuela existen grandes avances sobre la televisión digital. En este sentido, se tiene que la implementación total de la TDA será progresiva, y sus beneficios irán aumentando con el transcurso del tiempo. Al finalizar este proceso, la TDA ofrecerá los siguientes beneficios a la población:

- ✓ Cobertura Nacional: con la combinación de la TDA y la TDS se podrá alcanzar la cobertura total del país. (Ramírez & Ramírez, 2012). En Venezuela actualmente se instalan 13 estaciones para el arranque de la TDA, mientras que en Argentina se están elaborando los Kits de transmisión, y los decodificadores, que permitirán que los TV analógicos reciban señales en formato digital. (Ramírez & Ramírez, 2012)

- ✓ TV móvil: la posibilidad de ver televisión en dispositivos móviles (celulares, tv portátiles, tablets, etc.) (Ramírez & Ramírez, 2012).

- ✓ Mejor calidad de imagen y sonido. (Ramírez & Ramírez, 2012).

- ✓ Nuevas señales televisivas y nuevas voces: más programas de TV donde podrán participar generando contenidos universidades, ONGs, pueblos originarios, cooperativas de trabajo, organizaciones sin fines de lucro, gobiernos regionales, municipales e instituciones (Ramírez & Ramírez, 2012).



✓ Contenidos de calidad: realizando campañas de prevención, programación cultural, educativa, mensajes de interés público que favorezcan la cohesión social y la participación ciudadana, etc. (Ramírez & Ramírez, 2012).

✓ Interactividad: La interactividad es la capacidad de ofrecer contenidos adicionales a los programas de televisión, permitiendo al usuario interactuar con el contenido audiovisual, la programación de los canales, participar en concursos, votaciones, comprar productos o servicios, e incluso participar en los propios programas de televisión. La interactividad es posible gracias a aplicaciones que complementan la programación, el usuario tiene el control y decide si quiere verlos, y cuándo. (Gobierno de España, 2006)

Para la TDA existen varios estándares: el americano, el chino, el japonés y el europeo. Venezuela optó por la norma Japonesa-Brasileña, ya que el país sureño cuando adoptó el estándar le hizo mejoras. (Ramírez & Ramírez, 2012).

En este proyecto se investigarán los conceptos más relevantes para el estudio de la transmisión y recepción de señales y los fenómenos que afectan la propagación de estas, se desarrollarán algunos de los modelos existentes para luego establecer comparaciones entre ellos y recomendar el que mejor se adapten a los parámetros establecidos por Venezuela. Con ayuda de la información obtenida, se desarrollará un manual guía el cual indicará cómo realizar las mediciones necesarias para la transmisión de la señal de televisión digital abierta y el manejo de las mismas.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

En el presente capítulo se describen las razones por las cuales es necesario el desarrollo de este trabajo especial de grado y cuáles fueron las limitaciones y el alcance del proceso.

En un proyecto es importante tener claro el punto de partida y el rumbo de la investigación, de esta manera siempre se podrá obtener resultados convenientes y totalmente ligados a la investigación, sin caer en procesos innecesarios y/o tediosos de los cuales no se consiguiera obtener ningún aporte notable.

#### **I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En las últimas décadas, la tecnología ha reducido los tiempos de transmisión de la información a distancia, permitiendo un acceso sin precedentes, a bajo costo y con creciente versatilidad. En Venezuela, como en los principales países del mundo, la tecnología de las telecomunicaciones han traído cambios vertiginosos en la forma de comunicarse: la telefonía fija, telefonía celular, Internet y la TV por suscripción, son fundamentales para el consumidor venezolano. Asimismo, la televisión abierta ha significado un medio de comunicación, información y entretenimiento de amplio alcance, que ha evolucionado hacia tecnologías que mejoran su desempeño, en cuanto a la calidad de imagen y sonido.

En este sentido, en el año 2007 se dió inicio en Venezuela, específicamente en Caracas, a las primeras pruebas de campo para la evaluación del desempeño técnico de los estándares de Televisión Digital Abierta (TDA) en ambientes reales de transmisión. Los estándares evaluados en aquella oportunidad fueron ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Built On), de origen japonés, y DVB-TH/ (Digital

Video Broadcasting – Terrestrial/Handheld), de origen europeo. (Uzcátegui, Torres, García, Duque, & Bruzual, 2010).

En octubre 2009, el gobierno nacional decidió adoptar el estándar ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Built On), de origen japonés, con las mejoras introducidas por Brasil, como base para el sistema de Televisión Digital Abierta (TDA). Con la elección del estándar se inició el camino hacia la solución de trascendentales aspectos de carácter técnico y legal que impedían la prestación de un servicio de Televisión Digital Terrestre. Cabe destacar que actualmente, entre los encargados del desarrollo de la televisión digital en Venezuela, entre otros proyectos referentes a las telecomunicaciones, se encuentra el Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones (CENDIT), cuyo objetivo es contribuir al desarrollo del sector de las telecomunicaciones en Venezuela, mediante la generación de productos, servicios y soluciones técnicas y científicas a necesidades nacionales y regionales. (Uzcátegui, Torres, García, Duque, & Bruzual, 2010).

No obstante, la predicción de la zona de cobertura de la nueva señal de televisión digital abierta exige la evaluación y análisis de los diferentes modelos existentes y su viabilidad para determinar la zona de cobertura y el dimensionamiento del sistema de transmisión.

En Sur América no existe un método propio de predicción para la propagación de la señal de Televisión Digital Abierta, por lo que se adoptan los provenientes de otros países. En este caso Venezuela es dependiente de otros países y por ende se tiene que ajustar o “tropicalizar” los modelos existentes, ajustando o modificando las variables y parámetros utilizados.

Se requiere el desarrollo de una metodología que indique cómo realizar las mediciones y a su vez facilite todos los procesos necesarios para lograr un correcto manejo de los datos obtenidos de forma teórica y en mediciones de campo, consiguiendo así en futuros estudios la creación de una norma que haga factible la predicción de la

zona de cobertura para la señal de televisión digital abierta en Venezuela, avanzando correctamente y de modo más rápido a la implementación de esta tecnología.

## **I.2 OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar un Manual Guía para la realización de mediciones de campo necesarias en el estudio de predicción de la propagación de señal de Televisión Digital Abierta.

## **I.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Compilar información respecto al estudio de la propagación de onda para el alcance urbano y sub-urbanos para las señales de televisión abierta en la banda UHF.
- Estudiar los métodos de predicción de coberturas existentes, tales como Okumura, Okumura-Hata, Modelo de la FCC, Modelo de Propagación en el Espacio Libre, Modelo de Dos Rayos. Modelo Walfish y Bertoni, Modelo de Longley-Rice, Modelo Bullington, Modelos Recomendados por la UIT (P-1546-4 y P-1812-2); necesarios para el desarrollo de la televisión digital.
- Comparar mediante una tabla los modelos de predicción para la propagación de la señal Televisión Digital Abierta.
- Recomendar el modelo (o los modelos) que teóricamente se adapte mejor a las condiciones de Venezuela.

- Elaborar un manual guía para las mediciones de campo necesarias en el estudio de los modelos de predicción de la propagación de señal de Televisión Digital abierta con posibilidades de ser utilizados en Venezuela.

## **I.4 JUSTIFICACIÓN**

La implantación de la Televisión Digital Abierta constituye no sólo una mejora de la transmisión de las señales de televisión, sino que está llamada a imponer un hecho de especial importancia económica, social y cultural, al ofrecer nuevos servicios, canales y contenidos, abriendo las puertas de la era digital a los numerosos hogares que hasta ahora se han mantenido al margen del desarrollo de la Sociedad de la Información.

Así, la Televisión Digital Abierta (TDA), como elemento clave en el progreso de la televisión terrestre y evidentemente de las telecomunicaciones, debe continuar y profundizar el hilo lógico que hereda de la televisión analógica y llevarlo más allá, para llegar a ser una de las tecnologías que brindan un impulso al desarrollo de la Sociedad de la Información.

El desarrollo del presente trabajo de grado permite introducir una serie de pasos para futuras mediciones de campo y comparar los resultados de modelos teóricos con datos obtenidos en dichas mediciones, con el fin de establecer una norma para la predicción de la propagación para la señal de televisión digital abierta en Venezuela, así como asegurarle a la población venezolana la recepción de las señales de TDA, un uso eficiente del espectro radioeléctrico, y también el dimensionamiento correcto de la potencia de transmisión, limitar de alguna manera el uso innecesario de energía que causa gran impacto ambiental y de esta forma ofrecer una mejor calidad de servicio.

## **I.5 LIMITACIONES Y ALCANCES**

En este trabajo especial se realizó la investigación pertinente para poder llegar a la selección de un modelo de predicción que se adaptará a las condiciones de Venezuela,

para luego llevar a cabo la elaboración de un manual guía que servirá como apoyo en el momento de las mediciones de campo.

Se utilizó la información existente en compañías o entes, tales como La Comisión Nacional de Telecomunicaciones CONATEL y el CENDIT, además de material proveniente de Internet.

En efecto, para llevar a cabo mediciones de campo, se requiere una serie de equipos, herramientas y materiales, con las cuales no se contaba, además el tiempo empleado en la comprobación y mediciones excedía el límite sugerido para entregar el presente trabajo de grado. Aquellos equipos que resultaron de utilidad para el proyecto y no se encontraron dentro de las instituciones (CENDIT y CONATEL), se sugirió adquirirlos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se desarrollan y se definen los dos primeros objetivos específicos: una revisión de los conceptos, teorías y demás conocimientos que sirven de base al desarrollo del proyecto.

Se presenta la información de los conceptos relevantes para el estudio de la transmisión y recepción de señales y fenómenos que afectan la propagación de señales. También se investiga de manera puntual los modelos existentes para la predicción propagación en el espacio libre (Modelo de Dos Rayos, Reflexión Terrestre, Modelo de Okumura, Okumura-Hata, Modelo de la FCC, Modelo de Propagación en el Espacio Libre. Modelo Walfish y Bertoni, Modelo de Longley-Rice, Modelo Bullington, Modelos Recomendados por la UIT P-1546-4 y P-1812-2).

#### **II. 1. Historia de la Televisión en Venezuela**

Los inicios de la televisión en Venezuela datan del año 1952. En este sentido, el primer canal que apareció en el escenario público fue la Televisora Nacional YVKA-TV, Canal 5 (TVN-5), que surge bajo el control directo del Estado, aunque el carácter comercial es el que ha marcado la pantalla chica en el país. (CANTV, 2008).

Al año siguiente nace Televisa YVLV-TV Canal 4 (posteriormente adquirida por el Grupo Cisneros y denominada actualmente Venevisión) impulsada por el radiodifusor venezolano Gonzalo Veloz Mancera. En el año 1953, auspiciada por la Corporación Radiofónica Venezolana (Corven), se funda Radio Caracas Televisión, bajo la propiedad del Grupo Phelps y R.C.A. Asimismo, la Cadena Venezolana de Televisión (CVTV), Canal 8, fue fundada en 1964 por el Grupo Vollmer, asociado a Time-Life. Durante una década funcionó como canal privado, posteriormente pasó a manos del Estado durante el primer Gobierno de Carlos Andrés Pérez y durante seis años tuvo restringida la

publicidad comercial. Sin embargo, en 1980, en medio de una crisis económica interna, el canal emite nuevamente publicidad comercial. (CANTV, 2008).

Existieron en Venezuela algunos canales que tuvieron una vida efímera en la década de los 50 y 60. Durante el gobierno de Luis Herrera Campins (1979) se decretó el uso del color en televisión y se adoptó el sistema estadounidense en color NTSC-M, mientras que en 1986 se liberó el uso de las antenas parabólicas por parte de privados para "bajar" señales televisivas extranjeras. Todas las televisoras, que ya estaban preparadas para el cambio y ocasionalmente transmitían a colores, adoptaron la modalidad y el sistema TV-Color, el cual entró en plena vigencia a partir del 1° de junio de 1980. (CANTV, 2008).

Para la década de los 80 hubo novedades en Caracas en el campo de la televisión. La Corporación Televen salió al aire en 1988 y con el paso de los años su señal llegó a todos los rincones del país. En Venezuela, el sistema por cable demostró una enorme capacidad de transmisión, al permitir la emisión simultánea de hasta 12 programas. (CANTV, 2008).

A partir de 1993, entraron en funcionamiento siete canales en la banda de Ultra High Frequency (UHF), todos con carácter regional. Primeramente se creó el Canal Metropolitano de Televisión (CMT). Siguió Omnivisión y Cablevisión, ambas televisoras por cable operaban por suscripción, y su cobertura alcanzaba a 150 mil suscriptores. Se incrementó la explosión de las señales UHF con experiencias de canales especializados como Globovisión (información), Meridiano TV (deportes) y Puma TV (música), además de un auge de nuevas empresas dedicadas a la explotación de la televisión por cable. Finalmente, a finales de 1998, el Estado traspasó a la Iglesia Católica la concesión de TVN canal 5, actual Vale TV. (CANTV, 2008).

La televisión en Venezuela, es un fenómeno coincidente con América Latina y Estados Unidos, que se ha convertido en el medio de comunicación más importante del país, el de mayor penetración y de más movilización económica. (CANTV, 2008).



### **II.1.1 Televisión Analógica**

La televisión analógica es un sistema de modulación de las ondas hertzianas, que ocupa un gran “ancho de banda” (ancho de canal), equivalente a centenares de comunicaciones telefónicas simultáneas. La transmisión analógica ha sido la tecnología estándar de la señal desde el invento de la televisión. La TV Analógica no es tan eficiente como la televisión digital, ya que en el mismo espectro las estaciones de TV analógicas solamente pueden transmitir un programa, mientras que las digitales cuatro o más programas simultáneos. (Broadcasters, National Association of, 2009).

### **II.1.2 Televisión Digital**

La televisión digital (TV digital) es una forma de tecnología de señal “por aire” que permite que las estaciones de televisión provean las imágenes dramáticamente más claras y con mejor calidad del sonido. De esta manera es más eficiente y más flexible que la tecnología tradicional. Por ejemplo, la TV digital hace posible que las estaciones transmitan varios programas simultáneamente (llamado “multitransmisión”). (Broadcasters, National Association of, 2009).

La transición es el cambio del modelo de televisión analógico (método tradicional de transmitir señales de televisión) a digital. (Broadcasters, National Association of, 2009).

### **II.1.3 Transición de la televisión analógica a la digital**

Durante la migración de las técnicas analógicas a las digitales es posible optar entre varias opciones. Cada país seguirá su propio trayecto, a menudo bajo la influencia de los sistemas de radiodifusión que haya heredado. El paso del mundo analógico al digital afecta a todos los eslabones en la cadena de valor de la radiodifusión, esto es, al contenido, la producción, la transmisión y la recepción, puesto que habrá que mejorar técnicamente todos ellos para que puedan soportar radiodifusión digital. Las fuerzas del

mercado y la demanda de los consumidores impulsarán con el tiempo la digitalización de toda la radiodifusión. (Magenta, 2012).

Las ventajas de la televisión digital con respecto a la analógica para el consumidor, son las siguientes:

- ✓ Mayor calidad de imagen. Dado que la señal se transmite de forma digital, esto permite eliminar el efecto niebla o doble imagen de los televisores. (Gobierno de Canarias, 2009).
- ✓ La Televisión Digital permite transmitir 4 canales digitales en el mismo espectro que se necesita para emitir un canal analógico.
- ✓ Formato panorámico 16:9. Posibilidad de ofrecer contenidos con formato de imagen panorámico, ya disponible en una amplia gama de televisores.
- ✓ Sonido digital multicanal. Mejor calidad de sonido (parecida a la que proporciona un CD).
- ✓ Mayor oferta de canales de televisión. Debido al uso más eficiente del espectro radioeléctrico. Esto permite incrementar de modo significativo la oferta de canales disponibles al público.
- ✓ Servicios interactivos. Son aplicaciones emitidas por el radiodifusor, al igual que en los "Nuevos servicios", donde el espectador interactúa con un proveedor de servicios al que se conecta mediante un canal de retorno (línea telefónica, SMS, ADSL, otros), pudiendo acceder a servicios de las Administraciones Públicas (T-Administración), servicios comerciales o de entretenimiento (encuestas, votaciones, concursos, publicidad interactiva, chat), etc.
- ✓ Acceso a emisoras de radio. Emisión de canales de radio a través del televisor.
- ✓ Más servicios:

- Versión original, elección de idioma y subtítulos.
- Guía electrónica de programación, con toda la oferta de canales digitales.
- Teletexto digital, con más opciones.
- Visión multicámara para acontecimientos deportivos.

Para los operadores:

- ✓ Una reducción de los costes de transmisión en el futuro. La cuota de mercado de la radiodifusión digital revela una tendencia al alza en la oferta y la demanda. La cuota del mercado digital asciende ya al 57 % en el Reino Unido, por ejemplo. (Gobierno de Canarias, 2009).
- ✓ La liberación de frecuencias suplementarias. El espacio disponible permite reutilizar partes del espectro de radiofrecuencias (o radioeléctrico) para la implantación de nuevos servicios de radiodifusión que incluyan las ventajas de la tecnología digital y de servicios convergentes que combinen telefonía móvil y radiodifusión terrenal. (Gobierno de Canarias, 2009).

Desventajas de la Televisión Digital:

- ✓ La necesidad impuesta hasta ahora de adquirir un decodificador y modificar la instalación de recepción para poder ver la TDA. Esto va a dejar de ser voluntario ya que cesarán las emisiones analógicas y sólo se podrán captar las emisiones de la TDA. (Gobierno de Canarias, 2009).
- ✓ Uno de los inconvenientes más importantes de la TDA, es el llamado “Precipicio Digital”, es decir, las señales analógicas se pueden ver aun en caso de recibir señales débiles e interferidas; es decir, que según se va degradando la calidad de la señal en la antena también se degrada la imagen en la pantalla, pero, al fin y al cabo, la imagen se sigue viendo. No sucede lo mismo con las señales digitales. Esta tecnología no ofrece este tipo de "favores": existe un cambio muy rápido

entre estar viendo una imagen perfecta y no ver absolutamente nada. Análogamente al cambio de nivel que sucede en el borde de un precipicio, donde un paso significa estar en el suelo o caer al vacío.

- ✓ Necesidad de elección de una antena muy selectiva.
- ✓ Necesidad de reducir al máximo el ruido impulsivo.
- ✓ Poca estabilidad de la señal recibida frente a la climatología, calor, viento, polvo. No todos los receptores funcionan igual ante estas condiciones de recepción.
- ✓ No todos los Múltiplex llegan con la misma Señal/Calidad en el lado receptor. (Gobierno de Canarias, 2009).

#### **II.1.4. Televisión Digital Abierta (TDA)**

La TV Digital Abierta (TDA) ofrece un conjunto de tecnologías de transmisión y recepción de imagen y sonido que sustituirá en los próximos años a la televisión analógica convencional. La digitalización permite que a través de un mismo canal se transmitan varios programas simultáneamente con calidad similar a la de un DVD. (Ministerio de Planificación Federal de Argentina, 2012).

Es el conjunto de tecnologías de generación, transmisión y recepción de imagen y sonido a través de información digital (lo que se conoce como bits, o ceros y unos). Esto permite que los errores en la transmisión y recepción de la TV analógica ("fantasmas" y "lluvia") se corrijan y de esta manera no existan interferencias ni distorsiones en pantalla, generando una imagen y sonido superior a la TV actual. (Ministerio de Planificación Federal de Argentina, 2012).

#### **II.1.5. Televisión Digital Satelital (TDS)**

Es un sistema de transmisión y recepción de la señal digital a través de un satélite. El sistema satelital complementa las formas actuales de distribución de la TDA, es decir

permite cubrir todo el territorio nacional y ofrecer el acceso a la televisión donde por razones técnicas o geográficas no llega la señal de la TDA. (Ministerio de Planificación Federal de Argentina, 2012).

Es importante destacar que para recibir el servicio de televisión satelital, desde cualquier lugar del país se requerirá: energía eléctrica, un aparato de televisión y un kit compuesto por antena y receptor satelital. (Ministerio de Planificación Federal de Argentina, 2012).

### II.1.6 Implantación de la TV Digital en el Mundo

#### América Latina

En la tabla 1 se muestra la implantación de la TV Digital y la fecha del apagón analógico en América Latina:

**Tabla 1. Implantación de la TV Digital en América Latina**

Fuente: Forrester Research - Jul. /07, GSM World y Agencias regulatorias.

| País                   | Estándar | Implantación                                                                                                     | Apagón Analógico |
|------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>México</u></b>   | ATSC     | El estándar fue adoptado en julio de 2004.                                                                       | 2022             |
|                        | ISDB-T   | Lanzada el día 02 de diciembre de 2007 en la ciudad de Sao Paulo.                                                | 2016             |
| <b><u>Colombia</u></b> | DVB-T    | El 28 de agosto de 2008, la Comisión Nacional de Televisión de Colombia anunció la adopción del sistema europeo. | 2020             |

|                           |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |
|---------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b><u>El Salvador</u></b> | ATSC   | En 22 de abril de 2009, el gobierno adoptó el estándar americano para la transmisión de la TV digital en el país.                                                                                                                                                                                                    | Dec/2018 |
| <b><u>Perú</u></b>        | ISDB-T | El 23 de abril de 2009, el gobierno peruano anunció la elección del estándar ISDB. Con la noticia, el Perú fue el primer país en América del Sur a adherir al estándar denominado nipo-brasileiro. De acuerdo con el cronograma peruano, las señales digitales estarán disponibles en Lima en marzo del año próximo. | 2014     |
| <b><u>Panamá</u></b>      | DVB-T  | El decreto de adopción del estándar DVB-T fue firmado el 12 de mayo/2009.                                                                                                                                                                                                                                            | 2020     |
| <b><u>Argentina</u></b>   | ISDB-T | El 28 de agosto de 2009, los gobiernos brasileño y argentino firmaron un convenio bilateral para la implantación del sistema de TV Digital nipo-brasileiro en la Argentina. El país fue el segundo en América del Sur a adherir al estándar.                                                                         | 2018     |
| <b><u>Chile</u></b>       | ISDB-T | El gobierno de Chile anunció, el 14 de septiembre, la adhesión al estándar ISDB-T.                                                                                                                                                                                                                                   | 2018     |

|                          |        |                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |
|--------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                          |        | La previsión es que las primeras transmisiones digitales en el país sean realizadas a partir de 2010.                                                                                                                                                            |      |
| <b><u>Venezuela</u></b>  | ISDB-T | El gobierno de Venezuela anunció, el día 06 de octubre/2009, la decisión de adoptar el sistema japonés de televisión digital.                                                                                                                                    | 2018 |
| <b><u>Ecuador</u></b>    | ISDB-T | El 26 de marzo de 2010, el gobierno de Ecuador anunció la adhesión al sistema ISDB-T. Con la decisión, Ecuador se ha tornado el sexto país de América Latina a adherir oficialmente al estándar. El plazo de implantación del sistema es estimado en siete años. | 2017 |
| <b><u>Costa Rica</u></b> | ISDB-T | La elección por estándar nipo-brasileño fue homologado el 07 de mayo de 2010.                                                                                                                                                                                    | 2017 |
| <b><u>Paraguay</u></b>   | ISDB-T | El 02 de junio, Paraguay se tornó el octavo país de América Latina a adherir al estándar ISDB-T                                                                                                                                                                  | 2016 |
| <b><u>Bolivia</u></b>    | ISDB-T | El 05 de julio/2010, el gobierno boliviano anunció la adopción del estándar nipo-brasileño como la TV Digital                                                                                                                                                    | -    |

|                                    |        |                                                                                                                                                                                                                                     |           |
|------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                    |        | en el país. La implementación de la nueva tecnología en el país demorará dos años. Las primeras transmisiones serán realizadas en 2011.                                                                                             |           |
| <b><u>República Dominicana</u></b> | ATSC   | El 10 de agosto de 2010 fue aprobada la adopción del estándar americano ATSC en el país. El gobierno establece un plazo de cinco años para finalizar el proceso de transición de la señal analógica para la digital.                | Sep./2015 |
| <b><u>Uruguay</u></b>              | ISDB-T | El día 28 de diciembre el país anunció la opción por el estándar ISDB-T. El 28 de agosto de 2007, el gobierno uruguayo había anunciado la adopción del sistema europeo, sin embargo el presidente José Mujica revirtió la decisión. | 2015      |
| <b><u>Cuba</u></b>                 | -      | El país está probando al menos tres sistemas de televisión digital. Aunque no tenga plazo fijo para que sea tomada una decisión, espera anunciar el estándar próximamente.                                                          | -         |
| <b><u>Nicaragua</u></b>            | ISDB-T | El 20 de agosto de 2010, el gobierno anunció la adopción                                                                                                                                                                            | -         |



|  |  |                      |  |
|--|--|----------------------|--|
|  |  | del estándar ISDB-T. |  |
|--|--|----------------------|--|

### **Estados Unidos y Canadá.**

Estados Unidos terminó con las transmisiones analógicas el 12 de junio de 2009. Canadá comenzó el apagón el 17 de mayo del 2007 y finalizó el 31 de agosto del 2011.

### **Europa.**

La transmisión digital ya ha sido implementada en 21 países miembros de la comunidad europea (Austria, Bélgica, Bulgaria, República Checa, Dinamarca, Alemania, Estonia, Grecia, España, Francia, Hungría, Italia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Letonia, Finlandia, Suecia, Eslovenia y Reino Unido).

En la tabla 2 se muestra la fecha del el apagón analógico en países de Europa.

**Tabla 2. Implantación de la TV Digital en Europa**

Fuente: Portal de la Unión Europea, Digitag y DVB.

| <b>Apagón Analógico</b>     | <b>Países</b>                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Completo                    | Alemania, Finlandia, Luxemburgo, Holanda, Suecia, España, Austria, Dinamarca, Estonia, Malta, Eslovenia, Bélgica, Chipre, Francia, Italia, Letonia, Portugal, Croacia, Finlandia, Suiza, República Checa y Noruega. |
| Entre 2012-2013             | Bulgaria (2013), Grecia (2013), Lituania (Oct. /12), Rumania (Ene/13), Eslovaquia (2012) y Reino Unido (Oct. /12) e Irlanda (24/Oct./12).                                                                           |
| Después de 2013 o sin fecha | Polonia (jul. /13), Bulgaria (01/sep./13), Ucrania (2014), Hungría (2012), Rusia (2015), Bosnia y Herzegovina (01/dic./14), Montenegro (jun. /15), Georgia (2015) y Bielorrusia (2015).                             |

## Asia y Oceanía

En la tabla 3 se muestra la implantación de la TV digital y la fecha del apagón analógico en Asia y Oceanía.

**Tabla 3. Implantación de la TV Digital en Asia y Oceanía**

Fuente: Forrester Research - Jul. /07 y Portal de la Unión Europea

| País                        | Estándar | Implantación                                                                                                                                                                                              | Apagón Analógico |
|-----------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>Australia</u></b>     | DVB-T    | Transmisión digital tuvo inicio en 2001 en regiones metropolitanas.                                                                                                                                       | 2013             |
| <b><u>China</u></b>         | DMB-T    |                                                                                                                                                                                                           | 2015             |
| <b><u>Corea del Sur</u></b> | ATSC     | Las transmisiones fueron iniciadas el 26 de octubre de 2001.                                                                                                                                              | 2012             |
| <b><u>Filipinas</u></b>     | ISDB-T   | El 11 de junio de 2010 adoptó el sistema ISDB-T. Es el segundo país de Asia que ha adoptado este estándar.                                                                                                |                  |
| <b><u>India</u></b>         | DVB-T    | El estándar fue elegido el 8 julio de 1999, pero aun no ha sido implementado. El gobierno brasileño ha mantenido conversiones con el gobierno indiano objetivando la adhesión del país al sistema ISDB-T. | 2015             |
| <b><u>Japón</u></b>         | ISDB-T   | La TV digital fue lanzada en el país en 2003. Japón fue el                                                                                                                                                | 24/07/2011       |

|                             |       |                                                              |                |
|-----------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|----------------|
|                             |       | país creador del sistema ISDB-T.                             |                |
| <b><u>Nueva Zelanda</u></b> | DVB-T | Las transmisiones digitales empezaron el 02 de mayo de 2007. | de 2013 a 2015 |

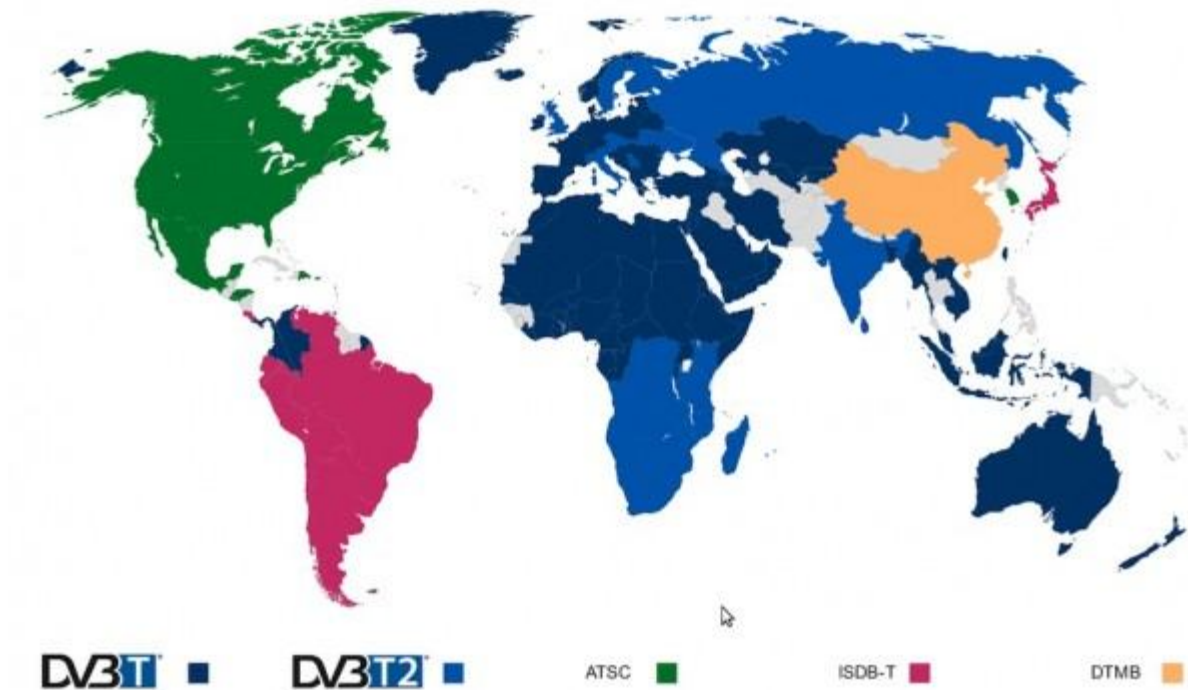
### **Japón**

Tres años después del lanzamiento de la TV Digital terrestre, evento que ocurrió en el año 2003, Japón tenía disponible en 47 capitales, el servicio de televisión digital terrestre. El número de domicilios que puede recibir la TV digital en Japón alcanzó los 39,5 millones (84%) en 2006.

### **África**

El gobierno brasileño ha mantenido discusiones con países africanos. Países de África Austral (Angola, Botsuana, República Democrática del Congo, Lesoto, Madagascar, Malaui, Islas Mauricio, Mozambique, Namibia, África del Sur, Suazilandia, Tanzania, Zambia y Zimbabue) han hecho pruebas con el sistema ISDB-T. (TELECO, 2012).

En la figura 1 se muestra una mapa mundial con los diferentes estándares adoptados por todos los países del mundo.



**Figura 1. Mapa Mundial de estándares adoptados**

Fuente: (Pla, 2011)

## II.2. Estándar ISDB-Tb

La elección de la norma japonesa (modificada por Brasil) de televisión digital por parte de países como Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Costa Rica, Ecuador, Colombia, Paraguay, Perú y Venezuela, abre enormes oportunidades para la creación de nuevos negocios internacionales así como para la colaboración tecnológica triangular entre Japón, Brasil y el resto de los países sudamericanos. Las técnicas de compresión de video modernas así como las nuevas y variadas tecnologías de transmisión de video en formato digital ya sea mediante radiodifusión, satélite, televisión por cable o Internet están revolucionando el mercado de distribución de contenidos audiovisuales a un paso vertiginoso dejando atrás décadas de televisión analógica.

Con la adaptación brasileña del sistema japonés ISDB-Tb o SBTVD (sistema brasileño de televisión digital) es posible transmitir el doble de canales en todas las combinaciones anteriores ya que se utiliza el códec H.264 que es aproximadamente dos veces más eficiente que el MPEG2 empleado en ISDB-T. Así en el sistema brasileño, es posible transmitir simultáneamente 6 canales en definición estándar, 4 canales en súper definición y 2 canales en alta definición dentro de los mismos 6 MHz de ancho de banda. Tal abundancia de canales en el mismo espectro de 6 MHz en el que hoy en día se transmite un solo canal analógico, abre enormes posibilidades para que canales regionales o con contenidos de audiencia más específica puedan subarrendar parte del canal de 6 MHz a las televisoras más grandes, tal como se mencionó al final de la sección anterior.

La ABNT (Asociación Brasileira de Normas Técnicas) ha sido la encargada de emitir las normas técnicas del estándar ISDB-Tb. Este estándar permite organizar la información a transmitirse en capas jerárquicas, cada capa tiene un determinado número de segmentos. Por las experiencias en la implementación de ISDB-Tb de algunos países como Brasil y Argentina, la tasa adecuada para transmitir un canal LD (larga distancia) o one-seg, con buena calidad de imagen, es 400 Kbps aproximadamente.

La norma brasileña recomienda que el nivel de intensidad adecuado para una señal ISDB-Tb, en la banda UHF, deba ser de 51dB $\mu$ V/m, en el límite del área de cobertura.

## **II.3. Conceptos relevantes para el estudio de la transmisión y recepción de señales**

### **II.3.1 Transmisor, receptor, sistema radiante y sus características**

#### **II.3.1.1 Ganancia, Directividad, ROE**

##### Ganancia:

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia y la densidad de potencia que radiaría a

la misma distancia una antena isotrópica con la misma potencia entregada. (Sánchez, Peris, Mercé, & Blázquez, 2003)

- Ganancia de Potencia:

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{\text{entregada}}} = 4\pi r^2 \frac{\langle S(r, \theta, \phi) \rangle}{P_{\text{entregada}}}$$

### Ecuación 1. Ganancia de Potencia

- Ganancia:  $G_0$ 
  - Ganancia de Potencia en la dirección de máxima radiación.
  - Puede ser menor que 1
  - Expresada en dBi vale:  $10 \log G_0$
- Rendimiento de radiación

$$\eta_R = \frac{P_{\text{radiada}}}{P_{\text{entregada}}} = \frac{G_0}{D_0}$$

$$G(\theta, \phi) = \eta_R \cdot D(\theta, \phi)$$

### Ecuación 2. Rendimiento de radiación

- El rendimiento de radiación de la mayoría de las antenas es próximo a 1 (pérdidas de algunas décimas de dB).
- Las excepciones son: antenas eléctricamente muy pequeñas ( $L \ll \lambda$ ), antenas impresas de parches radiantes (pérdidas en las líneas de transmisión) y antenas de espacio que incluyan elementos de polarización, diplexores, etc. (Castañer & Besada, 2009).

### Directividad:

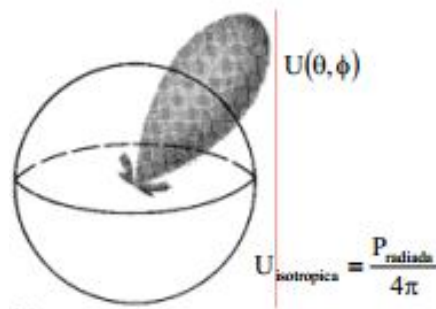
La Directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría

a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada. (Castañer & Besada, 2009).

- Ganancia Directiva:  $D(\theta, \phi)$

- Cociente entre la intensidad de radiación en una dirección y la intensidad de radiación de una antena isótropa que radiase la misma potencia total. (Castañer & Besada, 2009).

En la figura 2 se muestra los parámetros utilizados para el cálculo de la directividad.



**Figura 2. Directividad**

Fuente: (Castañer & Besada, 2009)

- Directividad:  $D_0$

- Ganancia directiva en la dirección de máxima radiación.

- Su significado es la ganancia de la intensidad de radiación en la dirección del máximo con respecto a la que habría si la antena radiase la potencia uniformemente en el espacio.

- Siempre mayor o igual que 1 (0 dBi).

- Expresada en dBi vale:  $10 \log D_0$ . (Castañer & Besada, 2009).

ROE:

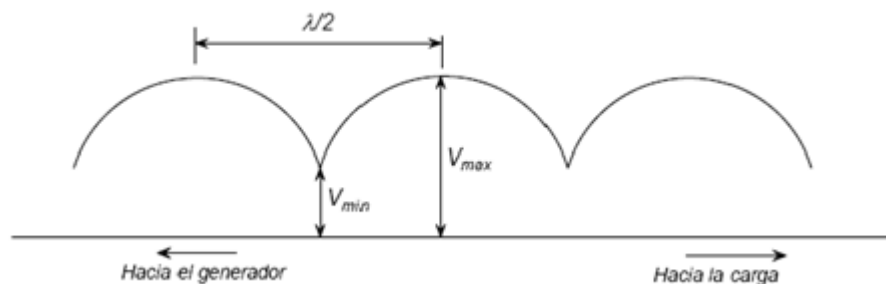
Las líneas de transmisión confinan la energía electromagnética a una región del espacio limitada por el medio físico que constituye la propia línea, a diferencia de las ondas que se propagan en el aire, sin otra barrera que los obstáculos que encuentran en su camino. La línea está formada por conductores eléctricos con una disposición geométrica determinada que condiciona las características de las ondas electromagnéticas en ella. (Vega C. P., 2011).

En los sistemas de comunicaciones, las líneas de transmisión encuentran numerosas aplicaciones no sólo en el transporte de señales entre una fuente y una carga, sino también como circuitos resonantes, filtros y acopladores de impedancia. Algunas de las aplicaciones más comunes incluyen el transporte de señales telefónicas, datos y televisión, así como la conexión entre transmisores y antenas y entre éstas y receptores. (Vega C. P., 2011).

Cuando una línea no está acoplada, es decir, terminada en su impedancia característica, parte de la energía incidente sobre la carga es reflejada hacia el generador. (Vega C. P., 2011).

La relación entre el voltaje de la onda reflejada y del incidente es el coeficiente de reflexión. Este hecho da lugar a que a lo largo de la línea se forme una onda estacionaria, con máximos y mínimos de voltaje y corriente a distancias fijas a lo largo de la línea y que tiene la forma mostrada en la figura 3. (Vega C. P., 2011).





**Figura 3. Onda estacionaria**

Fuente: (MalagaWaldirjahir, 2011)

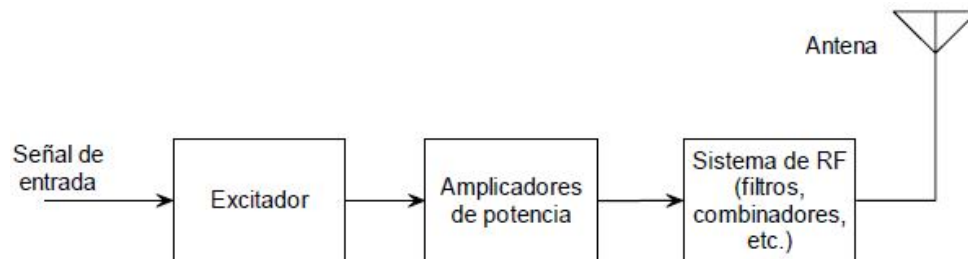
Se define como relación de onda estacionaria (ROE) a:

$$ROE = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|}$$

**Ecuación 3. Onda Estacionaria**

La relación de onda estacionaria es importante ya que a diferencia del coeficiente de reflexión, es un parámetro fácil de medir y da una indicación de las condiciones de funcionamiento de la línea y del acoplamiento de ésta a la carga y al generador. El voltaje máximo de la onda estacionaria ocurre cuando los voltajes incidente y reflejado están en fase. La separación entre un máximo y un mínimo es de  $\lambda/4$  y entre dos máximos o de dos mínimos, de  $\lambda/2$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda en la línea. (MalagaWaldirjahir, 2011).

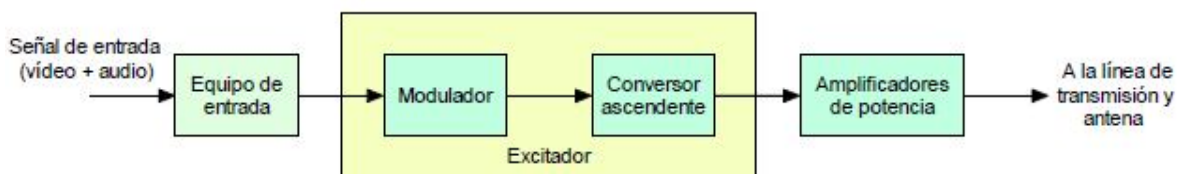
### II.3.1.2 Características de los transmisores



**Figura 4. Arquitectura básica de un transmisor**

Fuente: (Vega C. P., 2005)

En la figura 4, el excitador contiene, básicamente, al modulador, cuya salida es una señal modulada a la frecuencia de la portadora o a alguna frecuencia intermedia, en cuyo caso, contiene también un conversor ascendente para trasladar la señal en FI a la frecuencia de la portadora del canal de RF. En los transmisores digitales, el modulador puede incluir también al codificador de canal. Como parte del excitador también suelen incluirse los amplificadores de baja potencia para la señal modulada que, dependiendo del diseño particular del transmisor, pueden proporcionar una señal de RF desde unas fracciones de vatio hasta unos 50 vatios. En la tecnología actual de los transmisores de televisión el excitador está constituido por elementos de estado sólido. (Vega C. P., 2005).



**Figura 5. Sistema transmisor de amplificación común.**

Fuente: (Vega C. P., 2005)

La arquitectura básica de un transmisor de televisión con amplificación común se muestra en la figura 5.

Equipo de entrada: la señal de entrada, un flujo binario único en el caso digital o bien dos señales, una de vídeo y otra de audio. La señal de audio suele pasar por un limitador, con el fin de que las señales de nivel elevado, al ser moduladas en frecuencia, no excedan el ancho de banda de audio. Estos equipos de entrada no forman parte del transmisor propiamente dicho y, eventualmente, puede prescindirse de ellos. (Vega C. P., 2005).

Modulador: la función del modulador es trasladar la señal en banda base a una frecuencia superior, que puede ser el canal de radiofrecuencia (RF) o bien una frecuencia intermedia (FI) inferior a la de RF. Esta última técnica es la que se emplea en casi todos los transmisores actuales, ya que a esa frecuencia intermedia es posible realizar el control de algunos parámetros de la señal con mayor facilidad y a menor costo que a potencias grandes. La potencia de salida del modulador es muy pequeña, del orden de fracciones de vatios. (Vega C. P., 2005).

Conversor ascendente: cuando se emplea modulación en FI, la señal modulada debe trasladarse en el espectro a la frecuencia del canal de RF, mediante un conversor ascendente. La salida de este conversor se filtra a la banda de paso de RF deseada para eliminar los componentes espurios fuera de banda y se amplifica hasta niveles de varios vatios. Todo el conjunto anterior, modulador, conversor y amplificadores de baja potencia suele designarse como excitador. (Vega C. P., 2005).

Amplificadores de potencia: la salida del excitador se aplica a uno o varios amplificadores de potencia, cuya salida final se entrega a una línea de transmisión para conducir la señal hasta la antena. Los amplificadores de potencia suelen utilizar tecnología de estado sólido o de válvulas al vacío. En general, para potencias superiores a unos 10 KW suelen preferirse éstas últimas. (Vega C. P., 2005).

### II.3.1.3 Características de los receptores

En el lado de los telespectadores, al considerar la recuperación de la señal HDTV o SDTV afectará directamente a los receptores de la señal conocidos como televisores. Para recibir la señal de televisión digital es necesario, adquirir un aparato que convierte la señal de digital a analógica de uso externo llamada “Set top Box” o bien un televisor digital, que muestra directamente la figura 6. La utilización de un receptor y conversor traerá mejoras considerables en la señal de video y particularmente en el audio del sistema. Además permitirá tener acceso a los nuevos servicios digitales asociados. (Villacrés, 2009).

En otros países, para la recepción, se está optando por antenas colectivas para uso comunitario (un edificio o de una urbanización) y de ahí llevar la señal hacia el codificador de cada usuario final. Actualmente se trata de utilizar un decodificador general y transportar la señal directamente al televisor lo cual sería un ahorro económico significativo para los usuarios. Para que no haya inconvenientes que perjudiquen a la industria de la televisión y evitar retrasos en el proceso de digitalización, debe haber una coordinación entre la demanda de receptores y la fecha de lanzamiento del sistema digital de televisión. (Villacrés, 2009).



**Figura 6. (a) Display con receptor integrado. (b) Receptor o conversor (Set top box).**

Fuente: (Villacrés, 2009)

El televidente deberá realizar una inversión para aprovechar la ventaja potencial de una mayor calidad de imagen y sonido. Esta inversión se puede hacer para obtener varios tipos de receptores: cajas decodificadoras STB, televisor digital o receptores mediante USB que se conecten al PC, adicionalmente antenas que podrían ser de utilidad para el usuario según el caso. (Villacrés, 2009).

Las principales características de los televisores digitales son las siguientes:

- ✓ Permiten recibir señales en los distintos formatos tanto SDTV y HDTV.
- ✓ Son compatibles con las guías electrónicas (EPG).
- ✓ Algunos ofrecen la relación de pantalla 4:3 y también 16:9.
- ✓ Compatibilidad con el audio para aprovechar al máximo esta prestación.
- ✓ Funcionan en bandas VHF y UHF.

En la figura 7 se muestra el modelo de un decodificador.



**Figura 7. Modelo de un decodificador.**

Fuente: (Villacrés, 2009)

Comparando los STB o cajas decodificadoras con los televisores digitales se nota las siguientes diferencias:

- ✓ En su totalidad son compatibles con MPEG-2 y los más recientes ofrecen compatibilidad con MPEG-4.
- ✓ Son decodificadores de audio multiformato.

- ✓ Los que tienen 2 sintonizadores ofrecen la posibilidad de observar un programa mientras se está grabando un programa transmitido por otro canal.
- ✓ Facilidad de presentar los formatos de video tanto SDTV y HDTV.
- ✓ Se puede ordenar los canales de varias maneras: por su número, alfabéticamente, TV o radio, etc.
- ✓ Contienen guía de programación electrónica (EPG).
- ✓ Funcionan tanto en VHF como en UHF.
- ✓ Es importante observar que algunos operan en 6, 7 y 8 MHz. Esto debe ser tomado en cuenta cuando se lleva un receptor de un país a otro.

Existen tarjetas que permiten recibir la señal de televisión digital por medio de un computador ya sea conectado mediante USB o PCI, como se muestra en la figura 8. (Villacrés, 2009).



**Figura 8. Receptor de televisión digital USB.**

Fuente: (Villacrés, 2009)

Hay distintos tipos de antenas según la ganancia requerida. En la Figura 9 se muestra la antena UHF para TDA; la linealidad de su ganancia la hacen recomendable en áreas donde haya dispersión de canales y las señales sean débiles. (Villacrés, 2009)



**Figura 9. Antena UHF para TD.**

Fuente: (Villacrés, 2009)

En la Figura 10 se muestra una antena UHF, que está diseñada para una recepción difícil. La ganancia es de 18 dBi, es un desarrollo de nueva generación de antenas terrestres de muy alta ganancia y gran directividad, para zonas de difícil recepción de las señales digitales. (Villacrés, 2009). Tienen un comportamiento excepcional para la recepción de canales altos en la banda UHF. (Villacrés, 2009)



**Figura 10. Antena UHF recepción difícil de 90 elementos.**

Fuente: (Villacrés, 2009)

### **II.3.2 Medio de transmisión**

En los sistemas de transmisión terrestre de televisión, el medio de transmisión es: la atmósfera terrestre, en su porción inferior cercana a la superficie de la tierra.

Las características del entorno terrestre como montañas, valles, construcciones, etc., influyen en el comportamiento de las ondas electromagnéticas y, por tanto, en las características de la señal que llega a la antena receptora. Esta influencia, aunque en algunos aspectos básicos como la atenuación, es similar ya sea que se trate de señales analógicas o digitales. Hay algunos efectos, principalmente debidos a las trayectorias múltiples que siguen las ondas electromagnéticas, que pueden afectar más a las señales digitales que a las analógicas. En condiciones de propagación en espacio libre, cuando no hay obstáculos entre las antenas transmisora y receptora, el comportamiento de la atmósfera es el mismo. (Vega C. P., 2005).

#### **II.3.2.1 Medios guiados**

Los medios de transmisión guiados están constituidos por un cable que se encarga de la conducción de las señales desde un extremo al otro. Las principales características de los medios guiados son el tipo de conductor utilizado, la velocidad máxima de transmisión, las distancias máximas que puede ofrecer entre repetidores, la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, la facilidad de instalación y la capacidad de soportar diferentes tecnologías de nivel de enlace. La velocidad de transmisión depende directamente de la distancia entre los terminales, y de si el medio se utiliza para realizar un enlace punto a punto o un enlace multipunto. Debido a esto, los diferentes medios de transmisión tendrán diferentes velocidades de conexión que se adaptarán a utilizaciones muy dispares. (Delgado & Millán, 2009).

Algunos de los medios de transmisión guiados son los siguientes:

- ✓ Cable Coaxial: consiste en un núcleo sólido de cobre rodeado por un aislante, una combinación de blindaje y alambre de tierra y alguna otra cubierta protectora. El cable coaxial no interfiere con señales externas y puede transportar de forma eficiente señales en un gran ancho de banda, con menor atenuación que un cable normal. El coaxial tiene una limitación para transportar señales de alta frecuencia



en largas distancias ya que a partir de una cierta distancia el ruido superará a la señal. (Delgado & Millán, 2009).

- ✓ Cable de par trenzado: es una forma de conexión en la que dos aisladores son entrelazados para darle mayor estética al terminado del cable y aumentar la potencia y la diafonía de los cables adyacentes. El entrelazado de los cables aumenta la interferencia debido al área de bucle entre los cables, la cual determina el acoplamiento eléctrico en la señal, es aumentada. (Delgado & Millán, 2009).
- ✓ Fibra Óptica: es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total. Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y/o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas. (Delgado & Millán, 2009).

#### **II.3.2.2 Medios no guiados**

Son los que no confinan las señales mediante ningún tipo de cable, sino que las señales se propagan libremente a través del medio. Entre los medios más importantes se encuentran el aire y el vacío. Tanto la transmisión como la recepción de información se llevan a cabo mediante antenas. A la hora de transmitir, la antena irradia energía electromagnética en el medio. Por el contrario en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. (Delgado & Millán, 2009).

La configuración para las transmisiones no guiadas puede ser direccional y omnidireccional. En la direccional, la antena transmisora emite la energía electromagnética concentrándola en un haz, por lo que las antenas emisora y receptora

deben estar alineadas. En la omnidireccional, la radiación se hace de manera dispersa, emitiendo en todas direcciones pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. Generalmente, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional. La transmisión de datos a través de medios no guiados, añade problemas adicionales provocados por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio, resultando más importante el espectro de frecuencias de la señal transmitida que el propio medio de transmisión en sí mismo. (Delgado & Millán, 2009).

Red Satelital: consiste de un transponder (dispositivo receptor-transmisor), una estación basada en tierra que controlar su funcionamiento y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite. (Delgado & Millán, 2009).

Microondas Terrestre: las microondas son todas aquellas bandas de frecuencia en el rango de 1 GHz en adelante. El término microondas viene porque la longitud de onda de esta banda es muy pequeña, resultado de dividir la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s) entre la frecuencia en Hertz. Pero por costumbre el término microondas se le asocia a la tecnología conocida como microondas terrestres que utilizan un par de radios y antenas de microondas. Las estaciones de microondas consisten de un par de antenas con línea de vista conectadas a un radio transmisor que radian radio frecuencia (RF) en el orden de 1 GHz a 50 GHz. Las principales frecuencias utilizadas en microondas se encuentran alrededor de los 10-15 GHz, 18, 23 y 26 GHz. (Delgado & Millán, 2009).

Infrarrojo: se encuentran limitados por el espacio y los obstáculos. El hecho de que la longitud de onda de los rayos infrarrojos sea tan pequeña (850-900 nm), hace que no pueda propagarse de la misma forma en que lo hacen las señales de radio. Es por este motivo que las redes infrarrojas suelen estar dirigidas a oficinas o plantas de oficinas de reducido tamaño. (Delgado & Millán, 2009).

Bluetooth: es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son: facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos, eliminar cables y conectores entre éstos, ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales. (Delgado & Millán, 2009).

## **II.4 Fenómenos que afectan la propagación de señales**

### **II.4.1 Pérdidas de la señal en el espacio libre**

Cuando las ondas electromagnéticas se encuentran en el vacío, se llegan a dispersar y se reduce la densidad de potencia, lo que se conoce como atenuación. La atmósfera terrestre no se le considera vacío debido a que contiene partículas que pueden absorber la energía electromagnética y a este tipo de reducción de potencia se le llama pérdidas por absorción, la cual no se presenta cuando las ondas viajan afuera de la atmósfera terrestre. (Burguete, 2005).

La atenuación que sufre la energía electromagnética al propagarse en el espacio libre, se define como la relación entre la potencia isotrópica recibida y la potencia isotrópica equivalente radiada. Considerando ahora el conjunto formado por emisor, medio de transmisión y receptor, se puede calcular el rendimiento, o más propiamente dicho, la atenuación de un enlace. (Herradón, 2007).

\*Para antenas isotrópicas ( $g=1$ ):

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

**Ecuación 4. Potencia de Antenas Isotrópicas**

$P_r$ = Potencia de recepción.

$P_t$ = Potencia transmitida por la Antena.

$d$ = La distancia entre las antenas y el punto bajo estudio (radio de la esfera).

$\lambda$ = la longitud de onda del campo radioeléctrico.

\*La atenuación o pérdidas del espacio libre es la relación entre la potencia transmitida y la recibida.

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

#### **Ecuación 5. Atenuación en espacio libre**

\*Para antenas directivas de ganancias  $G_t$  y  $G_r$ :

- La atenuación del sistema viene dada por la fórmula de Friis:

$$Pr(dBm) = Pt(dBm) + G_t - Lbf + G_r$$

#### **Ecuación 6. Formula de Friis**

La ecuación de Friis sólo es válida para predecir la Potencia recibida. La región del campo lejano o región de Fraunhofer de una antena transmisora se define como la distancia más allá de la distancia “ $d$ ”, la cual se relaciona con la dimensión mayor de la apertura numérica de la antena transmisora y con la longitud de onda de la portadora. (Herradón, 2007).

Las pérdidas por trayectoria pueden o no incluir el efector de ganancia de las antenas. Cuando se incluyen la ecuación es la siguiente:

$$Pl(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{Pt}{Pr}\right) = -10 \cdot \log\left(Gt \cdot Gr \cdot \frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi)^2 d^2}\right)$$

**Ecuación 7. Pérdidas por trayectoria con ganancia de antenas.**

Cuando la ganancia de las antenas es excluida, se asume que tiene ganancia unitaria y la ecuación se convierte en:

$$Pl(dB) = 10 \log\left(\frac{Pt}{Pr}\right) = -10 \log\left(\frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi)^2 d^2}\right)$$

**Ecuación 8. Pérdidas por trayectoria con ganancia unitaria.**

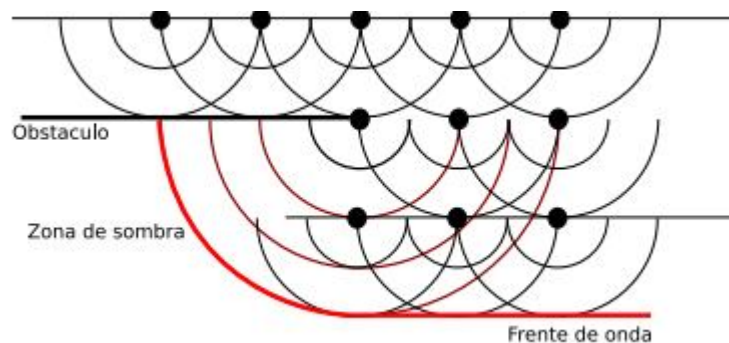
#### II.4.2 Atenuación

La atenuación es descrita matemáticamente por la ley del cuadrado inverso que describe cómo se reduce la densidad de potencia con la distancia a la fuente. El campo electromagnético continuo se dispersa a medida que el frente de onda se aleja de la fuente lo que hace que las ondas electromagnéticas se alejen cada vez más entre sí. En consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. (Burguete, 2005).

Cabe destacar que no se pierde ni se disipa nada de la potencia irradiada por la fuente a medida que el frente de onda se aleja sino que el frente se extiende cada vez más sobre un área mayor lo que hace una pérdida de potencia, que se suele llamar atenuación de onda, la cual se debe a la dispersión esférica de la onda, a veces se le llama atenuación espacial de la onda. (Burguete, 2005).

### II.4.3 Difracción

La difracción se observa cuando se distorsiona una onda por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda. El caso más sencillo corresponde a la difracción Fraunhofer, en la que el obstáculo es una rendija estrecha y larga, de modo que se pueden ignorar los efectos de los extremos. Se supondrá que las ondas incidentes son normales al plano de la rendija, y que el observador se encuentra a una distancia grande en comparación con la anchura de la misma. El principio de Huygens establece que un frente de onda se comporta como una fuente secundaria para formar un nuevo frente de onda. Como consecuencia del principio de difracción, cuando la onda intercepta un obstáculo, el obstáculo se convierte en una fuente secundaria. En la figura 11 se muestra el comportamiento de una onda en difracción. (Departamento de Ingeniería Eléctrica de Chile, 2003).

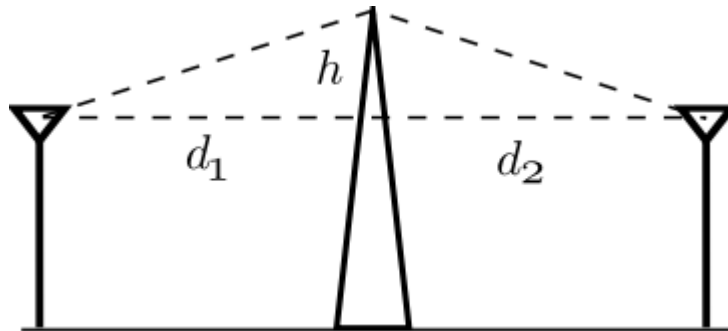


**Figura 11. Difracción.**

Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica de Chile, 2003).

### II.4.4 La difracción por objetos delgados

En el caso de objetos agudos se puede determinar teóricamente las pérdidas debidas a la difracción. En la figura 12 se muestra los parámetros a tomar en cuenta para el cálculo de la difracción por objetos delgados.



**Figura 12. Difracción por objetos delgados.**

Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica de Chile, 2003).

La diferencia de caminos, “ $\Delta$ ”, se expresa con la diferencia de fase entre las señales emitidas y recibidas. Para calcular las pérdidas debidas al obstáculo, se puede integrar el campo para todas las fuentes secundarias que no son absorbidas por el obstáculo. (Departamento de Ingeniería Eléctrica de Chile, 2003).

$$\Delta \simeq \frac{h^2}{d} \left( \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right)$$

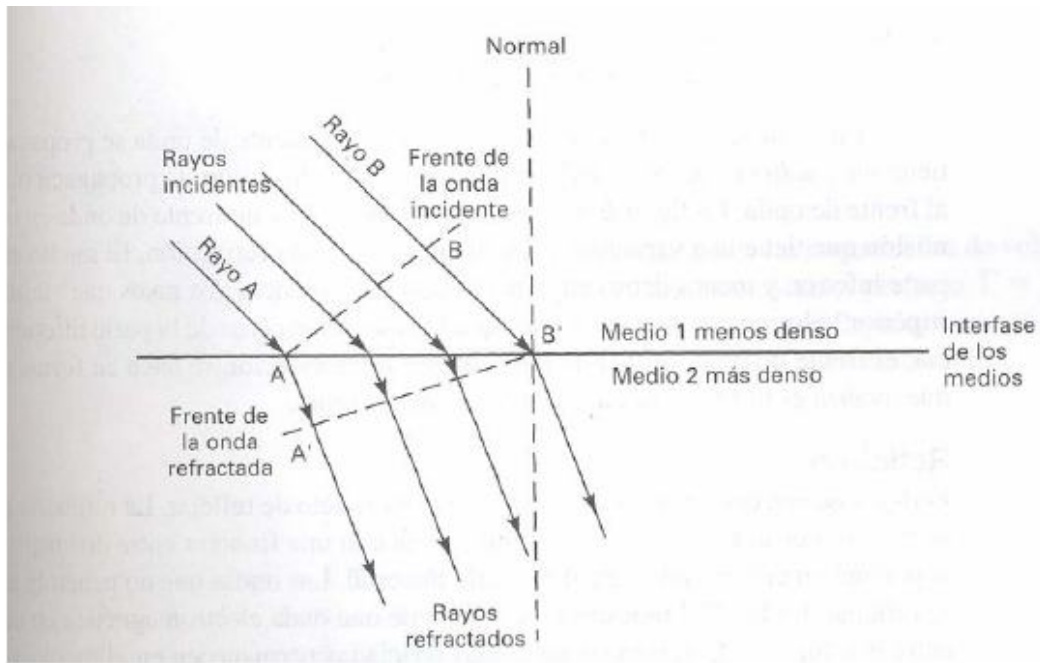
**Ecuación 9. Pérdidas por obstáculo.**

#### **II.4.5 Refracción y reflexión**

##### Refracción:

La refracción se refiere al cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por lo tanto hay refracción siempre que una onda de radio pasa

de un medio a otro con distinta densidad como se muestra en la figura 13. (Burguete, 2005).



**Figura 13. Refracción en una frontera plana entre dos medios.**

Fuente: (Burguete, 2005).

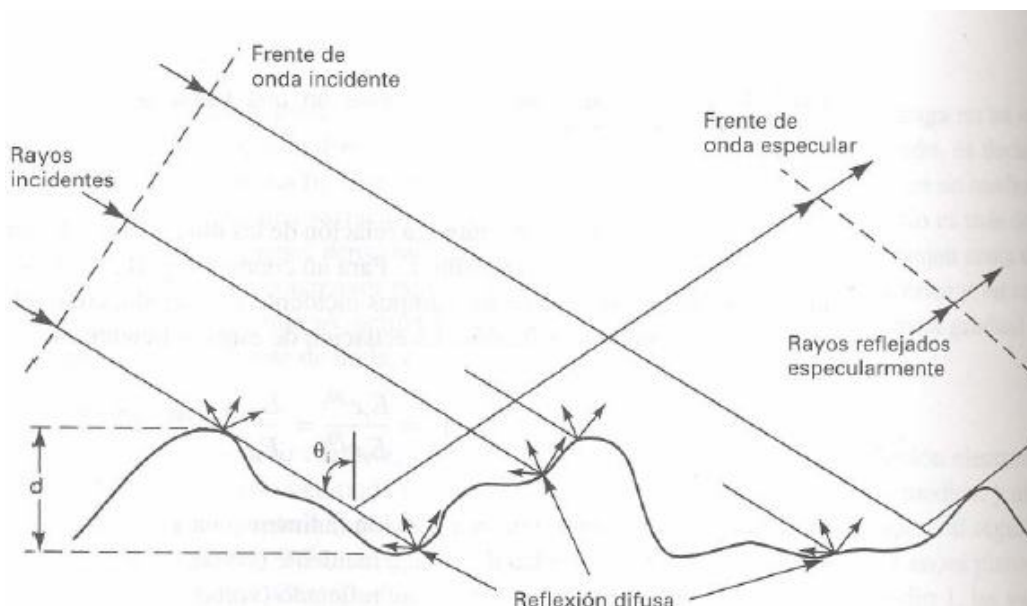
En la figura 13 se muestra como el rayo A se propaga del medio 1 al medio 2, siendo el medio 1 menos denso que el 2. El rayo A proveniente del medio 1, con menos densidad, experimenta un cambio de dirección al propagarse dentro del medio 2. (Burguete, 2005).

El ángulo de incidencia es llamado ángulo que forma la onda incidente y la normal y el ángulo de refracción es el formado por la onda propagada en el medio y la normal, así, el índice de refracción no es más que la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el espacio vacío y la velocidad de propagación de la luz en determinado material. (Burguete, 2005).



### Reflexión:

La reflexión refiere al choque de la onda electromagnética con la frontera entre dos medios y parte o toda la potencia de la onda no se propaga en el medio si no que es reflejada en dirección opuesta al segundo medio como se muestra en la figura 14 en donde el frente de onda incidente choca en el medio 2 con un ángulo de incidencia  $\theta$ . Este frente de onda es reflejado en su totalidad con un cambio de dirección llamado  $\theta$ . (Burguete, 2005).

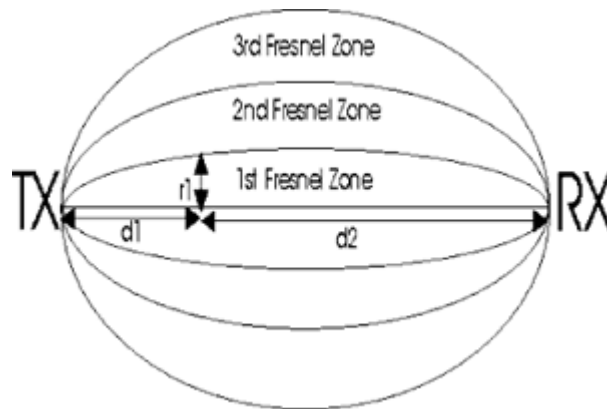


**Figura 14. Reflexión.**

Fuente: (Burguete, 2005)

### **II.4.6 Zonas de Fresnel**

Zona de Fresnel se le llama al volumen de espacio entre emisor y receptor RF de manera que el desfase entre las ondas en dicho volumen no supere los  $180^\circ$ . En la figura 15 se muestran las zonas de Fresnel (Asterion, 2009).



**Figura 15. TX (Transmisor de radio), RX (Receptor de radio).**

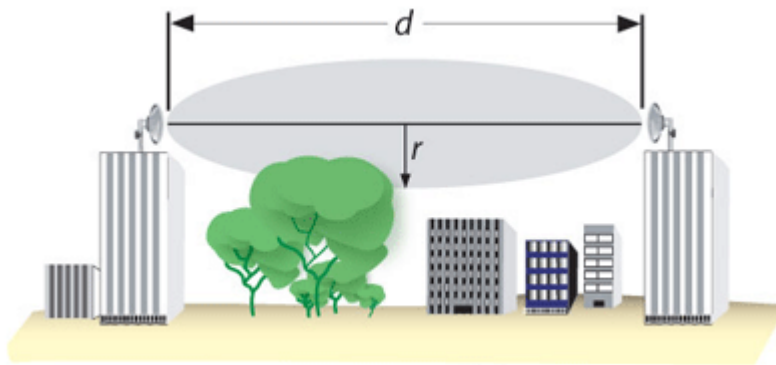
Fuente: (Asterion, 2009).

Es decir, cuando se transmite algo en tierra (no estando en el espacio) se tiene rebotes en el suelo. Los rebotes pueden contribuir positivamente a la recepción de la señal en el caso de que lleguen en fase y negativamente, si llegan en contrafase. (Buettrich, 2007).

Fresnel definió una zona que hay que tener en cuenta, además de visibilidad directa entre las antenas. Realmente definió una serie de zonas. La zona 1 contribuye positivamente a la propagación de la onda, la segunda negativamente, la tercera positivamente, la cuarta negativamente, y así sucesivamente. Es decir, las impares contribuyen positivamente y las pares negativamente. Además, la primera zona concentra el 50% de la potencia de la señal por lo que se debe procurar que llegue lo más integra posible al receptor. (Asterion, 2009). Teniendo como punto de partida el principio de Huygens, se puede calcular la primera zona de Fresnel, el espacio alrededor del eje que contribuye a la transferencia de potencia desde la fuente hacia el receptor. Basados en esto, se puede investigar cuál debería ser la máxima penetración de un obstáculo (por ej., un edificio, una colina o la propia curvatura de la tierra) en esta zona para contener las pérdidas. (Buettrich, 2007).

Se debe mantener despejado, al menos, el 80% de la primera zona de Fresnel. Lo ideal es que la primera zona de Fresnel no esté obstruida, pero normalmente es

suficiente despejarle 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio. (Buettrich, 2007).



**Figura 16. Zonas de Fresnel.**

Fuente: (Asterion, 2009).

En la figura 16 se puede observar que el color gris representa a la primera zona de Fresnel. Es decir, para conseguir comunicarnos a una distancia “d”, con una señal portadora de frecuencia “f”, se debe lograr que la altura “r”, de la primera zona de Fresnel, esté libre de obstáculos. (Asterion, 2009).

En aplicaciones críticas, habrá que hacer el cálculo también para condiciones anómalas de propagación, en la cuales las ondas de radio se curvan hacia arriba y por lo tanto se requiere altura adicional en las torres. Para grandes distancias hay que tomar en cuenta también la curvatura terrestre que introduce una altura adicional que deberán despejar las antenas. (Buettrich, 2007).

La siguiente fórmula calcula la primera zona de Fresnel:

$$r = 17,32 \cdot \sqrt{\left(\frac{d1 \cdot d2}{d \cdot f}\right)},$$

**Ecuación 10. Primera Zona de Fresnel.**

donde:

$d_1$ = distancia al obstáculo desde el transmisor (km).

$d_2$ = distancia al obstáculo desde el receptor (km).

$d$ = distancia entre transmisor y receptor (km).

$f$ = frecuencia (Hz).

$r$ =radio (m).

Si el obstáculo está situado en el medio  $d_1=d_2$ . (Buettrich, 2007).

## **II.4.7 Arreglo o Sistema de Antenas**

### **II.4.7.1 Diversidad de espacio**

Se denomina diversidad de espacio a la radiorrecepción mediante dos o más antenas que generalmente se colocan en una misma torre, en ambos extremos del trayecto, con una separación equivalente a varias longitudes de onda. La información se envía en una sola frecuencia pero se recibe por dos o más trayectos distintos. Las señales recibidas se alimentan a receptores individuales, los cuales suministran una señal combinada de salida esencialmente constante a pesar del desvanecimiento que pueda ocurrir durante la propagación. (Waller, 2009).

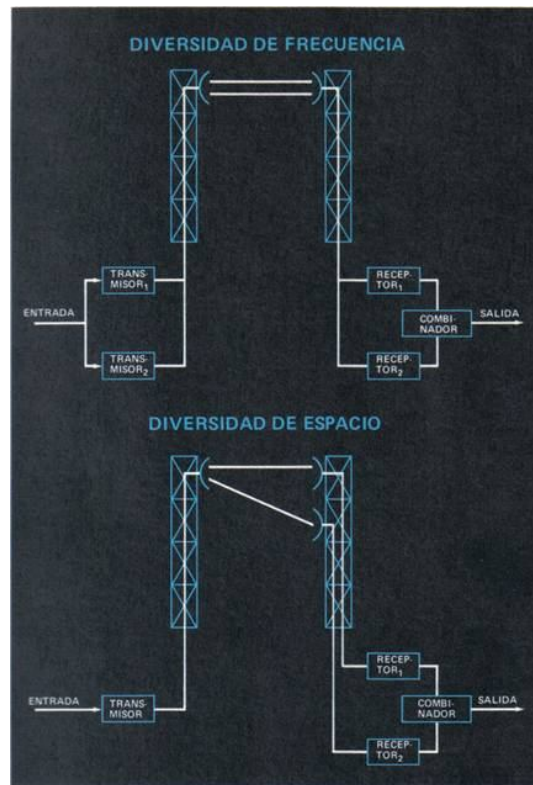
En los sistemas de radiotransmisión por microondas, los trayectos de propagación entre puntos fijos, excepto cuando quedan ubicados en zonas sumamente favorables están sujetos a sufrir desvanecimiento o fluctuaciones de intensidad de las señales. Estos fenómenos, que perjudican la recepción de las señales, se deben a las alteraciones que se producen en las características de propagación del propio trayecto o del medio de transmisión. En consecuencia, deben tomarse medidas adecuadas para reducir al mínimo

aceptable los efectos de dichos fenómenos con el fin de obtener la confiabilidad necesaria del sistema. (Waller, 2009).

En los sistemas de microondas que emplean trayectos de línea visual entre puntos fijos, el efecto de desvanecimiento de las señales se puede mantener al mínimo empleando métodos de protección por diversidad, ya sea de frecuencia o de espacio.

Para la diversidad de frecuencia la misma información se transmite simultáneamente por dos frecuencias distintas; en la recepción, el receptor minimiza los efectos del desvanecimiento utilizando en cada instante la frecuencia que va teniendo la mayor intensidad de señal. (Waller, 2009).

Para la diversidad de espacio, la información, se envía en una misma frecuencia por dos trayectos diferentes, mediante una sóla antena. Los trayectos se eligen de manera que no exista la posibilidad de ocurrir desvanecimiento simultáneo en ambos. Para la recepción generalmente se usan dos antenas con separación vertical en una misma torre; las señales captadas pasan a dos receptores que entregan una señal de salida combinada de intensidad prácticamente constante. En la figura 17 se muestra la diversidad de frecuencia y de espacio. (Waller, 2009)



**Figura 17. Diversidad de espacios.**

Fuente: (Waller, 2009).

La diversidad de frecuencia y la de espacio se emplean con el mismo fin de proteger la recepción de las señales en los sistemas de comunicación. Sin embargo, estos métodos difieren en cuanto a la disposición de los equipos y antenas. (Waller, 2009).

En comparación con la diversidad de espacio, la de frecuencia resulta más económica, ya que se emplea una disposición más sencilla de equipos; además se obtienen ciertas ventajas de operación y mantenimiento. Sin embargo, debido al constante desarrollo y ampliación de los medios de telecomunicaciones, en muchos países se ha producido una seria congestión del espectro de frecuencias disponibles. Debido a esta congestión muchos gobiernos han impuesto restricciones a la asignación de nuevas frecuencias. (Waller, 2009).

El tipo de diversidad de espacio que se ha estado utilizando en los sistemas de microondas entre puntos fijos de línea visual en realidad deberían llamarse diversidad de altura, ya que invariablemente se usa una separación vertical de antenas. Por lo general se considera que la separación horizontal debe ser mucho mayor que la vertical para obtener un grado equivalente de protección. Si bien no existen pruebas directas al respecto, tampoco se han realizado pruebas positivas para determinar la eficacia relativa de la separación horizontal. (Waller, 2009).

#### II.4.7.2 Altura del centro de radiación

Altura efectiva de antena: se definen como la altura de la antena sobre el plano de reflexión efectivo. La altura de referencia del centro de radiación sobre el nivel medio del terreno es la establecida en las tablas 4 y 5. (CONATEL, 2011).

Las estaciones analógicas para la televisión están clasificadas en las categorías: A, B, C, D. En la Tabla 4 se indica los valores máximos de Potencia Efectiva Radiada (PER) y Altura Efectiva de referencia (Hef), para cada categoría de estación.

**Tabla 4. Estaciones analógicas.**

Fuente: (CONATEL, 2011)

| Categoría de Estación | Canal | Potencia Efectiva Máxima (kW) (PER) | Altura Efectiva de Antena de referencia (Hef, m) |
|-----------------------|-------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| A                     | 2-6   | 100                                 | 300                                              |
|                       | 7-13  | 300                                 |                                                  |
|                       | 14-51 | 300                                 |                                                  |
| B                     | 2-6   | 50                                  | 150                                              |
|                       | 7-13  | 60                                  |                                                  |
|                       | 14-51 | 60                                  |                                                  |
| C                     | 2-6   | 10                                  | 75                                               |
|                       | 7-13  | 15                                  |                                                  |
|                       | 14-51 | 25                                  |                                                  |
| D                     | 2-6   | 1                                   | 75                                               |
|                       | 7-13  | 5                                   |                                                  |
|                       | 14-51 | 10                                  |                                                  |

Las estaciones digitales para la televisión están clasificadas en las categorías: A, B, C, D, E y F. En la Tabla 5 se indica los valores máximos de Potencia Efectiva Radiada (PER) y Altura Efectiva de Referencia (Hef), para cada categoría de estación:

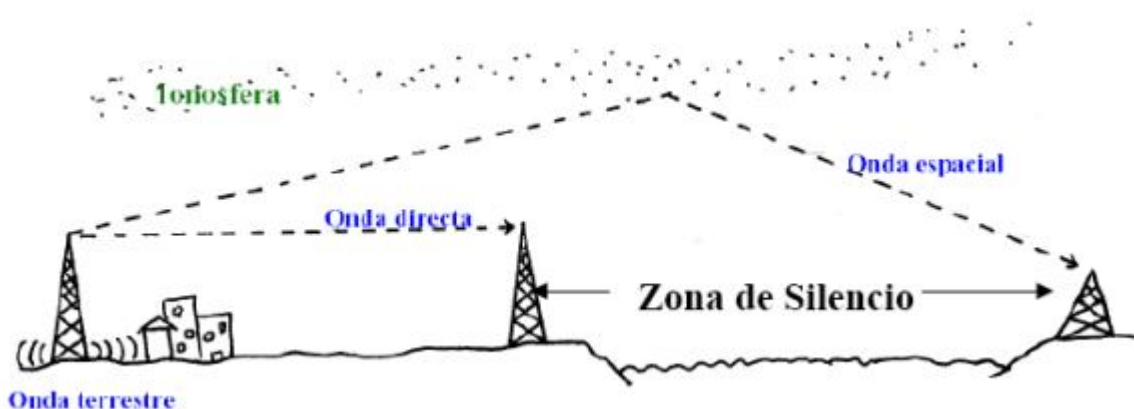
**Tabla 5. Estaciones Digitales**

Fuente: (CONATEL, 2011)

| Categoría de Estación | Potencia Efectiva Máxima (kW) (PER) | Altura Efectiva de Antena de referencia (Hef, m) |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| A                     | 100                                 | 300                                              |
| B                     | 10                                  | 150                                              |
| C                     | 5                                   | 75                                               |
| D                     | 1                                   | 75                                               |
| E                     | 0,5                                 | 75                                               |
| F                     | 0,1                                 | 45                                               |

#### II.4.8 Propagación de la señal

Se llama propagación al conjunto de fenómenos físicos que conducen a las ondas de radio que se propagan del transmisor al receptor, como se muestra en la figura 18. (Martínez Martínez, 2007)



**Figura 18. Propagación de la señal.**

Fuente: (Martínez Martínez, 2007)



Tipos de propagación en la transmisión de ondas de radio utiliza cinco tipos de propagación distintos:

- ✓ Superficial
- ✓ Troposférica
- ✓ Ionosférica
- ✓ Línea de vista
- ✓ Espacio

La tecnología de radio considera que la tierra está rodeada por dos capas de atmósfera: la troposfera y la ionosfera. La troposfera, es la porción de la atmósfera que se extiende hasta aproximadamente 45 km desde la superficie de la tierra (en terminología de radio, la troposfera incluye una capa de máxima altitud denominada estratosfera) y contiene aquello en lo que generalmente se piensa como el aire. (Martínez Martínez, 2007).

Las nubes, el viento, las variaciones de temperatura y el clima en general ocurren en la troposfera, al igual que los viajes en avión. La ionosfera es la capa de la atmósfera por encima de la troposfera pero por debajo del espacio. Está más allá de lo que se denomina atmósfera y contiene partículas libres cargadas eléctricamente (de aquí el nombre). (Martínez Martínez, 2007).

**Propagación en superficie:** En la propagación en superficie, las ondas de radio viajan a través de la porción más baja de la atmósfera, abrazando a la tierra. A las frecuencias más bajas, las señales emanan en todas las direcciones desde la antena de transmisión y sigue la curvatura de la tierra. La distancia depende de la cantidad de potencia en la señal: cuanto mayor es la potencia mayor es la distancia. La propagación en superficie también puede tener lugar en el agua del mar. (Martínez Martínez, 2007).

**Propagación troposférica:** La propagación troposférica puede actuar de dos formas. O bien se puede dirigir la señal en línea recta de antena a antena (visión directa) ó se puede radiar con un cierto ángulo hasta los niveles superiores de la troposfera donde se refleja hacia la superficie de la tierra. El primer método necesita que la situación del receptor y el transmisor esté dentro de distancias de visión, limitadas por la curvatura de la tierra en relación a la altura de las antenas. El segundo método permite cubrir distancias mayores (Martínez Martínez, 2007).

**Propagación Ionosférica:** En la Propagación Ionosférica, las ondas de radio de más alta frecuencia se radian hacia la ionosfera donde se reflejan de nuevo hacia la tierra. La densidad entre la troposfera y la ionosfera hace que cada onda de radio se acelere y cambie de dirección, curvándose de nuevo hacia la tierra. Este tipo de transmisión permite cubrir grandes distancias con menor potencia de salida. (Martínez Martínez, 2007).

**Propagación por visión directa:** En la Propagación por visión directa, se transmite señales de muy alta frecuencia directamente de antena a antena, siguiendo una línea recta. Las antenas deben ser direccionales, estando enfrentadas entre sí, y/o bien están suficientemente altas o suficientemente juntas para no verse afectadas por la curvatura de la tierra. La propagación por visión directa es compleja porque las transmisiones de radio no se pueden enfocar completamente. Las ondas emanan hacia arriba y hacia abajo así como hacia delante y pueden reflejar sobre la superficie de la tierra o partes de la atmósfera. Las ondas reflejadas que llegan a la antena receptora más tarde que la porción directa de la transmisión puede corromper la señal recibida. (Martínez Martínez, 2007).

**Propagación por el espacio:** La Propagación por el espacio utiliza como retransmisor satélites en lugar de la refracción atmosférica. Una señal radiada es recibida por un satélite situado en órbita, que la reenvía devuelta a la tierra para el receptor adecuado. La transmisión vía satélite es básicamente una transmisión de visión directa

como un intermediario. La distancia al satélite de la tierra es equivalente a una antena de súper alta ganancia e incrementa enormemente la distancia que puede ser cubierta por una señal. (Martínez Martínez, 2007).

#### II.4.9 Influencia de los materiales de las construcciones civiles

Según mediciones realizadas, la potencia de la señal recibida al interior de edificios aumenta con la altura y disminuye con la frecuencia. El patrón de radiación de la antena tanto como la altura de esta y el ángulo de incidencia de la señal a la cara del edificio, también juegan un papel muy importante en la penetración de RF. La presencia de ventanas en la zona de medición también afecta notoriamente la potencia recibida. (Sergio, 2004).

Además se descubrió el siguiente fenómeno, la potencia de señal recibida incrementa a medida que se sube de piso. Esto fue atribuido al efecto de ensombreamiento producido por los edificios adyacentes, es decir, los edificios adyacentes constituyen un obstáculo físico para la propagación de las ondas produciendo una especie de sombra o de no recepción de señal. (Sergio, 2004). La tabla 6 nos muestra valores típicos en distintos tipos de edificios:

**Tabla 6. Valores típicos para diferentes tipos de edificios**

Fuente: (Sergio, 2004).

| <b>Edificio</b>                  | <b>Frecuencia<br/>(MHz)</b> | <b>n</b>   | <b>sig (dB)<br/>(son pérdidas)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------|------------|------------------------------------|
| Tiendas minoristas               | <b>914</b>                  | <b>2,2</b> | <b>8,7</b>                         |
| Tiendas de comestibles           | <b>914</b>                  | <b>1,8</b> | <b>5,2</b>                         |
| Particiones Firmes de oficina    | <b>1500</b>                 | <b>3</b>   | <b>7</b>                           |
| Particiones Flexibles de oficina | <b>900</b>                  | <b>2,4</b> | <b>9,6</b>                         |
| Particiones Flexibles de oficina | <b>1900</b>                 | <b>2,6</b> | <b>14,1</b>                        |
| <b>Fabrica LOS</b>               |                             |            |                                    |
| Textil/Químico                   | <b>1300</b>                 | <b>2</b>   | <b>3</b>                           |
| Textil/Químico                   | <b>4000</b>                 | <b>2,1</b> | <b>7</b>                           |

|                        |      |     |     |
|------------------------|------|-----|-----|
| Papeles/Cereales       | 1300 | 1,8 | 6   |
| Industria de Metal     | 1300 | 1,6 | 5,8 |
| <b>Casa Sub-Urbana</b> |      |     |     |
| En una Calle           | 900  | 3   | 7   |
| <b>Fabrica OBS</b>     |      |     |     |
| Textil/Químico         | 400  | 2,1 | 9,7 |
| Industria de Metal     | 1300 | 3,3 | 6,8 |

Según el Modelo de pérdidas “Log-Distancia”, los modelos de propagación en interiores obedecen la siguiente ley:

$$Pl(dB) = Pl(do) + 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d}{do}\right) + X\sigma,$$

**Ecuación 11. Ley de Log-Distancia**

donde “n” depende del entorno y tipo de materiales,  $X\sigma$  es una variable normal con desviación estándar  $\sigma$  y “PL” son las pérdidas por trayectoria (Loss Path). (Sergio, 2004).

La estructura interna y externa de las construcciones está conformada por una gran variedad de divisiones y obstáculos de distintos materiales, tamaños y espesor. Las divisiones que forman parte de la construcción son llamadas “Divisiones fijas”, en cambio las que pueden ser movidas y no están unidas al techo se llaman “Divisiones flexibles”. Debido a lo anterior y a la gran cantidad de factores que intervienen, aunado a los distintos tipos de materiales utilizados, resulta difícil aplicar modelos generales para describir los interiores. (Sergio, 2004).

Las señales de RF penetran en los edificios con una frecuencia que depende de la pérdida producida por el tipo de edificio, su material de construcción así como el número de pisos de éste. En la tabla 7 se muestran las pérdidas por tipo de material y frecuencia a la que se transmite. (Sergio, 2004).

**Tabla 7. Perdidas de acuerdo al tipo de material y frecuencia.**

Fuente: (Sergio, 2004)

| <b>Tipo de Material</b>                                                                 | <b>Pérdida (dB)</b> | <b>Frecuencia</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Todos los Metales                                                                       | <b>26</b>           | <b>815 MHz</b>    |
| Revestimiento de aluminio                                                               | <b>20,4</b>         | <b>815 MHz</b>    |
| Papel de aluminio de aislamiento                                                        | <b>3,9</b>          | <b>815 MHz</b>    |
| Muro de bloque de concreto                                                              | <b>13</b>           | <b>1300 MHz</b>   |
| Pérdida de un piso                                                                      | <b>20-30</b>        | <b>1300 MHz</b>   |
| Pérdida de un piso y una pared                                                          | <b>40-60</b>        | <b>1300 MHz</b>   |
| 5 m con bastidor de almacenamiento de los productos de papel de gran tamaño (apretados) | <b>6</b>            | <b>1300 MHz</b>   |
| 5 m con bastidor de almacenamiento de los productos de metal de gran tamaño (apretados) | <b>20</b>           | <b>1300 MHz</b>   |
| Maquina Tipica N/C                                                                      | <b>8-10</b>         | <b>1300 MHz</b>   |
| Semi-automatizado de la línea de montaje                                                | <b>5-7</b>          | <b>1300 MHz</b>   |
| 0,6 m cuadrados pilar de hormigón reforzado                                             | <b>12-14</b>        | <b>1300 MHz</b>   |
| Tuberías de acero inoxidable para proceso de cocinar-fresco                             | <b>15</b>           | <b>1300 MHz</b>   |
| Muro de concreto                                                                        | <b>8-15</b>         | <b>1300 MHz</b>   |

Uno de los factores a considerar es la atenuación de pisos, la cual se suele cuantificar mediante un factor denominado “Floor Attenuation Factor” FAF, en la tabla 8 y 9 se observa el FAF por edificio. Cabe destacar que la atenuación (en dB) no crece linealmente con el número de pisos. (Sergio, 2004).

**Tabla 8. Valores típicos de FAF.**

Fuente: (Sergio, 2004)

| <b>Edificio</b>     | <b>915 MHz FAF (dB)</b> | <b>Sig(dB)</b> | <b>1900 MHz FAF(dB)</b> | <b>Sig(dB)</b> |
|---------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| <b>Walnut Creek</b> |                         |                |                         |                |
| Un piso             | 33,2                    | 3,2            | 31,3                    | 4,6            |
| Dos pisos           | 44,0                    | 4,8            | 38,5                    | 4              |

| <b>SF PacBell</b> |      |     |      |      |
|-------------------|------|-----|------|------|
| Un piso           | 13,2 | 9,2 | 26,2 | 10,5 |
| Dos pisos         | 18,1 | 8   | 33,4 | 9,9  |
| Tres pisos        | 24,0 | 5,6 | 35,2 | 5,9  |
| Cuatro pisos      | 27,0 | 6,8 | 38,4 | 3,4  |
| Cinco Pisos       | 27,1 | 6,3 | 46,4 | 3,9  |

**Tabla 9. Valores típicos de FAF para tipos de edificios.**

Fuente: (Sergio, 2004).

| <b>Edificio</b>               | <b>FAF (dB)</b> | <b>Sig(dB)</b> |
|-------------------------------|-----------------|----------------|
| <b>Edificio de Oficina 1:</b> |                 |                |
| A través de un piso           | 12,9            | 7              |
| A través de dos pisos         | 18,7            | 2,8            |
| A través de tres pisos        | 24,4            | 1,7            |
| A través de cuatro pisos      | 27              | 1,5            |
| <b>Edificio de Oficina 1:</b> |                 |                |
| A través de un piso           | 16,2            | 2,9            |
| A través de dos pisos         | 27,5            | 5,4            |
| A través de tres pisos        | 31,6            | 7,2            |

#### **II.4.10 Efectos de la Modulación**

Las señales de TV digital deben modularse antes de ser emitidas. El tipo de modulación empleado depende de factores como la naturaleza del medio o el grado de complejidad técnica conseguido en el momento de desarrollar la norma. (Lara, 2010).

Modulaciones empleadas en la transmisión de TV digital:

- ✓ QAM (Quadrature Amplitude Modulation).
- ✓ QPSK (Quadrature Phase Shift Key).
- ✓ COFDM (Coded Orthogonal Frequency División Multiplex).

QAM (Quadrature Amplitude Modulation): Técnica de modulación digital avanzada que transporta datos mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud (ASK) como en fase (PSK). QAM modula dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90°, ésta es el resultado de sumar ambas señales ASK, que pueden operar por el mismo canal sin interferencia mutua, porque sus portadoras están en cuadratura. (Lara, 2010).

Al establecer varios niveles de amplitud posibles para cada una de las dos portadoras, aumentará el número de bits por segundo que puede transmitirse en un ancho de banda dado. (Lara, 2010).

Ecuación matemática señal modulada en QAM:

$$A_n \cos(wt) + B_n \sin(wt).$$

#### **Ecuación 12. Señal Modulada QAM**

Se utiliza en aplicaciones tales como:

- ✓ Módems telefónicos para velocidades superiores a 2400bps.
- ✓ Transmisión de señales de televisión, microondas, satélite (datos a alta velocidad por canales con ancho de banda restringido).
- ✓ Modulación TCM (Trellis Coded Modulation), que consigue velocidades de transmisión muy elevadas combinando la modulación con la codificación de canal.
- ✓ Módems ADSL que trabajan en el bucle de abonado, a frecuencias situadas entre 24KHz y 1104KHz, pudiendo obtener velocidades de datos de hasta 9Mbps, modulando en QAM diferentes portadoras.

El tipo de modulación de fase, utiliza dos portadoras en cuadratura, pero codifica únicamente un bit en el eje horizontal y otro en el vertical. Cuando el medio de propagación es hostil (elevado índice de perturbaciones radioeléctricas, escasa potencia de la señal transmitida) este tipo de modulación es el más idóneo para garantizar la comunicación y cuando el medio de transmisión es libre de errores (por ejemplo transmisión por cable) la modulación QAM es la más adecuada, ya que su menor protección sobre los datos no supondrá un problema, y se aprovechará su máxima capacidad para transferir más bits por símbolo. (Lara, 2010).

COFDM (Coded Orthogonal Frequency División Multiplex): Utiliza un elevado número de portadoras (miles) distribuidas a lo largo del canal, que modulan señales digitales en cuadratura (en fase y amplitud) utilizando QAM o QPSK. La información digital se va asignando secuencialmente a cada una de estas portadoras, por lo que se produce una transmisión multiplexada en frecuencia. Esta característica permite que transcurra un tiempo bastante largo entre la transmisión de dos bits por parte de una misma portadora, generándose así un período de transmisión (llamado período de símbolo) muy grande. (Lara, 2010).

Las ventajas de utilizar COFDM son:

- ✓ Diseñada específicamente para combatir los efectos multirayecto (por ejemplo en entornos urbanos, mercado potencial de la TDT), con alta dispersión de retardos entre las señales recibidas. (Lara, 2010)
- ✓ Notable inmunidad ante interferencias de canales adyacentes: Permite la utilización del espectro sin necesidad de mantener canales vacíos, como se hace en transmisiones analógicas para evitar intermodulaciones. (Lara, 2010)
- ✓ Posibilita la utilización de sistemas de codificación y compresión de imágenes, permitiendo enviar en el espectro de un canal analógico (8 MHz) tres o cuatro



programas de calidad similar, además de ofrecer servicios adicionales (pago por visión, acceso a Internet, etcétera). (Lara, 2010)

## **II.5 Banda UHF**

### **ULTRA ALTAS FRECUENCIAS**

- **Gama de Frecuencia:** de 300 MHz a 3000 MHz.
- **Longitud de Onda:** de 1 metro a 10 centímetros.
- **Características:** Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.
- **Uso Típico:** Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, Televisión.

Las bandas de VHF y UHF son utilizadas para la teledifusión en todo el mundo, tanto para la televisión abierta como para sistemas de TV codificada (estos generalmente en UHF). Existen grandes diferencias entre la distribución de canales y entre la frecuencias de cada país y también hay que considerar los diferentes sistemas estándares que se utilizan para la emisión televisiva (PAL, NTSC, SECAM). (Crocco, 2007).

Algunos canales ocupan las frecuencias entre algo menos de 470 MHz y unos 862 MHz. Actualmente se usa la banda UHF para emitir la Televisión Digital Abierta (TDA). (Crocco, 2007).

#### **II.5.1 Características y ventajas de la Banda UHF.**

La transmisión punto a punto de ondas de radio se ve afectada por múltiples variables, como la humedad atmosférica, la corriente de partículas del sol llamada viento solar, y la hora del día en que se lleve a efecto la transmisión de la señal. La energía de la onda de radio es parcialmente absorbida por la humedad atmosférica (moléculas de agua). La absorción atmosférica reduce o atenúa la intensidad de las señales de radio para grandes distancias. Los efectos de la atenuación aumentan de acuerdo a la frecuencia.

Usualmente, las bandas de señales de UHF se degradan más por la humedad que bandas de menor frecuencia como la VHF. La capa de la atmósfera denominada ionósfera, puede ser útil en las transmisiones a distancias largas de señales de radio con frecuencias más bajas (VHF, etc.). La troposfera es la capa de la atmósfera que más afecta las transmisiones de televisión. Sus características físicas influyen notablemente sobre las ondas de radio. (Crocco, 2007).

La banda UHF puede ser de más provecho por el ducto troposférico donde la atmósfera se calienta y enfría durante el día. La principal ventaja de la transmisión UHF es la longitud de onda corta de la alta frecuencia. (Crocco, 2007).

## **II.6 Características de propagación de campos electromagnéticos**

### **II.6.1 Nivel de Potencia Efectiva Radiada (PER)**

Es la potencia que verdaderamente está radiando una antena en combinación con la potencia que entrega el transmisor.  $PER = \text{Potencia de salida} \times \text{decibeles de ganancia (dB)}$  de las antenas, que resulta del producto de la potencia entregada por el equipo transmisor ( $P_t$ ) a un arreglo de antenas, por su ganancia ( $G$ ) (menos pérdidas en cables y conectores), en una dirección dada (acimut de máxima radiación). (Basantes, 2009).

Para calcular la potencia efectiva radiada, se debe considerar la potencia del transmisor, ganancia máxima de la antena transmisora, las pérdidas del sistema. (Basantes, 2009).

$$PER = P_{tx} + G_{tx} - \alpha_f - \alpha_{ep},$$

#### **Ecuación 13. Potencia Efectiva Radiada**

donde:

$P_{tx}$ : Potencia de transmisor.

$G_{tx}$ : Ganancia de la antena transmisora.

$\alpha_f$ : Pérdidas en el alimentador.

$\alpha_{ep}$ : Pérdidas en elementos pasivos del transmisor.

## **II.6.2 Espectro radioeléctrico y banda atribuidas al servicio de TDA en Venezuela**

El espectro radioeléctrico es un bien del dominio público de la República Bolivariana de Venezuela, de conformidad con lo establecido en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, para cuyo uso y explotación se debe contar con la respectiva concesión de uso del espectro radioeléctrico, que es un acto unilateral mediante el cual la Comisión Nacional de Telecomunicaciones otorga a una persona específica un derecho intuitu personal (no cedible ni transferible) por tiempo limitado para usar y explotar una porción determinada del espectro radioeléctrico, previo cumplimiento de los requisitos establecidos en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones. (CONATEL, 2006).

Las concesiones pueden ser otorgadas mediante oferta pública o adjudicación directa. El procedimiento de oferta pública incluye una fase de precalificación y una de selección, que se realizará bajo las modalidades de subasta o en función de la satisfacción de mejores condiciones. Las concesiones para el uso y explotación del espectro radioeléctrico en materia de radiodifusión y televisión abierta deberán ser otorgadas a través de adjudicación directa. (CONATEL, 2006).

Le corresponde a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones la administración, regulación, ordenación y control del espectro radioeléctrico, que comprende, entre otras facultades, la planificación, la determinación del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, la asignación, cambios y verificación de frecuencias, la comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas, el establecimiento de las normas técnicas para el uso del espectro, la detección de irregularidades y perturbaciones en el

mismo, el control de su uso adecuado y la imposición de las sanciones a que haya lugar, de conformidad con la Ley. (CONATEL, 2006).

La Comisión Nacional de Telecomunicaciones aprobará y publicará en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF) y los planes técnicos de utilización asociados, los cuales deben ajustarse a los tratados internacionales suscritos por la República, así como, la utilización del espectro debe ajustarse al CUNABAF. (CONATEL, 2006). En la tabla 10 se muestran las frecuencias asignadas a el servicio de TDA en Venezuela.

**Tabla 10. Atribución de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico.**

Fuente: (CONATEL, 2010)

|               |                                                                                                |                                |     |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----|
| 512 – 608 MHz | RADIODIFUSIÓN<br>5.297                                                                         | 512 – 806 MHz<br>RADIODIFUSIÓN | V14 |
| 608 – 614 MHz | RADIOASTRONOMÍA<br>Móvil por satélite salvo móvil aeronáutico por<br>satélite (Tierra-espacio) |                                |     |
| 614 – 698 MHz | RADIODIFUSIÓN<br>Fijo<br>Móvil<br>5.293 5.309 5.311A                                           |                                |     |
| 698 – 806 MHz | RADIODIFUSIÓN<br>Fijo<br>MÓVIL 5.313B 5.317A<br>5.293 5.309 5.311A                             |                                |     |

La banda de frecuencias 512 – 806 MHz está destinada a la operación de estaciones de Televisión Abierta UHF. Asimismo esta banda podrá ser utilizada por operadores del servicio de Televisión Abierta Comunitaria, de servicio público, sin fines de lucro. (CONATEL, 2010).

## II.7 Margen de desvanecimiento

Las radiocomunicaciones entre lugares remotos, sean de tierra a tierra o de tierra a satélite, requiere la propagación de señales electromagnéticas por el espacio libre. Al propagarse una onda por la atmósfera, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo. Esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo, etc., a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida de trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento. (Chulde, 2010).

En esencia, el margen es un factor “espurio” que se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por trayectorias múltiples y la sensibilidad del terreno. (Chulde, 2010).

$$Fm = 30\log(D) + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70,$$

**Ecuación 14. Margen de Desvanecimiento.**

donde:

Fm= margen de desvanecimiento (dB).

D= distancia (km).

f= frecuencia (GHz).

R=confiabilidad con tanto por uno (99,99%=0,9999).

1-R= objetivo de confiabilidad para una ruta de 400km en un sentido.

A=factor de rugosidad

=4 sobre agua o sobre terrero liso.

=1 sobre un terreo promedio.

=0,25 terreno áspero y montañoso.

B= factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual.

=1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual.

=0,5 para áreas calientes y húmedas.

=0,25 áreas continentales promedio.

=0,125 áreas muy secas o montañosas.

## **II.8 Modelos de Predicción para la Propagación de la Señal de Televisión Digital Abierta**

La ruta que sigue la señal desde el transmisor hasta el receptor puede ser desde una simple y sencilla línea de vista hasta un ambiente en el cual se tiene una gran cantidad de obstáculos como edificios, montañas o árboles que la interfieran.

La predicción y el modelado de los canales de radiocomunicación son una de las partes más complicadas que intervienen en el diseño de sistemas de comunicación. Por lo general esta parte se hace de manera estadística, tomando como base mediciones realizadas en una zona específica y para un determinado sistema o en parte del espectro. Los modelos de propagación que predicen la potencia de la señal para cualquier distancia de separación entre el transmisor y el receptor, son conocidos como modelos de propagación “Large-Scale” y son utilizados para el cálculo de áreas de cobertura para

sistemas de radio. Los modelos que predicen los cambios rápidos en la intensidad de la señal recibida en distancias pequeñas de unas cuantas longitudes de onda, se conocen como modelos “Small-Scale”. (Sergio, 2004).

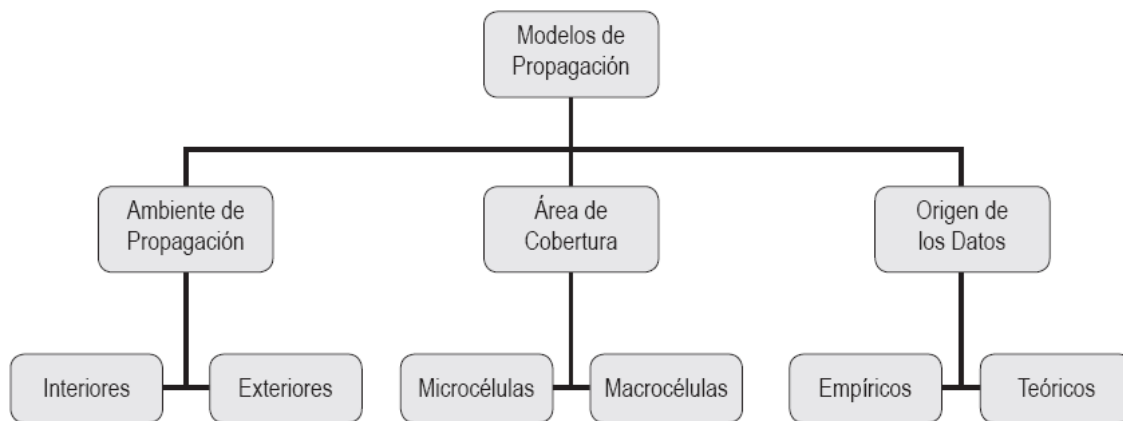
Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radiopropagación de un ambiente dado. Predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor sea móvil o fijo. La finalidad de modelar radio canales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores. De esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos (especificaciones técnicas). (García, 2002).

El desempeño de los modelos de propagación se mide por la veracidad de los resultados en comparación con medidas de campo reales. La aplicabilidad de un modelo depende de las especificaciones que este mismo requiera tal como son: el tipo de terreno (montañoso, ondulado o cuasi liso), las características del ambiente de propagación (área urbana, suburbana, abierta), características de la atmósfera (índice de refracción, intensidad de las lluvias), propiedades eléctricas del suelo (conductividad terrestre), tipo del material de las construcciones urbanas, etc. (García, 2002).

Para una topografía muy irregular y accidentada, los modelos con mejor desempeño son los que estiman pérdidas por difracción utilizando el modelo clásico de filo de cuchillo y sus distintas variaciones para la extensión a múltiples filos de cuchillo (i.e Epstein-Peterson, Deygout, Bullington, etc.), estos modelos analizan punto por punto la trayectoria entre Tx-Rx, identificando las pérdidas causadas por los obstáculos principales y adicionándolas a la solución de Friis. (García, 2002).

Se diferencian los modelos de propagación en empíricos (o estadísticos), teóricos (deterministas) o en una combinación de los dos semi-empíricos, como se muestra en la figura 19. Los modelos empíricos o estadísticos se basan en mediciones. Los modelos

teóricos lo hacen en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio y a diferencia de los anteriores no se sustentan sobre amplias mediciones sino que se disponen de detalles del entorno con lo que podemos estimar la propagación de la señal. (Rojas, 2011).



**Figura 19. Modelos de propagación.**

Fuente: (Rojas, 2011)

Actualmente en la literatura se pueden encontrar 4 tamaños de celdas: Macro Celda, Mini Celda, Micro Celda y Pico Celda. (Rojas, 2011). Para la aplicación de la TDA se toman en cuenta las celdas tipo macro y micro. El radio de celda de estos dos tipos se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11. Tipos de celdas y sus características**

Fuente: (Rojas, 2011)

| Tipo de Celda | Radio de la Celda | Posición de la antena TX                                                                                    |
|---------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Macro Celda   | 1 a 30 Km.        | Outdoor, montada sobre el nivel de los techos, las alturas que la rodean son menores a ésta.                |
| Micro Celda   | 0.5 a 5 Km.       | Outdoor, montada a una altura menor que la mayoría de las edificaciones, y las que la rodean son más altas. |



## **II.9. Modelos de propagación para ambientes abiertos**

### **II.9.1 Modelo de Propagación en el Espacio Libre**

Este modelo es utilizado para predecir la potencia de la señal, cuando existe línea de vista entre el transmisor y el receptor. Los sistemas de comunicación satelital y los enlaces microondas se pueden modelar como propagación en el espacio libre. El modelo del espacio libre predice que la potencia recibida decae como función de la distancia de separación entre el transmisor y el receptor elevada a alguna potencia. La potencia recibida en el espacio libre por una antena receptora la cual está separada de la antena transmisora una distancia “d”, está dada por la ecuación 15. (Sergio, 2004).

$$Pr(d) = \frac{Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2 \cdot L}$$

**Ecuación 15. Potencia recibida en espacio libre**

donde:

Pt: es la potencia transmitida.

Pr: es la potencia recibida.

Gt: es la ganancia de la antena transmisora.

Gr: es la ganancia de la antena receptora.

d: es la distancia de separación de TX-Rx dada en metros.

L: es el factor de pérdida del sistema no relacionado a la propagación.

$\lambda$ : es la longitud de onda dada en metros.

La ganancia de la antena está dada por:

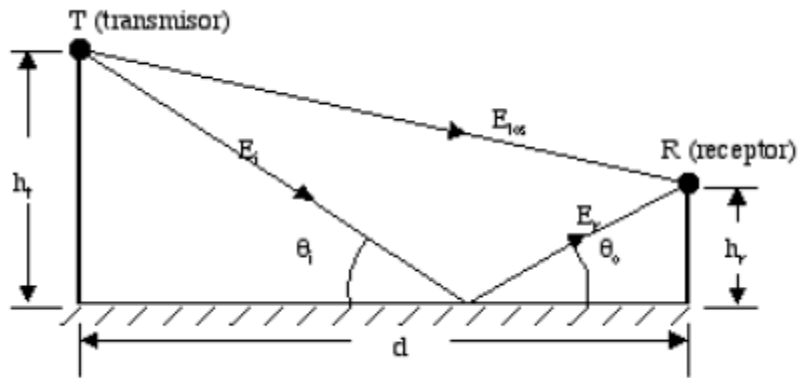
$$G = \frac{4 \cdot \pi \cdot Ae}{\lambda^2}$$

**Ecuación 16. Ganancia de la Antena.**

La apertura efectiva “Ae” se relaciona directamente con el tamaño físico de la antena y  $\lambda$  se relaciona con la frecuencia de la portadora. Los valores Pt y Pr, deben ser expresados en las mismas unidades, Gt y Gr son adimensionales. Las pérdidas, L, son usualmente debidas a la atenuación de la línea de transmisión de comunicación. Cuando L = 1 significa que no hay pérdidas en el sistema. (Sergio, 2004).

### **II.9.2 Modelo de dos rayos (Reflexión Terrestre)**

El modelo de dos rayos de reflexión terrestre, mostrado en la figura 20, es un modelo muy útil que se basa en la óptica geométrica, y considera tanto la transmisión directa como una componente de propagación reflejada en la tierra entre el transmisor y el receptor. Se puede considerar que este modelo de gran escala, es uno de los más adecuados para predecir la potencia de la señal en distancias de varios kilómetros, tomando en cuenta que la antena del sistema celular deber tener una altura mínima de 50 metros. (Sergio, 2004).



**Figura 20. Modelo de Dos Rayos.**

Fuente: (Sergio, 2004).

El segmento de separación entre transmisor y receptor puede considerarse plano, ya que en la mayoría de los sistemas celulares la distancia real entre el transmisor y receptor es de unas cuantas decenas de kilómetros. (Sergio, 2004).

La potencia recibida a una distancia proveniente del transmisor puede ser expresada como:

$$Pr = (Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot ht^2 \cdot hr^2) / d^4$$

**Ecuación 17. Potencia recibida.**

Se asume también que para una gran distancia  $d \ll hr \cdot ht$ .

La ecuación final expresada en decibeles (dB) es:

$$Pl(dB) = 40 \log(d) - (10 \log(Gt) + 10 \log(Gr) + 20 \log(ht) + 20 \log(hr))$$

**Ecuación 18. Potencia recibida en dB**

## II.10 Propagación de RF en Ambientes Urbanos

Este tipo de estudio tuvo sus inicios en Japón, aproximadamente en la década de los setentas, siendo uno de los primeros científicos Okumura, quien se basó en

mediciones experimentales realizadas en su país. Después de efectuar una serie de estudio y análisis finalmente Okumura publicó sus resultados en el año de 1968 pero tenían como inconvenientes que solo eran representativos de la propagación en la zona urbana de Japón. (Sergio, 2004).

El método que utilizó Okumura era laborioso, ya que requería la correcta interpretación de la información obtenida de las gráficas, de acuerdo con la zona en que se aplicara. Por esta razón algunos científicos se interesaron en continuar las investigaciones. En este sentido Hata fue uno de los más destacados. (Sergio, 2004).

Masaharu Hata definió, por medio de ecuaciones matemáticas, las características de propagación encontradas por Okumura. Hata basó sus investigaciones en la consideración de que las señales de RF se comportaban de una manera logarítmica, así mismo propuso ecuaciones para ambientes suburbanos y rurales, para sus ecuaciones consideró un terrero ligeramente montañoso con elevación menores a 20 metros. A partir de esos desarrollos surgió el primer modelo de propagación: el Okumura-Hata. (Sergio, 2004).

### **II.10.1 Modelo de Okumura**

El modelo de Okumura es uno de los más ampliamente utilizados para predicción de señales en áreas urbanas. Este modelo es aplicable para frecuencias en el rango de 150 MHz a los 3000 MHz, es decir, comprende parte de la banda de VHF y UHF y distancias de 1 km a 100 km entre Tx y Rx. Puede ser usado para alturas de la antena transmisora en el rango de 30 m a 1000 m. Okumura desarrolló un set de curvas, las cuales se muestran en la figura 21, que entregan la atenuación relativa al espacio libre (que se usa como nivel de referencia) para una zona urbana sobre terreno casi plano, en base a extensas mediciones, además de basarse en parámetros predefinidos. (Sergio, 2004).

Los valores de cada curva fueron obtenidos por mediciones usando antenas verticales y omni-direccionales tanto en la base como en el móvil y graficadas en función de la frecuencia en el rango de los 100 MHz a los 3000 MHz y como una función de la distancia. (Sergio, 2004).

El modelo puede ser expresado como:

$$L50(dB) = Lf + Amu(f, d) - G(htx) - G(hrx) - Garea,$$

**Ecuación 19. Pérdidas Modelo Okumura**

donde:

L50 (dB): atenuación mediana por trayectoria.

Lf: atenuación de espacio libre.

Amu (f,d): atenuación relativa promedio (curvas).

G (htx): Ganancia de altura de la antena de Tx.

G (hrx): Ganancia de altura de la antena de Rx.

Garea: Ganancia debido al tipo de ambiente.

Okumura encontró que G (htx) varía a un índice de 20 dB/década y G (hrx) varía a un índice de 10 dB/década para alturas menores que 3 m. (Sergio, 2004).

$$G(htx) = 20\log\left(\frac{htx}{200}\right), \text{ para } 30 \text{ m} < htx < 1000\text{m}$$

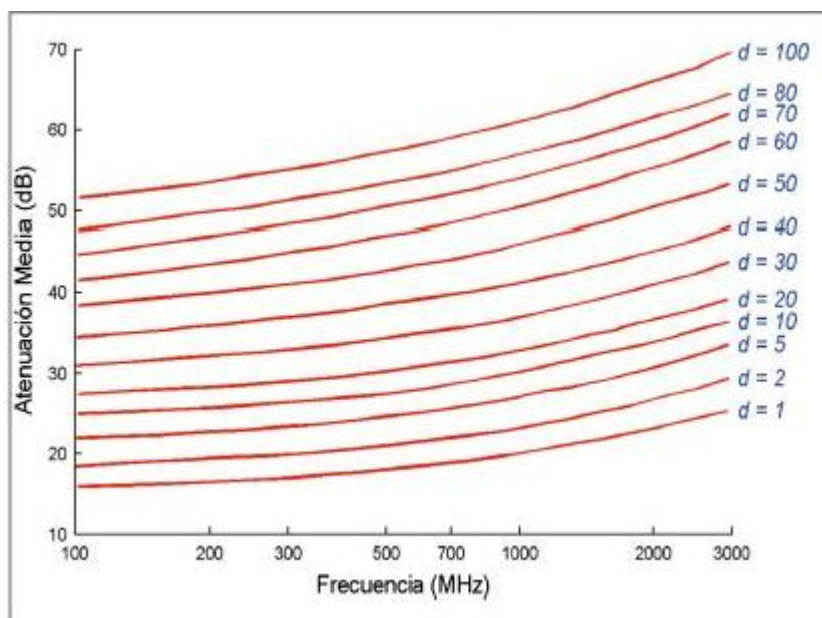
**Ecuación 20. Ganancia hTx. (30-1000)**

$$G(hrx) = 10\log\left(\frac{hrx}{3}\right), \text{ para } hrx < 3\text{m}$$

**Ecuación 21. Ganancia hRx. (1-3)**

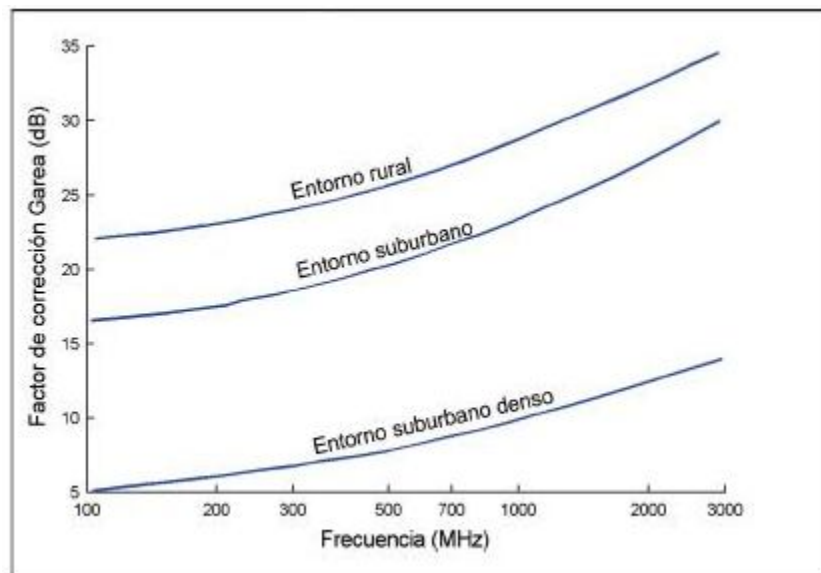
$$G(hrx) = 20\log\left(\frac{hrx}{3}\right), \text{ para } 3 \text{ m} < hrx < 10\text{m}$$

**Ecuación 22. Ganancia hRx. (3-10)**



**Figura 21. Curvas del modelo Okumura para la atenuación media.**

Fuente: (Bordón, Alonso, & Montejo, 2011)



**Figura 22. Factor de corrección dependiente del entorno para el modelo Okumura.**

Fuente: (Bordón, Alonso, & Montejo, 2011)

En base a esto pudo desarrollar un modelo de las pérdidas del enlace considerando factores de corrección mostrado en la figura 22, dependiendo del tipo de terreno, aunque no es un modelo analítico. (Sergio, 2004).

Además es uno de los modelos más simples y adecuados para las predicciones de atenuación para sistemas celulares y sistemas de radio terrestre en ambientes poblados. Presentan errores con una desviación estándar entre los 10 dB a 14 dB. Su desventaja es que a pesar de ser bueno en zonas urbanas no lo es en zonas rurales. (Sergio, 2004).

## **II.10.2 Modelo Hata (Okumura-Hata).**

El modelo Okumura-Hata es una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de los 150 MHz a los 1500 MHz. (Sergio, 2004). Se utiliza en coberturas de macro celdas y en sistemas de comunicación móviles.

Se basa en un conjunto de medidas para distintas alturas de antenas de las estaciones base, y con una altura de la antena terminal móvil de 1,5 metros. Estas medidas se efectuaron en las bandas 150, 450 y 900 MHz y con una potencia radiada aparente de 1KW. A pesar de basarse en medidas efectuadas en Japón, los análisis realizados en Europa han demostrado que, gracias a los múltiples aspectos que se tienen en cuenta en el modelo, las predicciones se ajustan muy bien a las ciudades europeas, y por lo tanto es el modelo utilizado en Europa para predecir las coberturas de los sistemas de comunicaciones móviles. (Sergio, 2004).

A partir de estas medidas, se han creado ecuaciones basadas en múltiples parámetros que permiten predecir las pérdidas de propagación, ecuaciones en las cuales es necesario conocer la frecuencia de operación expresada en MHz, la altura efectiva de la antena transmisora en metros, la altura sobre el suelo de la antena receptora en metros, la distancia en Km y un término de corrección por altura del móvil. Hata presentó las pérdidas dentro de un área urbana como una fórmula estándar, la cual se muestra a continuación. (Sergio, 2004).

$$L_{50}(\text{urbano})(dB) = 69,55 + 26,16 \log(fc) - 13,82 \log(htx) - a(hrx) + (44,9 - 6,55 \log(htx)) \cdot \log(d),$$

**Ecuación 23. Pérdidas Modelos Okumura-Hata**

tomando en cuenta que:

150 MHz <fc< 1500 MHz; fc: frecuencia portadora (MHz).

30m <htx< 200 m; altura de antena transmisora (m).

1m <hrx< 10 m; altura de antena receptora (m).



A (hrx): factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que es función del tipo de área de servicio (se define según el tamaño de la ciudad).

d: distancia entre transmisor y receptor (km).

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a(hrx) = 8,29(\log(1,54 \cdot hrx))^2 - 1,1 \text{ dB} , \text{ para } f_c < 300 \text{ MHz.}$$

**Ecuación 24. Factor de corrección.  $f_c < 300 \text{ MHz}$ .**

$$a(hrx) = 3,2(\log(11,75 \cdot hrx))^2 - 4,97 \text{ dB} , \text{ para } f_c > 300 \text{ MHz.}$$

**Ecuación 25. Factor de corrección.  $f_c > 300 \text{ MHz}$ .**

Para utilizar la misma fórmula en un ambiente suburbano se utiliza como:

$$L(\text{dB}) = L50(\text{urbano}) - 2 \left[ \log \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

**Ecuación 26. Pérdidas en ambiente suburbano.**

Para áreas rurales:

$$L(\text{dB}) = L50(\text{urbano}) - 4,78(\log(f_c))^2 + 18,33 \cdot \log(f_c) - 40,94$$

**Ecuación 27. Pérdidas en áreas rurales.**

### II.10.3 Modelo de la FCC

El método propuesto por la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) 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, para el cual un valor del parámetro  $\Delta h$  define el grado de irregularidad del terreno. Para determinar la intensidad de campo sobre un terreno irregular, el factor de corrección de atenuación dependiente de  $\Delta h$  es obtenido a partir de un diagrama, el cual

es restado del valor leído en la curva de intensidad básica. (Gamez, 2007). Estas curvas están orientadas, a servicios de radiodifusión sonora en FM y de televisión, pueden también emplearse para otros servicios fijos de radiocomunicación terrestre en esas bandas.

En este método los efectos locales del terreno en el área de recepción no son tomados en cuenta. La familia de curvas se obtuvieron de 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. En la práctica se fija la distancia y se obtiene una gráfica del nivel de señal en función de la altura de la antena transmisora a partir de la altura sobre nivel promedio del terreno o ASPT. (Gamez, 2007).

La altura sobre nivel promedio del terreno se calcula tomando cincuenta (50) 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 cincuenta puntos de elevación son distribuidos en un segmento entre 3 a 15 Km 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 ASPT. 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. (Gamez, 2007).

La potencia efectiva radiada se fija en 1KW y se toman valores de nivel de señal en un número no menor de 100 puntos de recepción distribuidos en un área de terreno cuya dimensión no sea mayor al 1% de la distancia al sitio de transmisión. Para una distancia fija, los niveles de señal medidos se clasifican según la altura de la antena transmisora, el número de sitios de recepción donde se ha registrado un cierto nivel de señal y según el porcentaje de tiempo durante el cual este nivel se mantiene. Con estos datos se trazan las diferentes curvas que relacionan los niveles de señal con un porcentaje fijo de puntos de recepción y tiempo registrado; de esta forma la curva F (50,50), por

ejemplo, se describe como el lugar geométrico de todos los niveles de señal que para una distancia fija se miden en por lo menos el 50% de las localidades o puntos de recepción durante al menos el cincuenta por ciento del tiempo para variaciones de altura de la antena transmisora, dentro del rango específico. (Gamez, 2007).

La FCC recomienda una familia de curvas para predecir los niveles de señal esperados. En televisión la FCC propone usar las curvas F (50,50) ya que los niveles obtenidos por ellas son los mismos sobre los cuales un proyectista puede diseñar un sistema de transmisión. (Gamez, 2007).

Las curvas FCC (50,50) son unas curvas experimentales de intensidad de campo eléctrico utilizadas para predecir el nivel de señal en un lugar determinado. Este método desarrollado por la FCC refleja la influencia de todos los factores que modifican las condiciones de propagación. (Chacón, 2007).

Estas curvas se encuentran basadas en una combinación de mediciones reales de fuerza de la señal y cálculos de intensidad de campo y se muestran en las figuras 23 y 24. Proveen la distancia a los contornos de intensidad de campo eléctrico para un determinado nivel de potencia con una cierta altura de antena. Proporcionan la intensidad de campo para dar un servicio estimado al 50% de las localidades, el 50% del tiempo. (Chacón, 2007).

En un trayecto determinado el Nivel de Señal Esperado se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$NSE = PER + FCC(50:50) + C$$

**Ecuación 28. Nivel de señal esperado**

-PER expresada en dBw.

-FCC (50:50) es el nivel de señal que arrojan las curvas en unidades de dBμ V/m.

-C representa una constante cuyo valor es -30 dB. (Esta constante se suma debido a que las curvas están normalizadas para 1KW de potencia radiada,  $10 \cdot \log 1000 = 30\text{dB}$ ).

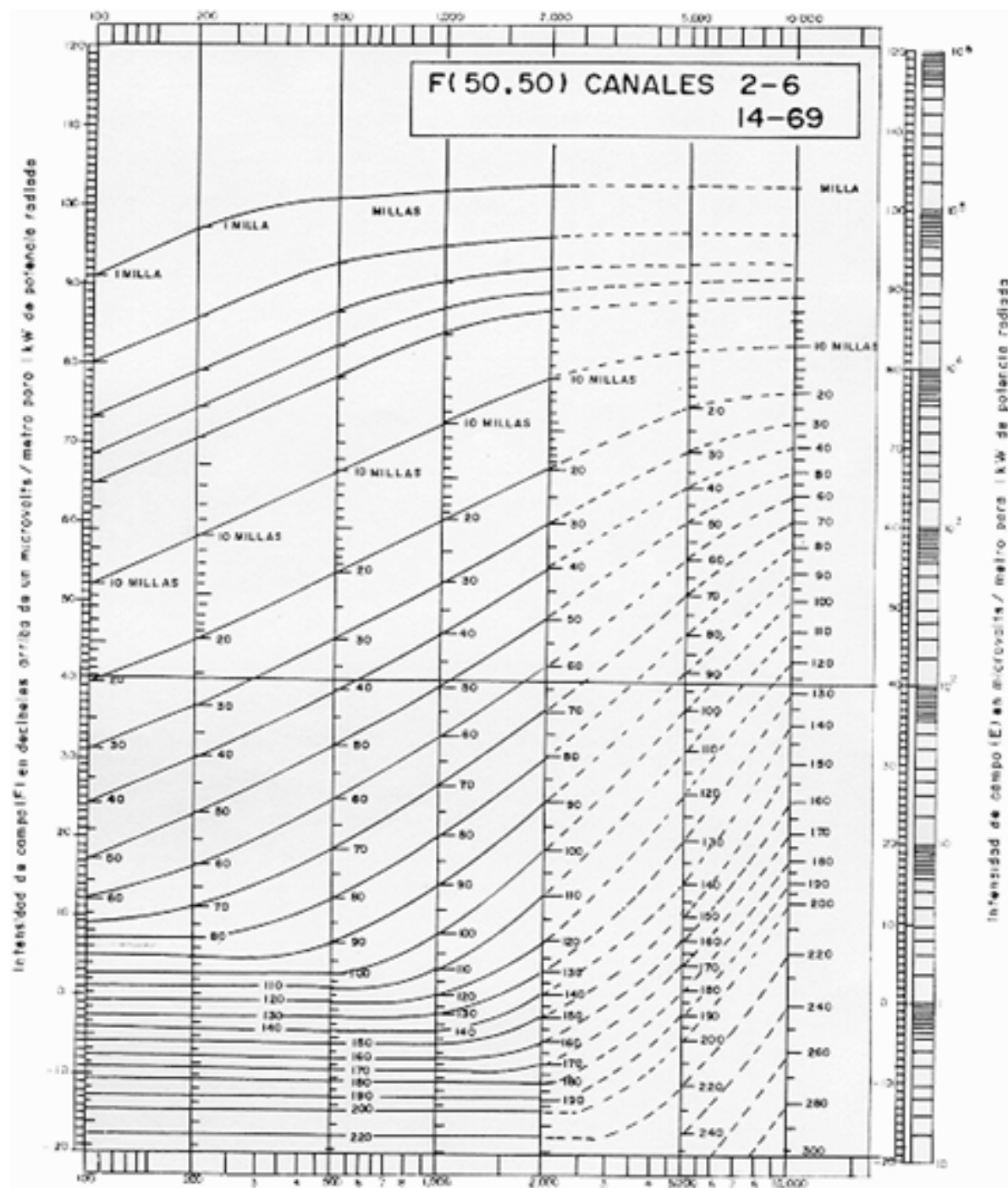


Figura 23. Curvas FCC (50,50). Canales del 2-6, 14-69.

Fuente: (Chacón, 2007)

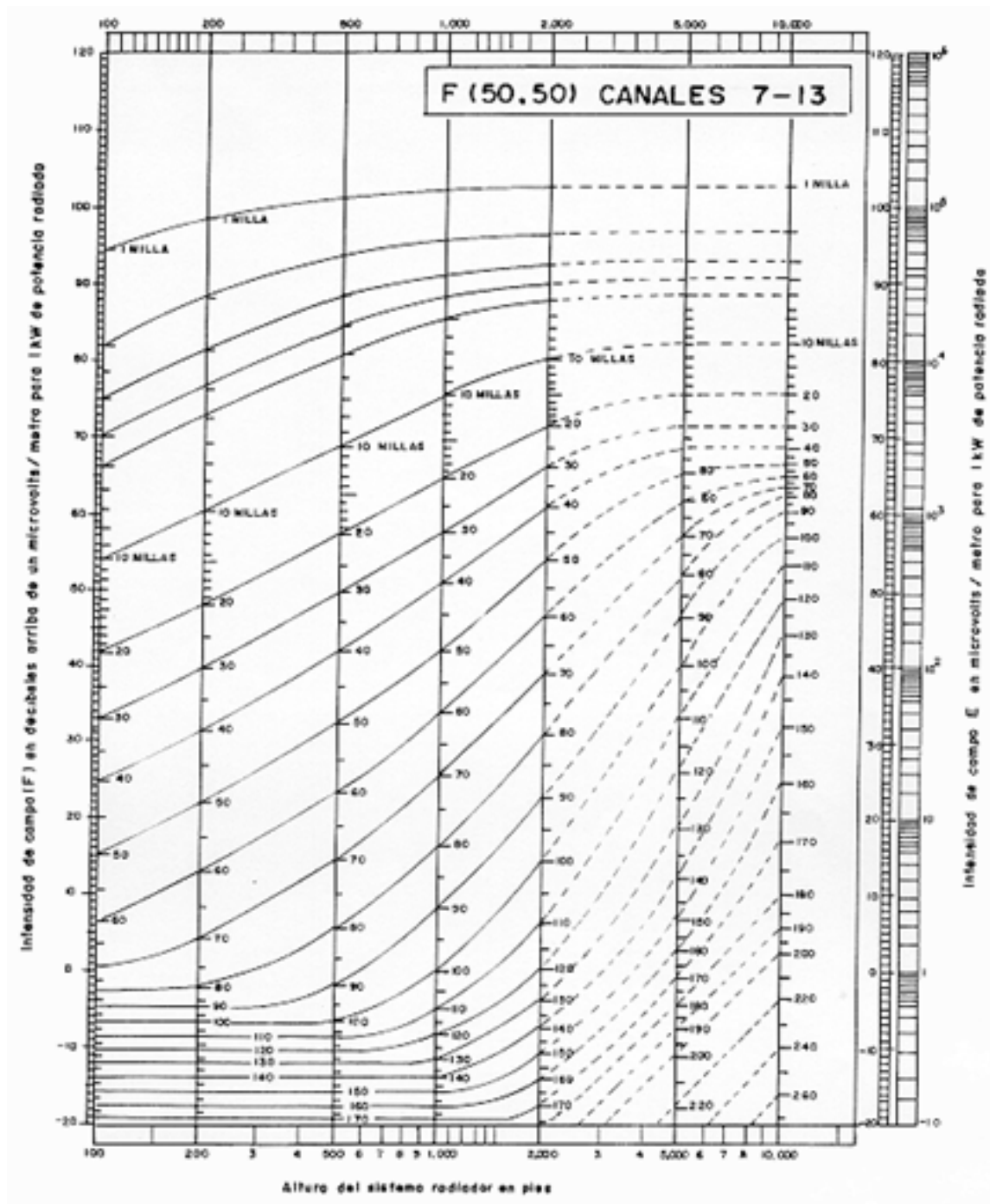


Figura 24. Curvas FCC (50,50). Canales del 7-13.

Fuente: (Chacón, 2007)

#### **II.10.4 Modelo Walfisch y Bertoni.**

Este modelo considera el efecto de la altura y los techos de las edificaciones, utilizando modelos de difracción para predecir la potencia media de la señal a nivel del pavimento. (Sergio, 2004). Se utilizan en sistemas de transmisión móviles y en macro celdas. El rango de frecuencias en que es aplicable este modelo es de 300 a 3 000 MHz, con separación entre transmisor y receptor de 200 a 5 000 m. No es aplicable cuando la antena de la estación base está por debajo de la altura media de los edificios.

$$S = P_o \cdot Q^2 \cdot P_1$$

**Ecuación 29. Pérdida Modelo Walfisch y Bertoni.**

Po es la pérdida de espacio libre entre antenas isotrópicas:

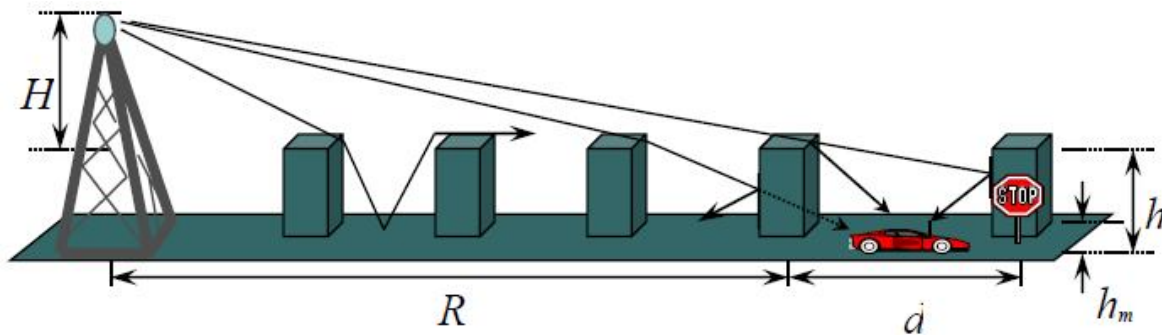
$$P_o = \left( \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R} \right)^2$$

**Ecuación 30. Pérdidas de espacio libre en antenas isotrópicas**

Q<sup>2</sup> da la reducción de la señal a nivel “de los techos”, a causa de la fila de construcción que se ensombrecen al receptor. (Sergio, 2004).

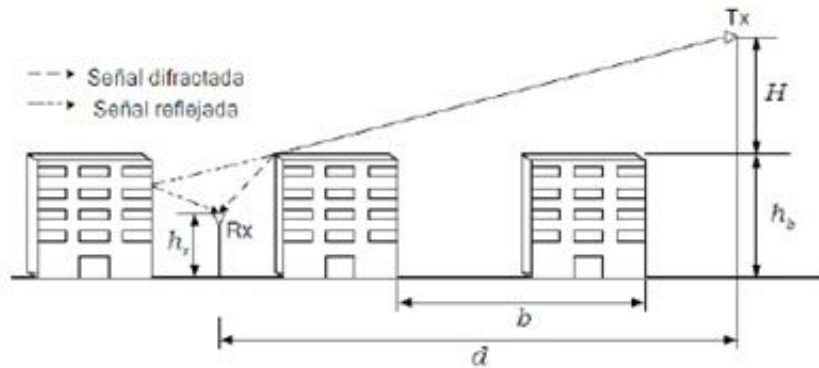
P1 representa las pérdidas por difracción en la señal que va desde los techos al nivel del pavimento. (Sergio, 2004).

En la figura 25 se muestra los parámetros considerados por el modelo Walfisch y Bertoni para las pérdidas.



**Figura 25. Modelo Walfisch y Bertoni.**

Fuente: (Sergio, 2004)



**Figura 26. Pérdidas por trayectoria.**

Fuente: (Aguilar, De Lima, & Lucena, 2010)

$$L_p = 89,55 + 21\log f + 38\log d - 18\log H + A - 18\log\left(1 - \frac{d^2}{17H}\right),$$

**Ecuación 31. Pérdidas por Difracción.**

donde:

f: Frecuencia en MHz. (entre 300 MHz y 3GHz).

d: distancia entre el Tx y el Rx en Km.

H: altura promedio de la antena respecto a la altura de los edificios.

A: variable que expresa la influencia de los edificios en la señal.



$$A = 5 \log \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 + (hb - hr)^2 \right] - 9 \log b + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{2(hb - hr)}{b} \right] \right\}$$

**Ecuación 32. Influencia de los edificios en la señal.**

hb: altura del edificio en metros.

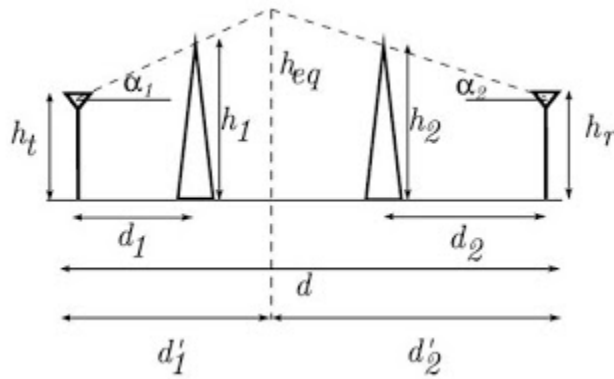
hr: altura del receptor en metros.

b: espacio entre los edificios.

### **II.10.5 Modelo Bullington**

El modelo de Bullington es un modelo analítico que utiliza la información de la elevación del terreno a lo largo de la trayectoria, y adiciona información de las obstrucciones, si están disponible (obstrucciones artificiales, vegetación, etc.), para calcular las pérdidas por difracción de filo de cuchillo. Se calcula la penetración de la obstrucción en la trayectoria de la primera zona de Fresnel y la pérdida en dB que corresponde a la penetración. (Universidad Nacional de Colombia). Se utiliza en coberturas de macro celdas, y en enlaces punto a punto.

Numerosas pérdidas se pueden evaluar para cada trayectoria, y el campo neto recibido predicho es igual al valor del espacio libre reducido por la suma de todas las pérdidas. Bullington es el modelo que más se utiliza para comunicaciones aire-tierra, puesto que otros modelos asumen una antena de recepción en una altura relativamente baja sobre el nivel de suelo. (Universidad Nacional de Colombia). En la figura 27 se muestran los parámetros tomados por el modelo Bullington para el cálculo por obstáculos.



**Figura 27. Cálculo de Parámetros del Modelo Bullington.**

Fuente: (Wagemakers & Ibarz, 2007).

$$h_{eq} = \begin{cases} h_r + (d + d_1 \frac{h_t - h_r}{h_1 - h_t}) \frac{(h_2 - h_r)(h_1 - h_t)}{d_1(h_2 - h_r) + d_2(h_1 - h_t)} & \text{para } h_t > h_r \\ h_t + (d + d_2 \frac{h_r - h_t}{h_2 - h_r}) \frac{(h_2 - h_r)(h_1 - h_t)}{d_1(h_2 - h_r) + d_2(h_1 - h_r)} & \text{para } h_t < h_r \end{cases}$$

**Ecuación 33. Altura equivalente del obstáculo.**

$$d'_1 = d_1 \frac{h_{eq} - h_t}{h_1 - h_t}$$

**Ecuación 34. Distancia 1er obstáculo.**

$$d'_2 = d_2 \frac{h_{eq} - h_r}{h_2 - h_r}$$

**Ecuación 35. Distancia 2do obstáculo.**

Las pérdidas equivalentes de propagación, se calculan entonces como si se tuviera un obstáculo agudo de altura “ $h_m$ ”. Este método tiene el problema de que los obstáculos

por debajo del horizonte son despreciados y puede llevar a errores en el cálculo de las pérdidas. (Escuela, Mariotti, & Torrealba, 2010).

El modelo de Bullington es el más usado y efectivo en modelos de propagación aire-tierra. De acuerdo con algunos estudios realizados, este modelo da muy buenos resultados en frecuencias desde 80 MHz a mayores. (Wagemakers & Ibarz, 2007).

Según las pérdidas por difracción de filo de cuchillo, como se muestra en la figura 28, todos los parámetros geométricos se agrupan en un solo parámetro adimensional, que normalmente se designa por “ $v$ ” y que puede tomar distintas formas equivalentes según los parámetros geométricos elegidos. (RECOMENDACIÓN UIT-R P.526).

$$v = h\sqrt{((2/\lambda)) * (1/d_1 + 1/d_2))},$$

**Ecuación 36. Parámetro adimensional**

donde:

$h$ : altura de la cima del obstáculo sobre la recta que une los dos extremos del trayecto. Si la cima queda por debajo de esa línea,  $h$  es negativa. El parámetro  $v$  tiene el mismo signo que  $h$ .

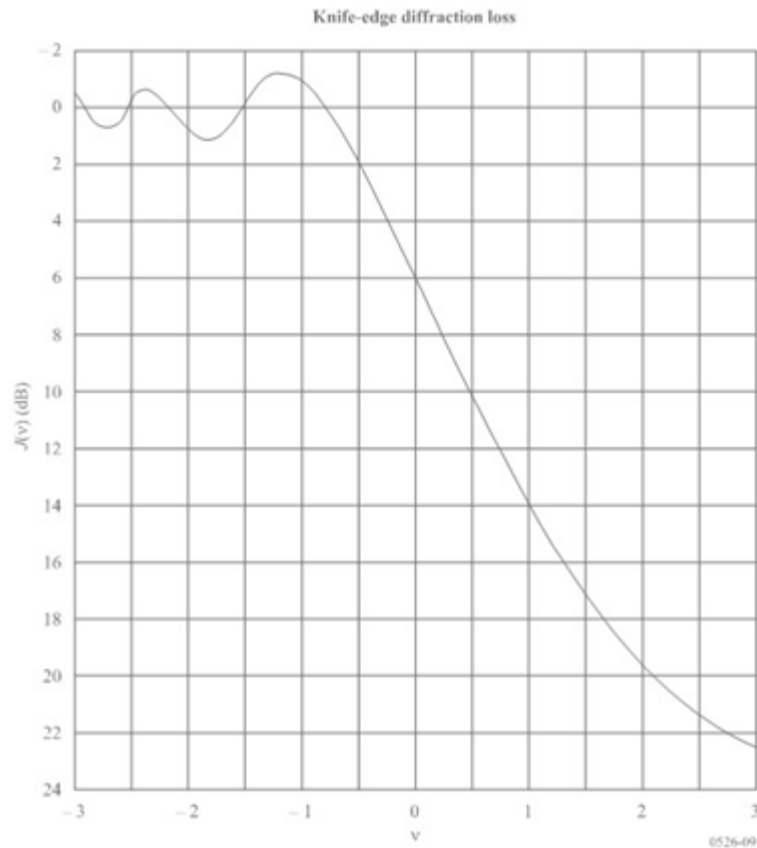
$d_1$  y  $d_2$ : distancias desde los dos extremos del trayecto a la cima del obstáculo.

La pérdida provocada por la presencia del obstáculo “ $J(v)$ ”, depende únicamente de “ $v$ ”. Para la mayor parte de los casos prácticos ( $v > -0.78$ ) puede calcularse como:

$$J(v) = 6.9 + 20\log(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1)$$

**Ecuación 37. Pérdida por obstáculo.**

En la figura 28 se muestra la curva de pérdidas por difracción de una arista en filo de cuchillo.



**Figura 28. Pérdidas por difracción en una arista en filo de cuchillo.**

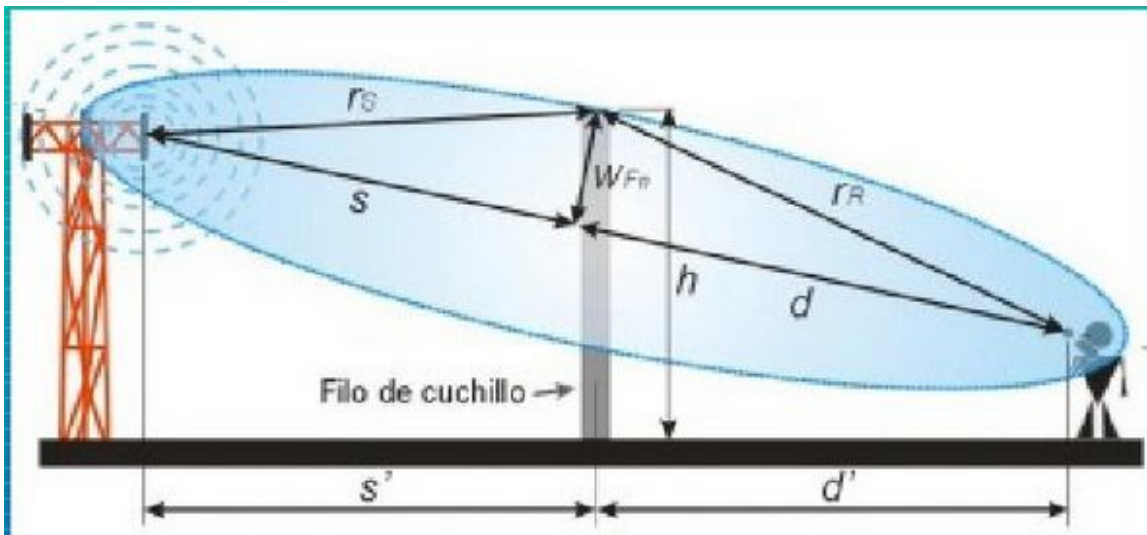
Fuente: RECOMENDACIÓN UIT-R P.526

#### **II.10.6 Modelo de Longley-Rice (ITS irregular terrain model)**

Este modelo se aplica a sistemas punto a punto y a esquemas de comunicación en el rango de frecuencias desde VHF hasta EHF, sobre diferentes tipos de terrenos. El modelo se basa en datos recogidos entre 20MHz y 20GHz, a distancias de 1 a 2000 kilómetros, en alturas de antena de transmisión y recepción entre 0,5 y 3000 metros, y con polarización vertical y horizontal. (Sergio, 2004).

Para predecir la potencia de la señal dentro del “horizonte” (LOS) se utiliza principalmente el modelo de reflexión terrestre de 2 rayos (Figura 29). (Sergio, 2004).

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 tropósfera. Las pérdidas por difracción por obstáculos aislados son estimadas utilizando el modelo de “filo de cuchillo” (Knife Edge) de Fresnel-Kirchoff. (Sergio, 2004).



**Figura 29. Fenómeno de “Filo de cuchillo”.**

Fuente: (Sánchez & Hoy, 2010)

Este modelo también analiza los fenómenos de dispersión en la tropósfera para poder hacer predicciones sobre distancias largas. El método Longley-Rice trabaja en dos modos: uno es cuando se 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. El otro es cuando no se dispone del perfil del terreno, para lo cual el método dispone de técnica para estimar los parámetros específicos, a este modo se le conoce como predicción de área. (Sergio, 2004). Es utilizado en macro celdas.

Se dice que la onda está en condiciones de  $k = 4/3$ , que es el valor para una atmósfera estándar, ya que de acuerdo a valores experimentales se encontró que éste era el valor medio. (Sergio, 2004).

Este método ha sido objeto de modificaciones y una de las últimas ha sido la introducción de un nuevo factor llamado factor urbano (UF), con el cual se hace referencia a la atenuación debida a obstáculos que se presentan antes de llegar a la antena receptora. (Sergio, 2004).

#### **II.10.7 Método propuesto por la UIT**

El organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras, es la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). La normativa generada por este organismo, está contenida en un amplio conjunto de documentos denominados *Recomendaciones* los cuales son agrupados por series, cuyo contenido a nivel de relaciones internacionales es considerado como mandatorio por las administraciones y empresas operadoras. (Gamez, 2007).

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 comunicaciones fijas punto-multipunto. (Gamez, 2007).

Es válido para rangos de frecuencias entre 30MHz y 3GHz y de distancias 1 y 1000 Km. Además es muy usado por las Administraciones de Telecomunicaciones, entidades de radiodifusión y operadores. El método de la UIT consiste en una 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 1200 m, alturas representativas de terminales de 10m y para frecuencias de 100, 600 y 2000 MHz. (Gamez, 2007).

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 móviles que funcionan en predeterminadas bandas de frecuencia. Es un procedimiento de punto a zona proporciona anticipadamente el valor intermedio de la distribución espacial del área estudiada. (Gamez, 2007).

El método considera los efectos que una topografía irregular tendría sobre la intensidad de campo prevista, la cual podría aumentar, al suprimir la concordancia de fase, entre la propagación con visibilidad directa y las ondas reflejadas o difractadas al chocar éstas con el suelo. (Gamez, 2007).

Los datos suministrados para la predicción en el servicio móvil terrestre, fueron obtenidos a partir de un grupo de curvas provenientes de mediciones realizadas en zonas urbanas del Japón. Muestran valores ajustados para que la intensidad de campo eléctrico corresponda a una potencia radiada aparente de 1kW, referidos además a un terreno cuyo factor de irregularidad corresponda a un terreno cuasi-suave ( $\Delta h=50m$ ), y un porcentaje de tiempo y ubicaciones de 50%. (Gamez, 2007).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado. (Arias, 1999)

Este proyecto se apoya en una investigación de tipo exploratoria con modalidad proyecto factible que “básicamente depende de dos factores: el estado del conocimiento en el tema de investigación que revele la revisión de la literatura y el enfoque que el investigador le pretenda dar a su estudio”, según Sampieri R. (1991). (Arias, 1999) Explica que la investigación exploratoria “es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto poco conocido o estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto”. Por otro lado Sampieri R (1991) divide la investigación en cuatro tipos (exploratorio, descriptivo, correccional o explicativo), además expone que “Los estudios exploratorios sirven para “preparar el terreno” y ordinariamente anteceden a los otros tres tipos (Dankhe, 1986)”. “Los estudios exploratorios se efectúan, normalmente, cuando el objeto es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes”.

El desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo con el estudio de problemas vinculados a la predicción de la señal para la televisión digital abierta, con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, apoyándose principalmente en trabajos previos e información y datos divulgados por medios electrónicos, con el fin de establecer las pautas dentro del Manual Guía para aplicarlo a posteriores investigaciones.

En cuanto al diseño de Investigación (Arias, 1999) explica que “es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado”; este trabajo de grado se define como Investigación Documental ya que “es aquella que se basa en la obtención



y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos”, según (Arias, 1999).

Esta tesis se llevó a cabo a través de una estructura concisa de cuatro fases que respalda lo mencionado anteriormente. Las fases planteadas fueron las siguientes:

### **III.1 INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN**

Esta fase consiste en la recolección de documentos e información funcionales para la ejecución de este proyecto; como por ejemplo: proyectos anteriores ligados con el tema, información teórica, fórmulas, criterios e investigaciones, que respalden el presente trabajo de grado.

Esta fase se subdivide a su vez en tres grandes bloques. 1) Investigación bibliográfica acerca de la propagación de ondas hercianas y fenómenos de difracción. 2) Se procedió a realizar la investigación detallada de algunos de los modelos existentes para la predicción de la cobertura en la televisión digital, entre ellos Okumara, Hata (Okumura-Hata), Modelo de la FCC, Walfish y Bertoni, Longley Rice, Modelo Bullington, Modelos Recomendados por la UIT (P-1546 y P-1812), y 3) se realizó un sondeo para ubicar diversos trabajos elaborados anteriormente relacionados con la televisión digital y sus sistemas, que ayuden a la elaboración del manual guía propuesto.

### **III.2 PLANIFICACIÓN**

Esta fase se encuentra orientada a la recolección de las especificaciones técnicas. La utilización de un cuadro comparativo de los modelos existentes para la predicción de la propagación de la señal el cual fue de ayuda para seleccionar el modelo que mejor se adaptó a las condiciones y realidad topográfica de Venezuela, equipos necesarios con sus especificaciones técnicas y las posibles metodologías para el desarrollo del manual guía.

### **III.3 EJECUCIÓN Y DISEÑO DEL MANUAL**

Esta fase se centró en la elaboración y el contraste de las distintas ideas planteadas en la fase anterior, se realizó el análisis y conclusiones acerca del nuevo modelo propuesto para ser aplicado en Venezuela, con el fin de realizar el diseño del manual que será utilizado como guía por aquellos que llevaran a cabo las mediciones pertinentes.

### **III.4 CIERRE**

Durante el desarrollo de esta fase se redactó el trabajo de grado en su totalidad, cumpliendo con los formatos y requisitos exigidos para su presentación ante la Escuela.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO**

El desarrollo del trabajo de grado se dio de manera consecuente con la metodología planteada, logrando así una culminación exitosa del proyecto y dentro de los plazos definidos previamente. El presente capítulo explica, según la metodología planteada en el capítulo anterior, todos los pasos que se siguieron para el planteamiento de un Modelo de predicción para la propagación de la señal de Televisión Digital Abierta de alcance urbano.

Primeramente, se realizó toda la etapa de investigación previa, recabando la información, en primera instancia, de Internet, para definir conceptos claves, de manera tal, que al momento de plantear la propuesta poder entender cuál era el fin último del proyecto y de qué trataba todo su desarrollo.

#### **IV.1 INVESTIGACIÓN TEÓRICA**

Luego de haber planteado el proyecto, se comenzó a realizar una investigación exhaustiva de los conceptos involucrados en el desarrollo del trabajo. Dicha investigación fue laboriosa, ya que no se encuentra mucha documentación en el país sobre el desarrollo de los modelos de predicción para la televisión digital. En consecuencia se procedió a consultar bibliografía a nivel internacional: Libros, investigaciones científicas, manuales, recomendaciones de la UIT-T, presentaciones, trabajos de grado, ponencias y videos.

Después de reunir la información teórica de los conceptos básicos, se realizó una recolección sobre precedentes de sistemas para la predicción de la señal de televisión digital en general para de esta forma tener conocimiento de los factores de mayor importancia para la predicción de una señal de televisión digital y su funcionamiento. Las investigaciones realizadas para la implementación de un modelo de predicción para señal digital en Venezuela sirven como precedentes para el diseño del manual guía.

La referencia de documentación más importante fue Internet, debido a la amplia gama de información que ahí se encuentra. De esta herramienta se extrajo la mayor cantidad de información posible para la realización de este proyecto. La referida información fue adquirida de fuentes certificadas usando los buscadores recomendados por la Universidad, garantizando con esto que la información fuese certera, excluyendo una gran cantidad de documentos provenientes de fuente no sólidas.

El desenlace de esta investigación se muestra en el Capítulo II del presente trabajo, donde se puede observar con detalle todos los conceptos, procesos y cálculos matemáticos investigados, utilizados para el desarrollo del presente proyecto.

#### **IV.2 CUADRO COMPARATIVO**

Se recolecto información acerca de los modelos existentes para la predicción de la propagación de la señal más utilizados para zonas urbanas. Estos modelos son:

- Okumura.
- Okumura Hata.
- Modelo Walfisch y Bertoni.
- Modelo de Longley-Rice.
- Modelo de la FCC.
- Modelo Bullington.
- Modelos Recomendados por la UIT-R (P.1546-4 y P.1812-2)

Con el fin de conocer sus características más específicas y de esta forma tener presente las fortalezas y debilidades de cada método, se presenta a continuación los parámetros más relevantes del estudio comparativo, mostrados en la tabla 12. Cabe

destacar que los métodos escogidos, en su mayoría, toman en cuenta los siguientes parámetros:

- Rango de frecuencia.
- Altura de la antena transmisora.
- Altura de la antena receptora.
- Distancia entre transmisor y receptor.
- Tamaño de Celdas.

En algunos casos existen otras características que son tomadas en cuenta para realizar la predicción de las señales. Sin embargo con los mencionados parámetros es posible comprender cuál de los modelos contemplados se adaptan mejor a la forma de la topografía de Venezuela.

En Venezuela se eligió el estándar japonés ISDB-Tb para el desarrollo de la tecnología de Televisión Digital Abierta, el cual tiene una serie de parámetros establecidos, por lo que el modelo a escoger debe ser totalmente compatible con los mismos; entre los parámetros se encuentran:

- Umbral de cobertura: 51 dB  $\mu$ V/m. (ISDB-Tb).
- Rango de Frecuencia: 512-806 MHz.

**Tabla 12. Comparación de modelos.**

Fuente: Propia.

| <b>Modelo</b>             | <b>Frecuencia (MHz)</b> | <b>Atx (m)</b> | <b>Arx (m)</b> | <b>D (Km)</b> | <b>Tamaño de Celdas</b> |
|---------------------------|-------------------------|----------------|----------------|---------------|-------------------------|
| <b>Okumura</b>            | 150-3000                | 30-1000        | 1-10           | 1-100         | Macro                   |
| <b>Okumura-Hata</b>       | 150-1500                | 30-200         | 1-10           | 1-20          | Macro                   |
| <b>UIT-R P.1546-4</b>     | 30-3000                 | 0-3000.        | 1-3000.        | 1-1000        | Macro                   |
| <b>UIT-R P.1812-2</b>     | 30-3000                 | 0-3000.        | 1-3000.        | 0,25-3000     | Macro                   |
| <b>Walfisch y Bertoni</b> | 300-3000                | 4-50           | 1-3            | 0,2-5         | Macro                   |
| <b>Longley-Rice</b>       | 20-20000                | 0,5-3000       | 0,5-3000       | 1-2000        | Macro                   |
| <b>Modelo Bullington</b>  | Desde 80.               | _____          | _____          | _____         | Macro                   |
| <b>Modelo de la FCC</b>   | 54-806                  | _____          | 1-9            | 1,6-64        | Macro                   |

Atx: altura del transmisor.

Arx: altura del receptor.

D: distancia entre el transmisor y receptor.

Todos los modelos trabajan dentro del rango de frecuencias atribuido al servicio de televisión abierta en Venezuela. El modelo Okumura, las Recomendaciones de la UIT y el modelo Longley-Rice, son lo que permiten mayor altura de las antenas de transmisión, así como el Okumura-Hata y el Walfisch, que permiten un rango de distancias transmisor-receptor de pocos kilómetros. Un simple vistazo a las expresiones matemáticas para cada uno de los modelos anteriormente descritos proporciona una idea general de las diferencias entre ellos (Capítulo II).

Se puede destacar el hecho de que los modelos Okumura y Okumura-Hata atienden más a parámetros de atenuación y pérdidas por condiciones del área, entre las

restricciones de este modelo se puede mencionar que no toma en cuenta la ondulación del terreno y el grado de urbanización, que para el caso del modelo Walfisch, da un enfoque más a la urbe metropolitana, al introducir o tomar en consideración la estructura de la ciudad, muy parecido al modelo Bullington que utiliza la información de la elevación del terreno a lo largo de la trayectoria, e información de las obstrucciones. No obstante, el referido modelo solo se aplica cuando se está ante dos filos de cuchillos, pese a que tiene el problema de que desprecia los obstáculos por debajo de las antenas, lo que puede conducir a errores en el cálculo de las pérdidas. El modelo Longley-Rice, trabaja con los fenómenos de dispersión en la tropósfera y la geometría del terreno. Dada esta situación, se puede inferir que son más realistas en áreas con mayor cantidad de edificios. Otro detalle importante que se puede resaltar es que para el modelo Walfisch-Bertoni, la altura de la antena de transmisión es el parámetro más determinante en la predicción de la pérdida por trayectoria, es decir, una altura mayor de esta antena con respecto a la altura promedio de los edificios resultará en una mayor probabilidad de línea de vista con el móvil y menor número de refracciones.

El modelo Walfisch-Bertoni funcionara bien en zonas urbanas no demasiado densas con típica estructura de “ensanche”, en las que las calles forman una rejilla más o menos uniforme de filas casi paralelas.

La Recomendación UIT-R P.1546-4 presenta un conjunto de curvas normalizadas para estimar el valor del campo eléctrico en enlaces terrenales punto a zona, además proporciona directrices sobre la predicción de intensidades de campo punto a zona en las bandas de ondas métricas y decimétricas, basándose principalmente en análisis estadísticos de datos experimentales. Esta Recomendación produce resultados similares a los del método Okumura-Hata para distancias de hasta 10 Km, altura del transmisor = 1,5 m, altura del receptor = 15 m. La Recomendación UIT-R P.1812-2 presenta un método de predicción de la propagación adaptado a servicios terrenales punto a zona, además proporciona un análisis detallado basado en el perfil del terreno. Por consiguiente, este método se puede utilizar para predecir tanto el área de servicio y la

disponibilidad para un nivel de señal deseado (cobertura), como la reducción dentro esta área y de la disponibilidad ocasionada por señales no deseadas, co-canal y/o de canal adyacente (interferencia). Se asume la disponibilidad de perfiles detallados del terreno, extraídos usualmente de una base de datos digital de las elevaciones del terreno. Si no se dispone de estos perfiles, se debería utilizar la Recomendación UIT-R P.1546-4. El modelo de la FCC está apoyado en las curvas (50,50), y es recomendado por CONATEL. Se basa en el análisis de una cantidad considerable de datos experimentales obtenidos a través de mediciones realizadas en Norte América.

El modelo Longley-Rice se aplica a sistemas punto a punto y fue basado en la teoría de la ondas electromagnéticas y evaluación estadísticas. Las recomendaciones de la UIT son aplicables para radiodifusión, enlaces móviles y fijos punto-multipunto.

### **IV.3 METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DEL MANUAL GUÍA**

Previo a las mediciones de campo, se requiere realizar el estudio de cobertura teórico siguiendo el procedimiento establecido por el método en cuestión. Las modalidades de recepción consideradas para las pruebas de campo son las siguientes:

-Recepción fija en exteriores.

-Recepción fija en interiores.

-Recepción móvil.

#### **IV.3.1 RADIALES Y PUNTOS DE MEDICIÓN**

Recomendación de CONATEL:

Trazar como mínimo 18 radiales espaciados cada 20°, tomando como referencia de 0° el norte verdadero.



Los puntos de medición se seleccionan comenzando a una distancia de 3 km del transmisor y repitiéndose a intervalos de 3 km hasta llegar a la distancia máxima a la que deben realizarse las medidas; ésta se determina mediante una predicción de cobertura previa. Normalmente, al menos el 20% de todos los puntos de medida incluyen mediciones en agrupación o recorridos de 30 m (100 pies). Recomendación de la UIT-R BT.2035-2 y CONATEL.

#### **IV.3.2 TABLAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Se diseñaron varias tablas las cuales son requisitos exigidos por CONATEL al momento de hacer las mediciones de campo. Estas tablas reflejan la información que debe ser llenada por parte de la persona que hace las mediciones. De esta manera contienen la información de los equipos utilizados para la realización de dichas mediciones.

##### **Contenido de la tabla 1:**

1. Características técnicas del equipo transmisor principal:
  - a. Marca y modelo del equipo.
  - b. Sintonizabilidad del transmisor (frecuencia fija, conmutable en pasos, sintonización continua).
  - c. Frecuencia mínima y máxima en las que opera el equipo (MHz).
  - d. Tipo de modulación.
  - e. Potencia máxima del equipo (KW).
  - f. Potencia entregada a la antena (KW y dBK).

- g. Indicar si el equipo se encuentra homologado y la institución, organismo o empresa que lo certifica.

**Contenido de la tabla 2:**

2. Características técnicas del equipo receptor:

- a. Marca y modelo del equipo, así como el país de fabricación.
- b. Sintonizabilidad del Receptor (Frecuencia fija, Conmutable en pasos, Sintonización continua).
- c. Frecuencia mínima y máxima en las que opera el equipo (MHz).
- d. Ancho de banda con el que opera el equipo (MHz).
- e. Sensibilidad del receptor (dBm).
- f. Indicar si el equipo se encuentra homologado y la institución, organismo o empresa que lo certifica.

**Contenido de la tabla 3:**

3. Características técnicas de la antena, indicando:

- a. Marca y modelo del equipo.
- b. Tipo de antena.
- c. Número de bytes que la componen.
- d. Polarización.

- e. Altura del Centro de Radiación (ACR) en metros (altura de la antena sobre la torre desde el nivel del suelo).
- f. Ganancia máxima de potencia en el plano horizontal, en dBi.
- g. En caso de que la antena sea directiva, indicar el acimut del lóbulo principal de la antena medido con respecto al norte magnético y en sentido horario (°).
- h. Elevación del lóbulo principal en grados medido con respecto al eje horizontal con sentido antihorario (ángulo de inclinación vertical o beam-tilt, eléctrico o mecánico).
- i. Altura efectiva (altura total del centro de radiación sobre el nivel del mar) (m).
- j. Apertura del haz horizontal en grados.
- k. Apertura del haz vertical en grados.
- l. Patrones de radiación horizontal y vertical.
- m. Si es necesario modificar el patrón de radiación dado por el fabricante, se debe suministrar el nuevo patrón de radiación esperado.
- n. Indicar si el equipo se encuentra homologado y la institución, organismo o empresa que lo certifica.

**Contenido de la tabla 4:**

- 4. Características de la línea de transmisión:
  - a. Marca y modelo del equipo.
  - b. Atenuación en la línea de transmisión (dB).
  - c. Longitud del alimentador (m) (largo de la línea de transmisión).

**Contenido de la tabla 5:**

5. Catálogos con las especificaciones de todos los equipos.

**IV.3.3 TABLAS DE RESULTADOS**

Se diseñó una tabla la cual permite facilitar y comparar de manera eficiente los resultados de cada una de las mediciones con los resultados obtenidos de los modelos teóricos sugeridos. Los resultados de las mediciones se tomarán para cada uno de los puntos de los radiales trazados en el área de cobertura. Cada medición tomará en cuenta los datos anteriormente mencionados, cada una de estas mediciones se comparará con las predicciones de pérdidas calculadas de manera teórica por los modelos recomendados, con la finalidad de obtener una mejor aproximación a las características del sistema de potencia y transmisión requerida en cada estación. (Recomendación CONATEL).

- ✓ Filas: cada 3 km.
- ✓ Columnas:
  - Por Radial.
  - Resultado de las mediciones de campo.
  - Resultado de los distintos Modelos Teóricos.

**Contenido de la tabla 1:**

- ✓ Cada punto de medición por cada radial tendrá la siguiente información:
  - Potencia Efectiva Radiada (PER) (dBK).
  - Ganancia de antena por radial (dBd).
  - Altura sobre el nivel promedio del terreno (ASPT) en metros.

- Factor de rugosidad del terreno ( $\Delta h$ ) en metros y factor de atenuación por rugosidad del terreno ( $\Delta F$ ) en dB.
- Distancia a los contornos de intensidad de campo eléctrico de acuerdo al servicio.
- Promedio de ASPT (Altura Sobre el Promedio del Terreno) de todos los radiales.

**Contenido de la tabla 2:**

- ✓ Cada punto de medición por cada radial tendrá la siguiente información:
  - Potencia recibida por mediciones de campo.
  - Potencia recibida por modelos teóricos.
  - Intensidad de Campo eléctrico (dB $\mu$ V/m) por mediciones de campo.
  - Intensidad de Campo eléctrico (dB $\mu$ V/m) por modelos teóricos.
  - Distancia Tx-Rx (Km).

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se presenta todos los resultados obtenidos a partir de la culminación de cada una de las fases establecidas en la metodología del trabajo de grado, planteando un breve recuento de qué trató dicha fase y lo que se logró obtener de su realización, además de mencionar su aporte para el progreso del trabajo de grado.

#### **V.1. SELECCIÓN DE MODELO**

Se han desarrollado algunos modelos de propagación en todo el mundo, y cada uno de estos obedece específicamente a la localidad en la que fue desarrollado. Según estudios existentes, el modelo de Okumura-Hata ha demostrado ser el más adecuado para la TV digital (Yamada & Motoyama, 2009). Actualmente es uno de los modelos más utilizados para la predicción de las pérdidas de propagación en áreas urbanas y fue utilizado por Europa y Brasil con gran satisfacción y efectividad.

La mayoría de los modelos desarrollados desde entonces se basan en la fórmula de Hata o son una variable del modelo Okumura-Hata, como lo es la nueva recomendación de la ITU-R P.1546.

Todos los modelos estudiados resultaron compatibles con los estándares y parámetros establecidos en Venezuela, unos con características más flexibles en cuanto a sus parámetros que otros modelos y con mayor factibilidad, pero a priori no se descarta ninguno.

La recomendación UIT-R P.1812-2, propone que de no disponer de los perfiles de terreno, se debería utilizar la Recomendación UIT-R P.1546-4 para la predicción de pérdidas.

## **V.2. MANUAL GUÍA**

El objetivo de las pruebas de campo es registrar el comportamiento de los sistemas de TDA en una situación similar a la que se presentarán en condiciones regulares de funcionamiento. En estas pruebas se registrarán parámetros de funcionamiento y operación que permitan determinar el desempeño de la red al hacer variar los principales parámetros que afecten la calidad de operación y la calidad de servicio.

La comparación de valores medidos en campo, con los valores predichos mediante métodos de predicción de propagación, permitirá establecer una regla de correspondencia mediante un modelo matemático orientado a la corrección del método de predicción de cobertura y con ello hacer más eficiente las inversiones en el despliegue de las redes de Televisión Digital Terrestre en la República Bolivariana de Venezuela.

Este manual guía fue diseñado bajo recomendaciones y requisitos establecidos por CONATEL y la UIT, contiene como principio la metodología de mediciones, paso por paso, tablas (como requisito) especificando las características del transmisor, receptor y antena utilizadas, información de todos equipos necesarios para las mediciones, así como el manejo de cada uno de estos. Por último se diseña una tabla que contiene los resultados de las mediciones realizados en campo, así como los resultados de los modelos teóricos seleccionados. Con ayuda de esta tabla y las gráficas se permite ver con mayor facilidad qué modelo se aproxima más a los resultados de las mediciones de campo. Por esto la importancia de este manual, ya que permite establecer qué modelo se aproxima a las mediciones y se adapta a las condiciones de Venezuela, así como identificar qué nivel de potencia se necesita transmitir para asegurar el acceso de toda la población al servicio de TDA.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES**

Son varias las ventajas en comparación con la TV analógica las que promete la digitalización del sistema de TV, entre ellas, audio y video de calidad superior, altas resoluciones, mejor uso del ancho de banda, y capacidades de enviar datos adicionales al audio y video. Es importante hacer los estudios previos a su implementación con la finalidad de realizar un correcto dimensionamiento del sistema de transmisión con el fin de garantizar el acceso al servicio de TDA a toda la población y hacer un uso eficiente del aspecto radioeléctrico.

Para poder establecer teóricamente la potencia de transmisión se necesitan estudiar y entender los fenómenos que afectan la propagación de señales. Es importante conocer a profundidad estos conceptos como la atenuación, la difracción y las pérdidas en espacios libres, así como todos los conceptos relevantes que intervienen en la transmisión y recepción de señales. Para el dimensionamiento de las antenas es necesario conocer los conceptos de directividad, ganancia y tipos de antena. Existen modelos que predicen las pérdidas en las transmisiones de señales, basados en estudios tanto teóricos como experimentales. Estos modelos se fundamentan con experimentos hechos en países de diferentes topografías, densidad de población y alturas de edificios que Venezuela. Cada uno toma en cuenta diferentes factores que afectan las señales, como la ondulación del terreno, condiciones de tipos de área, obstáculos, entre otros.

Se estudiaron y recomendaron los modelos de predicción que se adaptaron a los parámetros establecidos en Venezuela, el cual se basa en el estándar ISDB-Tb, entrando en los rangos de frecuencia de 512-806 MHz en la banda UHF.

Se desarrolló el diseño de un manual guía el cual establece los pasos a seguir para realizar las mediciones de campo y facilitar el manejo de los resultados de los modelos



teóricos recomendados y de las mediciones. Esta comparación entre estos dos resultados ayudará a establecer una norma para las siguientes mediciones y así poder seguir un patrón, con el fin de facilitar y agilizar este proceso.

## RECOMENDACIONES

Publicar el documento en una página web de investigación y desarrollo de televisión digital, para que todo profesional o estudiante interesado en el tema pueda tener acceso a la información de manera que se pueda instruir acerca del funcionamiento de la televisión digital, estudios necesarios para la creación de una norma para la predicción de la propagación de la señal de televisión digital abierta, todos los factores que podrían afectar a la transmisión y recepción de dicha señal, posibles beneficios y como ha ido avanzando esta tecnología a través de los años.

Implementar el Manual diseñado para realizar las mediciones de campo. Basándose en los resultados obtenidos de forma teórica referentes a los modelos de predicción, como base para escoger aquellos a los que se les aplicara el estudio con el fin de crear una norma para Venezuela ajustando si es necesario las variables contenidas en los modelos de predicción y de esta manera hacer más factible y sencilla la implementación de la tecnología de televisión digital.

Incluir los modelos estudiados en el presente trabajo de grado en el desarrollo del proyecto para mediciones de campo ya que por lo expuesto, resultaron ser teóricamente los que mejor se adaptan a los parámetros y zonas de Venezuela, cumpliendo con los requisitos del estándar aprobado para la definición de la señal de televisión digital.

Realizar las mediciones de campo en diferentes topologías de Venezuela, como por ejemplo:

- o Zonas mediana y altamente urbanizadas (Caracas, Valencia, Barquisimeto y Maracay entre otras);
- o Zonas costeras (Maracaibo, Puerto La Cruz, La Guaira, Puerto Cabello, entre otras);

- o Zonas montañosas (estados Mérida, Táchira y Trujillo, principalmente);
- o Zonas llanas (San Carlos, Valle de La Pascua, Barinas, El Tigre, entre otras).

Se recomienda dividir el rango de frecuencia de 512-806 MHz utilizado para la TDA en la banda UHF en al menos tres rangos: Inferior, Intermedio y Superior, y realizar mediciones para cada una de las divisiones para observar con mayor precisión el funcionamiento de la tecnología de televisión digital a lo largo de la banda.

## **GLOSARIO DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS**

- ABNT: Asociación Brasileira de Normas Técnicas.
- ADSL: Línea de abonado digital asimétrica (Asymmetric Digital Subscriber Line).
- ASK: Modulación por Desplazamiento de Amplitud (Amplitude-shift keying)
- ASPT: Altura Sobre el Promedio del Terreno.
- ATSC: Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (Advanced Television System Committee).
- CD: Disco Compacto (Compact Disc).
- CMT: Canal Metropolitano de Televisión.
- CONATEL: Comisión Nacional de Telecomunicaciones.
- CVTV: Cadena Venezolana de Televisión.
- dB: Decibeles.
- dBi: Decibelio isotrópico.
- DMB-T: Digital Multimedia Broadcast-Terrestrial.
- DVB-T: Difusión de Video Digital -Terrestre (Digital Video Broadcasting – Terrestrial).
- DVD: Disco Versátil Digital (Digital Versatile Disc).
- EPG: Guía Electrónica de Programas (Electronic Program Guide).
- FAF: Facto de Atenuación del Piso (Floor Attenuation Factor).
- FCC: Comisión Federal de Comunicaciones.

-FI: Frecuencia Intermedia.

-GHz: GigaHertz.

-HDTV: Televisión de Alta de Definición (High definition televisión).

-HF: Alta Frecuencia (High Frequency).

-ISDB-T: Radiodifusión Digital de Servicios Integrados- Terrestre (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial).

-ISDB-Tb: Radiodifusión Digital de Servicios Integrados- Terrestre-Brasileño (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial-Brazilian).

-ISM: Industrial, Científica y Médica (Industrial, Scientific and Medical).

-Km: Kilometros

-Kw: KiloWattios.

-LD: Larga Distancia.

-MHz: MegaHertz.

-MPEG-2: Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (Moving Pictures Experts Group 2).

-MPEG-4: Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (Moving Pictures Experts Group 4).

-NTSC: Comisión Nacional de Sistema de Televisión (National Television System Committee).

-PC: Computadora Personal (Personal Computer).

- PCI: Interconexión de Componentes Periféricos (Peripheral Component Interconnect).
- PER: Potencia Efectiva Radiada.
- PSK: Modulación por Desplazamiento de Fase (Phase Shift Keying).
- RF: Radio Frecuencia.
- SBTVD: Sistema Brasileño de Televisión Digital.
- SDTV: Televisión de definición estándar (Standard Definition Television).
- SMS: Servicio de Mensaje Corto (Short Message Service).
- STB: Caja que se coloca encima del televisor (Set-top Box).
- TD: Televisión Digital.
- TDA: Televisión Digital Abierta.
- TDS: Televisión Digital Satelital.
- TDT: Televisión Digital Terrestre.
- TV: Televisión.
- TVN: Televisora Nacional.
- UF: Factor Urbano.
- UHF: Frecuencia Ultra Alta Ultra (High Frequency).
- UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- USB: Bus Universal en serie (Universal Serial Bus).
- VHF: Muy Altas Frecuencias (Very High Frequency).

-WPANs: Redes Inalámbricas de Área Personal (Wireless Personal Area).

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aguilar, L., De Lima, R., & Lucena, Y. (Septiembre de 2010). Recuperado el 12 de Enero de 2013, de <http://www.slideshare.net/eliche04/modelo-de-walfisch-bertoni>

Arias, F. G. (1999). El proyecto de investigación, guía para su elaboración. Caracas: Episteme Orial.

Asterion. (2009). Recuperado el 12 de Julio de 2012, de <http://asterion.almadark.com/2008/11/30/las-zonas-fresnel-y-el-alcance-de-los-equipos-de-radio-frecuencia/>

Basantes, P. F. (2009). Recuperado el 20 de Julio de 2012, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1826/1/CD-2411.pdf>

Bordón, R., Alonso, R., & Montejo, S. (Diciembre de 2011). Recuperado el 7 de Enero de 2013, de <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/67/html>

Broadcasters, National Association of. (2009). dtvanswers. Recuperado el 13 de Julio de 2012, de [http://www.dtvanswers.com/esp\\_what.html](http://www.dtvanswers.com/esp_what.html).

Buettrich, S. (Octubre de 2007). Itrain online. Recuperado el 26 de Octubre de 2012, de [http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_guia\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf)

Burguete, C. A. (Mayo de 2005). UDLAP. Recuperado el 26 de Septiembre de 2012, de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/vila\\_b\\_ca/capitulo\\_1.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo_1.html)

CANTV. (Junio de 2008). PAC. Recuperado el 25 de Septiembre de 2012, de [http://www.pac.com.ve/index.php?option=com\\_content&view=article&catid=68&Itemid=91&id=4840](http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&catid=68&Itemid=91&id=4840)



Castañer, M. S., & Besada, J. L. (2009). Recuperado el 26 de Julio de 2012, de <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/presentaciones/rdpr2.pdf>

Chacón, L. (Julio de 2007). UCAB. Recuperado el 15 de Enero de 2013, de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ8671.pdf>

Chulde, J. (Julio1 de 2010). Bibdigital. Recuperado el 19 de Noviembre de 2012, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2290/1/CD-3030.pdf>

CONATEL. (Enero de 2011). Obtenido de <http://www.conatel.gov.py/consultapublica/wp-content/uploads/2011/04/Proyecto-Norma-TV-versi%C3%B3n-final-consulta-p%C3%BAblica.pdf>

CONATEL. (2006). CONATEL. Recuperado el 19 de Noviembre de 2012, de <http://www.conatel.gob.ve/index.php/principal/espectroradioelectrico>

CONATEL. (2010). CONATEL. Recuperado el 1 de Febrero de 2013, de [http://www.conatel.gob.ve/files/consulta/PA\\_CUNABAF\\_CP.pdf](http://www.conatel.gob.ve/files/consulta/PA_CUNABAF_CP.pdf)

Crocco, A. (Junio de 2007). Recuperado el 28 de Julio de 2012, de [arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/vhf.htm](http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/vhf.htm)

Delgado, C., & Millán, F. (Octubre de 2009). slideshare. Recuperado el 26 de Septiembre de 2012, de <http://www.slideshare.net/guest5f0e6e/medios-de-trasmision-guiados-y-no-guiados>

Departamento de Ingeniería Eléctrica de Chile. (Mayo de 2003). Recuperado el 12 de Julio de 2012, de [http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes\\_de\\_computadores/clase\\_redes\\_inalambricas2.pdf](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes_de_computadores/clase_redes_inalambricas2.pdf)

Escuela, L., Mariotti, D., & Torrealba, I. (Febrero de 2010). Recuperado el 16 de Enero de 2013, de <http://radiopropagacionsaiab.blogspot.com/2010/02/metodo-de-bullington.html>

Gamez, D. (Junio de 2007). Recuperado el 16 de Enero de 2013, de <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/727/1/TRABAJO%20ESPECIAL%20DE%20GRADO.pdf>

García, J. (Diciembre de 2002). Recuperado el 20 de Noviembre de 2012, de <http://www.docentes.unal.edu.co/jcgarciaa/docs/Papers/ID016.pdf>

Gobierno de Canarias. (2009). Canarias TDT. Recuperado el 25 de Septiembre de 2012, de [http://www.canariastdt.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=21&Itemid=15](http://www.canariastdt.es/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=15)

Gobierno de España. (2006). Televisión digital Terrestre. Recuperado el 25 de Septiembre de 2012, de <http://www.televisiondigital.es/TECNOLOGIASRELACIONADAS/INTERACTIVIDAD/Paginas/Interactividad.aspx>

Herradón, R. (Marzo de 2007). Recuperado el 28 de Julio de 2012, de <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/propagacion-07.pdf>

Lara, E. (Julio de 2010). Personals. Recuperado el 27 de Septiembre de 2012, de <http://personals.ac.upc.edu/elara/documentacion/IMSO%20-%20UD5%20-%20Television%20Digital.pdf>

Magenta, A. (2012). ITU. Recuperado el 27 de Septiembre de 2012, de <http://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2006&issue=03&ipage=transition&ext=html>

MalagaWaldirjahir, D. (Enero de 2011). Scribd. Recuperado el 27 de Septiembre de 2012, de <http://es.scribd.com/doc/59144491/8/RELACION-DE-ONDA-ESTACIONARIA-ROE>

Martínez Martínez, E. (2007). Recuperado el 29 de Julio de 2012, de <http://www.eveliux.com/mx/tipos-de-propagacion.php>

Martinez, E., Ascencio, J., & Fraga, J. (Junio de 2008). Recuperado el 26 de Septiembre de 2012, de <http://www.eveliux.com/mx/el-abc-de-la-television-digital-parte-1.php>

Ministerio de Planificación Federal de Argentina. (Agosto de 2012). TDA. Recuperado el 12 de Agosto de 2012, de [http://www.tda.gob.ar/contenidos/tv\\_digital.html](http://www.tda.gob.ar/contenidos/tv_digital.html)

Pla, V. (Octubre de 2011). Panorama Audiovisual. Recuperado el 28 de Septiembre de 2012, de <http://www.panoramaaudiovisual.com/es/2011/10/11/dvb-t2-lite-una-nueva-ventana-de-oportunidad-para-los-servicios-en-movilidad/>

Ramírez, P., & Ramírez, P. (2012). Recuperado el 17 de Enero de 2013, de <https://docs.google.com/document/d/1t7MdLKEHJSf8mX4YPqIb9v9zjf87u4hNR4zzo-94Pfc/edit#>

Rojas, R. (Octubre de 2011). Recuperado el 4 de febrero de 2013, de <http://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CDgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fingetecom.files.wordpress.com%2F2007%2F08%2Fmodelo-trabajo-final.doc&ei=2dkWUcL7G4j69gTs0oGgAg&usg=AFQjCNFBskZH1x0PFsVAI3U6zLeEyWTqgA&sig2=hNOZ>

Sánchez, J., & Hoy, V. (Septiembre de 2010). Slide Share. Recuperado el 4 de Febrero de 2013, de <http://www.slideshare.net/josefranciscosg/modelo-de-difraccin-por-filo-de-cuchillo-microondas-uft>

Sánchez, M. V., Peris, D. S., Mercé, R. B., & Blázquez, A. A. (Mayo de 2003). UPV. Recuperado el 26 de Julio de 2012, de [http://www.upv.es/satelite/trabajos/sat\\_tv/facto.htm](http://www.upv.es/satelite/trabajos/sat_tv/facto.htm)

Sergio. (Junio de 2004). Recuperado el 19 de Octubre de 2012, de  
<http://www.fiec.up.ac.pa/index.php/fp>

TELECO. (Julio de 2012). teleco. Recuperado el 16 de Agosto de 2012, de  
[http://www.teleco.com.br/es/es\\_tvdigital\\_mundo.asp](http://www.teleco.com.br/es/es_tvdigital_mundo.asp)

Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). Recuperado el 5 de Enero de 2013, de  
<http://proplab.galeon.com/index.html>

Uzcátegui, J., Torres, J., García, N., Duque, L., & Bruzual, Z. (2010). Recuperado el 26 de Septiembre de 2012, de  
<http://www.publicaciones.urbe.edu/index.php/telematique/article/viewArticle/912/2269>

Vega, C. P. (2005). Recuperado el 26 de Septiembre de 2012, de  
<http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Introduccion%20a%20los%20sistemas%20transmisores%20de%20TV.pdf>

Vega, C. P. (2011). Universida de Catanbria. Recuperado el 26 de Septiembre de 2012, de [http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH9ST\\_Web.pdf](http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH9ST_Web.pdf)

Villacrés, A. G. (2009). Análisis y estudio de ingeniería para la selección de estándar de televisión digital más apropiado para Ecuador bajo la supervision de la "Supertel".  
Riobamba, Ecuador.

Wagemakers, A., & Ibarz, B. (Octubre de 2007). Recuperado el 8 de Enero de 2013, de  
[http://www.escet.urjc.es/~fisica/personal/alexandre/docencia/mpe\\_tema2.pdf](http://www.escet.urjc.es/~fisica/personal/alexandre/docencia/mpe_tema2.pdf)

Waller, A. (2009). Recuperado el 24 de Julio de 2012, de  
[www.qsl.net/lu9aum/diversidad.htm](http://www.qsl.net/lu9aum/diversidad.htm)

Yamada, F., & Motoyama, R. E. (2009). Evaluación de cobertura de señales de TV digital en Brasil. Da Set , 12-15.

## **ANEXOS**