

**CÁLCULO DE LA COBERTURA DE UN CANAL DE TELEVISIÓN DIGITAL  
EN LOS MUNICIPIOS DE CHOACHÍ, UBAQUE Y FÓMEQUE  
CUNDINAMARCA**

**DIEGO FERNANDO PUENTES ROJAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2009 II**

**CÁLCULO DE LA COBERTURA DE UN CANAL DE TELEVISIÓN DIGITAL  
EN LOS MUNICIPIOS DE CHOACHÍ, UBAQUE Y FÓMEQUE  
CUNDINAMARCA**

**DIEGO FERNANDO PUENTES ROJAS  
022065  
DIEGO.PUENTES.R@GMAIL.COM**

**MONOGRAFÍA DE GRADO**

**ASESOR TÉCNICO  
ING. JORGE ALBERTO ARÉVALO ALDANA**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2009 II**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**JORGE ALBERTO ARÉVALO ALDANA**  
Asesor

---

**DIEGO DIAZ MUÑOZ**  
Jurado 1

---

**FREUD ROMERO TORRES**  
Jurado 2

Bogotá (25, Noviembre, 2009)

A mis padres por su amor y paciencia, a mis hermanos por su apoyo incondicional, y a todas las personas que siempre creyeron en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá Luz Marina Rojas, a mi papá Antonio Puentes por permitirme tener la oportunidad de hacer una carrera profesional, a mis hermanos Alexander Puentes, Norma Patricia Puentes, Javier Augusto Puentes (Q.E.P.D), por ayudarme en los momentos difíciles, porque nunca me dejaron renunciar a mi sueño, al Ing. Jorge Alberto Arévalo Aldana que me acompañó a lo largo de este proceso al igual que el Ing. Hans Igor López Chávez, a los profesores que aportaron sus conocimientos para lograr culminar este proyecto, y a mis amigos que de una u otra manera hicieron esto posible.

## CONTENIDO

	pág.
1. PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. MARCO REFERENCIAL	18
4.1 ANTECEDENTES	18
4.2 MARCO CONCEPTUAL	18
4.3 MARCO TEÓRICO	20
4.3.1 Teorema de información Shannon	20
4.3.2 Digitalizar una señal de video	21
4.3.3 Medición y compresión de señales digitales de video	21
4.3.4 Estándar de transmisión DVB-T	21
4.3.5 Características de video	24
4.3.6 Características de audio	24
4.3.7 Modulación COFDM	24
4.3.8 Modulador y demodulador OFDM	28
4.3.9 Propagación de las ondas	29

4.3.10	Ondas de tierra	29
4.3.11	Ondas espaciales	30
4.3.12	Ondas de cielo	30
4.3.13	Zona de Fresnel	30
4.3.14	Espectro radioeléctrico	32
4.3.15	Propagación en la banda UHF	32
4.3.16	Área de cobertura	33
4.3.17	Radioenlaces de línea de vista	34
4.3.18	Propagación en espacio libre	36
4.4	ESTADO DEL ARTE	38
4.5	LIMITACIONES Y ALCANCES	39
4.5.1	Limitaciones	39
4.5.2	Alcances	40
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	41
6.	DESARROLLO	42
6.1	DESCRIPCIÓN DE LOS MUNICIPIOS	42
6.1.1	Frecuencias disponibles en la zona	44
6.2	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA IRRADIANTE SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL DE TELEVISIÓN	46
6.2.1	Características del sistema transmisor según la CNTV	47

6.3	ESTACIÓN DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN	48
6.3.1	Un sistema radiante	49
6.3.2	Transmisor	50
6.3.3	Cables y conectores	52
6.3.4	Antena	52
6.4	DISEÑO DE LA COBERTURA DEL CANAL	52
6.4.1	Altura del sistema irradiante	52
6.4.2	Contorno Protegido	53
6.4.3	Interferencias	54
6.4.4	Radio Mobile	55
7.	PRUEBAS Y RESULTADOS	64
7.1	PRUEBA 1	64
7.2	PRUEBA 2	68
7.3	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS SOBRE EL SISTEMA DE TELEVISIÓN	72
8.	CONCLUSIONES	73
9.	RECOMENDACIONES	74
10.	ANEXOS	80

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Denominación habitual de las bandas de frecuencias por década	32
Tabla 2. Factores que influyen en las pérdidas por desvanecimiento	37
Tabla 3. Disponibilidad de frecuencias en la zona	44
Tabla 4. Plan de distribución de canales servicio de radiodifusión	45
Tabla 5. Clasificación de acuerdo a la potencia de transmisión	46
Tabla 6. Características de estaciones de difusión de televisión de alta potencia	46
Tabla 7. Características de estaciones de difusión de televisión - media potencia	46
Tabla 8. Características de estaciones de difusión de televisión - baja potencia	47
Tabla 9. Características de estaciones de difusión de televisión - muy baja potencia	47
Tabla 10. Características del sistema transmisor	47
Tabla 11. Requisitos para la recepción dentro del contorno protegido	54
Tabla 12. Interferencias para canales digitales	55
Tabla 13. Refractividad de acuerdo al clima	58
Tabla 14. Valores de permitividad y conductividad de acuerdo al terreno	58
Tabla 15. Especificaciones técnicas	72

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de televisión digital	22
Figura 2. Constelaciones QAM	25
Figura 3. Intervalo de guarda OFDM	27
Figura 4. Modulador y demodulador OFDM	28
Figura 5. Propagación de Ondas	29
Figura 6. Zona de Fresnel	31
Figura 7. Radioenlaces de línea de vista	35
Figura 8. Estructura de campo con interferencia en el punto de recepción	35
Figura 9. Choachí	42
Figura 10. Ubaque	43
Figura 11. Fόμεque	44
Figura 12. Cadena de transmisión	51
Figura 13. Transmisor marca BTSA estándar DVB-T	51
Figura 14. Configuración para descargar mapas en Radio Mobile	56
Figura 15. Caracterización del entorno	57
Figura 16. Atenuación en zonas boscosas UIT-R P833	60
Figura 17. Gestión de datos de los equipos	60
Figura 18. Posicionamiento de las unidades	62
Figura 19. Ventana para ingresar ubicación geográfica de la estación	62
Figura 20. Prueba 1 con ganancia de 10.2dBd	64
Figura 21. Patrón de radiación de antena de dos paneles	65
Figura 22. Simulación de la cobertura	66
Figura 23. Prueba 1 resultado de la simulación	67
Figura 24. Patrón de radiación de antena de 4 paneles	69
Figura 25. Prueba 2 resultado de la simulación	70

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Símbolo OFDM	26
Ecuación 2. Símbolo completo OFDM	26
Ecuación 3. Señal de referencia OFDM	26
Ecuación 4. Comparación con señal de referencia	27
Ecuación 5. Longitud de onda	31
Ecuación 6. Primera zona de Fresnel	31
Ecuación 7. Segunda zona de Fresnel	31
Ecuación 8. Pérdidas de trayectoria	36
Ecuación 9. Pérdidas por desvanecimiento	37
Ecuación 10. Ganancias del sistema	38
Ecuación 11. Potencia de recepción	38
Ecuación 12. Campo electromagnético	54
Ecuación 13. Conversión de campo eléctrico a dBuV/m	54

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Especificaciones cable y conectores	80
Anexo B. Especificaciones de la antena	85

## RESUMEN

Los sistemas inalámbricos son muy utilizados en la actualidad a los ya conocidos sistemas de telefonía móvil, se unen las redes de datos inalámbricas, la televisión digital terrestre o los radioenlaces punto a punto. Para el correcto funcionamiento de estos sistemas resulta importante un diseño adecuado del radioenlace.

El diseño de radioenlaces involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o atenuaciones que las ondas sufren al momento de la propagación radioeléctrica, entre otras. En este proyecto de grado se recoge todo el material técnico que se necesita para el diseño práctico de radioenlaces, en este caso en particular se tendrán en cuenta las recomendaciones que hace la entidad reguladora de televisión de Colombia, la comisión nacional de televisión CNTV.

Colombia hace poco eligió el estándar de televisión digital que se implementara en los próximos años, partiendo de este ítem se estudia más precisamente el estándar DVB-T (Digital video broadcast - terrestre), el cálculo de la cobertura del canal de televisión digital se hará para los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca, en esta zona se puede tener una visión general del territorio colombiano y los restos que se presentan en las zonas montañosas de nuestro país el momento de calcular y llevar a cabo radioenlaces.

Los resultados se simulan en el programa de libre distribución Radio Mobile de simulación de radio propagación, predice el comportamiento de sistemas de radio, radioenlaces y representa la cobertura de una red de radiocomunicaciones, en el programa se utiliza topografía digital de alta resolución para así obtener un panorama muy cercano a la realidad y así obtener resultados confiables.

## INTRODUCCIÓN

Para nadie es indiferente el hecho de que el terreno colombiano tiene condiciones orográficas que dificultan el establecimiento de sistemas de comunicación de alta confiabilidad, por esto surge un problema, poder predecir el comportamiento de estos sistemas ya en funcionamiento, escoger y limitar coberturas aplicando modelos de predicción de la propagación que requieren de información topográfica y exigen cálculos manuales.

Para brindar una visión extensa y precisa de las condiciones geográficas de la zona en estudio, reducir tiempos de diseño en radioenlaces y evaluar parámetros para la ruta mas optima, todos los problemas se reducen a la propagación de ondas electromagnéticas y la influencia que tiene el medio sobre el comportamiento de las ondas en el espacio, para ello se utilizan cálculos que son imperativos pero no necesarios al optar por una topografía digital, se cuentan con programas como Radio Mobile que utilizan topografía digital y de esta manera se eliminan ciertas dificultades de planificación.

La aceptación de la creciente importancia de la televisión local en el proceso de evolución tecnológica y de apertura que vive nuestro país genera la necesidad de una televisión local en las diferentes regiones. Estos sistemas son plataformas abiertas para toda la sociedad sin discriminación sexual, política o religiosa, resultan indispensables para promover el diálogo social, la cultura de paz, y el desarrollo socioeconómico.

Una de las etapas que forma parte en la implementación de un canal de televisión es la de transmisión, el objetivo principal de dicha etapa es predecir la cobertura de terreno, es un asunto complejo que involucra factores como potencia, altura de antena, condiciones del terreno, ruidos atmosféricos etc. Este trabajo describe el diseño de la cobertura de un canal de televisión regional en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca.

## 1. PROBLEMA

A pesar de los avances tecnológicos en las telecomunicaciones, la posibilidad de crear redes más consistentes, con mayor capacidad de tráfico y excelentes niveles de calidad, con posibilidades de enviar voz, video, datos, etc. Hacer el montaje de estas redes, trabajar con radiofrecuencias en terrenos montañosos es más difícil por que surgen diferentes tipos de problemas, es más costoso construir líneas de transmisión físicas o es difícil trabajar por el terreno tan irregular.

Debido al territorio montañoso que ofrece Colombia, por las cordilleras que la atraviesan, las comunicaciones utilizando radio frecuencias no son tan sencillas ya que se pueden presentar zonas muertas, las señales pueden ser absorbidas o reflejadas evitando que las ondas de radio se propaguen, los terrenos montañosos por lo general tienen una muy baja conductividad, y si la zona tiene muchas arboledas se incrementa el grado de dificultad ya que se debería transmitir por encima de los árboles y esta variable es muy delicada debido a que el bosque está en constante crecimiento.

Los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque están localizados sobre un repliegue de la cordillera oriental, en la parte sureste del Departamento de Cundinamarca, ubicados a más de 1800 msnm tienen una temperatura promedio de 18°C y con una humedad del 80% la topografía de la zona es muy variable por estar encajada en una cordillera con cañones, vegas y planadas a grandes alturas, la altura sobre el nivel del mar determina que la zona pertenezca al clima frío. Es un territorio montañoso perfecto para enfrentar los problemas que las zonas montañosas presentan al momento de trabajar con radio enlaces.

Al implementar el servicio de televisión digital en esta zona sin tener en cuenta los accidentes geográficos de la región, no garantiza que la cobertura del canal de televisión digital sea la deseada para satisfacer las necesidades de la población ni mucho menos brindar un servicio de calidad.

¿Qué tanto afecta la geografía de la zona en el cálculo de la cobertura de un canal de televisión digital?, ¿Qué equipos serán los apropiados a utilizar en esta zona?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Trabajar con radioenlaces es muy apropiado en terrenos difíciles en este caso terrenos montañosos, ya que no requiere de derechos de tránsito por un territorio, necesitan de poco mantenimiento, son económicos y manejan un ancho de banda de transmisión relativamente alto, con este proyecto se busca probar el uso de tecnología en Colombia, y para esto se necesita manejar información del terreno para poder sacarle provecho al software de simulación de radioenlaces Radio Mobile, este software es material educativo, ya que se pueden simular diferentes posibles situaciones, ya sea la irregularidad del terreno, clima etc. Para la formación como profesionales es muy útil ya que aprenderá a utilizar una herramienta de diseño y simulación, esta experiencia ayuda a adquirir nuevo conocimiento muy útil para la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones.

En el aspecto monetario también es muy viable ya que no hay necesidad de hacer viajes hasta el lugar en el que se desea trabajar con radioenlaces, está la posibilidad de anticiparse a los diferentes inconvenientes que se puedan presentar en el desarrollo del proyecto, sin necesidad de manejar personal, o equipos directamente en la zona, evitando malgastar dinero trabajando en el territorio sin tener una visión previa de la situación.

En la sociedad estudiantil este proyecto puede tener un impacto positivo, para los estudiantes de telecomunicaciones sería una herramienta muy útil, se dejarían bases sólidas en este campo, los estudiantes futuros podrían profundizar en este campo y trabajar con este tipo de herramientas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Calcular y simular la cobertura de un canal de televisión digital en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información acerca de la tecnología de televisión digital.
- Realizar un estudio de la zona de trabajo en la cual se va a realizar la simulación de la cobertura del canal de televisión digital.
- Seleccionar los equipos apropiados a utilizar en la zona previamente seleccionada para garantizar la cobertura y calidad de servicio.
- Realizar los cálculos para determinar la potencia de transmisión y que ganancia de antena se debe utilizar.
- Realizar la simulación de la cobertura de un canal de televisión digital en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca, utilizando el software de libre distribución de simulación de radio enlaces Radio Mobile.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 ANTECEDENTES

El 7 de abril de 1928 el departamento de policía de Detroit comenzó una comunicación de radio de una sola vía con sus patrulleros, desarrollado por personal de la agencia de radio del departamento, el sistema era el producto de siete años de investigación bajo la dirección de Comisario de Policía, William P. Rutledge. Su trabajo demostró la pericia de las comunicaciones de radio para el trabajo de la policía y resultó en su adopción en todo el país.

Pero un policía de Detroit dedicado y un aficionado de equipos electrónicos crearon el primer enlace de radio entre los cuarteles generales de la policía y las patrullas, noticias críticas de los crímenes en marcha podían ser transmitidos de la estación a las patrullas cuando conducían.

Los equipos electrónicos eran una tecnología nueva, el patrullero Kenneth Cox y Robert L. Batts, un estudiante de ingeniería, construyeron un receptor de radio estable y un sistema de antenas, sus comunicaciones de radio fueron logradas tras 7 años de prueba y error, fue instalado en abril de 1928, este departamento de policía hizo historia por ser los primeros en manejar a sus patrulleros con las comunicaciones de radio, y no tardo en ser adoptado por otros departamentos de policía.

Los receptores no siempre recibían las señales, estos fallaban cuando los automóviles pasaban cerca a construcciones altas o bajo los puentes, la policía tampoco tenía asignada una banda para transmitir, así que el sistema funcionaba igual que cualquier emisora de radio. (IEEE, 2008)

En la universidad Distrital Francisco José de Caldas se realizó un proyecto de grado llamado **DISEÑO DE LA COBERTURA DE UN CANAL DE TELEVISIÓN GUBERNAMENTAL LOCAL DEL DEPARTAMENTO DEL META** ejecutada por la estudiante Victoria Paz Cubides Estupiñan, en este proyecto también se utilizó el software de simulación Radio Mobile, pero en él se trabajó televisión analógica y la zona de trabajo fue en terreno plano.

### 4.2 MARCO CONCEPTUAL

Cuando se habla de cobertura de un canal de televisión digital, se determina la zona en la que la señal emitida por las antenas llega con la potencia suficiente para que los usuarios reciban la señal de televisión con una buena calidad, para conseguir esto lo más conveniente es el uso de antenas, las antenas son

dispositivos que sirven para transmitir y recibir ondas de radio, convierte las ondas guiadas por cables o guías de onda, en ondas electromagnéticas que pueden transmitirse por el espacio libre.

También se debe entender que es una señal digital, estas son una representación de información que es mostrada con una serie de unos y ceros, estas señales son más fáciles de manipular en los ordenadores, debido a que manejan variables discretas, las señales análogas son aquellas generadas por un fenómeno electromagnético, se representan con una función matemática continua, sus variables continuas son la amplitud y el periodo.

Para poder trabajar con estos tipos de señales es necesario el uso de conversión análoga a digital o viceversa, estas conversiones consisten en la transcripción de una señal análoga a señal digital, ya sea para codificación, compresión, etc. Y cuando se necesite transmitir esta información por el medio aéreo se hace por a través de modulación, hay diferentes formas de modular, dependiendo el tipo de datos y el uso que se les vaya dar a estos, pero una modulación fundamentalmente es enviar un mensaje sobre una señal de mayor frecuencia generalmente sinusoidal (señal portadora), para luego ser recuperado en el receptor.

Radio Mobile es una herramienta de software que sirve para predecir el desempeño de sistemas de radio en exteriores. El cálculo de estos radioenlaces los consigue utilizando perfiles geográficos y la información de los equipos que el usuario vaya a usar.

Radio Mobile usa modelos digitales de elevación de terreno (mapas digitales) para calcular automáticamente el perfil del trayecto entre el transmisor y el receptor, Radio Mobile utiliza el modelo de Longley-Rice que es un modelo de propósito general basado en la teoría electromagnética y el análisis estadístico de las características del terreno, este modelo de predicción troposférica hace predicciones sobre terreno irregular de radio enlaces de largo y medio alcance. El software permite trabajar con frecuencias de entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000Kms.

Radio Mobile no sólo calcula presupuestos del enlace sino también produce una variedad de mapas virtuales, vistas 3D, vistas estereoscópicas y hasta animaciones. Además, proporciona toda la información necesaria para alinear las antenas tanto en el plano horizontal como vertical. (Garcia, 2006)

### **4.3 MARCO TEÓRICO**

La transmisión de televisión contiene mucha más información que la emisión de radio, contiene unas 250 veces más información que una señal de audio pura. El hecho es que una señal de video requiere una gran cantidad de información lo que siempre ha sido un problema.

A diferencia de una señal de audio, una señal de video contiene mucha información repetida, hasta dos tramas de transmisión contienen información similar, esta información repetida puede ser usada para disminuir la información que va ser transferida desde el emisor hacia el receptor. Sin embargo para extraer la información necesitamos de computadores para procesar la señal de televisión y realizar los cálculos necesarios, dado que los computadores trabajan con señales digitales, antes se debe convertir la señal en un flujo digital de bits. (Arnold, Frater, & Pickering, 2007)

Los computadores pueden reducir la cantidad de información, este proceso es complejo, pero hace posible transmitir de ocho a diez canales de televisión utilizando un transpondedor de satélite que antes solo tenía la capacidad para una sola señal análoga.

#### **4.3.1 Teorema de información Shannon**

El teorema de información de Shannon, dice que toda transferencia de información es limitada por dos factores; la cantidad de poder de la señal recibida y el ancho de banda del canal usado para la transmisión. Este es un fenómeno que siempre se va presentar en las transferencias de información y por lo tanto es imposible eludir, la cantidad de potencia recibida se decide por la potencia del transmisor y la eficiencia de la antena utilizada para la recepción, el ancho de banda es la cantidad de espacio de frecuencias ocupado por la señal transmitida. (Lundström, 2006 )

Las señales de radio actuales están siempre limitadas en un ancho de banda, así como una señal de energía, esto se aplica a las señales de radio distribuidas por satélites, transmisores terrestres y redes de televisión por cable. Si se quiere incrementar la cantidad de información en la señal, se debe incrementar el poder de transmisión, la cantidad de ancho de banda o los dos, otra alternativa es disminuir la calidad de la señal aunque no es recomendable. (Arnold, Frater, & Pickering, 2007)

### **4.3.2 Digitalizar una señal de video**

Antes de dejar que un computador trabaje con una señal de video esta se debe digitalizar, en una señal digital el audio y el video están representados por una serie de dígitos, estos dígitos son enviados al receptor que tiene la habilidad de recrear la señal original de audio y video a partir de esta información, una señal digital es una representación de la señal original. Hoy en día este trabajo lo hacen con convertidores análogos a digital o digital a análogos de una forma más rápida y conveniente. (Arnold, Frater, & Pickering, 2007)

### **4.3.3 Medición y compresión de señales digitales de video**

Cuando una señal análoga se convierte a una señal digital se deben tener en cuenta dos parámetros, el primero es el numero de niveles utilizados para representar la señal y conseguir una reconstrucción correcta de la señal, el segundo es cuan seguido la señal debe ser medida y los valores enviados al receptor.

Cada valor puede ser considerado como una muestra de la señal y por lo tanto se llaman “muestras”, en realidad se toman muestras de la señal análoga para crear la señal digital.

Por ejemplo 4 dígitos describen cada valor medido, estos cuatro dígitos pueden ser combinados de 16 formas ( $2^4$ ), en este caso se dice que la resolución del convertidor es de 4 bits, sin embargo 16 niveles no son suficientes para describir la calidad completa de una señal de video, la mayoría de convertidores utilizan siete u ocho bits de resolución, para tener una referencia, ocho bits corresponden a 256 niveles, y un software ordinario de imágenes de mapa de bits provee una excelente imagen a escala de grises si los pixeles se describen con 8 bits. El audio requiere de una mejor dinámica que no puede ser lograda por 8 bits y 256 niveles. (Lundström, 2006 )

### **4.3.4 Estándar de transmisión DVB-T**

Colombia adopto el estándar de televisión ETS 300 744, transmisión de video digital terrestre DVB-T (Digital Video Broadcast – Terrestrial por sus siglas en ingles), este estándar es muy similar al estadounidense aunque las diferencias son significativas e importantes, este estándar fue originalmente diseñado para canales de 8MHz (aplicable también a 6 y 7 MHz), este sistema fue designado para entregar información digital en los rangos desde 4.98 a 31.67 Mb/s. en donde se utiliza la modulación tipo multiportadora la cual puede ser modulada por QPSK o diferentes niveles de QAM.

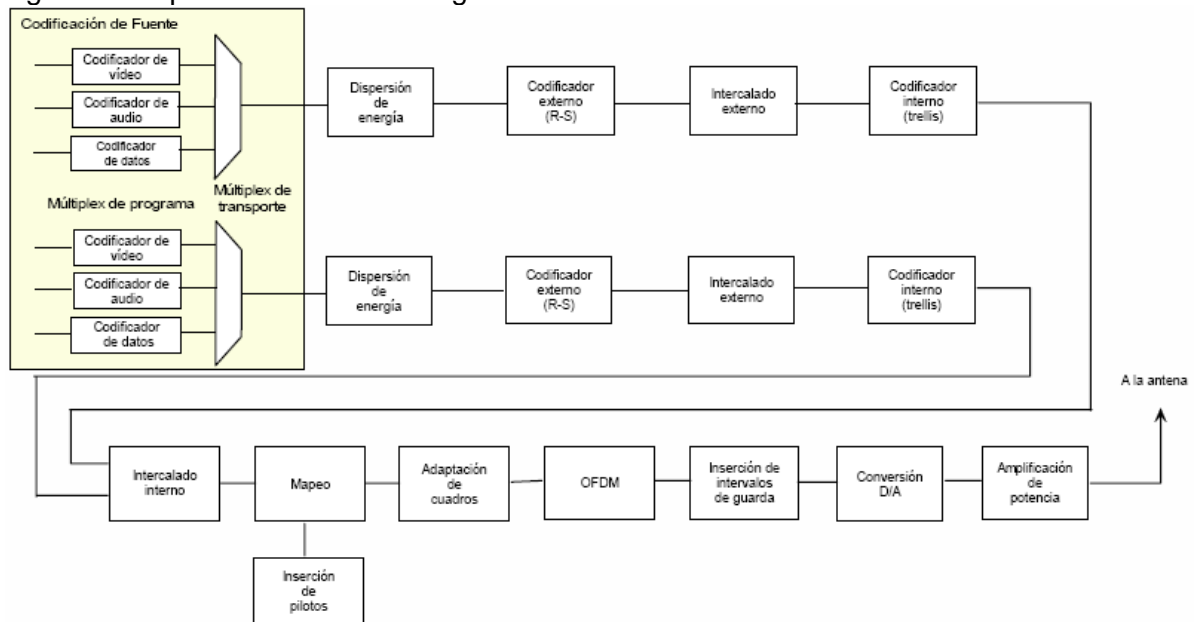
En la capa de transporte tiene muchas similitudes con la norma ATSC y codificación de canales, pero en la modulación si hay una diferencia significativa, en DVB-T se usa la codificación ortogonal de división de frecuencia multiplexada (COFDM por sus siglas en ingles), en Europa son muy utilizadas las redes de frecuencia única (SFN por sus siglas en ingles) para utilizar más efectivamente los canales disponibles. (Collins, 2001)

En estas estaciones SFN de radio difusión todo se programa sobre un mismo canal, cada uno se sincroniza a una misma señal de referencia y teniendo en común el mismo tiempo de banda base, un receptor puede recibir uno o más señales de diferentes estaciones al mismo tiempo, si las señales tienen diferente retraso.

En condiciones de múltiples condiciones, la intensidad de la señal de cada estación puede variar con el tiempo, en estos casos la codificación COFDM tiene guardias de intervalos y de igualdad incorporados para así hacer más segura la recepción. El guardia de intervalos puede ser seleccionado desde 1/32 a 1/4 de duración de un símbolo en tiempo activo.

La entrada digital de la señal al sistema de transmisión en DVB-T es una MPEG-2 síncrona que transporta una trama comprendida por 187 bytes de paquetes de datos MPEG más un byte extra de sincronismo. (Arnold, Frater, & Pickering, 2007)

Figura 1. Esquema de televisión digital



(Comision N. d., 2008)

En la figura anterior se muestra el esquema de transmisión del estándar de televisión DVB-T, en el cuadro de codificación de fuente los paquetes de transporte del multiplexor de entrada (Transport Stream) en formato MPEG-2, tienen una longitud de 188 bytes, siendo el primer byte el de sincronización, cuyo valor es siempre, 0x47 (01000111).

Para asegurar la dispersión de energía del espectro radiado, la señal de entrada debe hacerse una secuencia binaria pseudoaleatoria, de forma que se eviten largas series de ceros o de unos. Por esta razón, el múltiplex de entrada debe ser aleatorizado.

Para permitir la corrección de errores en la recepción, se introduce una cierta redundancia en la estructura de los paquetes de transporte, procedimiento que se conoce como codificación, la codificación llamada “externa” se emplea en todos los estándares DVB y se complementa con otra llamada “interna” en el caso de los estándares de transmisión vía satélite y terrestre.

La codificación externa usada es de tipo Reed-Solomon RS (204, 188, t=8), que es una versión acortada de la codificación original RS (255, 239, t=8), mediante la cual se añaden 16 bytes de paridad a los iniciales 188 de cada paquete de transporte, resultando un total de 204 bytes, en estas condiciones pueden corregirse hasta un total de 8 bytes erróneos, de ahí la denominación del código RS (204, 188, t=8), esta combinación favorece la corrección de errores de tipo ráfaga introducidos por el canal de transmisión.

Después de la codificación externa, los datos se someten a un nuevo proceso de codificación, denominados internos, la codificación interna es de tipo convolucional dando gran redundancia, obtenida mediante el codificador esto hace muy potente la corrección de errores cuando éstos son aleatorios, generalmente asociados a una baja relación señal/ruido del canal de transmisión utilizado, pero reduce a la mitad la capacidad del canal.

Para no limitar tanto la capacidad del canal, el sistema permite seleccionar para la transmisión sólo algunos de los datos obtenidos en las salidas, los cuales son posteriormente convertidos a secuencia en serie.

Después de realizar la codificación del canal los pasos restantes para la transmisión de la información es modularla mediante OFDM que se explicara mas adelante.

### **4.3.5 Características de video**

La compresión de video se realiza en MPEG-2 MP@ML (Main Profile at Main Level), utilizando un muestreo de 4:2:0, con 8 bits de resolución y utilizando los tres tipos de frames I, P, B compatible con los formatos: (Comision N. d., 2008)

- LDTV (Low Definition Television) 288P
- SDTV (Standard Definition Television) 576i
- EDTV (Enhanced Definition Television) 576P
- HDTV (High Definition Television) 720P
- HDTV (High Definition Television) 1080i

### **4.3.6 Características de audio**

La compresión de audio se da en MPEG Layer II (Musicam), en el cual se enmascara un elemento de sonido sobre otro cercano de bajo nivel, así se descartan los sonidos que no serian audibles ni estando presentes, puede manejar audio mono, estéreo o surround.

Maneja ratas de bits desde 32 a 384Mbps y se incorporo últimamente el sonido Dolby AC-3. (Comision N. d., 2008)

### **4.3.7 Modulación COFDM**

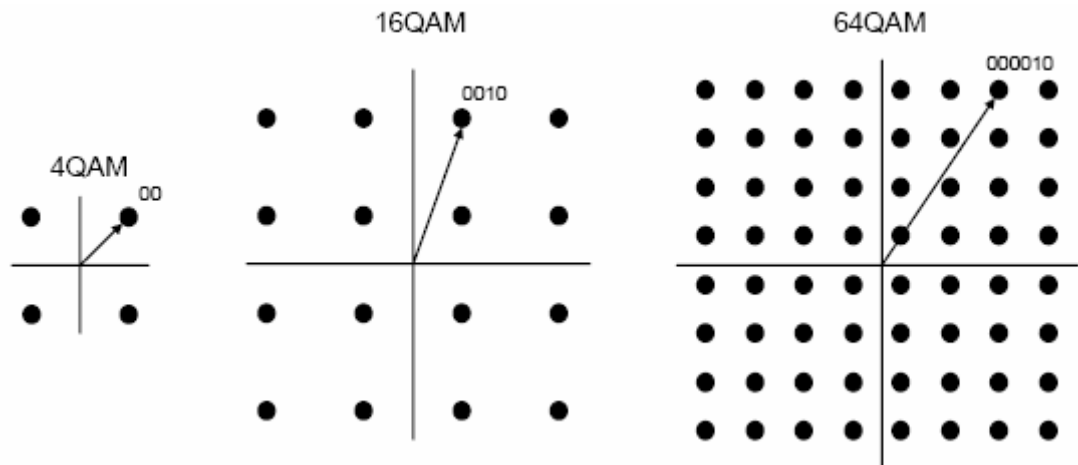
La modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es un sistema basado en portadoras que llevan información y todas son ortogonales entre sí, cuando una portadora pasa por un máximo otra pasa por un cero, y todo se crea usando la anti transformada rápida de Fourier (FFT-1), y es demodulada usando su inversa FFT. (Comision N. d., 2008)

La señal digital se modula en QPSK o en QAM teniendo muchas portadoras próximas (8K 0 2K), en la banda de frecuencia asignada (8MHz, 7MHz o 6MHz), este tipo de modulación es capaz de eliminar los efectos multi-trayecto de las reflexiones y favorece las aplicaciones móviles y portátiles. (Arnold, Frater, & Pickering, 2007)

En DVB-T se puede configurar el sistema con varios intervalos (1/32, 1/16, 1/8, 1/4) con varias modulaciones de portadoras (QPSK, 16QAM, 64QAM), con una corrección de errores convolucional (FEC) (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) y Reed-Solomon así como pilotos TPS que permiten al receptor reconocer el modo de funcionamiento. (Comision N. d., 2008)

Para conseguir la modulación OFDM los datos de entrada se “mapean” en símbolos OFDM, lo que significa que modulan a cada una las subportadoras individuales. Esta modulación puede ser de diferentes tipos, pero en el sistema DVB-T las constelaciones contempladas son 4QAM, 16QAM y 64QAM que se ilustran en la siguiente figura.

Figura 2. Constelaciones QAM



(Schertz & Weck, 2004)

Dependiendo de la constelación utilizada, cada subportadora transportará 2, 4 u 8 bits de información. Cada punto de la constelación se puede representar por un número complejo. Así, la primera etapa en el proceso de modulación OFDM es el de mapear los grupos de 2, 4 u 8 bits en las componentes real e imaginaria que corresponden al número complejo en la constelación.

Estos números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia y para trasladarlos al dominio del tiempo es necesario aplicar la transformada inversa de Fourier. Estos dos procesos, el mapeo del flujo binario de entrada en símbolos complejos de la constelación y su transformación inversa bajo Fourier, constituyen la primera parte del proceso de modulación OFDM. (Schertz & Weck, 2004)

El método OFDM emplea N portadoras, por lo que se requieren, por lo menos, N muestras complejas en tiempo discreto para representar al símbolo OFDM. Estas

muestras en el dominio del tiempo (0, 1, ....., N-1) son el resultado de una subportadora  $k$  modulada con un símbolo  $C_k$ , de la información, dentro de un símbolo OFDM y pueden expresarse como:

Ecuación 1. Símbolo OFDM

$$S_{K-ofdm}[n] = \frac{C_k}{N} e^{j\frac{2\pi kn}{N}}$$

(Schertz & Weck, 2004)

Donde:

$N$  = número de subportadoras y muestras en el dominio del tiempo utilizadas.

$n$  = índice de la muestra en el dominio del tiempo.

$k$  = índice de la subportadora.

$C_k$  = amplitud y fase de la información a transmitir.

Tanto  $C_k$  como  $k$  son constantes para una subportadora dada durante el período de un símbolo OFDM. El símbolo completo, en el dominio del tiempo, se construye a partir de las  $N$  subportadoras superponiendo sus ondas:

Ecuación 2. Símbolo completo OFDM

$$S_{n-ofdm}[n] = \sum_{k=0}^{N-1} S_{K-ofdm}[n]$$

(Schertz & Weck, 2004)

Los coeficientes  $C_k$  son complejos, que representan a la señal en el dominio de frecuencia. Para trasladar dicha señal al dominio del tiempo, es necesario aplicar, en el modulador, la transformada inversa rápida (IFFT). La señal original transmitida se reconstruye comparando cada subportadora con una de referencia, de amplitud y fase conocidas y de igual frecuencia:

Ecuación 3. Señal de referencia OFDM

$$S_{k-ref}[n] = 1 * e^{j\frac{2\pi kn}{N}}$$

(Schertz & Weck, 2004)

En el receptor de DVB-T se aplica la transformada rápida directa de Fourier (FFT) al símbolo OFDM en el dominio del tiempo. Como consecuencia de la ortogonalidad de las  $N$  subportadoras, el resultado de la comparación es cero en la FFT para cualquier subportadora distinta a la de referencia.

Ecuación 4. Comparación con señal de referencia

$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{S_{l-ofdm}[n]}{S_{k-ref}[n]} = C'_K, \text{ Si } l = k;$$

$$= 0, \text{ Si } l \neq K$$

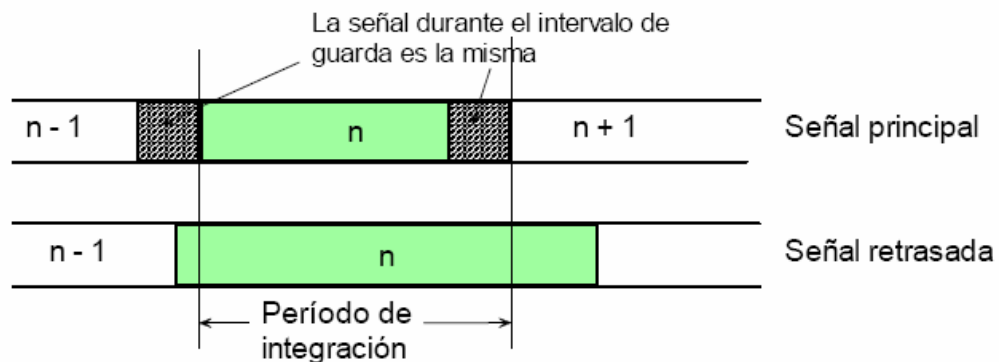
(Schertz & Weck, 2004)

En que  $C'_k$  representa la amplitud y fase de la señal de información recibida.

La modulación OFDM evita el empleo de filtros, a causa de la ortogonalidad de las señales y, en la práctica se trabaja con la señal recibida en forma muestreada, lógicamente por encima de la frecuencia de Nyquist. En estas condiciones, el proceso de integración se convierte en uno de suma y todo el proceso de demodulación es idéntico a una transformada directa de Fourier.

Las subportadoras están moduladas por señales representadas por números complejos, que cambian de un símbolo a otro, si el período de integración en el receptor se extiende a una duración de dos símbolos, la duración del símbolo se aumenta de modo que exceda el período de integración del receptor, de modo que también es la señal modulada completa, para evitar que la destrucción de la información se agrega un intervalo de guarda. (Schertz & Weck, 2004)

Figura 3. Intervalo de guarda OFDM



(Schertz & Weck, 2004)

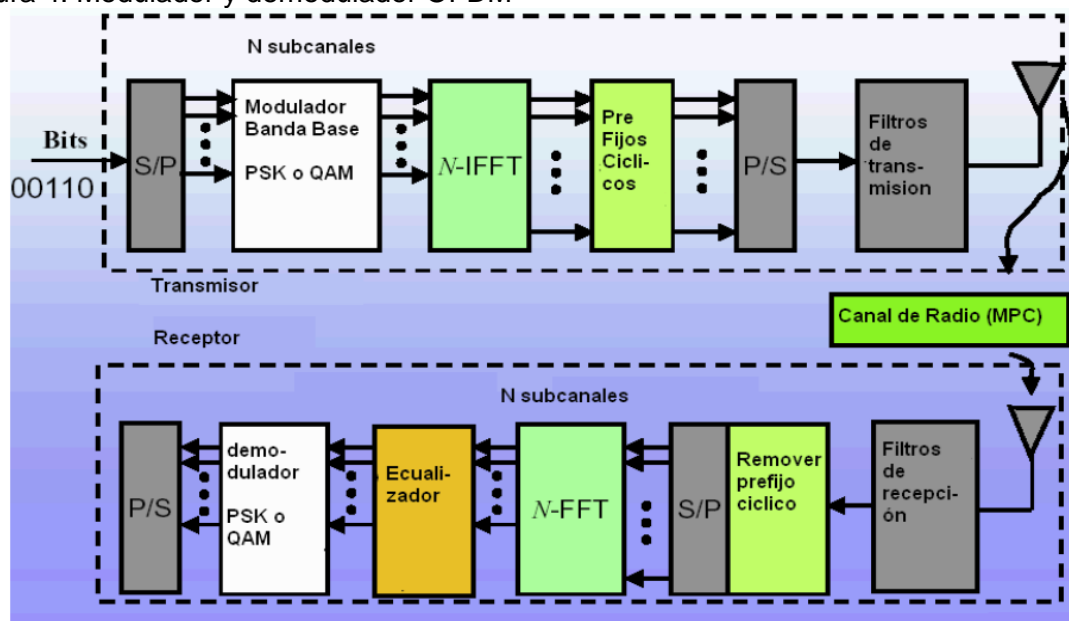
El segmento que se añade al inicio del símbolo para formar el intervalo de guarda, es idéntico al segmento de la misma longitud al final del símbolo. En tanto que el retardo sufrido por la señal a lo largo de cualquier trayecto, con respecto al trayecto más corto sea menor que el intervalo de guarda, todas las componentes de la señal durante el período de integración proceden del mismo símbolo y se satisface así la condición de ortogonalidad. La interferencia entre símbolos o entre portadoras ocurrirá solamente cuando el retardo relativo exceda la duración del intervalo de guarda. (Schertz & Weck, 2004)

#### 4.3.8 Modulador y demodulador OFDM

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo, este flujo se segmenta en símbolos, de acuerdo a la constelación a utilizar y se obtiene un mapa de los símbolos, representados ahora por números complejos, que corresponden a la representación de la señal en el dominio de frecuencia. Si se van a modular  $N$  subportadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada, en serie, en un flujo de coeficientes complejos en paralelo.

El siguiente paso es realizar la transformada inversa de Fourier sobre esos  $N$  coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y, como la señal de entrada al transmisor debe ser un flujo binario en serie, es necesario convertir nuevamente la señal, ahora transformada y en paralelo, a una señal en serie, y esta es la señal a transmitir. (Schertz & Weck, 2004)

Figura 4. Modulador y demodulador OFDM



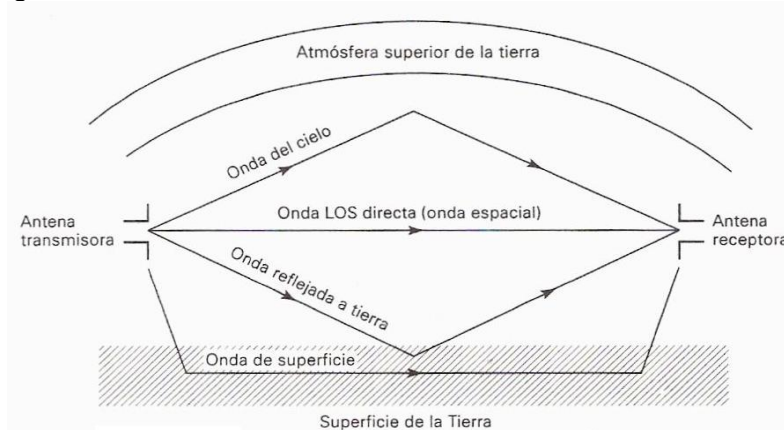
(Schertz & Weck, 2004)

Puesto que la señal de entrada procede del codificador de canal, el conjunto constituye un modulador COFDM (recuérdese que la “C” indica precisamente la codificación de canal), antes del conversor paralelo a serie, se inserta el intervalo de guarda, designado también como prefijo cíclico, en que se copian los datos del final del bloque y se pegan al principio, lo que hace que las señales retrasadas a causa de los efectos de la multitrayectoria caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor, en el demodulador se realiza el proceso inverso, se remueve el intervalo guarda, se aplica transformada rápida de Fourier, se ecualizan los símbolos, se demodulan de acuerdo a la constelación QAM utilizada.

#### 4.3.9 Propagación de las ondas

Las ondas son representaciones del flujo de energía en un sentido o dirección, atravesando diferentes tipos de obstáculos antes de llegar a su destino, llevando únicamente energía, a esto se le llama propagación y en los sistemas de radiocomunicación las ondas se pueden propagar de diferentes formas, esto depende del sistema que se utilice y el tipo de ambiente en el que se trabaje, existen 3 tipos de propagación:

Figura 5. Propagación de Ondas



(Tomassi, 1996)

#### 4.3.10 Ondas de tierra

Estas ondas viajan por la tierra, es por esto que también se les llama ondas superficiales, la tierra tiene un gradiente de densidad es decir a mayor distancia de la superficie este va reduciendo gradualmente, por lo tanto las ondas permanecen cerca a la superficie de la tierra, su principal uso es en comunicaciones de navegación. (Tomassi, 1996)

#### 4.3.11 Ondas espaciales

Este tipo de ondas contienen energía radiada, viajan a unas cuantas millas en la parte inferior de la atmósfera, incluyen ondas directas y reflejadas en tierra, estas viajan esencialmente en línea recta entre antenas, a esta forma de transmisión se le da el nombre de transmisión de línea de vista (LOS), la propagación se limita a la curvatura de la tierra.

#### 4.3.12 Ondas de cielo

Las ondas electromagnéticas que se dirigen por encima del nivel del horizonte se llaman ondas de cielo, la irradiación de las ondas de cielo se producen en una dirección que produce un ángulo relativamente grande, con referencia a la tierra, las ondas de cielo son reflejadas o refractadas nuevamente por la por la ionosfera y las ondas de cielo están divididas en capas que son (D, E Y F).

- **CAPA D:** Esta capa es la capa inferior de la ionosfera y se localiza entre 50 a 100 Kms arriba de la superficie de la tierra, la capa D refleja las ondas VLF y LF y absorbe las ondas MF y HF.
- **CAPA E:** Esta capa se localiza entre 100 a 140 Kms arriba de la superficie de la tierra la capa E ayuda la propagación de ondas de superficie MF y refleja las ondas HF un poco durante el día.
- **CAPA F:** La capa F está realmente formada de dos capas, capas F1 y F2, durante el día la capa F1 se localiza entre 140 a 250 Kms, arriba de la superficie de la tierra, y la capa F2 se localiza entre 140 a 300 Kms arriba de la superficie de la tierra, durante el invierno y de 250 a 300 Kms, en verano, durante la noche la capa F1 se combina con la capa F2 y forman una sola capa.

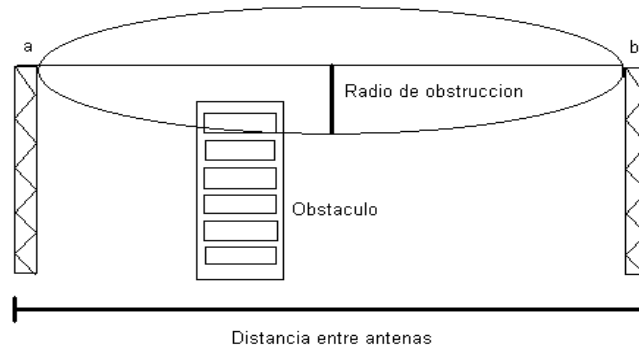
#### 4.3.13 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es un canal o un medio de comunicación que debe estar libre de obstáculos para que la energía viaje desde un transmisor hasta llegar a un receptor sin tener pérdidas para así no alterar el flujo o dirección de la señal de energía.

Este aspecto es muy importante cuando se habla de comunicación directa entre dos antenas, ya que esta zona debe estar despejada en más de un 60% y tener LOS (línea de vista) para que la comunicación sea óptima, esto se debe a la

expansión de las ondas electromagnéticas viajando por el aire, y el esparcimiento de estas ondas ocurre al hacer contacto con objetos u obstáculos. (Tomassi, 1996)

Figura 6. Zona de Fresnel



(Tomassi, 1996)

Ecuación 5. Longitud de onda

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

(Haykin & Moher, 2005)

- $c$  = velocidad de la luz en el vacío
- $f$  = frecuencia

Ecuación 6. Primera zona de Fresnel

$$h_1 = \sqrt{\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}}$$

(Haykin & Moher, 2005)

- $\lambda$  = longitud de onda
- $d_1$  = distancia de la antena Tx al obstáculo
- $d_2$  = distancia del obstáculo a la antena de Rx

Ecuación 7. Segunda zona de Fresnel

$$h_2 = \sqrt{2} * h_1$$

(Haykin & Moher, 2005)

#### 4.3.14 Espectro radioeléctrico

Las ondas electromagnéticas se clasifican según la frecuencia de oscilación, en orden ascendente de frecuencias se dividen en: ondas de radio, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioleta y rayos x, a medida que la frecuencia aumenta la longitud de onda disminuye, la longitud de onda se obtiene a partir del cociente entre la velocidad de propagación y la frecuencia, la longitud de onda es una constante, en el vacío su valor es de 300.000.000 m/s (la velocidad de la luz).

Tabla 1. Denominación habitual de las bandas de frecuencias por década

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA	DENOMINACION
ELF	<3 kHz	>100 Km.	Extremely Low Frequency
VLF	3-30 kHz	100-10 Km.	Very Low Frequency
LF	30-300 kHz	10-1 Km.	Low Frequency
MF	0.3-3 MHz	1.000-100 m	Medium Frequency
HF	3-30 MHz	100-10 m	High Frequency
VHF	30-300 MHz	10-1 m	Very High Frequency
UHF	0.3-3 GHz	100-10 cm	Ultra High Frequency
SHF	3-30 GHz	10-1 cm	Super High Frequency
EHF	30-300 GHz	10-.1 cm	Extremely High Frequency

(Tomassi, 1996)

En condiciones normales y en el ámbito de una atmósfera uniforme las ondas de radio pueden viajar en línea recta, para comunicaciones seguras a grandes distancias entre puntos situados sobre la superficie se utilizan las frecuencias HF, debido a que estas ondas son reflejadas en la alta atmósfera y regresan a la tierra a miles de kilómetros. Las frecuencias VHF, UHF y SHF no se reflejan en la atmósfera (solo en algunos casos especiales), y por lo tanto están limitadas al alcance visual de los puntos que se van a comunicar. Este tipo de ondas en el vacío viajan a la velocidad de la luz, aproximadamente a un 95% en otro medio y a través de la atmósfera terrestre la reducción de la velocidad es generalmente insignificante.

#### 4.3.15 Propagación en la banda UHF

Las frecuencias de esta banda son usadas comúnmente en comunicaciones vía satélite. Es necesario para estas comunicaciones tener línea de vista. En los sistemas satelitales la propagación es a través de la ionosfera y la polarización de la señal puede cambiar de acuerdo al efecto combinado del campo magnético de la tierra y la concentración de iones libres.

Cabe mencionar que, las frecuencias que abarca esta banda así como las de VHF son demasiado altas para la propagación ionosférica, por lo que la propagación tiene lugar vía directa o por componentes de las ondas reflejadas de tierra de las ondas de espacio. En estas bandas las antenas son relativamente pequeñas en tamaño físico, de unos cuantos centímetros. Por lo tanto, el principal uso de estas frecuencias son para televisión, teléfonos celulares, radares, enlaces de microondas, comunicaciones satelitales y en la actualidad con gran auge los sistemas de comunicaciones personales. (Blaunstein & Christos, 2007)

Es importante resaltar la importancia del estudio de la propagación de la radio frecuencia en este rango de frecuencias debido a sus aplicaciones, como lo son las comunicaciones personales y la telefonía celular que actualmente está creciendo aceleradamente.

Si se considera que la mayoría de los sistemas de radio celular opera en áreas urbanas donde no hay línea de vista directa entre el transmisor y receptor, es entonces cuando la presencia de construcciones de altura considerable provoca grandes pérdidas por difracción, que es causada por las múltiples reflexiones de la señal en los diversos objetos u obstáculos a lo largo de su recorrido.

#### **4.3.16 Área de cobertura**

El método de predicción del área de cobertura, estudia las condiciones de recepción en una zona determinada; Los métodos de predicción prestan atención a las características topográficas del terreno que rodea el lugar de instalación de la antena transmisora. Existen formas de predicción que se pueden obtener mediante el empleo de curvas empíricas publicadas mundialmente; estos métodos también consideran características particulares que le permiten obtener resultados con un mayor o menor grado de exactitud. El método más utilizado es el UIT-R 370-6, el cual permite definir de una manera clara y sencilla la zona de cobertura de estaciones de televisión. (Comision N. d., 2009)

Este método recomienda que se adopten las curvas y procedimientos indicados para la predicción de la intensidad de campo en la gama de frecuencias de 30 a 1GHz y a distancias de hasta 1000Km en las siguientes condiciones:

- Las curvas se han ajustado a los valores de la intensidad de campo para que correspondan a una potencia de 1KW radiada por un dipolo de media onda.
- La altura de la antena transmisora se define por la altura de esta antena sobre el nivel medio del terreno entre las distancias de 3Km y de 15Km a partir del transmisor, en dirección del receptor.

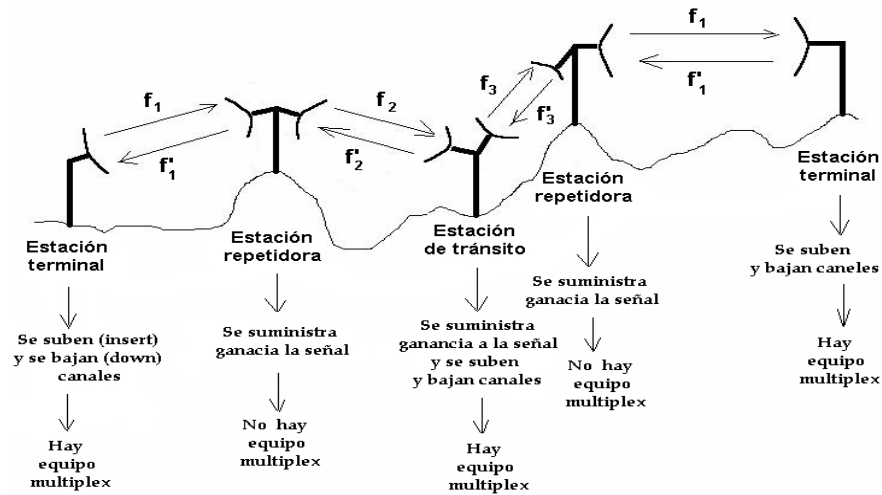
- La altura de la antena receptora se define por la altitud sobre el terreno local.
- El grado de irregularidad es un parámetro estadístico que caracteriza las variaciones de altura del terreno a lo largo de parte o todo el camino de propagación, para los servicios de radiodifusión, se aplica las distancias comprendidas entre 10 y 50Km desde el transmisor.
- La intensidad de campo depende de la altura de la antena receptora, así como de la naturaleza de su entorno inmediato.
- Se debe tener en cuenta la atenuación debida a zonas forestales y a la vegetación según la recomendación UIT-R P833.
- Se puede obtener una mayor exactitud de las intensidades de campo previstas teniendo en cuenta el terreno. En las regiones onduladas y montañosas también hay que tener en cuenta el efecto de dispersión debida al terreno.

#### **4.3.17 Radioenlaces de línea de vista**

En los radioenlaces de visibilidad directa se caracterizan por debe existir una línea de vista entre la antena emisora y la antena receptora para que el sistema opere satisfactoriamente, cuando las distancias entre estos puntos es muy extensa o existen demasiados obstáculos es imposible garantizar la comunicación con un único enlace, en este caso se utiliza una red de estaciones repetidoras que van a ir comunicando los puntos de la red manteniendo la línea de vista entre dos puntos de la red en cualquier parte de esta misma. Existen tres tipos de estaciones: (Gomez, 2009)

- Estaciones terminales: ubicadas en zonas urbanas con alta demanda de tráfico entrante y saliente.
- Estaciones de tránsito: ubicadas en ciudades intermedias, con un tráfico entrante y saliente relativamente significativo.
- Estaciones de repetición: pueden estar ubicadas en zonas urbanas, suburbanas o rurales, preferiblemente en lugares con alturas significativas.

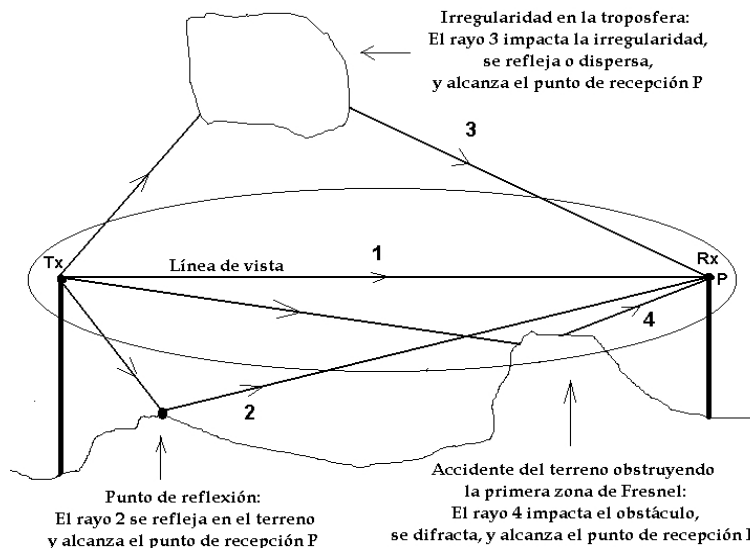
Figura 7. Radioenlaces de línea de vista



(Gomez, 2009)

Al ver la figura anterior se podría deducir que el campo de recepción resulte del rayo directo de la antena transmisora y de recepción de la antena receptora determinado por la línea de vista entre las antenas, pero esto no es posible debido a que la superficie de la tierra se comporta como una superficie reflectora, y por otra parte el medio que rodea a las antenas no es un espacio libre, la troposfera de la tierra, este medio varía de acuerdo a la altura, con las coordenadas y con el tiempo, lo que significa que en la troposfera se pueden presentar irregularidad sobre los rayos radiados desde la antena transmisora con cierto grado de elevación pueden incidir reflejándose o dispersándose pudiendo así alcanzar el punto de recepción.

Figura 8. Estructura de campo con interferencia en el punto de recepción



(Gomez, 2009)

En la figura 8 se nota que resultara una interferencia entre el rayo 1 y los rayos que se reflejan en la superficie y/o obstáculos (rayo 2), rayos que se dispersan o reflejan en la troposfera (rayo 3), y en trayectorias de propagación más largas, además el campo difractado de la onda (rayo 4). La estructura de campo de radioenlaces de la línea de vista en el punto de recepción es consecuencia de un fenómeno de multitrayecto o multitrayectoria, rayos radiados desde la antena transmisora en diferentes direcciones producto de reflexiones, dispersiones y difracciones.

#### 4.3.18 Propagación en espacio libre

Las transmisiones inalámbricas se caracterizan por la generación en el transmisor de señales eléctricas que representan la información deseada, la propagación de esas señales por el espacio libre y el receptor que recupera la información enviada recuperando la señal eléctrica enviada, el sistema de transmisión se caracteriza por antenas que convierten señales eléctricas en ondas de radio y viceversa, los efectos que sufren estas ondas en el espacio libre se representan con las ecuaciones de Maxwell, aunque la propagación se puede modelar partiendo de las bases de los campos eléctricos. (Haykin & Moher, 2005)

Cuando una señal es enviada al espacio libre, esta sufre una atenuación en el medio hasta alcanzar el receptor, las pérdidas que sufre son función de la frecuencia y la distancia, relacionadas con la velocidad de la luz en el vacío, para condiciones ideales se considera que la señal viaja de modo rectilíneo y con condiciones ideales en el medio.

Ecuación 8. Pérdidas de trayectoria

$$Lp = \left( \frac{4\pi * d}{\lambda} \right)^2$$

(Haykin & Moher, 2005)

- d = distancia
- $\lambda$  = longitud de onda

En condiciones reales, la propagación se produce en un espacio no ideal y mediante una trayectoria no libre de interferencias, aparte de las perdidas por trayectoria la señal también se produce un efecto llamado desvanecimiento, que depende de las condiciones puntuales, por lo tanto se mide como una atenuación adicional, a esto se le llama margen de desvanecimiento, en el que se incluyen efectos del tipo de suelo, el clima y el entorno que rodea la trayectoria.

Ecuación 9. Pérdidas por desvanecimiento

$$L_D(dB) = 30\text{Log}D + 10\text{Log}ABf - 70 - 10\text{Log}(1 - R)$$

(Haykin & Moher, 2005)

Donde:

Tabla 2. Factores que influyen en las pérdidas por desvanecimiento

TERMINO	DEFINE	FACTORES
30LogD	Diversidad modal	D = Distancia visual entre antenas en Km
10LogABf	Entorno de propagación	A = Factor de rugosidad
		B = factor climático
		f = frecuencia en GHz
10Log(1-R)	Objetivo de confiabilidad	R = Confiabilidad

(Morocho, 2009)

- Factor de rugosidad (A)
  - 4= Espejos de agua, ríos muy anchos, etc.
  - 3= Sembrados densos, pastizales o arenales
  - 2= Bosques
  - 1= Terreno normal
  - 0.25= Terrenos rocosos, disperejos
- Factor climático (B)
  - 1= Áreas marinas
  - 0.5= Áreas tropicales
  - 0,25= Áreas mediterráneas
  - 0.125= Áreas montañosas

En el destino el receptor tiene un margen de sensibilidad, establecida como la mínima potencia que puede llegarle al receptor para que la antena pueda recuperar la información enviada, al conjunto de ganancias y pérdidas de las antenas de transmisión y recepción se le llama ganancia del sistema y se calcula como la máxima potencia del sistema.

Ecuación 10. Ganancias del sistema

$$G_s(dB) = L_{cc} + L_p + L_D - G_{Tx} - G_{Rx}$$

(Morocho, 2009)

- $L_{cc}$ = Pérdidas por cable y conectores
- $L_p$ = Pérdidas de espacio libre
- $L_D$ = Pérdidas por desvanecimiento
- $G_{Tx}$ = Ganancia de transmisor
- $G_{Rx}$ = Ganancia de receptor

Estableciendo la condición de sensibilidad

Ecuación 11. Potencia de recepción

$$Pr(dB) = P_{Tx} - G_s > Sen_{Rx}$$

(Morocho, 2009)

- $P_r$ = Potencia en el receptor
- $Sen_{Rx}$ = Sensibilidad de receptor

#### **4.4 ESTADO DEL ARTE**

La señal de televisión en Colombia es irradiada a través de cerros, los cuales tienen características especiales como es la altura, debido a esto se puede realizar la radiación o cobertura alrededor de su punto o sitio de ubicación.

En los cerros están los equipos de transmisión, estos equipos se encargan de dar la potencia, filtrar la señal y retransmitirla, la señal viaja de un cerro hasta otro cerro mediante enlaces punto a punto.

El ambiente en dichos sitios es controlado ya que se controla mediante el uso de aire acondicionado y equipos que evitan la humedad en los equipos, de este modo se evita el deterioro de los mismos.

Este sistema de transmisión va con torres auto soportadas de una altura determinada por lo general oscilan entre los 50 y 150 mts en donde va todo el sistema de transmisión.

La otra parte de los equipos están ubicados en la caseta o estructura en donde se alojan los equipos tx del sistema de televisión, en este lugar el ambiente también se controla con aire acondicionado.

La alimentación del sistema se realiza mediante una pequeña subestación eléctrica, y como respaldo tiene plantas eléctricas que funcionan mediante motores alimentados por combustible diesel.

La señal de los canales nacionales en los municipios y en las ciudades es difundida en frecuencias bajas para que todos los receptores o televisores la puedan captar ya que la gran mayoría de personas tienen receptores antiguos los cuales trabajan en el rango de frecuencias en canales que van desde el canal 2 hasta el 15.

En este caso para los municipios de Choachí y Ubaque, el servicio de televisión es entregado por la subestación llamada Choachí, ubicada en la región, y el municipio de Fómeque recibe el servicio de televisión de la subestación Boquerón de Chipaque. (Granados, 2009)

## **4.5 LIMITACIONES Y ALCANCES**

### **4.5.1 Limitaciones**

El canal de televisión digital regional en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca está compuesto por tres etapas que son: estudio de televisión, enlace de microondas, sistema irradiante. En este proyecto se llevara a cabo el diseño del sistema irradiante, el proyecto es de un costo elevado y debido a que la televisión digital es nueva en el país y hasta ahora está siendo introducida y las subestaciones de televisión de la zona no cuentan con los equipos para la transmisión de televisión digital, no se pueden alquilar los equipos por su alto

precio, además habría que cubrir los honorarios de un profesional que los maneje; sin embargo las simulaciones se acercan bastante a la realidad puesto que se realizan con un software que utiliza datos reales del terreno y para el proyecto de grado son suficientes estos datos.

#### **4.5.2 Alcances**

El requerimiento específico de este proyecto es el diseño de la cobertura de un canal de televisión digital regional en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómez Cundinamarca; definiendo la localización y características del sistema de radiación que mejor cubrimiento proporcione a los municipios teniendo en cuenta la reglamentación fijada por la Comisión Nacional de Televisión.

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

Tomando como referencia el plan de utilización de frecuencias de televisión de canales locales, disponibilidad de frecuencias y el plan de utilización de frecuencias de televisión de canales regionales de la comisión nacional de televisión, se recolectó e interpretó la información acerca de la tecnología DVB-T estándar de televisión digital, para conocer la tecnología, los requisitos del estándar adoptado por Colombia para así cumplir con los parámetros de calidad exigidos por la comisión nacional de televisión, la recolección, interpretación y clasificación de información tomo un tiempo de siete semanas aunque la información se actualizo a lo largo del desarrollo del proyecto de grado.

Al reunir datos de la zona que se selecciono para llevar a cabo la simulación, se consigue una visión más clara de lo que se debe hacer en la zona y empezar con la selección de mejores formas para enfrentar el terreno y el área total del mismo, basándose en información ofrecida por las alcaldías locales, y mapas digitales conseguidos en internet, en esto se invirtió una semana, después se busca información sobre radioenlaces, que variables se tienen en cuenta, como se realizan radioenlaces en los terrenos montañosos, que cálculos se deben realizar, siguiendo las normas UIT y datos estadísticos útiles para los cálculos.

El siguiente paso fue empezar a familiarizarse con el programa Radio Mobile, buscando manuales en la red, debido a que de este programa la información es poca ya que es un programa prácticamente nuevo, durante dos semanas se leyeron manuales y se trabajo con ejemplos en el programa para comprender el uso básico del programa, se buscaron los tipos de antenas que existen, que clase de antenas son utilizadas para radiodifusión, durante una semana se busco, se selecciono la antena que mejor cubra las necesidades del proyecto, después de esto se busco el cable, transmisor etc. para montar el sistema de radiodifusión.

Conociendo las características de los equipos se realizan los cálculos del radioenlace, y se empiezan las pruebas para llegar al objetivo del proyecto de grado, interpretando los datos de cartografía de la zona, representando en un mapa digital la cobertura de la señal de televisión en la zona, las pruebas se realizaron más o menos en 6 semanas, con los resultados obtenidos se escoge la mejor zona desde la cual se brinde una mejor señal de servicio.

## 6. DESARROLLO

### 6.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MUNICIPIOS

Figura 9. Choachí



(Gobierno, 2008)

#### Datos generales

- Altitud: 1300 a 2300 msnm
- Área municipal: 223Km<sup>2</sup>
- Temperatura: 18°C
- Ubicación geográfica:
- 04° 31' 52" de latitud norte
- 73° 55' 33" de longitud oeste
- Distancia de referencia: 36Kms de Bogotá DC

Figura 10. Ubaque



(Gobiernob, 2008 )

### **Datos generales**

- Altitud: 1867 msnm
- Área municipal: 104.96Km2
- Temperatura: 18°C
- Ubicación geográfica:
- 04°19'13.06" de latitud norte
- 73°56'00.01"de longitud oeste
- Distancia de referencia: 56Kms de Bogotá DC

Figura 11. Fόμεque



(Gobiernoc, 2008)

### Datos generales

- Altitud: 1895 msnm
- Área municipal: 555.65 Km<sup>2</sup>
- Temperatura: 18°C
- Ubicación geográfica:
- 04°29'04.48" de latitud norte
- 73°53'41.49" de longitud oeste
- Distancia de referencia: 56Kms de Bogotá DC

### 6.1.1 Frecuencias disponibles en la zona

Tabla 3. Disponibilidad de frecuencias en la zona

CUNDINAMARCA		
POBLACION	MUNICIPIO	DIPONIBILIDAD DE FRECUENCIAS
17.384	FÓMEQUE	51, 55, 57, 63, 69
11.908	CHOACHÍ	51, 55, 57, 63
7.690	UBAQUE	51, 55, 57, 63

(Comision N. d., 2009)

La comisión nacional de televisión ha impuesto una serie de condiciones técnicas para los sistemas de transmisión, como también las entidades ambientales, urbanísticas, sanitarias y restricciones de seguridad aérea.

Un canal de televisión corresponde a un ancho de banda de 6 MHz asignado por la comisión reguladora de telecomunicaciones correspondiente a cada país, en este caso la Comisión Nacional de Televisión.

Estos 6 MHz contienen la portadora de video, la portadora de color y la portadora de audio así:

La portadora de video se encuentra a 1.25 MHz de la frecuencia baja del canal, la portadora de color esta a 3.58 MHz de la portadora de video y la portadora de audio se encuentra a 4.5 MHz sobre la de video. La frecuencia de canal se especifica comúnmente de 2 formas, especificando la frecuencia baja, o especificando la frecuencia de la portadora de video, las frecuencias de los canales de televisión están asignadas por la Comisión Nacional de Televisión.

Tabla 4. Plan de distribución de canales servicio de radiodifusión televisión en MHz

CANALES	BANDAS DE FRECUENCIAS	PORTADORA DE VIDEO	PORTADORA DE AUDIO
49	680-686	681,25	685,75
50	686-692	687,25	691,75
51	692-698	963,25	697,75
52	698-704	699,25	703,75
53	704-710	705,25	709,75
54	710-716	711,25	715,75
55	716-722	717,25	721,75
56	722-728	723,25	727,75
57	728-734	729,25	733,75
58	734-740	735,25	739,75
59	740-746	741,25	745,75
60	746-752	747,25	751,75
61	752-758	753,25	757,75
62	758-764	759,25	763,75
63	764-770	765,25	769,75
64	770-776	771,25	775,75
65	776-782	777,25	781,75
66	782-788	783,25	787,75
67	788-794	789,25	793,75
68	794-800	795,25	799,75
69	800-806	801,25	805,75

(Comision N. d., 2009)

## 6.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA IRRADIANTE SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL DE TELEVISIÓN

De acuerdo a la PIRE (Potencia isotrópica efectiva radiada) requerida en una estación de televisión determinada, para obtener niveles de servicio adecuados en los cascos urbanos, se realizó la siguiente clasificación:

Tabla 5. Clasificación de acuerdo a la potencia de transmisión

TIPO DE TRANSMISOR	RANGO DE POTENCIA
Transmisores de muy baja potencia	< 50 Watios
Transmisores de baja potencia	> 50 W < 1KW
Transmisores de media potencia	> 1 KW, < 5 KW
Transmisores de alta potencia	> 5 KW

(Comision N. d., 2009)

Tabla 6. Características de estaciones de difusión de televisión de alta potencia

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (KW)	ALTURA MINIMA DE LA ESTACION (METROS)	DISTANCIA MINIMA DE LA ESTACION MAYOR A 30.000 HABITANTES(KM)	ALTURA MINIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MINIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MAXIMO (dBuV/m)
I y II	50 – 1000	2000	20	60	48	80
III	100 – 2000	2000	20	60	55	83
IV y V	300 – 3000	2000	20	60	65 y 70	86 y 91

(Comision N. d., 2009)

Tabla 7. Características de estaciones de difusión de televisión de media potencia

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (KW)	ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MÁXIMO SOBRE LOS CASCOS URBANOS (dBuV/m)
I y II	2 – 50	60	48	80
III	6 – 100	60	55	83
IV y V	20 – 300	60	65 y 70	86 y 91

(Comision N. d., 2009)

Tabla 8. Características de estaciones de difusión de televisión de baja potencia

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (KW)	ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MÁXIMO SOBRE LOS CASCOS URBANOS (dBuV/m)
I y II	0.07 – 2	24	48	80
III	0.1 – 6	24	55	83
IV y V	0.14 - 20	24	65 y 70	86 y 91

(Comision N. d., 2009)

Tabla 9. Características de estaciones de difusión de televisión de muy baja potencia

BANDA DE TRANSMISIÓN	RANGO DE PIRE (KW)	ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS (METROS)	NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO (dBuV/m)	NIVEL DE SERVICIO MÁXIMO SOBRE LOS CASCOS URBANOS (dBuV/m)
I y II	<0.07	18	48	80
III	<0.1	18	55	83
IV y V	<0.14	18	65 y 70	86 y 91

(Comision N. d., 2009)

### 6.2.1 Características del sistema transmisor según la CNTV

Los sistemas de transmisión no deben suprimir las señales especiales en el intervalo de supresión de una señal de televisión, además los planes de utilización de frecuencias no contemplan las estaciones reemisoras, por lo cual las señales de entrada de los equipos de difusión deberán ser las de audio y video.

Tabla 10. Características del sistema transmisor

Sistema	NTSC, norma M
Impedancia de salida	50 ohmios
Nivel de vídeo de entrada	1 V pp.
Impedancia de vídeo de entrada	75 ohmios desbalanceados
Conector de entrada de vídeo	BNC
Nivel de sonido de entrada	entre 0dBm a + 6dBm
Ganancia diferencial	<10%
Fase diferencial	< 3°
Subportadora de color	3.58 MHz
Relación señal/ruido	> 60 dB
Relación señal/ruido para equipos de baja y muy baja potencia	> 55 dB

Atenuación 2ª armónica con respecto a portadora de vídeo	> 55 dB
Respuesta de frecuencias	CCIR, norma M
Estabilidad de frecuencia	± 0.2 Hz para Isofrecuencia ± 1Hz para Offset de precisión
Sincronismo interno	10 <sup>-8</sup> seg/año
Productos de intermodulación	< -55 dB
Rango de temperatura	Indicar
Altura	De acuerdo a la ubicación de la Estación
Filtros supresores tipo "SAW"	Incluir
Filtros supresores tipo "NOTCH"	Incluir
Corrector de retardo de grupo	incluir para transmisores de mediana y alta potencia
Corrector de linealidad	Incluir
Atenuación a espúreas con respecto a portadora de vídeo	≥ 60 dB
Voltaje de operación	Indicar
Frecuencia de red	60 Hz
Regulador con transformador de aislamiento	Indicar
Consumo de potencia y tipo de ventilación	Indicar
Potencia Señal de Audio	Típicamente el 10% respecto al video
Tipo de amplificación	Indicar

(Comision N. d., 2009)

### 6.3 ESTACIÓN DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN

Es una estación de servicio de radiodifusión televisiva, constituida por un transmisor y sus instalaciones accesorias requeridas en la emisión de señales de audio y video para su recepción directa por el público en general.

Una estación de televisión debe estar ubicada en un lugar alto, lo ideal es una cima o una colina. Lo que se busca es que haya una línea de vista entre la antena transmisora y la receptora, por eso cualquier obstrucción grande tiende a bloquear la señal. La antena debe estar como mínimo a 12 metros desde la base de la torre que la sustente.

Es conveniente tener el transmisor a una buena distancia de los estudios de edición ya que las emisiones de radiofrecuencia del transmisor pueden causar ruidos o zumbidos en la señal de audio. El transmisor debe estar lo más cerca posible de la antena para minimizar las perdidas en el cable coaxial que la alimenta. La estación de televisión debe tener todos los servicios públicos, así como vías de acceso. (Comision n. d., 2003)

### 6.3.1 Un sistema radiante

El sistema radiante es el encargado de transmitir la señal modulada del amplificador de radiofrecuencia por medio de ondas electromagnéticas hacia el usuario en una forma eficaz. (Comision N. d., 2009)

- **Torre:** La torre es una estructura metálica robusta y liviana que se eleva a una altura mínima de 18 metros. La torre alberga el sistema de para rayos, las antenas y la iluminación para la protección de la aeronavegación. De acuerdo a normas internacionales, las torres deben ir pintadas de dos colores: naranja y blanco cada tres metros según sea el caso.
- **Protección para la navegación aérea:** Las torres deben tener señalización luminosa para proteger a la navegación aérea y se debe acreditar el concepto favorable de la unidad administrativa especial de la aeronáutica civil relacionada a la ubicación, la altura máxima, luces de obstrucción y la señalización de la respectiva torre. Existen unas balizas especiales para este propósito, las que a determinada hora deben encenderse de forma intermitente y periódica para su visibilidad nocturna. Existen varias clases de balizas para tal propósito.
- Es indispensable que la iluminación de la estructura de soporte de la antena permanezca en operación, entre el periodo del crepúsculo del sol y el alba, pudiendo ser actuada manualmente o por medio de dispositivos automáticos.
- **Línea de transmisión:** La línea de transmisión es el cable coaxial de bajas perdidas que transporta la señal desde el amplificador de RF hasta las antenas. La longitud de este cable debe ser justo la distancia entre el amplificador y las antenas para minimizar las perdidas. Este cable se acopla al amplificador y a las antenas mediante conectores especiales y que dependen del diámetro del cable coaxial.
- Por el lado de las antenas se acopla mediante dispositivos divisores de potencia o multiplexores según sea el caso. Las líneas de transmisión coaxial se caracterizan por su impedancia, que para transmisión de televisión es de 50 ohmios, sus pérdidas que se dan en dB/m, su diámetro y su velocidad de propagación.
- Las líneas de transmisión frecuentemente se consideran con pérdidas muy bajas; sin embargo, hay varias formas en que la potencia de transmisión se pierde, entre estas están: la pérdida a través del conductor, perdida por

radiación, pérdida por calentamiento del dieléctrico y pérdida por acoplamiento.

- Para llevar a cabo el cableado que une el transmisor con la antena es necesario utilizar los siguientes dispositivos: Conectores tipo N, cable coaxial, divisor de potencia.
- **Antenas:** Las antenas en un sistema radiante son las encargadas de convertir las variaciones de voltaje del transmisor en ondas electromagnéticas que son las que llegan a las antenas receptoras en forma de campo eléctrico y magnético. Las antenas de transmisión para televisión deben tener un ancho de banda mínimo de 6 MHz que garantice la transmisión de las portadoras de audio y video. También deben garantizar la cobertura de la zona escogida para el servicio. Las antenas más utilizadas en estaciones de televisión de baja potencia son las antenas de panel ya que estas garantizan una buena ganancia y una distribución del patrón de radiación que permiten hasta los 360 grados de cobertura.
- **Carga fantasma:** Esta es denominada también carga artificial. Su función es específicamente para hacer calibraciones al transmisor ya que no radia campo electromagnético y es exclusivamente resistiva. La carga fantasma debe tener la misma impedancia y la misma relación de onda estacionaria que las antenas que alimenta el transmisor. La carga artificial que se utiliza para pruebas de comportamiento del equipo, y para ajustes, debe contar con una instalación de tipo permanente y el intercambio de líneas a carga artificial debe realizarse mediante interruptores o relevadores que no causen pérdidas o desajustes en el equipo.

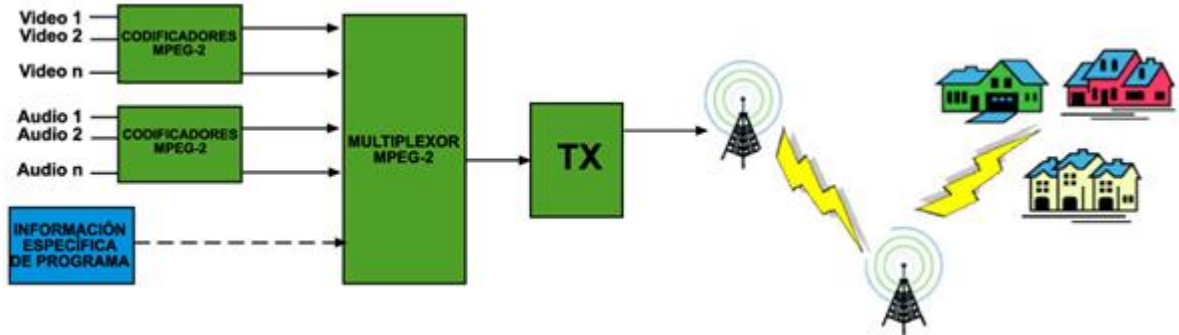
### 6.3.2 Transmisor

La tecnología de televisión analógica actual sólo permite la transmisión de un único programa de televisión por cada canal UHF (ya sea de 6MHz, 7Mhz u 8MHz de ancho de banda). Además los canales adyacentes al que tiene lugar una emisión han de estar libres para evitar las interferencias.

La codificación digital de los programas permite que en el ancho de banda disponible en un solo canal UHF se puedan transmitir varios programas con calidad digital similar a la de un DVD. El número de programas simultáneos depende de la calidad de imagen y sonido deseados, la gran flexibilidad de la codificación MPEG-2 permite cambiar estos parámetros en cualquier momento, de manera transparente a los usuarios. La relación de flujo de cada canal multiplexado se puede regular a voluntad, lo que es equivalente a regular la calidad de los mismos. Se puede asignar un flujo alto a una película o un evento

deportivo de pago detrayendo flujo de los otros canales que componen el multiplexor y pueden ser de emisión abierta. (Comision N. d., 2008)

Figura 12. Cadena de transmisión



(Comision N. d., 2008)

El transmisor se escoge de tal manera que cumpla con las características técnicas exigidas por la CNTV, se escogió el equipo transmisor marca BTSA estándar DVB-T de potencia nominal 1KW operando a 500W que es el recomendado por la CNTV ya que con este equipo se están realizando las pruebas en Colombia, este equipo recibe compresión y multiplexación de video en dos formatos, alta definición y definición estándar.

Figura 13. Transmisor marca BTSA estándar DVB-T



(Comision N. d., 2008)

### **6.3.3 Cables y conectores**

Se necesitaran 70 metros de cable, 60 metros debido a que la antena esta a 60 metros de altura y 10 más ya que es la distancia de la subestación en donde estaría el transmisor a la torre, el cable coaxial FLF 29 (1-1/4") marca dielectric cumple con las necesidades del proyecto, tiene una impedancia de 50 ohmios ( $\Omega$ ) y frecuencia máxima de 3.3GHz, y conectores N-Female FLF 29NJ ya que ofrecen bajas perdidas. (Ver anexo A)

### **6.3.4 Antena**

El criterio para seleccionar la antena tipo panel se basa en la obtención de múltiples tipos de patrones de radiación horizontal y vertical para lograr la directividad y cubrimiento requeridos y reducir las condiciones de interferencia.

Para seleccionar la antena se revisan las disponibles en el mercado, y a continuación se revisan las características, algunos de los criterios de selección son:

- Rango de Frecuencia de operación
- Impedancia de 50 ohm
- VSWR bajo

Luego de revisar las antenas comerciales, se escogió la Antena JUHD marca JAMPRO, BROAD BAND UHF PANEL ANTENNA, impedancia 50 Ohm y VSWR 1.1:1(ver anexo B); En polarización horizontal. Esta antena se selecciona por contarse con un canal de distribución directo en Colombia (Istronyc S.A).

## **6.4 DISEÑO DE LA COBERTURA DEL CANAL**

### **6.4.1 Altura del sistema irradiante**

Para conocer la altura del sistema irradiante se debe conocer el diámetro del volumen significativo para la trasmisión de energía, este valor se da en metros y es la zona que se debe dejar libre de obstáculos para que la señal pueda ser transmitida hasta el receptor sin pérdida de información, esto se logra conociendo la zona de Fresnel del sistema, aunque un radioenlace funciona garantizando que la primera zona de Fresnel esté libre de obstáculos se recomienda hacerlo también con la segunda zona de Fresnel para que el sistema no esté trabajando al

límite, y esto se debe tener en cuenta en zonas boscosas debido a que los arboles pueden crecer hasta obstaculizar el radioenlace. (Haykin & Moher, 2005)

Reemplazando en la ecuación 1 obtenemos la longitud de onda de la antena, este valor se necesita para reemplazar en las ecuaciones de Fresnel.

- $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- $f = 692 \text{ MHz}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{692 \text{ MHz}} = 0.4335 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 2 hallamos la primera zona de Fresnel para el sistema irradiante:

$$h_1 = \sqrt{\frac{0.4335 \text{ m} \cdot 3760 \text{ m} \cdot 16530 \text{ m}}{20290 \text{ m}}} = 36.4 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 3 conocemos la altura mínima que debe tener el sistema irradiante para garantizar que la segunda zona de Fresnel esté libre de obstáculos.

$$h_2 = \sqrt{2} \cdot 36.4 \text{ m} = 51.47 \text{ m}$$

Para el proyecto se decide que 60 metros es la altura necesaria para lograr la cobertura del canal, se deja un espacio para que los arboles al crecer no interfieran con la señal.

#### 6.4.2 Contorno Protegido

Con respecto a la planificación de canales de TV digital se han establecido los criterios de la FCC (Federal communications commission), y mas precisamente para televisión digital el calculo del contorno protegido, se hace basado en las curvas F(50,90), es decir el 90% del tiempo en el 50% de las locaciones, los requisitos mínimos del nivel de la señal para un canal de televisión se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11. Requisitos para la recepción dentro del contorno protegido

<b>Factor</b>	<b>VHF baja</b>	<b>VHF alta</b>	<b>UHF</b>
Intensidad de campo mínima (dBμV/m)	33+D	36+D	44+D
Intensidad en el contorno protegido usando F(50,90) (dBμV/m)	36+D	39+D	47+D

(Inter-American, 2006)

Donde D en el caso particular para DVB-T tiene un valor de cuatro (4), por el tipo de modulación que utiliza COFDM.

Para calcular la intensidad de campo de un sistema radiante, es necesario conocer la potencia de recepción  $P_r$ , con esta información se puede hallar la potencia del campo electromagnético en la siguiente formula, teniendo la  $P_r$  en Watts.

Ecuación 12. Campo electromagnético

$$E = \frac{21.9\pi * (P_r)^{1/2}}{\lambda}$$

(Collins, 2001)

El siguiente paso es convertir el campo a dBu usando la siguiente formula:

Ecuación 13. Conversión de campo eléctrico a dBuV/m

$$E(dB\mu) = 20 \log(E) + 120$$

(Collins, 2001)

### 6.4.3 Interferencias

Gracias a la modulación COFDM, los canales de televisión son más robustos frente a interferencias, debido a que la duración de los Bits es mayor a la de los retardos evitando ecos y permitiendo la reutilización de las mismas frecuencias en antenas vecinas.

Tabla 12. Interferencias para canales digitales

Canal interferente	Relación de potencia (dB), N= canal deseado	
	Análogo/análogo	Digital/análogo
N-1(Inferior)	Prohibido	0
N+1(Superior)	Prohibido	0

(Inter-American, 2006)

En nuestro país actualmente todo es análogo por que lo que se puede concluir que el canal de televisión digital es viable sin peligro a sufrir interferencias por las estaciones que trabajen cerca y a frecuencias cercanas.

#### 6.4.4 Radio Mobile

De acuerdo con el plan de utilización de frecuencias para el servicio de televisión de la comisión nacional de televisión Se podrán utilizar métodos de predicción por computador empleando bases de datos digitales del terreno y modelos de propagación reconocidos, estadísticos o determinísticos.

Radio Mobile es un programa creado en 1998 y mantenido desde entonces por el ingeniero y radioaficionado canadiense Roger Coudé, que utiliza datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor. Estos datos, junto a otros relativos al entorno y a las características técnicas de los transceptores, sirven para alimentar un modelo de propagación de las ondas de radio conocido como modelos de terreno irregular (ITM, Irregular Terrain Model), basado en el algoritmo de Longley-Rice e integrado en el propio programa, que permite determinar el área de cobertura de un sistema de radiocomunicaciones que trabaje en una frecuencia comprendida entre los 20 y los 20.000 MHz. (Garcia, 2006)

Radio Mobile permite la utilización de dos modelos digitales del terreno para la realización de los cálculos de cobertura: GTOPO30/SRTM30 y SRTM-DTED. Ambos modelos han sido elaborados por la NASA y el USGS y tanto su distribución como su utilización son completamente libres.

El modelo GTOPO30/SRTM30 tiene una resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km), mientras que el modelo SRTM-DTED tiene una precisión de 3 segundos de arco (aproximadamente 100 m), por lo que se seleccionará un modelo u otro en función de las necesidades y de la capacidad de computación disponible. (Garcia, 2006)

En el proyecto se usan mapas en formato SRTM-DTED por tener una mejor resolución, que contiene la información de elevación de terreno y se le denomina

mapa de trabajo. El programa busca en los servidores de a Inspección Geológica de los Estados Unidos (US Geological Survey), y descarga la información que se necesite. En la figura se muestra la configuración para descargar los mapas y tener una copia disponible en el disco duro.

Figura 14. Configuración para descargar mapas en Radio Mobile

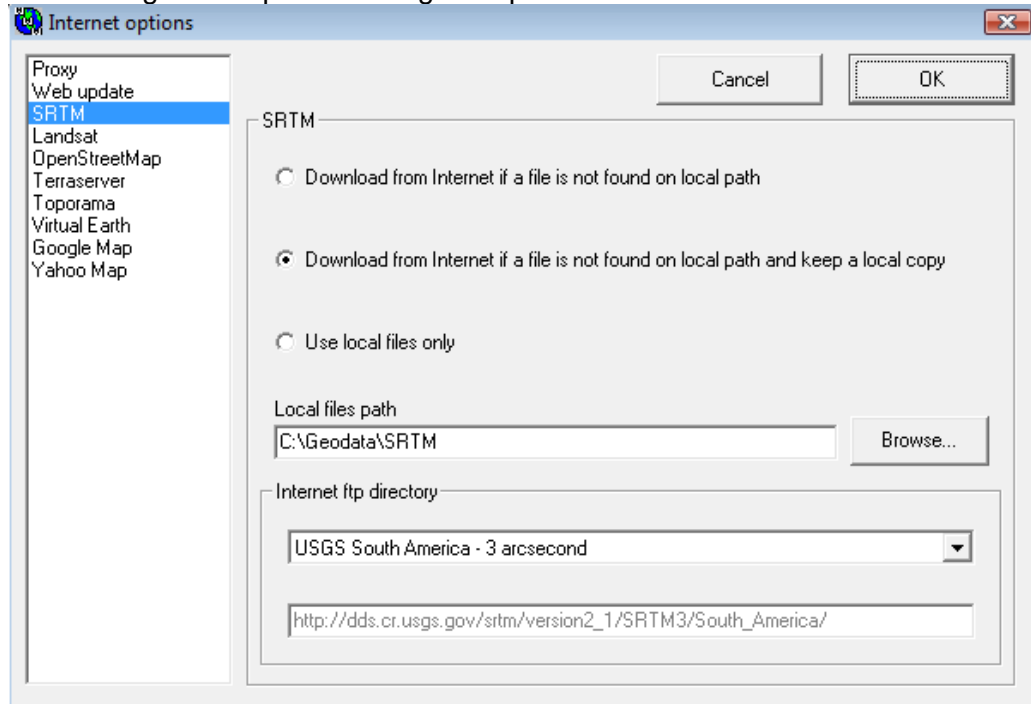


Imagen capturada de software Radio Mobile

El método Longley-Rice se basa en la teoría electromagnética y en análisis estadísticos de las características del terreno, y predice la atenuación media de la señal de radio como una función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y el espacio.

Este método requiere, para realizar la predicción, los siguientes parámetros; potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE) y altura del centro eléctrico de radiación de la antena con relación al nivel medio del terreno. También deben especificarse, el porcentaje de tiempo y de lugares en donde los campos operaran o se excederán, así como también un porcentaje que especifique el grado de confianza deseado en los resultados.

Para determinar si un servicio de televisión se encuentra presente, la variabilidad de las localidades se fijara en 50% y la variabilidad del tiempo en 90%. El porcentaje de confianza se fija en 50%, indicando interés en situaciones promedio.

Además de las características topográficas del terreno se deben considerar, la conductividad, el tipo de clima, la permeabilidad relativa y la refractividad de la superficie, de acuerdo a la cantidad de variables que utiliza el método Longley-Rice y la complejidad matemática de los cálculos que efectúa, este se considera como un algoritmo de cómputo que entrega resultados más exactos que el método de la UIT.

Figura 15. Caracterización del entorno

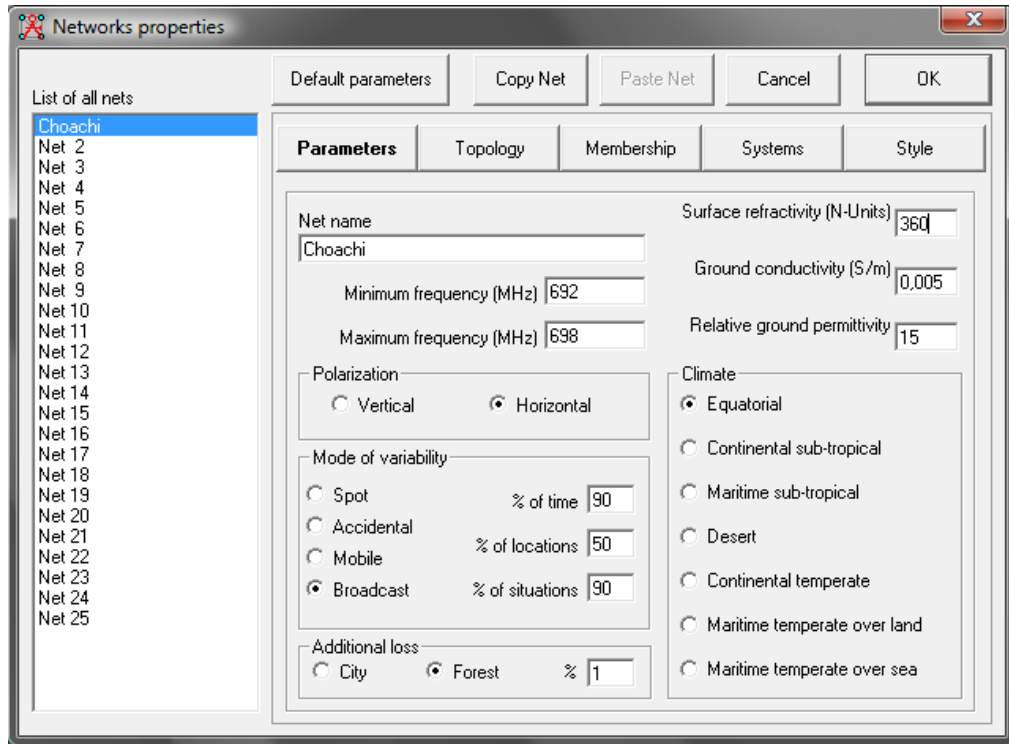


Imagen capturada de software Radio Mobile

- **Minimum frequency (MHz):** Umbral inferior de la banda de frecuencias para la que se realizarán los cálculos, para el proyecto es de 692Mhz.
- **Maximum frequency (MHz):** Umbral superior de la banda de frecuencias para la que se realizarán los cálculos. Para el proyecto es de 698MHz
- **Polarización:** debe especificarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical. El modelo de Longley-Rice asume que ambas antenas tienen la misma polarización, vertical y horizontal.
- **Refractividad:** La refractividad de la atmósfera determina la cantidad de “bending” o curvatura que sufrirán las ondas radio. En otros modelos, el parámetro de refractividad puede introducirse como la curvatura efectiva de la

tierra, típicamente 4/3 (1.333). Para el modelo Longley-Rice, hay tres formas de especificar la refractividad. Se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 Unidades de n (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1.232 a 1.767). Una curvatura efectiva de la tierra de 4/3 (=1.333) corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 Unidades de n. Longley y Rice recomiendan este último valor para condiciones atmosféricas promedio. (Garcia, 2006)

Tabla 13. Refractividad de acuerdo al clima

CLIMA	N <sub>s</sub> (N-Unidades)
Ecuatorial	360
Continente subtropical	320
Marítimo subtropical	370
Desierto	280
Continental templado	301
Marítimo templado, sobre la tierra	320
Marítimo templado, sobre el mar	350

(Garcia, 2006)

Para condiciones promedio usar clima continental templado y N<sub>s</sub>= 301 N-unidades. Colombia por ser un país ecuatorial N<sub>s</sub>= 360

- **Permitividad:** la permitividad relativa o constante dieléctrica del medio ( $\epsilon$ ), tiene unos valores típicos tabulados.
- **Conductividad:** la conductividad, medida en Siemens por metro, tiene unos valores típicos tabulados.

Tabla 14. Valores de permitividad y conductividad de acuerdo al terreno

	PERMITIVIDAD	CONDUCTIVIDAD
TIERRA MEDIA	15	0.005
TIERRA POBRE	4	0.001
TIERRA RICA	25	0.020
AGUA FRESCA	81	0.010
AGUA MAR	81	5

(Garcia, 2006)

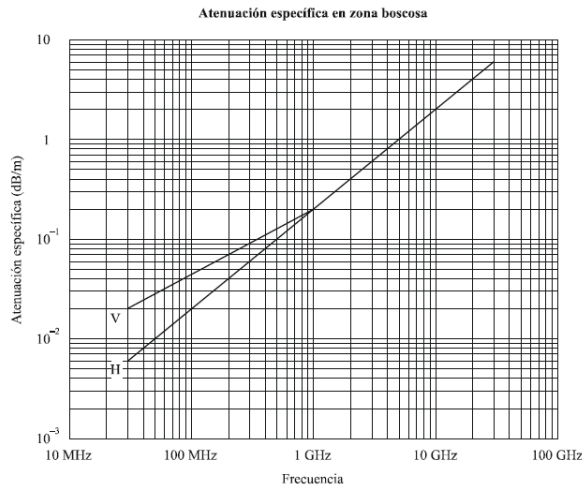
- **Variabilidad:** el modelo de Longley-Rice define cuatro modos de variabilidad. El modo seleccionado determina el significado de la fiabilidad de los valores

usados en el modelo. El modo de variabilidad puede ser considerado como la especificación para determinar la fiabilidad de los cálculos. Los modelos de variabilidad definidos son: Single message mode, Individual mode, Mobile mode, and Broadcast mode.

- Los tipos de variabilidad descritos en el modelo Longley-Rice son el tiempo, la posición, y la variabilidad de situación. Estas tres dimensiones de variabilidad, fueron desarrolladas para considerar y clasificar variaciones en los niveles de señal medidos (mediana) La variabilidad de corto plazo del tipo asociado con la propagación de multitrayecto no es cubierta por el modelo.
- **Variabilidad de tiempo:** Esta variabilidad permite especificar cómo se desea tratar con la variabilidad de tiempo de los cambios atmosféricos y otros efectos. Tomar un porcentaje mayor en este valor, reduce la variabilidad resultante de estos factores. El resultado calculado por el programa será menor, con lo que se asegura que el valor real medido será igual o superior en un porcentaje más elevado de tiempo.
- **Variabilidad por localización:** Lo que hay que tener en cuenta en los estadísticos de largo plazo entre dos trayectos distintos debido, a por ejemplo, diferencias en los perfiles del terreno o diferencias ambientales entre ellos. La variabilidad por localización para los cálculos, se expresa como un porcentaje de 0.1% a 99.9%. Sucede lo mismo en los resultados que para el caso de la variabilidad de tiempo, pero con la fracción de localizaciones donde el campo recibido se espera que sea igual o superior.
- **Variabilidad por situación:** esta variabilidad tiene en cuenta otro tipo de variables que pueden denominarse “hidden variables”. Este tipo de variables representan efectos que no pueden explicarse o que simplemente se ha decidido no controlar. Sirven para diferenciar casos con iguales equipos y condiciones de entorno similares. Estos cambios se reflejarán en los estadísticos. Y como en casos anteriores puede ser expresado como un porcentaje entre 0.1 % y el 99.9 % para controlar lo mucho o poco que se quiere que afecten.
- **Climate:** Tipo de clima (ecuatorial, continental subtropical, marino subtropical, desértico, continental templado, marino templado sobre tierra, marino templado sobre el mar). Este parámetro influye en el índice de refracción del aire y en la probabilidad de aparición de desvanecimientos de la señal (*fading*).

- **Additional loss (City/Forest):** pérdidas adicionales si en el trayecto hay grandes masas boscosas o entornos urbanos densos. Indique el porcentaje aproximado de terreno de este tipo dentro del mapa de trabajo.

Figura 16. Atenuación en zonas boscosas UIT-R P833



(UIT, 2007)

V para polarización vertical y H para polarización horizontal se hace hincapié en que la atenuación debida a la vegetación varía ampliamente debido a la naturaleza irregular del medio y a la gran variedad de especies, densidades y condiciones de humedad que se da en la práctica, para el proyecto la atenuación es de 1%.

Figura 17. Gestión de datos de los equipos

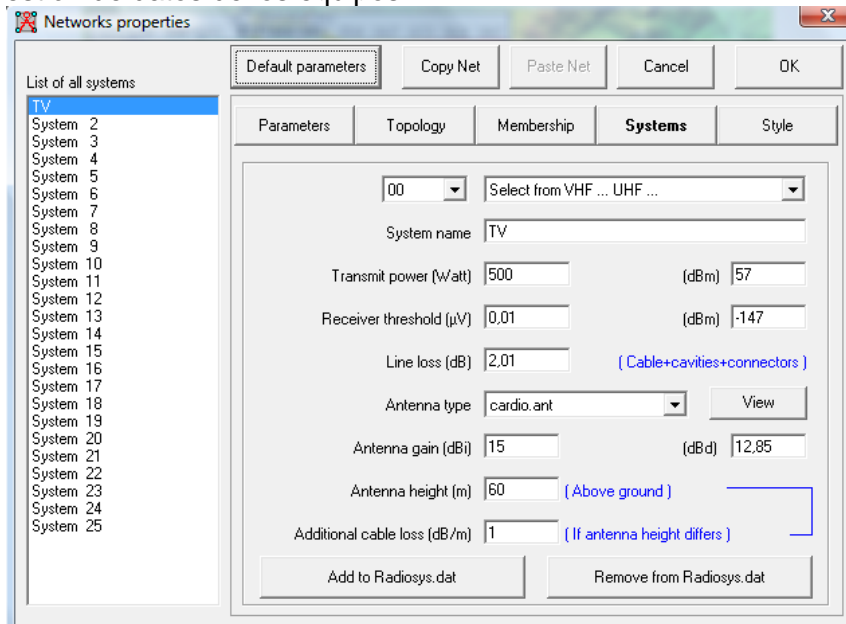


Imagen capturada de software Radio Mobile

El primer paso es, por tanto, seleccionar un registro libre en el marco izquierdo y asignarle un nombre en el campo System name. Para cada equipo que se registre, hay que definir los siguientes parámetros: (Garcia, 2006)

- **Transmitter power (Watt/dBm):** potencia de transmisión en vatios o en dBm. Solamente es necesario rellenar uno de los dos campos, ya que el programa calcula automáticamente el otro. El transmisor BTSA estándar DVB-T entrega una potencia de 500W.
- **Receiver threshold ( $\mu$ V/dBm):** sensibilidad del receptor en microvoltios o en dBm.
- **Line loss (dB) (Cable+cavities+connectors):** pérdidas en la línea de transmisión, sumando las del cable coaxial, las de las cavidades (si se utilizan) y las de los conectores. No incluya en esta suma el tramo de línea que va desde la base de la torre o mástil de la antena hasta el conector de la misma.
- **Antenna gain (dBi/dBd):** ganancia de la antena referida a la de la antena isotrópica (dBi) o a la de la del dipolo de media longitud de onda de trabajo (dBd).
- **Antenna height (m) above ground:** altura de la antena sobre el terreno del emplazamiento.
- **Additional cable loss (dB/m) if antenna height differs:** Atenuación por unidad de longitud de la línea de transmisión que transcurre desde la base de la torre o mástil de la antena hasta el conector de la misma. Esta atenuación no se incluye en el apartado "Line loss" porque el programa permite variar dinámicamente la altura a la que se encuentra la antena.

Nuestro objetivo es el cálculo de la cobertura acimutal de una estación desde un emplazamiento dentro del mapa de trabajo. Para ello, se definirán dos estaciones radio: una fija en dicho emplazamiento (que se denomina **Estación**) y otra estación móvil (**receptor**) para tener en cuenta los parámetros de recepción en un entorno de estas características.

Se posiciona la estación de referencia. Esta es la gran ventaja de Radio Mobile: puede tratarse de un emplazamiento donde ya disponga de un repetidor, o de un emplazamiento en el que esté pensando instalar una estación de radio y del que desee conocer la cobertura antes de aventurarse en la instalación. En esta pantalla deberá ejecutar los siguientes pasos, por orden.

Figura 18. Posicionamiento de las unidades

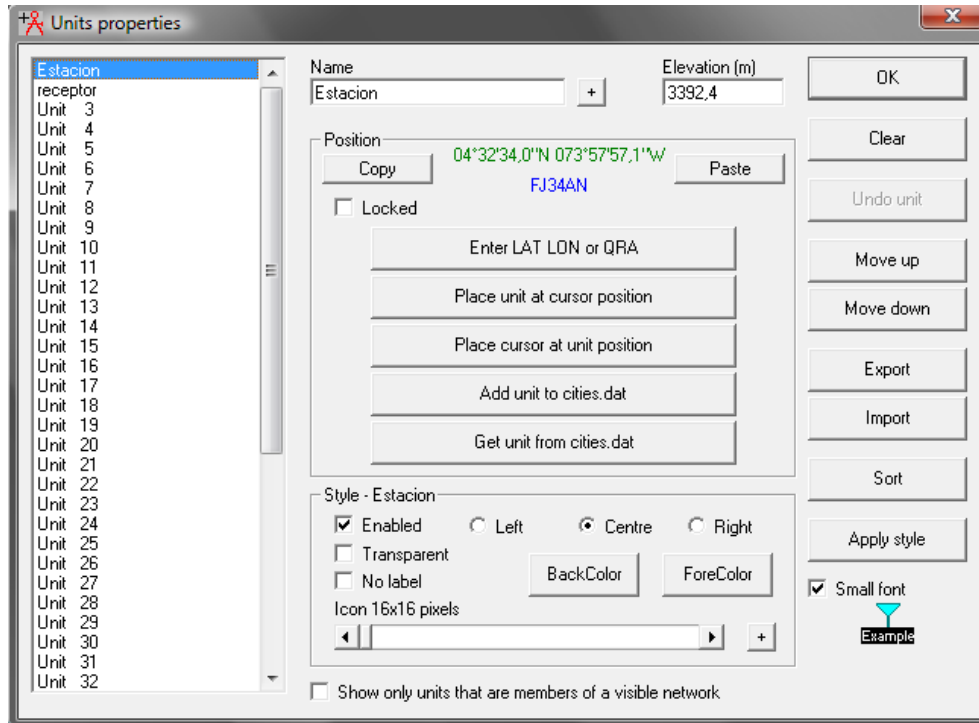


Imagen capturada de software Radio Mobile

En el marco izquierdo, seleccionar “Unit 01”. Usaremos esta unidad como estación ubicada en el emplazamiento para el que se pretende calcular la zona de cobertura.

En el marco derecho, dé un nombre al emplazamiento (“Name”).

Figura 19. Ventana para ingresar ubicación geográfica de la estación

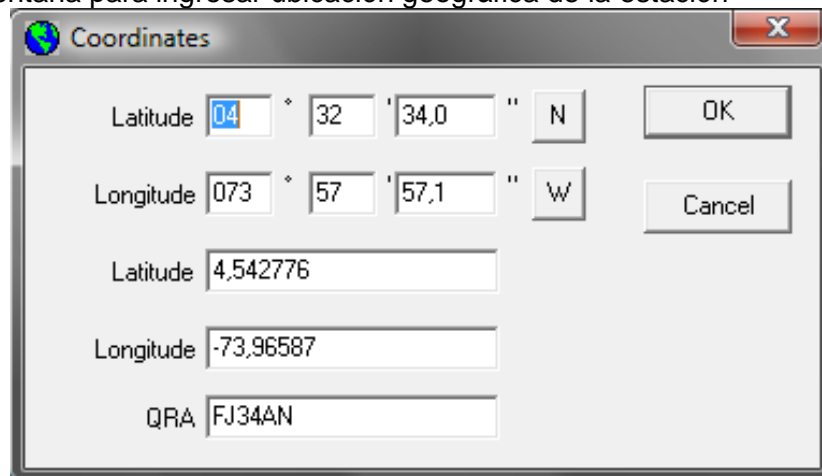


Imagen capturada de software Radio Mobile

Al pulsar el botón “Enter LAT LON or QRA” para introducir las coordenadas del emplazamiento en la ventana se despliega la ventana “Coordinates” (ver figura 19). Otra opción es usar el cursor para fijar el emplazamiento mientras se está en el mapa de trabajo (“Place unit at cursor position”). Una vez fijada la posición, en la pantalla inicial de captación de datos aparecerá la altitud sobre el nivel del mar del emplazamiento.

Estos son los pasos básicos para crear una red en el programa Radio Mobile, al crear el escenario se procede a realizar cálculos y simulaciones para así obtener resultados.

## 7. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas se realizan ubicando al sistema irradiante en el cerro Boquerón de Chipaque donde hay instalada una subestación de televisión con una ubicación geográfica latitud 4°32'34" norte y longitud 73°57'57" oeste.

### 7.1 PRUEBA 1

El objetivo de esta prueba simular la cobertura realizando los calculos para radio difusion con ganancia de antena de transmision 10.2dBd, es decir la antena esta conformada por dos arreglos de paneles, con patron de radiacion tipo cardioide.

Se espera que la simulacion entregue resultados similares a los que se obtengan en los cálculos de la cobertura, para asi demostrar que la señal que cubrira la zona tiene la potencia necesaria para que asi confirmar que la señal de television estaria presente en las casas de los municipios propuestos.

La sensibilidad de antena de recepcion de -147dBm, se debe garantizar que la potencia que llega a la antena de recepcion sea mayor para garantizar el servicio de television.

Figura 20. Prueba 1 con ganancia de 10.2dBd

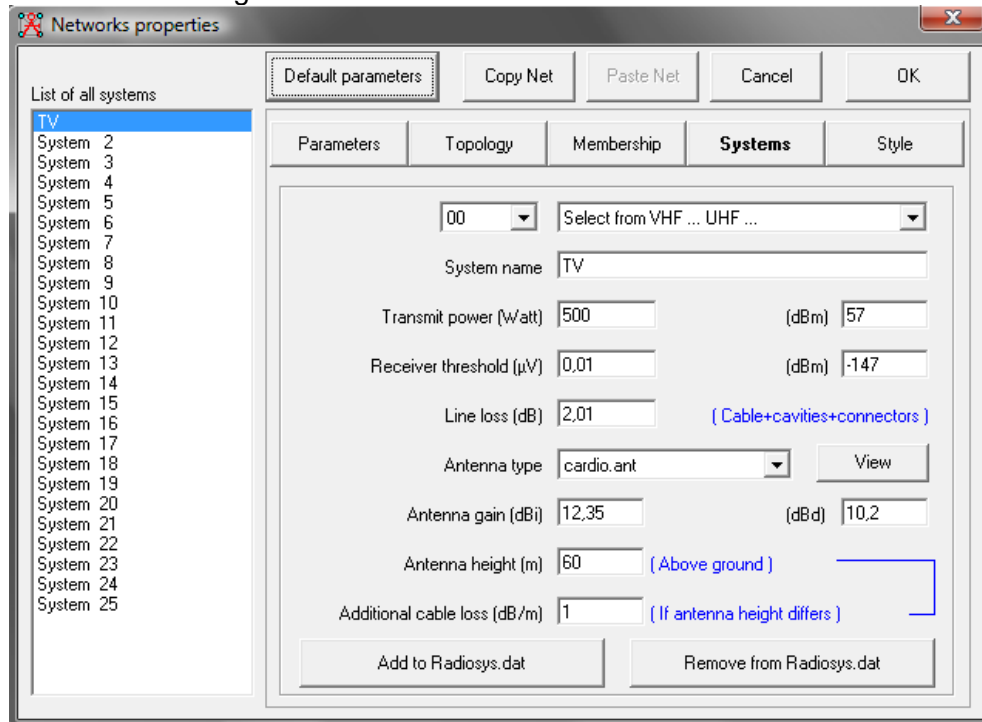


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 21. Patrón de radiación de antena de dos paneles

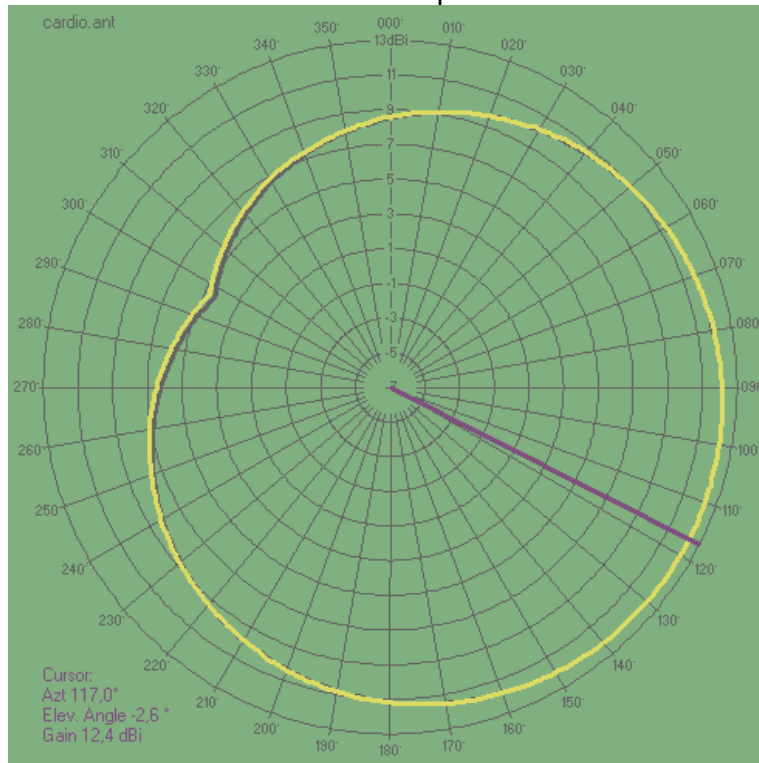


Imagen capturada de software Radio Mobile

Cálculos:

Reemplazando en la ecuación 4 hallaremos las pérdidas en espacio libre

$$L_p = \left( \frac{4\pi * d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi * 20290m}{0.4335m} \right)^2$$

$$= 588.1699187 * 10^3 \approx 115.39dB$$

El siguiente cálculo que se debe hacer es hallar las pérdidas por desvanecimiento, reemplazando en la ecuación 5, donde D es la distancia, (A) el Factor de rugosidad = 2, (B) el factor climático= 0.125 y R que es el error de transmisión en un periodo = 0.01

$$L_D(dB) = 30\text{Log}D + 10\text{Log}ABf - 70 - 10\text{Log}(1 - R) =$$

$$30\text{Log}(20.29) + 10\text{Log}(2 * 0.125 * 0.692) - 70 - 10\text{Log}(0.01) = 38.58dB$$

Con los datos anteriores y con los datos del sistema reemplazamos en la ecuación 6 para hallar la ganancia del sistema.

$$G_s(dB) = L_{cc} + L_p + L_D - G_{Tx} - G_{Rx} =$$

$$2.01 + 115.39 + 38.58 + 10.2 + 10.2 = 135.58dB$$

Por último para conocer si el sistema irradiante funciona debemos hallar la potencia que llega a la antena de recepción y debe cumplir la condición de ser mayor a la sensibilidad de antena de recepción;  $500W = 26.989dB$

$$Pr(dB) = P_{Tx} - G_s > Sen_{Rx}$$

$$Pr(dB) = 26.989dB - 135.58dB > -147dB$$

$$Pr(dB) = -108.591dB > -147dB$$

El siguiente paso es simular la cobertura en Radio Mobile para comparar resultados:

Figura 22. Simulación de la cobertura

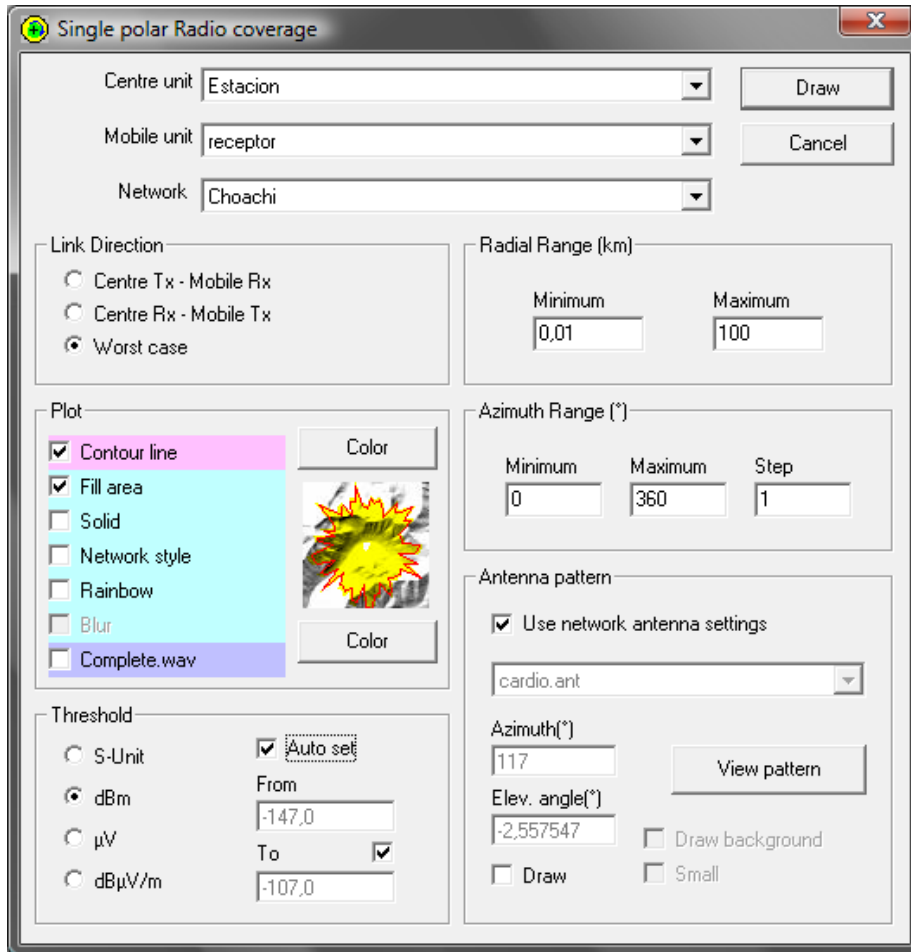


Imagen capturada de software Radio Mobile

La señal que da como resultado será la potencia de recepción que llega a la antena receptora en dBm:

Figura 23. Prueba 1 resultado de la simulación

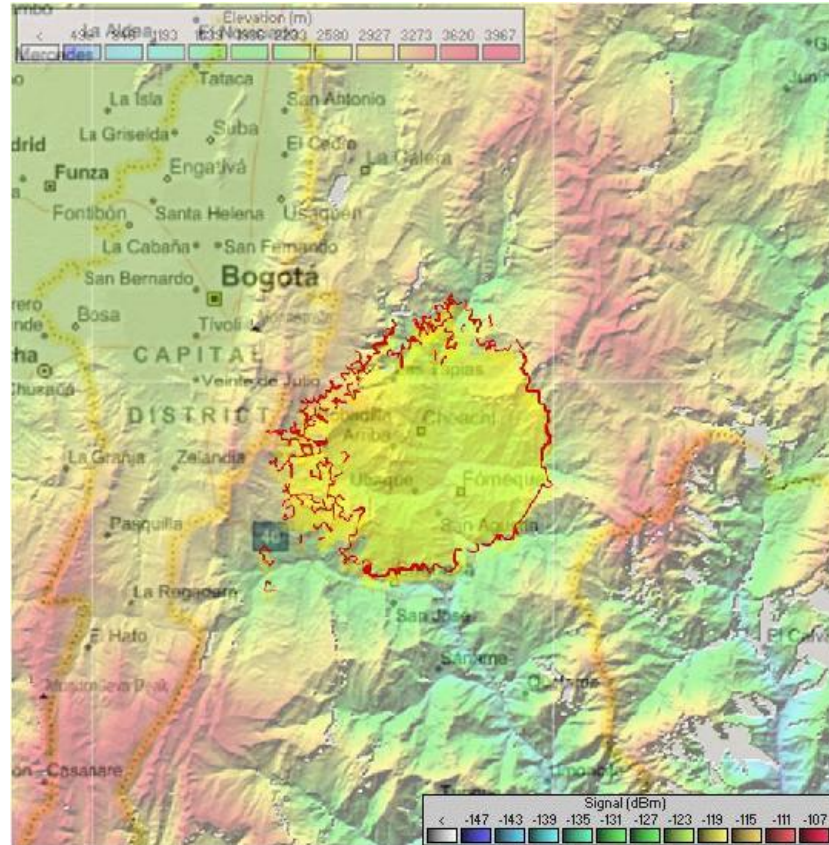


Imagen capturada de software Radio Mobile

El resultado de la simulación nos muestra que la señal que llega a los municipios es -107dBm, lo cual dio muy cercano a los cálculos realizados, lo que indica el sistema irradiante funciona muy bien con los parámetros establecidos, y da una señal optima para el servicio de televisión en la zona de interés, debido a que la señal es mayor a la sensibilidad de la antena de recepción (-147dBm) y con esta condición la antena de recepción es capaz de recuperar la información enviada desde el transmisor.

Para cada estación de televisión la comisión nacional de televisión pide que se calcule la potencia isotrópica efectiva radiada (PIRE), que consiste en el valor obtenido respecto a la antena isotrópica en la cara de la torre con mayor ganancia de las antenas.

$PIRE_{dB} = \text{Potencia del transmisor en dB} + \text{Ganancia de la antena en dB} - \text{Perdidas en la línea de transmisión en dB}$

$$\text{PIRE(dB)} = 26.989\text{dB} + 10.2\text{dB} - 2.01\text{dB}$$

$$\text{PIRE(dBW)} = 35.179\text{dB}$$

El resultado en dB se convierte a watos para saber si la potencia isotrónica efectiva radiada no pase el rango de PIRE para las estaciones de televisión de baja potencia (0.14KW – 20KW).

$$\text{PIRE} = 3.295\text{KW}$$

El cálculo del contorno protegido se consigue reemplazando en la ecuación 12, para conocer la potencia del campo de sistema irradiante:

$$E = \frac{21.9\pi * (P_r)^{1/2}}{\lambda} = \frac{21.9\pi * (1.3832 * 10^{-11})^{1/2}}{0.4335} = 5.902756 * 10^{-4}$$

Se convierte el campo a dbuV/m para concluir si cumple con los requisitos requeridos para el contorno protegido de un canal de televisión digital.

$$E(\text{dB}\mu) = 20 \log(E) + 120$$

$$E(\text{dB}\mu) = 20 \log(5.902756 * 10^{-4}) + 120 = 55.42\text{dB}\mu$$

Este resultado permite concluir que la estación de difusión de televisión digital cumple con los requisitos exigidos en la tabla 11 para el contorno protegido y cumple con los estándares exigidos por la comisión nacional de televisión para estaciones de difusión de baja potencia, lo cual hace viable realizar la estación de difusión de televisión, con las características propuestas en esta prueba.

## 7.2 PRUEBA 2

En esta prueba se realizaran los calculos aumentando los arreglos de la antena según las características seria un arreglo de 4 paneles que entregarían una ganancia de antena de transmisión 13.2dBd.

Con esto se espera que la señal que cubre la zona llegue con mayor potencia que la que se obtuvo en la prueba 1, también se espera que las pérdidas disminuyan.

Figura 24. Patrón de radiación de antena de 4 paneles

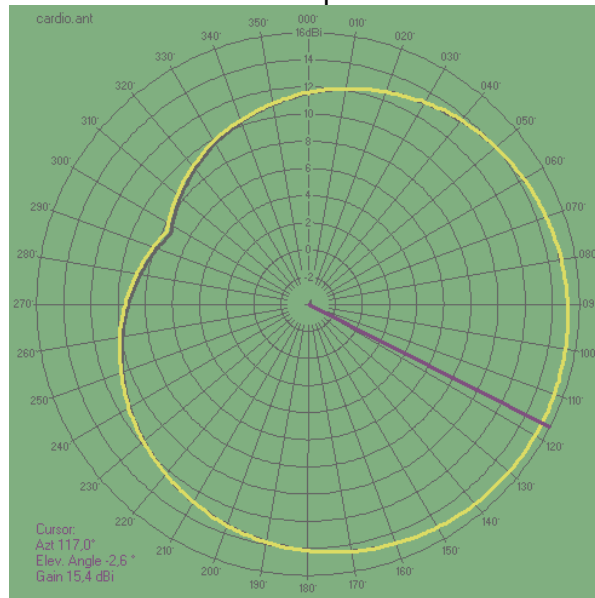


Imagen capturada de software Radio Mobile

Cálculos: Perdidas en espacio libre

$$L_p = \left( \frac{4\pi * d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi * 20290m}{0.4335m} \right)^2$$

$$= 588.1699187 * 10^3 \approx 115.39dB$$

Perdidas por desvanecimiento:

$$L_D(dB) = 30LogD + 10LogABf - 70 - 10Log(1 - R) =$$

$$30Log(20.29) + 10Log(2 * 0.125 * 0.692) - 70 - 10Log(0.01) = 38.58dB$$

Ganancia del sistema:

$$G_s(dB) = L_{cc} + L_p + L_D - G_{Tx} - G_{Rx} =$$

$$2.01 + 115.39 + 38.58 + 13.2 + 13.2 = 129.58dB$$

Potencia de la antena de recepción:

$$Pr(dB) = P_{Tx} - G_s > Sen_{Rx}$$

$$Pr(dB) = 26.989dB - 129.58dB > -147dB$$

$$Pr(dB) = -102.591dB > -147dB$$

Con los cálculos, la potencia de recepción aumento como se esperaba, se incremento más o menos 5dB respecto a los resultados de la prueba 1, estos datos ahora se comparan con la simulación para concluir si es útil aumentar la ganancia de la antena es práctico para este caso, ya que al aumentar la ganancia, también aumentan el numero de paneles que conforman la antena.

El problema de aumentar la ganancia en este caso, es que el tamaño y el peso de la antena también se incrementan, haciendo que la antena esté más expuesta a los fenómenos naturales tales como los fuertes vientos, haciendo que la antena oscile o sufra movimientos bruscos haciendo que la vida útil de la antena disminuya.

El resultado en la zona de interés como se ve en la figura 25 es muy similar, por lo que se puede concluir que al aumentar la ganancia de la antena, llega prácticamente la misma señal de televisión, por lo que hace innecesario tomar este camino, debido a que aumentaría precio, y peso de la antena.

Simulación:

Figura 25. Prueba 2 resultado de la simulación

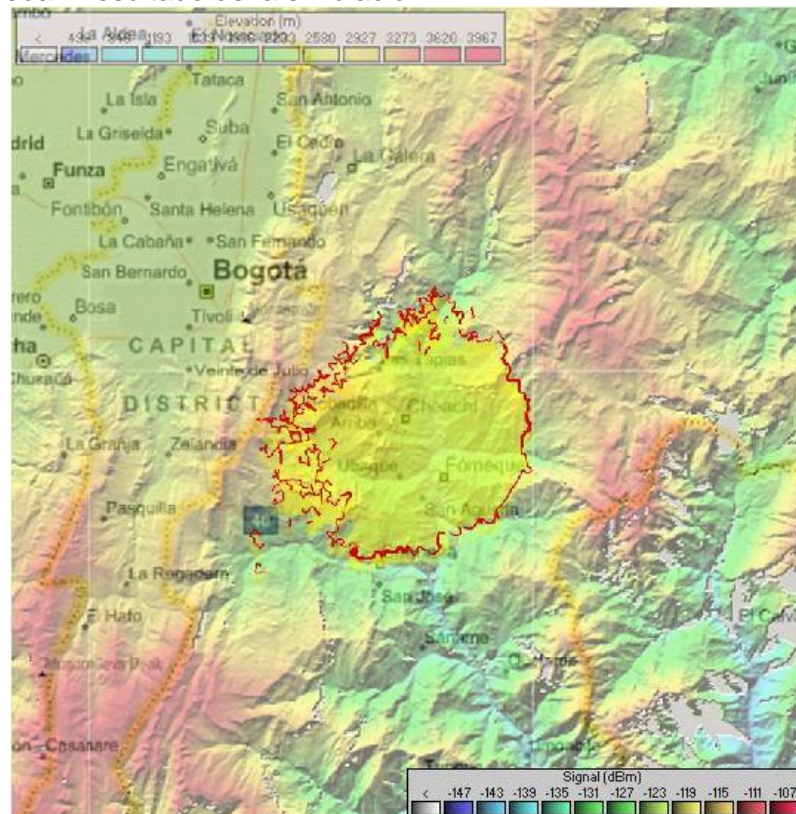


Imagen capturada de software Radio Mobile

Potencia efectiva radiada para segundo diseño de la estación de televisión

$$\text{PIREdB} = 26.989\text{dB} + 13.2\text{dB} - 2.01\text{dB}$$

$$\text{PIREdB} = 38.179\text{dB}$$

$$\text{PIRE(W)} = 6.575 \text{ KW}$$

La potencia sigue estando en el rango exigido por la CNTV, ahora se calcula el contorno protegido:

$$E = \frac{21.9\pi * (5.5068 * 10^{-11})^{1/2}}{0.4335} = 1.177754 * 10^{-4}$$

$$E(\text{dB}\mu) = 20 \log(1.177754 * 10^{-4}) + 120 = 61.42\text{dB}\mu$$

Se cumple con los requisitos exigidos para el contorno protegido para un canal de televisión digital, por lo que se puede concluir que con esta configuración el sistema irradiante es viable, pero se decide que los resultados de la prueba 1, son suficientes para llevar a cabo el proyecto, y ha menor ganancia de la antena, la instalación de la misma es mas simple, ya que usa menos paneles a menor ganancia de antena.

### 7.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS SOBRE EL SISTEMA DE TELEVISIÓN

Al decidir que la mejor opción se ubicaría en la subestación de Boquerón de Chipaque, en la siguiente tabla se dan las especificaciones del sistema irradiante escogido como la mejor opción para llevar la señal de televisión a los municipios de Choachí, Fómeque y Ubaque.

Tabla 15. Especificaciones técnicas

Nombre de la subestación	Boquerón de Chipaque
Ubicación	Cordillera oriental
Áreas de servicio	Choachí, Fómeque y Ubaque Cundinamarca
Latitud	4°32'34" N
Longitud	73°57'57" W
Altura sobre el nivel del mar	3392 m
Vías de acceso	Terrestre
Dimensiones estación	Canales privados
Formas de comunicación	Teléfono, radio
Empresas que operan en la estación	Canales privados
Personas a cargo estación	Canales privados
Plano físico	Canales privados
Equipo alimentación eléctrica	Subestación, planta emergente, combustible
Capacidad	Autonomía de 24 horas
Tipo combustible	ACPM
Numero de torres	Una
Clasificación de la estación	Baja potencia
Banda transmisión VHF o UHF	Banda V UHF
Canal de transmisión	De acuerdo con la asignación de la CNTV (51)
Patrón de radiación del sistema	Cardiode
Polarización de las antenas de transmisión	Horizontal
Equipo principal de transmisión	Marca BTSA estándar DVB-T

## 8. CONCLUSIONES

- La simulación en Radio Mobile de la propagación de una señal sobre un área específica permite visualizar en forma muy rápida los sitios estratégicos para la localización de transmisores.
- Radio Mobile entrega datos confiables, debido a que logra simular con buena fidelidad el entorno en que se ubica el sistema irradiante, tomando en cuenta todas las variables que pueden afectar el radioenlace.
- La ubicación geográfica del sistema irradiante y el área de cobertura deseada, son idóneas para cumplir los requerimientos del diseño, ya que existe una barrera física (cordillera oriental) que bloquea las señales emitidas desde el interior del país, las cuales pudieran ser frecuencias interferentes, además al ubicar el sistema irradiante en la ladera de la cordillera apuntando hacia los municipios se logró satisfactoriamente un buen nivel de señal en las zonas requeridas.
- La aplicación de los modelos de predicción requieren de información topográfica, al contar con mapas digitales de una resolución alta, permite tener una visión detallada de la zona en la que se piensa trabajar.
- Las condiciones climáticas, de terreno y de superficie, son promedios que estiman las condiciones para zonas específicas.
- Gracias a la modulación COFDM, los canales de televisión son más robustos frente a interferencias, permitiendo la reutilización de las mismas frecuencias en antenas vecinas.

## 9. RECOMENDACIONES

Al trabajar con el programa de simulación de coberturas Radio Mobile, se puede decir que este software puede ser muy útil para fines educativos, debido a que el tema de cobertura por mucho tiempo ha sido un tema estrictamente de profesionales, esta herramienta es una buena opción para los estudiantes de telecomunicaciones.

Al momento de calcular coberturas o radioenlaces, en este tipo de software que utilizan topografía digital, es necesario tener en cuenta las recomendaciones de Unión internacional de telecomunicaciones (UIT), ya que estas poseen datos estadísticos que ayudan crear entornos con características reales, simulando condiciones climáticas, de terreno etc. De esta forma se aseguran que los cálculos tengan un grado de confiabilidad bueno.

Para proyectos de este tipo que se pueden implementar físicamente, si se tienen los recursos para hacerlo, es importante tener en cuenta las normas de las entidades reguladoras, y diseñar bajo los parámetros entregados por dichas entidades.

## GLOSARIO

**ANCHO DE BANDA:** Cantidad de datos que se pueden enviar de un punto a otro en un periodo dado, es la tasa de transferencia de datos. (Merriam, 2009)

**ANTENA:** Es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. (Merriam, 2009)

**BANDA BASE:** Es la frecuencia de la señal portadora.

**COBERTURA:** Zona en la que la señal emitida por las antenas llega con la potencia suficiente para que la señal sea recibida con una buena calidad. (Merriam, 2009)

**COFDM:** Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, Codificación ortogonal de división de frecuencia multiplexada.

**CONVERTIDOR:** Dispositivo que convierte la corriente alterna en continua o viceversa. (RAE, 2009)

**DVB-T:** Digital Video Broadcast – Terrestrial, transmisión de video digital terrestre.

**ESTACIÓN MÓVIL:** Transceptor radio parametrizado adecuadamente y que se usará como receptor de referencia para los cálculos del mapa de cobertura.

**ESTACIÓN DE REFERENCIA:** Transceptor radio parametrizado adecuadamente y ubicado en el emplazamiento para el que se desea elaborar el mapa de cobertura.

**IEEE:** Institute of electrical and electronics engineers, organización de los estados unidos de ingenieros eléctricos y electrónicos.

**LOS:** Acrónimo de *Line Of Sight*. Radioenlaces con línea de visión directa, es decir, sin obstáculos intermedios entre el transmisor y el receptor.

**MAPA DE COBERTURA:** Diagrama de probabilidad de recepción por encima de un determinado umbral, que se superpone al mapa de trabajo.

**MAPA DE TRABAJO:** Modelo digital del terreno (mapa con datos de elevación) que se usará como base para la elaboración del mapa de cobertura.

**Mb/s:** Mega Bits por segundo

**MODULACIÓN:** Proceso a través del cual las características de las señales eléctricas se transforman para representar información. (Merriam, 2009)

**MSNM:** Metros sobre el nivel del mar.

**ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS:** son aquellas que tienen componentes eléctricos y magnéticos, son producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. (Merriam, 2009)

**QAM:** Modulación por amplitud de cuadratura

**QPSK:** Modulación de desplazamiento de fase por cuadratura

**RADIOENLACES:** Es el canal o línea de comunicación sobre la cual se envían datos

**RADIO:** Término general que se aplica al empleo de las ondas radioeléctricas.

**RED:** En el ámbito del presente proyecto, denominamos red al conjunto formado por la estación de referencia y la estación móvil.

**SFN:** Simple frequency network, red de frecuencia única, todo se programa sobre un mismo canal, cada uno se sincroniza a una misma señal de referencia. (Garcia, 2006)

**TRANSPONDEDOR:** Dispositivo que emite una señal en una frecuencia determinada cuando lo estimula otra señal externa apropiada. (RAE, 2009)

## BIBLIOGRAFÍA

- Andress, K. (2000). Antenna Book 19th Edition. USA: The ARRL.
- Arnold, J., Frater, M., & Pickering, M. (2007). Digital Television Technology and Standards. USA: Wiley & Sons Inc.
- Bailey, D. (2003). Radio Engineering and Telemetry for Industry. USA: Newnes.
- Blaunstein, N., & Christos, C. (2007). Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communication Links. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Collins, G. W. (2001). Fundamentals of Digital Television transmission. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Comision, n. d. (2003). Plan de utilización de frecuencias canales locales y disponibilidad de frecuencias. Recuperado el Marzo de 2009, de <http://www.cntv.org.co>
- Comision, N. d. (2009). Plan de utilizacion de frecuencias de television canales locales y disponibilidad de frecuencias. Recuperado el 2009, de [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/servicio\\_cober/espectro/potenciales.pdf](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/servicio_cober/espectro/potenciales.pdf)
- Comision, N. d. (2008). Television Digital terrestre. Recuperado el Junio de 2009, de [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/tdt/documentos/tdt\\_colombia.pdf](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/documentos/tdt_colombia.pdf)
- Comisión, N. d. (2009). Transición de la Televisión Analógica a la Televisión Digital Terrestre – Innovaciones Tecnológicas. Recuperado el Marzo de 2009, de [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/tv\\_digital/documentos/transicion\\_tv.pdf](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/tv_digital/documentos/transicion_tv.pdf)
- Garcia, G. P. (2006). Manual de uso de Radio Mobile. Recuperado el Febrero de 2009, de [download.ahas.org/docs/manual\\_radiomobile.doc](http://download.ahas.org/docs/manual_radiomobile.doc)
- Gobierno, e. I. (2008). Sitio oficial de Choachí Cundinamarca. Recuperado el Marzo de 2009, de <http://www.choachi-cundinamarca.gov.co>
- Gobierno, e. I. (2008 ). Sitio oficial de Ubaque Cundinamarca. Recuperado el Marzo de 2009, de <http://ubaque-cundinamarca.gov.co>

- Gobiernoc, e. I. (2008). Sitio oficial de Fómeque Cundinamarca. Recuperado el Marzo de 2009, de <http://www.fomeque-cundinamarca.gov.co>
- Gomez, J. C. (2009). Sistemas de telecomunicación Planeación y cálculos de enlaces. Bogotá.
- Granados, S. (Febrero de 2009). Comunicacion personal. (D. Puentes, Entrevistador)
- Haykin, S., & Moher, M. (2005). Modern Wireless Communications. USA: Pearson education, Inc.
- Hernandez, I. (2002.). La Investigación Científica un Camino a la Imaginación. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- IEEE. (2008). Recuperado el Marzo de 2009, de History center: One-way police radio communication: [http://www.ieee.org/web/aboutus/history\\_center/one\\_way.html](http://www.ieee.org/web/aboutus/history_center/one_way.html)
- Inter-American, T. C. (2006). Guide to implementation of digital terrestrial television broadcasting. USA: CITEL.
- Lundström, L.-I. (2006 ). Understanding Digital Television. USA: Elsevier Inc.
- Merriam, W. (2009). Diccionario. Recuperado el 22 de Marzo de 2009, de <http://www.merriam-webster.com/dictionary/signal>
- Morocho, M. (2009). Planificacion de radioenlaces con base en topografia digital. Recuperado el Septiembre de 2009, de [sig.utpl.edu.ec/sigutpl/staftpro/sig/radioenlace.PDF](http://sig.utpl.edu.ec/sigutpl/staftpro/sig/radioenlace.PDF)
- RAE. (2009). Real academia española. Recuperado el 2009, de <http://www.rae.es/rae.html>
- Schertz, A., & Weck, C. (2004). The Transmisión of two independent DVB-T multiplex on a single frequency. USA: EBU.
- Tamayo, M. (2001). El Proceso de la Investigación Científica 4ª Edición. México: Limusa.

Tomassi, W. (1996). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas segunda edición.  
Mexico: Prentice Hall.

UIT. (2007). Recomendación UIT-R P.833-6 Atenuacion debida a la vegetacion.  
UIT.

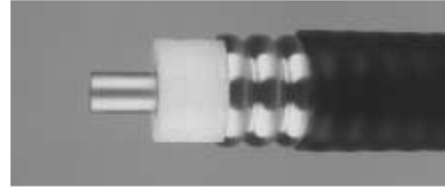
## 10. ANEXOS

### Anexo A. Especificaciones cable y conectores

#### Low Loss Coaxial Cables, FLF-29 (1-1/4")

##### Construction

Item	Nominal Outer Diameter
Inner conductor	12.9 mm
Outer conductor	35.8 mm
Jacket	40 mm



##### Characteristics

Electrical	Specification
Impedance, ohms (at 10 MHz)	50±1Ω
Maximum Frequency, GHz	3.3
Velocity, percent (nominal)	88
Peak Power Rating, kW	202
dc Resistance, ohms/1000 ft (ohms/1000 m) (nominal)	
Inner	0.22 (0.71)
Outer	0.15 (0.48)
dc Breakdown, volts	9000
Jacket Spark, volts RMS	10000
Capacitance, pF/ft (pF/m) (nominal)	22.9 (75)
Inductance, μH/ft (μH/m) (nominal)	0.057 (0.188)
Mechanical	
Outer Conductor Material	Copper
Inner Conductor Material	Copper Tube
Diameter over Jacket, in (mm)	1.57 (40)
Diameter Copper Outer Conductor, in (mm)	1.41 (35.8)
Diameter Inner Conductor, in (mm)	0.508 (12.9)
Minimum Bending Radius, Single Bend, in (mm)	8 (200)
Minimum Bending Radius, Repeated Bends, in (mm)	14 (350)
Number of Bends, minimum	15
Bending Moment, lb-ft (N-m)	36 (49)
Cable Weight, lb/ft (kg/m)	0.67 (1.0)
Tensile Strength, lb (N)	650 (2900)
Flat Plate Crush Strength, lb/in (N/mm)	137 (24)
Storage Temperature, °F (°C)	-94 to +185 (-70 to +85)
Installation and Operation Temperature, °F (°C)	-40 to +185 (-40 to +85)

## Low Loss Coaxial Cables, FLF-29 (1-1/4")

### Attenuation and Average Power

Frequency, MHz	Attenuation, dB/100 ft*	Attenuation, dB/100m*	Average Power, kW
0.5	0.017	0.057	195
1	0.025	0.081	136
1.5	0.030	0.099	110
2	0.035	0.115	94.2
10	0.079	0.260	40.5
20	0.113	0.370	28.2
30	0.139	0.455	22.8
50	0.180	0.590	17.4
88	0.240	0.787	12.9
100	0.256	0.840	12.1
108	0.266	0.874	11.6
150	0.314	1.03	9.76
174	0.338	1.11	9.01
200	0.366	1.20	8.36
300	0.454	1.49	6.74
400	0.536	1.76	5.66
450	0.573	1.88	5.30
500	0.607	1.99	4.99
512	0.616	2.02	4.92
600	0.674	2.21	4.44
700	0.735	2.41	4.07
800	0.789	2.59	3.80
824	0.802	2.63	3.74
894	0.835	2.74	3.55
900	0.838	2.75	3.54
925	0.853	2.80	3.48
960	0.875	2.87	3.40
1000	0.896	2.94	3.32
1250	1.02	3.35	2.90
1500	1.14	3.73	2.60
1700	1.23	4.05	2.37
1800	1.27	4.17	2.30
2000	1.35	4.43	2.17
2200	1.42	4.65	2.07
2300	1.46	4.78	2.00
3000	1.73	5.68	1.67
3300	1.83	6.02	1.58

Standard Conditions: For attenuation VSWR 1.0 ambient temperature 20C (68F). For average power VSWR 1.0 ambient temperature 40C (104F). Inner conductor temperature 100C (212F), no solar loading.

\*Guaranteed maximum attenuation = 105% of specified (nominal) value.

## Low Loss Coaxial Cables, FLF-29 (1-1/4")

### Connectors

Interface	Catalog No.	Description	Inner Contact Attachment	Outer Contact Attachment	Plating Body/Pin	Length in(mm)	O.D. in(mm)	Wt. lb/(kg)	Coupling Nut
N Male	FLF-29NP	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.33 (110)	2.05 (52)	1.46 (0.66)	Hex Head
N Female	FLF-29NJ	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.37 (111)	2.05 (52)	1.48 (0.67)	
IEC 4.1/9.5 Female	FLF-29J	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.13 (105)	2.05 (52)	1.50 (0.68)	Hex Head
7/16 DIN Male	FLF-29DP	Straight	Spring finger	Self-Flare	Silver/Silver	4.65 (118)	2.05 (52)	1.61 (0.73)	Hex Head
7/16 DIN Female	FLF-29DJ	Straight	Spring finger	Self-Flare	Silver/Silver	4.25 (108)	2.05 (52)	1.50 (0.68)	
7/8" EIA Female	FLF-29EF7	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.61 (117)	2.28 (58)	1.68 (0.76)	
1-5/8" EIA Female	FLF-29EF1	Straight	Spring finger	Self-Flare	Silver/Silver	4.96 (126)	3.50 (89)	2.38 (1.08)	



29NP



29NJ



29J



29DP



29DJ

### Accessories

#### Cable Clamps

Recommended Clamping Interval 3 Ft. (1m), Wind Velocity 135 mph (216 km/hr)



BF Type  
Catalog No. FLF-29DAN-BF



B Type  
Catalog No. FLF-29DAN-B



BD Type  
Catalog No. FLF-29DAN-BD



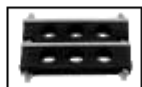
C2 Type  
Catalog No. FLF-29DAN-C2



D Type  
Catalog No. FLF-29DAN-D



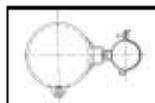
F6 Type  
Catalog No. FLF-29DAN-F6



2F3 Type  
Catalog No. FLF-29DAN-2F3



DC3B Type  
Catalog No. FLF-29DAN-DC3B



C2(OP) Type  
Catalog No. FLF-29DAN-C2(OP)



OP Type  
Catalog No. OP-29DAN

## Low Loss Coaxial Cables, FLF-29 (1-1/4")

### Grounding Kit

Catalog No. GRD-29F

- 1 Set Copper Tightening Clamp with wire
- 1 Tinned Copper Braided Mesh
- 2 Adhesive PVC Tapes
- 2 Self-Bonding Rubber Tapes



### Entry Systems

Catalog No. WFT-29F

- 1 Rubber Boot Gasket
- 1 Holder Plate
- 2 Adhesive PVC Tapes
- 2 Self-Bonding Rubber Tapes



### Cold Shrink Kits

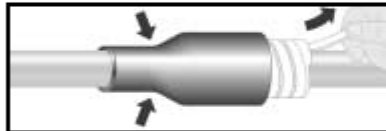
Catalog Nos. CSK-#1-#2

#1 and #2 indicate type of cable to be connected. Please choose from listing below:

Type	#1 or #2
FLF-10	F10
FLF-20	F20
FLF-29	F29
FLF-39	F39
FLS-5	S5
FLS-8	S8
FLS-10	S10
FLS-20	S20

Example:  
To connect FLF-10 cable with FLS-5 cable order CSK-F10-S5.

Exclusions: EIA and right angle connectors



### Hoisting Grips

For Installation:

Catalog No. HSTG-29F

For Hanging/Fixing:

Catalog No. HSF-29F

Recommended

Hoisting Interval:

165 ft. (50m)



Hoisting stocking for installation



Hoisting stocking for hanging/fixing

### General Tools for Connector Attachment

Special Tools, Catalog No. CGF-29

- 1 Cutting Gauge

### General Tools

Connector Attachment Tool Kits, Catalog No. FTK-29F

- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| 1 Tool Box       | 1 Scale           |
| 1 File           | 1 Bristle Brush   |
| 1 Spanner Wrench | 2 Cutting Knives  |
| 1 Wire Brush     | 1 Saw             |
| 1 Screwdriver    | 1 Silicone Grease |
| 1 Torque Wrench  |                   |



### Surge Protection

Both gas tube type and quarter-wave shorting stub lightning surge arrestors are available for both Type N and 7/16 DIN M and F connectors. Refer to Surge Protectors, p. 34, for ordering information.

### Weatherproofing

Seamless watertight seals for field application without heat guns or other tools.

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 1-1/4" Foam, Type N, to 7/8" Foam, Type N       | Catalog No. CSK-FLF-20-N-FLF-29-N |
| 1-1/4" Foam, Type N, to 1-5/8" Foam, Type N     | Catalog No. CSK-FLF-29-N-FLF-39-N |
| 1-1/4" Foam, 7/16 DIN, to 7/8" Foam, 7/16 DIN   | Catalog No. CSK-FLF-20-D-FLF-29-D |
| 1-1/4" Foam, 7/16 DIN, to 1-5/8" Foam, 7/16 DIN | Catalog No. CSK-FLF-29-D-FLF-39-D |

## Low Loss Coaxial Cables, FLF-29 (1-1/4")

### VSWR Specifications

#### Standard Cable: FLF-29-A

Frequency Band MHz	Catalog No.	Using Connector Type	Assembly VSWR, Maximum (R.L., dB)					Remarks
			Length of Assembly:					
			1-15 ft (1-5 m)	15-100 ft (5-30 m)	100-200 ft (30-60 m)	200-500 ft (60-150 m)	Above 500 ft (150 m+)	
4-1.7	FLF-29-A1	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within specified bandwidth
1.7-41	FLF-29-A2	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within specified bandwidth
41-230	FLF-29-A3	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within 60 MHz bandwidth*
230-470	FLF-29-A4	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within 60 MHz bandwidth*
470-960	FLF-29-A5	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within 60 MHz bandwidth*
918-956	FLF-29-A6	N, IEC, DIN, EIA	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within specified bandwidth
1,429-1,513	FLF-29-A7	N, IEC, DIN, EIA	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within specified bandwidth
1,710-1,910	FLF-29-A8	N, IEC, DIN, EIA	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within specified bandwidth
1,920-2,170	FLF-29-A9	N, IEC, DIN, EIA	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	Within specified bandwidth
960-2,700	FLF-29-AA	N, IEC, DIN, EIA	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.15 (23.1)	1.20 (20.8)	1.20 (20.8)	Within 200 MHz bandwidth**
2,700-3,000	FLF-29-AB	N, IEC, DIN, EIA	1.20 (20.8)	1.20 (20.8)	1.20 (20.8)	1.20 (20.8)	1.20 (20.8)	Within specified bandwidth

#### Low VSWR Cable: FLF-29-B

918-956	FLF-29-B1	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.13 (24.3)	1.13 (24.3)	Within specified bandwidth
1,429-1,513	FLF-29-B2	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.13 (24.3)	1.13 (24.3)	Within specified bandwidth
1,710-1,910	FLF-29-B3	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.13 (24.3)	1.13 (24.3)	Within specified bandwidth
1,920-2,170	FLF-29-B4	N, IEC, DIN, EIA	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.10 (26.4)	1.13 (24.3)	1.13 (24.3)	Within specified bandwidth

\*If not specified, maximum VSWR in this range is 1.20.

\*\*If not specified, maximum VSWR in this range is 1.30.

VSWR values apply to right angle as well as straight connectors, unless noted otherwise.

They are guaranteed for assemblies fitted by Dielectric, and are typical for field assemblies.

### FLF-29 (1-1/4")

Interface	Catalog No.	Description	Inner Contact Attachment	Outer Contact Attachment	Plating Body/Pin	Length in(mm)	O.D. in(mm)	Wt. lb/(kg)	Coupling Nut
N Male	FLF-29NP	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.33 (110)	2.05 (52)	1.46 (0.66)	Hex Head
N Female	FLF-29NJ	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.37 (111)	2.05 (52)	1.48 (0.67)	
IEC 4.1/9.5 Female	FLF-29IU	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.13 (105)	2.05 (52)	1.50 (0.68)	Hex Head
7/16 DIN Male	FLF-29DP	Straight	Spring finger	Self-Flare	Silver/Silver	4.65 (118)	2.05 (52)	1.61 (0.73)	Hex Head
7/16 DIN Female	FLF-29DJ	Straight	Spring finger	Self-Flare	Silver/Silver	4.25 (108)	2.05 (52)	1.50 (0.68)	
7/8" EIA Female	FLF-29EF7	Straight	Spring finger	Self-Flare	Nickel/Silver	4.61 (117)	2.28 (58)	1.68 (0.76)	
1-5/8" EIA Female	FLF-29EF1	Straight	Spring finger	Self-Flare	Silver/Silver	4.96 (126)	3.50 (89)	2.38 (1.08)	

Anexo B. Especificaciones de la antena



6340 Sky Creek Drive  
Sacramento, California 95828 USA

Telephone (916) 383-1177  
Fax (916) 383-1182

## JUHD

### Broad Band UHF Panel Antenna

- DTV , DVB-T/H, ANALOG  
NTSC, PAL
- UHF BANDS IV & V  
COVERAGE
- FLEXIBLE PANEL PLACEMENT  
FOR CUSTOM PATTERNS
- BROAD BAND - MULTIPLE  
CHANNEL OPERATION
- OPTIONAL MOUNTING  
SPINE FOR TOP MOUNT  
CONFIGURATION
- DURABLE AND RUGGED  
STAINLESS STEEL  
CONSTRUCTION
- FIBERGLASS RADOME  
PROTECTION

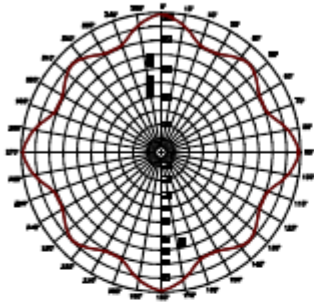




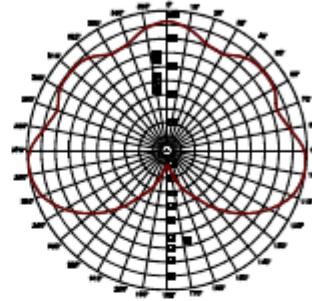
6340 Sky Creek Drive  
Sacramento, California 95828 USA

Telephone (916) 383-1177  
Fax (916) 383-1182

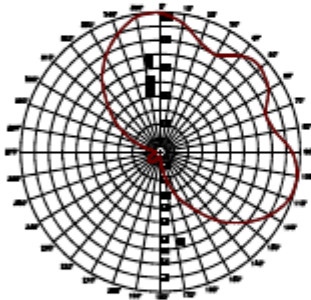
## Typical Azimuth Patterns



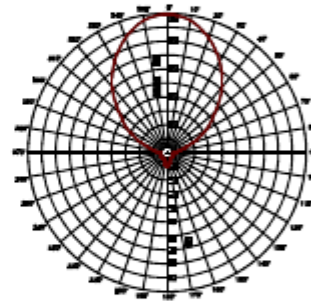
Omni



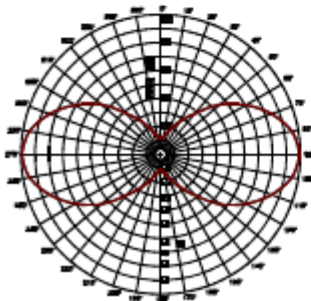
Wide Cardioid



Narrow Cardioid



Lobe



Peanut

*All inputs ELA flange, female. In an omnidirectional configuration, circularity is  $\pm 2$  dB (3 ft. or smaller). Input connection is ELA 50 ohm.*

*For assistance in pattern selection or design of a customized pattern, contact JAMPRO. Our Engineers and Sales Staff are highly trained in designing specialized systems, and are always willing to help.*



6340 Sky Creek Drive  
Sacramento, California 95828 USA

Telephone (916) 383-1177  
Fax (916) 383-1182

## JUHD

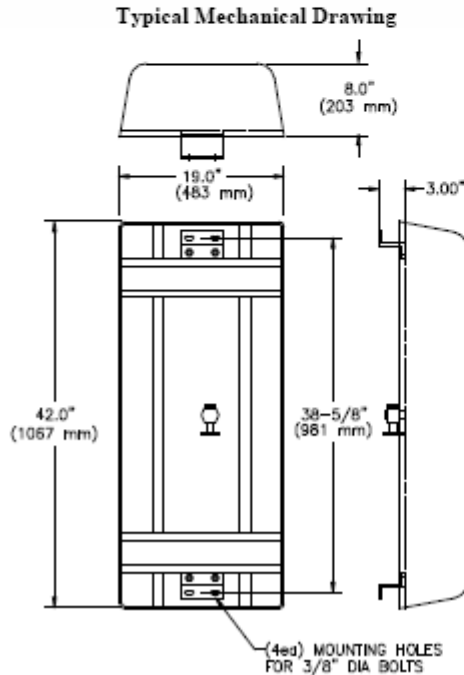
### Specifications

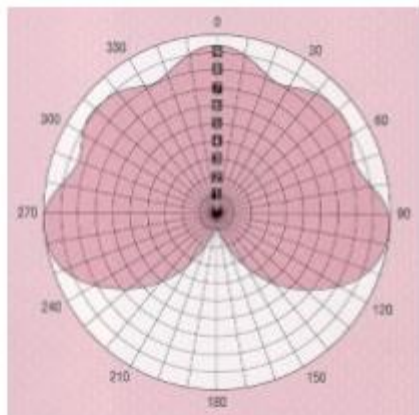
<b>POLARIZATION</b>	<b>Horizontal</b>
<b>FREQUENCY RANGE</b>	<b>470-800 MHz</b>
<b>IMPEDANCE</b>	<b>50 ohm</b>
<b>VSWR</b>	<b>1.1:1</b>
<b>SURFACE</b>	<b>4.8 square ft.</b>
<b>POWER RATING</b>	<b>2.5 kW Per Panel</b>

JAMPRO's goal is to design and manufacture broadcast antenna systems that provide our customers with the highest quality technology and construction available today. All of JAMPRO's products are built to the customers' specifications. There are no "off the shelf" antenna systems available. It is this commitment to quality and innovation that has made us the industry leader for more than 40 years.

For more information about how JAMPRO can help your station achieve the signal performance you desire, contact our Sales Department at (916) 383-1177, fax (916)383-1182, email [jampro@jampro.com](mailto:jampro@jampro.com), or [www.jampro.com](http://www.jampro.com).

All specifications are subject to change





**TYPICAL AZIMUTH PATTERNS**

**Electrical Specifications**

**Mechanical Specifications**

# of Bays	Power Gain	Gain (dB)	Net Weight	Windload(lbs.)
2	10.5	10.2	299	1080
4	21.0	13.2	598	2159
6	31.7	15.0	896	3239
8	42.3	16.3	1195	4319
10	52.8	17.3	1494	5398
12	63.4	18.0	1164	6478
14	74.0	18.7	2058	7558
16	84.5	19.3	2352	8637