

Estudio de propagación sobre áreas de cobertura y áreas de interferencia para la difusión de televisión digital terrestre en Bogotá

Favian David García Cabrera

Resumen— En este artículo se muestra el desarrollo de un estudio de propagación realizado para sugerir nuevos puntos en los cuales ubicar estaciones transmisoras de televisión digital terrestre según el cambio en la forma por la cual se va a realizar la transmisión de la señal pasando de un sistema analógico al estándar europeo llamado DVB-T, el cual se implementará en el país en el periodo 2008-2019.

Palabras Claves—DVB-T, estación transmisora, intensidad de campo, potencia de la señal, SFN, MFN, estudio de propagación, potencia, Bogotá, Radio Mobile.

I. INTRODUCCION

DADO que el mundo avanza a medida que factores como la tecnología lo hace, Colombia no se quiere quedar atrás con el sistema de televisión que ofrece a sus habitantes. Para esto, por medio de la televisión digital terrestre, quiere modificar todo el sistema analógico a uno digital el cual le permita al televidente disfrutar de beneficios tales como la accesibilidad, la alta definición en video y audio, la opción que todo tipo de público haga parte del desarrollo de la misma y al hablar de esto se puede hacer referencia al tema más importante que podrá ofrecer la TDT que es la interactividad.

El objetivo principal del proyecto de investigación está orientado a cumplirse en el momento en que por medio de un estudio de propagación se planeen nuevas redes de transmisión de la señal digital desde las cuales se haga un mejor aprovechamiento de la cobertura de la capital y de paso evitar un problema muy importante dentro de las características de operación del sistema de televisión digital adoptado por el país llamado DVB-T.

El nuevo sistema de televisión que se implementará en Colombia tiene como característica principal que trabaja con un esquema de red SFN cambiando del sistema MFN que trabaja la televisión analógica, creando problemas de interferencia en zonas en las cuales dos o más estaciones transmisoras comparten área de cobertura.

Por medio de un estudio de altimetría se plantea la posibilidad de trabajar una red diferente a la cual esta funcionando en la actualidad desde las estaciones de Calatrava, Manjuí y Boquerón de Chipaque, planteando 7 escenarios en los cuales se hace uso de un solo transmisor, dos o los mismos tres que trabajan en la actualidad pero con

parámetros de potencia de transmisión y ubicaciones diferentes.

El resultado de las pruebas permite hacer una comparación grafica y numérica del resultado de las mediciones hecho desde puntos estratégicos adoptado para las estaciones actuales frente a mediciones hechas para los mismos puntos tomadas desde el funcionamiento de las diferentes pruebas.

II. MARCO TEORICO

A. Potencia en el sistema de transmisión

Según la potencia de salida que el transmisor entrega a la línea de transmisión y a la antena, los sistemas pueden clasificarse como:

-- Baja potencia: se clasifica como sistemas de baja potencia a aquellos en que la potencia de salida del transmisor es inferior a 500 w.

-- Media potencia: Cuando la potencia de salida es superior a 500 w, e inferior a 10 Kw.

-- Alta potencia: Cuando la potencia de salida del transmisor es superior a 10 Kw.

B. El sistema de transmisión

En términos generales, la arquitectura de los transmisores, bien sean analógicos o digitales, es prácticamente la misma y se ilustra en la fig. 1, donde el excitador contiene, básicamente, al modulador, cuya salida es una señal modulada a la frecuencia de la portadora o a alguna frecuencia intermedia, en cuyo caso, contiene también un conversor ascendente para trasladar la señal en frecuencia modulada a la frecuencia de la portadora del canal de RF. En los transmisores digitales, el modulador puede incluir también al codificador de canal.

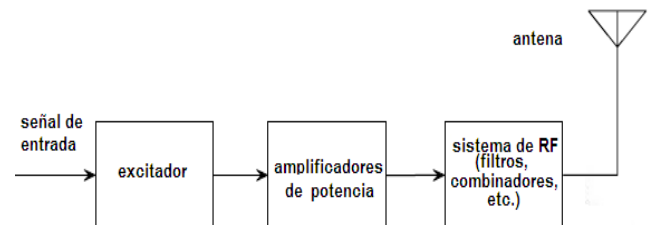


Fig. 1 Arquitectura básica de un transmisor de televisión.

Como parte del excitador también suelen incluirse los amplificadores de baja potencia para la señal modulada que,

dependiendo del diseño particular del transmisor, pueden proporcionar una señal de RF desde unas fracciones de vatio hasta unos 50 watts. En la tecnología actual de los transmisores de televisión el excitador está constituido por elementos de estado sólido (Pérez, 2005).

A continuación se explican los aspectos comunes y diferencias entre los sistemas de transmisión entre un sistema analógico y uno digital [1]

1) Aspectos comunes de transmisión (A/D)

-- Medio de transmisión: En los sistemas de transmisión terrestre de televisión el medio de transmisión es el mismo: la atmósfera terrestre en su porción inferior cercana a la superficie de la tierra. Las características del entorno terrestre como montañas, valles, construcciones, etc., influyen en el comportamiento de las ondas electromagnéticas y, por tanto, en las características de la señal que llega a la antena receptora. Esta influencia, aunque en algunos aspectos básicos como la atenuación, es similar ya sea que se trate de señales analógicas o digitales, hay algunos efectos, principalmente debidos a las trayectorias múltiples que siguen las ondas electromagnéticas, que pueden afectar más a las señales digitales que a las analógicas. En condiciones de propagación en espacio libre, cuando no hay obstáculos entre las antenas transmisora y receptora, el comportamiento de la atmósfera es el mismo.

-- El uso de antenas: Los sistemas de transmisión terrestre emplean antenas, tanto para transmitir como para recibir las señales de televisión. Las antenas son los elementos que convierten la energía de radiofrecuencia en un circuito a energía electromagnética radiada al espacio, si se trata de antenas transmisoras, o la función inversa en el caso de antenas receptoras. Todas las antenas tienen la propiedad de que pueden actuar lo mismo como transmisoras que como receptoras. En el caso de antenas receptoras, la potencia que tienen que manejar suele ser muy pequeña y pueden construirse con elementos que no necesitan manejar voltajes, corrientes o potencias elevadas. Las antenas usadas como transmisoras deben ser capaces de manejar, sin sufrir daños, la potencia que les suministre el transmisor. Sin embargo, estos son aspectos a considerar en la implementación técnica y no tienen que ver con el tipo de señal que tengan que manejar las antenas.

En condiciones ideales, una antena es “transparente”, independientemente de que lo que transmita sean señales analógicas o digitales. Esto significa que el mismo tipo de antena puede usarse para televisión analógica que para digital. Las condiciones ideales suponen principalmente que la respuesta en frecuencia de la antena es plana en la banda de interés, en este caso, la banda correspondiente al canal de televisión de que se trate.

-- Líneas de transmisión y guías de onda: La “transparencia” mencionada para las antenas es también válida para las líneas de transmisión y guías de onda, sin embargo, hay que hacer aquí una aclaración. Las líneas de transmisión y

guías de onda deben ser capaces de manejar, sin dañarse, tanto la potencia promedio como la potencia pico de radiofrecuencia. En televisión analógica, la relación entre la potencia de pico y la potencia promedio es del orden de 2 dB, en tanto que en televisión digital las características de la señal modulada hacen que esta relación sea del orden de 10 dB. Este es un factor importante a tener en cuenta en la implementación de los sistemas transmisores o, en el caso de sistemas analógicos preexistentes, en su adecuación para la transición de analógico a digital.

-- Transmisores: En las pruebas iniciales de transmisión digital terrestre se utilizaron transmisores analógicos operativos, para lo cual se les sometió a algunas modificaciones que pueden considerarse menores y que consisten principalmente en la modificación o sustitución del modulador y en ajustes en el excitador y los amplificadores de potencia para poder manejar las mayores potencias de pico de la señal digital. Por lo demás, y asumiendo que el transmisor está bien ajustado y su respuesta en frecuencia es plana en la banda de paso del canal de interés, puede considerarse que el transmisor es también transparente y por así decirlo, “no le importa” si las señales a transmitir son analógicas o digitales.

2) Diferencias entre los sistemas de transmisión (A/D)

En un sistema analógico todo el ancho de banda del canal es ocupado por la señal de un único programa (vídeo + audio asociado). En un sistema digital, el mismo ancho de banda es ocupado por las señales de hasta cuatro a seis programas. La eficiencia espectral es, por tanto de cuatro a seis veces mayor en los sistemas de transmisión digital de televisión.

La relación entre la potencia máxima o de pico y la potencia efectiva es del orden de 2 dB en el caso analógico y de unos 10 dB en el digital, lo que impone condiciones más severas de funcionamiento a los amplificadores de potencia de los transmisores digitales.

La degradación de la señal en función de la distancia al transmisor es paulatinamente más suave en los sistemas analógicos que en los digitales. En éstos la señal se degrada rápidamente y puede decirse que la señal se recibe bien hasta una cierta distancia a partir de la cual deja de recibirse. Esto no ocurre en los sistemas analógicos.

La naturaleza espectral de la señal analógica hace que no sea posible la asignación de canales adyacentes en una misma zona de cobertura, lo que reduce la posibilidad de utilización del espectro prácticamente en un 50%. Esta situación no se da en el caso digital, en que sí es posible el funcionamiento en canales adyacentes en la misma zona.

El procesamiento de la señal suministrada al transmisor es considerablemente más complejo en el caso digital que en el analógico. Las ventajas de los sistemas digitales se consiguen a expensas de esta mayor complejidad [2].

C. Topologías de las redes de televisión

El despliegue de la red de televisión en la actualidad para Colombia, se hace por medio de un esquema de red donde

para cada operador tiene asignadas una serie de frecuencias para trabajar a lo largo del área de cobertura.

Este esquema de red permite difundir la señal a un 97% del país [3], pero con la llegada de la TDT cambia el esquema mostrando beneficios y problemas.

Los dos diferentes tipos de red que se maneja para la difusión de la señal de televisión son:

1) Redes de frecuencia múltiple

Las redes de frecuencia múltiple o MFN (Multiple Frequency Network), son aquellas de las que más hace uso el sistema analógico. La topología de red consiste en que cada operador de televisión tiene asignados diferentes anchos de banda de 6 MHz correspondiente al espacio espectral para la difusión de la señal, para operar tanto en las redes de alta potencia con las de potencia media y baja.

Con cada uno de estos diferentes anchos de banda permite hacer cubrimiento sectorizado, permitiendo que desde varias estaciones se emita el mismo canal en diferentes frecuencias y tener una mayor cobertura llegando a zonas que otra estación no alcanza a cubrir. La principal ventaja de este sistema de transmisión es que permite trabajar libremente los contenidos evitando el problema de interferencias, puesto que lo más posible es que dos o más estaciones cercanas trabajen el mismo canal a diferentes frecuencias y una frecuencia que ya está en uso se repite donde la estación que la trabajaba no alcanza a tener cobertura.

La principal desventaja de este tipo de red es que utiliza varios anchos de banda para la difusión del mismo canal de televisión, impidiendo que se le asignen estas frecuencias a otro tipo de telecomunicaciones.

2) Redes de frecuencia única

Las redes de frecuencia única o SFN (Single Frequency Network), son aquellas en las cuales a lo largo de toda la red de estaciones de transmisiones, cada canal puede emitir sus contenidos en un único ancho de banda, haciendo que todas las estaciones estén sincronizadas para que la señal no supere el intervalo de guarda y el contenido que se quiera emitir llegue sin problemas a todos los receptores.

El factor a favor más grande que tienen las redes SFN es que hace una liberación de frecuencias que en la topología MFN se le hubiesen asignado para cubrir zonas específicas o diferentes locaciones, permitiendo trabajar en todo tipo de redes de potencia (alta, media y baja), pero a su vez presenta un gran problema frente a las áreas de múltiple cobertura, puesto que para hacer un cubrimiento extenso se hace necesario el uso de más de una estación para que la señal no llegue a los límites de esta zona con baja intensidad. Al hacer uso de más de una estación, se presentan zonas donde por propiedades de las señales se presentan fenómenos de eco y llegan al receptor ecos de las estaciones a las cuales el receptor pertenece a su área de cobertura y ecos de otras estaciones distantes.

III. ZONA DE ESTUDIO

El proyecto de investigación tiene como zona de estudio la capital colombiana. Bogotá está ubicada en el centro del país, en la cordillera oriental, ramal de los Andes americanos y perteneciente al altiplano cundiboyacense, la capital del país conocida como la Sabana de Bogotá, tiene una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte y 16 kilómetros de oriente a occidente y se encuentra situada en las siguientes coordenadas [4]:

-- Latitud Norte: 4° 35'56"

-- Longitud Oeste: 74°04'51"

La altura media está en los 2.600 metros (2.625 metros más exactamente según el instituto geográfico Agustín Codazzi y el mapa de altimetría mostrado por RADIO MOBILE) sobre el nivel del mar. Para efectos de visualización la fig. 2 capturada desde el software Radio Mobile, permite ver con más exactitud el mapa de altimetría de Bogotá.

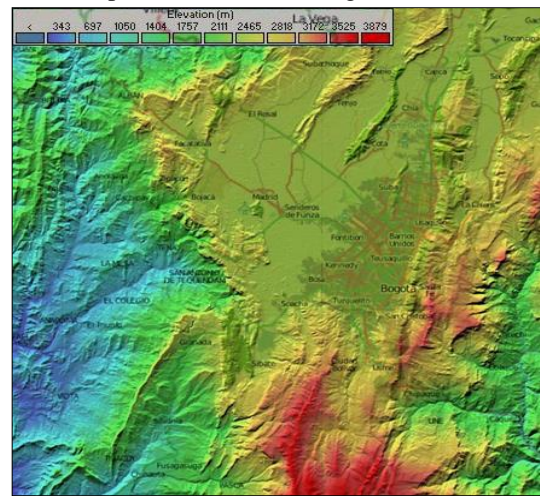


Fig. 2. Imagen capturada de software Radio Mobile [5]

En la fig. 2 se observa un plano de alturas variables desde 343 metros mostrando las zonas azules correspondientes a esta altura, haciendo un degradado de color hasta 3879 metros que es la altura máxima mostrada de color rojo. También se puede observar que para la herramienta utilizada, la altura promedio está alrededor de los 2550 metros en la zona occidental, que en la zona norte se encuentra el Cerro de Suba con una altura máxima promedio de 2650 metros, en los cerros orientales el altiplano asciende a una altura promedio de 2580 metros mientras en los cerros orientales la altura varía desde 2900 metros en la zona norte hasta 3400 metros en la zona sur donde está localizada la mayor zona montañosa de la capital.

Dentro del estudio realizado en el IGAC y teniendo en cuenta el mapa de altimetría de la ciudad mostrado por RADIO MOBILE (R.M.), se planteó que para el desarrollo de siete pruebas se ubicarán estaciones en puntos estratégicos los cuales muestren los mejores resultados para cada prueba.

Inicialmente se contemplará la posibilidad de cubrir la capital colombiana con la señal de TDT haciendo uso de un solo transmisor, también se analizará el sistema haciendo uso de dos estaciones transmisoras y finalmente se pondrá a radiar el sistema de TDT utilizando las mismas tres estaciones que se

usan en la actualidad para la difusión del sistema de televisión analógica.

Los puntos sugeridos para la transmisión del sistema de TDT visto desde 7 redes diferentes se muestran en la tabla 1

TABLA 1.

UBICACIONES SUGERIDAS PARA LAS ESTACIONES DE LAS 7 PRUEBAS

PRUEBA	TIPO DE ALTURA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.
1	Baja	4°39'25,2" N	74°7'26,3" W	2546,55 m
2	Alta	4°34'40,2" N	74°3'11,9" W	3.446,38m
3	Baja	4°40'23,3" N	74°11'40,6" W	2540,6 m
4-1	Media	4°43'37" N	74°4'51" W	2.702,88 m
4-2	Media	4°29'56,1" N	74°9'42,6" W	3.393,98 m
5-1	Alta	4°39'57,2" N	74°1'40,51" W	3.199,77 m
5-2	Alta	4°32'33,8" N	74°4'13,25" W	3.407,85 m
6-1	Media	4°48'6,05" N	74°12'44,8" W	2.619,31 m
6-2	Media	4°33'36,8" N	74°9'35,56" W	2.794,14 m
7-1	Media	4°46'21,7" N	74°1'23" W	2.691,82 m
7-2	Media	4°42'38,8" N	74°15'41" W	2.645,97 m
7-3	Alta	4°32'33,8" N	74°4'13,25" W	3.407,85 m

IV. MEDICIONES

Las mediciones se pueden hacer de dos formas diferentes: la primera de ellas de tipo cuantitativa es el sistema RADIO LINK, esta herramienta interna de RADIO MOBILE muestra numéricamente los datos resultantes del sistema de comunicación entre una estación transmisora y una receptora. La fig. 3 muestra la vista de la herramienta.

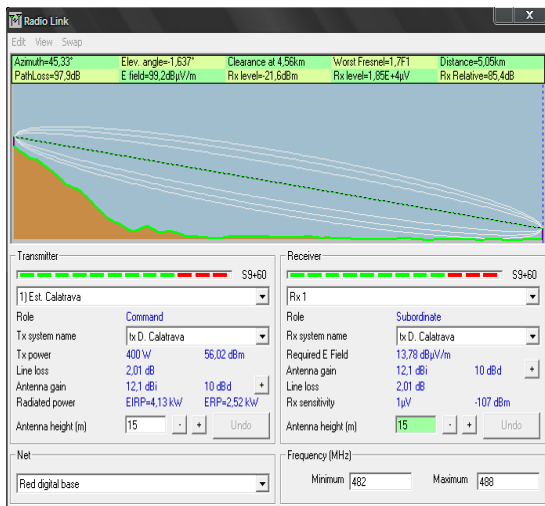


Fig. 3. Vista de la herramienta Radio Link

El proceso de medición se realiza con todos los puntos pertenecientes al área de cobertura de la estación de transmisión. Para la medición y comparación de los datos, se trazan radiales según la UIT, donde cada 5Km, 10 Km y 20 Km se ubica una estación receptora. Este proceso se realiza para el funcionamiento estándar desde las estaciones actuales para hacer la comparación entre los resultados mostrados por los escenarios planteados en las 7 diferentes pruebas.

El resultado de las mediciones mostrado en la tabla 2, corresponde a las mediciones hechas a los puntos dentro de los radiales de la estación de Calatrava. El mismo proceso se realizó para las estaciones de Manjuí y Boquerón de Chipaque.

TABLA 2

MEDICIONES PARA LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES A LA ESTACIÓN CALATRAVA.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL DE LA SEÑAL (dBm)	DISTANCIA Km
1	99,2	-21,6	5
2	99,3	-21,5	5
3	99,3	-21,5	5
4	97,1	-23,7	5
5	99,1	-21,7	5
6	97,0	-23,8	5
7	97,1	-23,6	5
Prom	98,3	-22,4857143	5
8	90,9	-29,8	10
9	93,1	-27,7	10
Prom	92	-28,75	10
10	89,0	-31,8	15
11	89,4	-31,4	15
Prom	89,2	-31,6	15

Una vez se obtienen de forma numérica los datos de la transmisión el cual está orientado a explicar la comunicación entre dos puntos, RADIO MOBILE ofrece la segunda opción de medición de datos llamada POLAR RADIO COVERAGE la cual muestra gráficamente los parámetros de la comunicación en cierta área de cobertura. La herramienta POLAR RADIO COVERAGE en la opción THRESHOLD ofrece varios tipos de mediciones, solo se tendrán en cuenta las mediciones de intensidad de campo medida en dBuV/m y las de potencia de señal medidas en dBm ya que como se muestra en la fig. 4 correspondiente al escenario base, son los parámetros de medición que la CNTV tiene en cuenta para las mediciones.

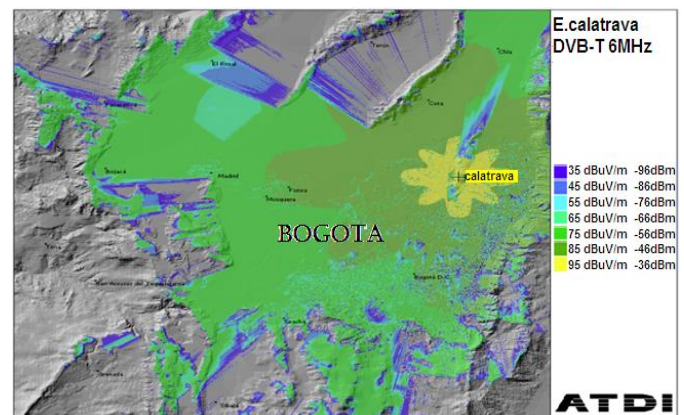


Fig. 4. Escenario base de transmisión digital en Calatrava [6].

Teniendo como base el escenario mostrado en la fig. 4, la fig. 5 y la fig. 6 muestran gráficamente el comportamiento de la señal medida en intensidad de campo y potencia desde la

estación de Calatrava.

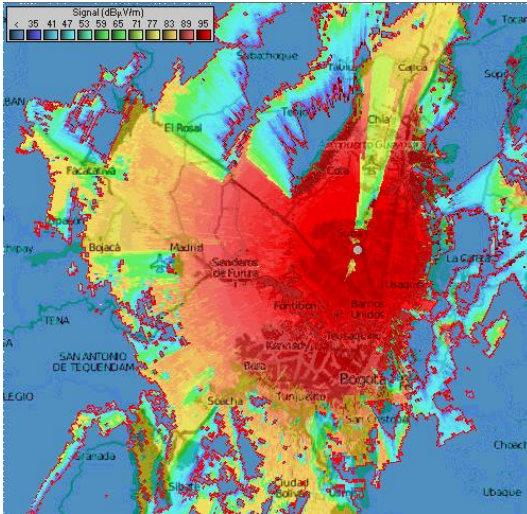


Fig. 5. Cobertura en intensidad de campo desde la estación de Calatrava

El resultado de las mediciones en potencia de la señal varían desde -96dBm que es el nivel mínimo de potencia establecido en el escenario base de la fig. 43 hasta -36dBm que es el nivel máximo y las mediciones de intensidad de campo varían desde 36dBu/m siendo el nivel mínimo de intensidad hasta 95dBu/m que es el nivel máximo.

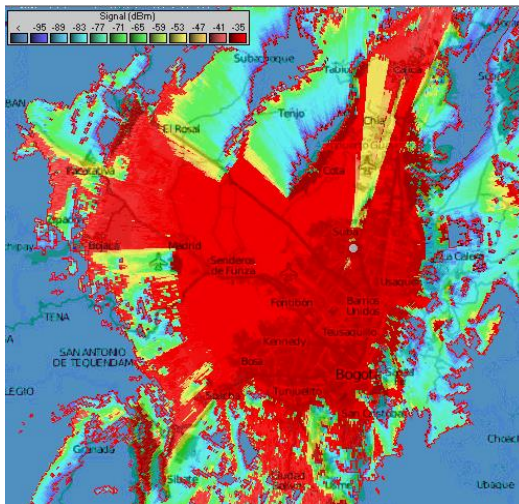


Fig. 61. Cobertura en potencia de la señal desde la estación de Calatrava.

V. RESULTADOS

Una vez realizadas las 7 pruebas desde los puntos sugeridos por el estudio de altimetría y teniendo los valores numéricos en intensidad de campo y potencia de la señal, se realiza la comparación de las mediciones de los datos para cada estación según la recomendación UIT y por medio de las 7 pruebas se realizan las mediciones en los mismos puntos sin hacer la traza de radiales para cada estación sino que se hacen directamente con los puntos correspondientes a las estaciones actuales para poder analizar el comportamiento en los mismos puntos en el momento que se cambian las estaciones.

En la tabla 3 se comparan los datos numéricos resultado de las 7 pruebas y las predicciones estándar para las estaciones actuales y los diagramas de las fig. 7 y 8 muestran la comparación entre el resultado de las 7 pruebas y los resultados desde las estaciones de televisión actuales.

La fig. 7 muestra que en intensidad de campo los valores más cercanos al obtenido por la predicción estándar son los de las pruebas 5 y 7, ya que las otras disminuyen en la recepción de la señal, además en potencia de la señal se observa que las pruebas 5 y 7 están dentro de las mas opcionadas a tener la misma cobertura ya que las otras se igualan a la predicción estándar o están por encima del rango de cobertura.

En la fig. 8 se observa que los datos que se acercan o superan el nivel estándar de intensidad de campo son los de la prueba 2,4,5,6 y 7, también se observa que la cobertura asignada para la estación de Manjuí todas las pruebas están por encima del valor estándar pero para la cobertura de boquerón de Chipaque, solo están a su nivel o mejor la prueba 2, 3, 4,6 y 7 por lo que se podría afirmar que las que mejor resultado ofrece y que mejoran los niveles de cobertura son las pruebas 5 y 4

VI. CONCLUSIONES

El análisis del sistema de radiación de la señal de televisión en el formato de televisión digital, se analizó desde siete pruebas diferentes de las cuales se puede concluir que siempre y cuando se utilice un solo transmisor para el cubrimiento de la capital, este no podrá hacer toda la cobertura en los niveles mínimos de servicio debido a las condiciones geográficas de la capital colombiana. Cuando se trabaja con dos o más estaciones siempre se va a presentar el problema de interferencias, puesto que no se puede localizar una barrera la cual impida el paso de la señal y en el momento que se pretenda hacer mejor cobertura, se tienen que alterar los patrones de radiación incrementando las zonas donde se presente el problema de múltiple cobertura.

La herramienta utilizada en este proyecto de investigación permite hacer el análisis de un sistema de radiación de señales cualquiera que fuera su propósito incluyendo el proceso de difusión de señales de televisión, pero no permite hacer una especificación del tipo de servicio el cual se quiera analizar. La herramienta RADIO MOBILE está diseñada para hacer el análisis de radioenlaces teniendo desventajas frente a la herramienta utilizada por la CNTV para el mismo tipo de investigaciones llamada ICS TELECOM, la cual hace un completo estudio de las redes de televisión digital teniendo en cuenta la variación de estándares y las propiedades que cada uno de ellos ofrece. Dentro de las principales desventajas de la herramienta seleccionada se hace notable el manejo de la cartografía, pues ICS TELECOM al ser una herramienta privada puede ofrecer mapas de altimetría detallados donde las construcciones y edificaciones hacen parte del proceso de estudio del transporte de la señal frente a la cartografía ofrecida por RADIO MOBILE que solo ofrece un estudio de altimetría orientado a condiciones y deformaciones geográficas.

Sobre el resultado de las pruebas, por medio del presente estudio de propagación se sugieren dos escenarios que podrían mejorar el sistema de difusión del sistema de televisión digital. El escenario que presenta mejores resultados es el mostrado en la prueba 5 donde se hace la transmisión desde dos estaciones ubicadas en Chía y Guadalupe. Esta prueba permitiría el dejar fuera de uso la estación de red primaria de Manjuí, la cual hace un uso elevado de potencia trabajando a 20kW, además, esta prueba minimiza el área de múltiple cobertura ya que solo trabaja dos transmisores a 500W. El otro escenario de funcionamiento sugerido es el presentado en la prueba 7, donde se hace el uso de las mismas tres estaciones de transmisión, todas ellas trabajando en un esquema de red secundaria ubicadas en Chía, Madrid y Guadalupe. La principal ventaja del sistema de la prueba 7 frente al de la prueba 5 es que se abarca una mayor zona de cobertura dentro de los niveles mínimos de recepción pero se crean más áreas de múltiple cobertura y se tiene trabajando una estación más. Para un eventual cambio en la red de televisión se podría elegir entre los resultados de la prueba 5 que minimiza gastos de potencia frente a los de la prueba 7 donde se tiene una área de cobertura más extensa.

REFERENCIAS

- [1] Pérez, C. (2005). Introducción a los sistemas transmisores de televisión. España: Universidad de Cantabria. Recuperado en <http://personales.unican.es/perezvr/index.htm> [2011, 14 de marzo].
- [2] Pérez, C. (s.f). Transmisión de televisión digital. España: Universidad de Cantabria. Recuperado en <http://personales.unican.es/perezvr/index.htm> [2011, 14 de marzo].
- [3] CNTV. (2009). Plan de Desarrollo de Televisión 2010-2013 (pp. 18-21). Recuperado en http://www.cntv.org.co/cntv_bop/plan_2013/plan_desarrollo.pdf. [2011, 14 de marzo]
- [4] Bogotá. (2011). Página oficial de Bogotá. Recuperado en <http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.27.html>
- [5] RADIO MOBILE (2011). Sitio oficial de RADIO MOBILE. Recuperado el marzo de 2011 de <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
- [6] Comisión N. d. T. (2008). Televisión Digital terrestre. Recuperado el Marzo de 2011, de http://www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/documentos/tdt_colombia.pdf.