

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA DE
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE PARA LAS ESTACIONES MANJUI,
CALATRAVA Y BOQUERÓN DE CHIPAQUE EN BOGOTÁ**

**ALEXANDRA ACEVEDO ARTECHE
KAREN MARCELA GUTIÉRREZ CALDERÓN**

Trabajo de grado

Director
Ing. Hugo Herley Malaver Guzmán

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA, PROGRAMA INGENIERÍA EN
TELECOMUNICACIONES**

BOGOTÁ

2011

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA DE TELEVISIÓN
DIGITAL TERRESTRE PARA LAS ESTACIONES MANJUI, CALATRAVA Y
BOQUERÓN DE CHIPAQUE EN BOGOTÁ

ALEXANDRA ACEVEDO ARTECHE
KAREN MARCELA GUTIÉRREZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2011

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA DE TELEVISIÓN
DIGITAL TERRESTRE PARA LAS ESTACIONES MANJUI, CALATRAVA Y
BOQUERÓN DE CHIPAQUE EN BOGOTÁ

ALEXANDRA ACEVEDO ARTECHE
KAREN MARCELA GUTIÉRREZ CALDERÓN

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero
en Telecomunicaciones

Director
Ing. Hugo Herley Malaver Guzmán

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2011

Luis Eduardo Tabares Marín

José de Jesús Rugeles Uribe

Bogotá, 2 de Mayo de 2011

DEDICATORIA

Dedicado a Dios principalmente,
A nuestros padres y hermanos,
familiares y amigos más cercanos
por su incondicional apoyo.

Alexandra y Karen

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero Hugo Malaver, director del proyecto, por su aporte significativo al desarrollo de éste. Gracias por brindar su tiempo y conocimientos del tema, por su asesoría técnica y orientación que nos permitió mantener los objetivos claros y obtener los resultados.

Cristhian González, ingeniero electrónico del área de transmisión de la entidad RTVC, por su orientación en el tema de la televisión digital en Colombia y por la colaboración con la información utilizada para el desarrollo del proyecto.

Ingeniero Luis Eduardo Tabares, profesor del programa de ingeniería en telecomunicaciones y lector del libro, por su aporte en la elaboración de éste documento.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo general	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	ANTECEDENTES	14
1.4	UBICACIÓN DEL PROYECTO	17
1.5	ÁREA DE TRABAJO	18
1.6	FUNDAMENTOS Y CARACTERÍSTICAS.....	18
1.7	RADIO Y TELEVISIÓN NACIONAL DE COLOMBIA	18
2.	MARCO TEÓRICO.....	20
2.1	MARCO CONCEPTUAL	20
2.1.1	Televisión Análoga Actual en Colombia	20
2.1.2	Televisión digital terrestre	21
2.1.3	Redes de frecuencia única	26
2.2	MARCO REFERENCIAL.....	30
2.2.1	Análisis de ingeniería	30
2.2.2	Recomendación ETSI EN 300 744.....	31
2.2.3	Recomendación ETSI TR 101 190.....	33
2.2.4	Recomendaciones UIT-R P.525-2 y UIT-R P.526-10.....	37
2.2.5	Recomendación UIT-R BT.1368-8	38
2.2.6	Unidades	40
2.2.7	Xirio Online.....	41
3.	INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	43
3.1	ESTADO DEL ARTE	43
3.1.1	Sistema Actual	43
3.2	ANÁLISIS DE VARIABLES DE INGENIERÍA.....	55
3.2.1	Potencia	55
3.2.2	Cobertura	57
3.2.3	Retardos.....	61
3.2.4	Interferencias	63
3.3	REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO.....	64
3.3.1	Potencia	64
3.3.2	Tipo de recepción.....	65
3.3.3	Niveles de C/N requeridos	66
3.3.4	Niveles de intensidad de campo.....	66

3.3.5	Cobertura	67
3.3.6	Retardos.....	67
3.3.7	Relaciones de protección e interferencias.....	68
3.3.8	Frecuencias.....	69
3.3.9	Canalización.....	70
3.4	DISEÑO	71
3.4.1	Diseño general	71
3.4.2	Diseño detallado.....	75
4.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
4.1	METODOLOGÍA.....	82
4.2	SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
4.2.1	Parámetros de transmisión	83
4.2.2	Parámetros de recepción	85
4.2.3	Cobertura Boquerón de Chipaque	86
4.2.4	Cobertura Calatrava	87
4.2.5	Cobertura Manjui.....	89
4.2.6	Cobertura Multitransmisor	90
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	94
5.1.1	Diseño propuesto	94
5.1.2	Diseño mejorado	94
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cobertura de las estaciones Vaasa y Lapua en Finlandia sin ajustes. ...	15
Figura 2. Cobertura de las estaciones Vaasa y Lapua en Finlandia con ajustes. ...	16
Figura 3. Espectro de Frecuencia de una canal NTSC.....	21
Figura 4. Adaptador canal terrestre.	22
Figura 5. Paquete de transporte MPEG-4 del multiplexor.....	23
Figura 6. Paquetes de transporte aleatorizados.	23
Figura 7. Codificación Reed Solomon RS (204, 188, T=8).	24
Figura 8. Entrelazado externo.....	25
Figura 9. MFN.....	27
Figura 10. SFN.....	28
Figura 11. Redes SFN dentro de las redes MFN.....	28
Figura 12. Relación de cobertura y carga útil según el tipo de modulación.....	31
Figura 13. Sistema de televisión análogo.....	44
Figura 14. Propiedades del transmisor análogo Boquerón de Chipaque.....	49
Figura 15. Propiedades del transmisor análogo Manjui.....	49
Figura 16. Propiedades del transmisor digital Calatrava.....	50
Figura 17. Parámetros de recepción para la estación Boquerón de Chipaque.....	51
Figura 18. Parámetros de recepción para la estación Manjui.....	51
Figura 19. Parámetros de recepción para la estación Calatrava.....	52
Figura 20. Cobertura Análoga Boquerón de Chipaque.....	52
Figura 21. Cobertura Análoga Manjui.....	53
Figura 22. Cobertura Análoga Manjui sobre Bogotá.....	53
Figura 23. Cobertura Digital Actual Calatrava.....	54
Figura 24. Cobertura de Bogotá con las estaciones análogas del sistema actual.....	55
Figura 25. Patrón de Radiación AT 13 -240, Plano E.....	57
Figura 26. Patrón de Radiación AT 13- 240 Plano H.....	58
Figura 27. Patrón de Radiación AT 15 -250, Plano E.....	59
Figura 28. Patrón de Radiación AT 15 -250, Plano H.....	60
Figura 29. Distancia entre transmisores análogos actuales.....	61
Figura 30. Cubrimiento RTVC televisión análoga y digital.....	67
Figura 31. Sistema global propuesto para una red de frecuencia única.....	71
Figura 32. Medición de radio de cobertura Boquerón de Chipaque.....	73
Figura 33. Medición de radio de cobertura Calatrava.....	73
Figura 34. Medición de radio de cobertura Manjui.....	74
Figura 35. Radios de cobertura de las estaciones en Bogotá.....	74
Figura 36. Cálculo de la frecuencia.....	81

Figura 37. Metodología del desarrollo del proyecto	83
Figura 38. Propiedades del transmisor digital Boquerón de Chipaque.	84
Figura 39. Propiedades del transmisor digital Calatrava.....	84
Figura 40. Propiedades del transmisor digital Manjui.	85
Figura 41. Parámetros de recepción.....	86
Figura 42. Cobertura estación de Boquerón de Chipaque.....	86
Figura 43. Cobertura estación Boquerón de Chipaque sur de Bogotá.....	87
Figura 44. Cobertura estación Calatrava	88
Figura 45. Cobertura estación Calatrava norte de Bogotá.....	89
Figura 46. Cobertura estación Manjui.....	90
Figura 47. Cobertura multitransmisor mejor servidor	91
Figura 48. Cobertura multitransmisor nivel de señal.....	92
Figura 49. Cobertura Multitransmisor solapamiento	93
Figura 50. Estaciones de RTVC en Cundinamarca	96
Figura 51. Estaciones probables para red SFN	97
Figura 52. Medición de radio de cobertura Granada.....	98
Figura 53. Medición de radio de cobertura Jalisco.....	98
Figura 54. Cobertura Análoga Granada.....	101
Figura 55. Propiedades del transmisor digital Granada.....	102
Figura 56. Cobertura digital Granada.....	103
Figura 57. Cobertura Análoga Jalisco.....	105
Figura 58. Propiedades del transmisor Digital Jalisco.	106
Figura 59. Cobertura digital Jalisco.....	106
Figura 60. Multitransmisor Nivel de señal	107
Figura 61. Multitransmisor Solapamiento.....	108
Figura 62. Multitransmisor Mejor servidor	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros Básicos del estándar NTSC.....	20
Tabla 2. Tasa de bits útil (Mbps) según el intervalo de guarda, modulación y tasa de codificación para un canal de 6 MHz.	32
Tabla 3. C/N requerido según la modulación y tasa de codificación.....	33
Tabla 4. Recepción nivel de servicio.....	34
Tabla 5. Nivel mínimo equivalente de la señal de entrada al receptor.....	35
Tabla 6. Densidad de flujo de potencia e intensidad de campo en banda IV para recepción portable <i>indoor</i>	36
Tabla 7. Relaciones de protección cocanal de una señal DVB-T interferida por una señal DVB-T.....	39
Tabla 8. Relaciones de protección de una señal DVB-T interferida por una señal DVB-T en los canales adyacentes.	39
Tabla 9. Características geográficas de Boquerón de Chipaque.	45
Tabla 10. Sistema Radiante Estación Análoga Boquerón de Chipaque.	45
Tabla 11. Canalización Boquerón de Chipaque.....	46
Tabla 12. Características geográficas de Manjui.	46
Tabla 13. Sistema Radiante Estación Análoga Manjui.	46
Tabla 14. Canalización Manjui.	47
Tabla 15. Características geográficas de Calatrava.	47
Tabla 16. Sistema Radiante Estación Calatrava.....	48
Tabla 17. Canalización Calatrava	48
Tabla 18. Valores Mínimos de Intensidad de Campo en televisión análoga.....	50
Tabla 19. Valores Mínimos de Intensidad de Campo en Televisión Digital.	51
Tabla 20. Potencia nominal de los transmisores actuales.	56
Tabla 21. Antenas RYMSA en la banda UHF	58
Tabla 22. Interferencia inter símbolo en función del intervalo de guarda.....	63
Tabla 23. Relaciones de protección para sistema de televisión análogo.....	63
Tabla 24. Relaciones de protección para sistema NTSC deseado y DVB-T interferente.....	64
Tabla 25. Relaciones de protección (dB) para sistema DVB-T deseado y NTSC interferente.....	64
Tabla 26. Relaciones de potencia del sistema análogo y el sistema digital.....	65
Tabla 27. Tipos de recepción.....	65
Tabla 28. Valores de intensidad de campo mínima para sistemas análogo y digital	66
Tabla 29. Relaciones de protección para sistemas análogo y digital.....	68

Tabla 30. Antenas y banda de frecuencias para sistemas análogo y digital	69
Tabla 31. Canalización Sistema Actual y Digital	70
Tabla 32. Asignación de frecuencias a los canales de televisión.....	80
Tabla 33. Estaciones RTVC en Cundinamarca	95
Tabla 34. Características geográficas de Granada.....	100
Tabla 35. Sistema Radiante Estación Análoga Granada.....	100
Tabla 36. Canalización Granada. Anexos RTVC	101
Tabla 37. Características geográficas de Jalisco.....	103
Tabla 38. Sistema Radiante Estación Análoga Jalisco.....	104
Tabla 39. Canalización Jalisco.....	104

1. INTRODUCCIÓN

El contenido del presente documento es acerca del análisis y el diseño de una red de frecuencia única de televisión digital terrestre para las estaciones Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque en la ciudad de Bogotá.

Esta investigación tiene su origen a partir del avance tecnológico que ha permitido pasar de la televisión analógica convencional a implementar una red de televisión digital, tomando como tema específico el desarrollo de las redes de frecuencia única que permiten tener un mejor aprovechamiento de las frecuencias del espectro electromagnético.

Este proyecto de investigación enfocó su desarrollo hacia el análisis y el diseño de una red de frecuencia única de televisión digital terrestre que podría ser implementada en la ciudad de Bogotá, con el ánimo de tener un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico y de evitar la aparición de interferencias. El desarrollo de este proyecto es útil porque permite establecer los requerimientos técnicos para el adecuado funcionamiento de una red de frecuencia única de televisión digital en Bogotá.

Con un diseño adecuado es posible evitar que en un futuro la red de frecuencia única de televisión digital que se implemente en Bogotá genere fallos relacionadas con la sincronización, interferencias o la información contenida en el paquete de transporte.

Es un proyecto que cuenta con originalidad, pues las redes de frecuencia única de televisión digital terrestre serán implementadas por primera vez en Colombia, siendo así un área nueva en el país. Una vez se haya implementado la red de frecuencia única de televisión digital terrestre en la ciudad de Bogotá, los operadores empezarán a ofrecer diversos servicios que cada vez serán utilizados en mayor medida por los usuarios, es por esto que se debe garantizar un buen diseño de ésta red, lo cual podrá tomarse a partir del desarrollo de este proyecto.

El desarrollo de este proyecto es factible debido al apoyo de la entidad Radio y Televisión Nacional de Colombia (RTVC), quienes han asesorado directamente el planteamiento del mismo, con miras a articularlo en todas las actividades de implementación de la televisión digital inicialmente en Bogotá.

Las limitaciones de este proyecto se pueden identificar en el marco del desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos.

De esta forma, el objetivo general está delimitado en el análisis y diseño de una red de frecuencia única de televisión digital terrestre para las estaciones Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque a implementar en la ciudad de Bogotá, sin contemplar el cubrimiento que éstas estaciones tienen en las demás zonas aledañas a la ciudad.

El proyecto a desarrollar se realizó con actividades demarcadas en el orden de los objetivos específicos. Para el primer objetivo se realizó una recolección de datos que permitió identificar las características técnicas de las estaciones de la red de televisión análoga que se van a utilizar para la transmisión digital y se elaboró el correspondiente análisis para que estas estaciones puedan reutilizarse.

Con el segundo objetivo se determinó mediante cálculos y datos, basados en las recomendaciones de ETSI (***European Telecommunications Standards Institute***, Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones) los requerimientos de potencia, cobertura, retardos e interferencias para luego simular la red con éstas características.

Para el cumplimiento de tercer objetivo se utilizó la herramienta Xirio Online, en donde se ubicaron las estaciones y se configuraron las correspondientes características previamente definidas con el fin de verificar el diseño propuesto y realizar las correcciones necesarias.

Las pruebas y simulaciones de las tres estaciones se realizaron únicamente para recepción fija con antena interior.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La red de televisión digital terrestre a implementarse en la ciudad de Bogotá en un periodo de transición de 10 años, según el cronograma establecido por la Comisión Nacional de Televisión (CNTV), que se encuentra en el Anexo A, debe contar con determinadas características que garanticen la calidad del servicio y el aprovechamiento del espectro. [9]

Debido a esto es necesario aplicar las redes SFN (***Single Frequency Network***, Red de frecuencia única), que permiten utilizar una única frecuencia para varios transmisores que deben ir sincronizados y de esta manera economizar los escasos recursos del espectro electromagnético.

Teniendo en cuenta la información suministrada por la entidad de Radio y Televisión nacional de Colombia, RTVC, las tres estaciones transmisoras de

televisión análoga en Bogotá son: Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque, por lo cual surge el problema de realizar el análisis y diseño de una red de frecuencia única reutilizando las actuales estaciones de televisión análoga, que permita economizar el uso de frecuencias del espectro en la ciudad de Bogotá y así garantizar el funcionamiento entre éstas y evitar la aparición de interferencias en zonas pobladas.

Únicamente se tomará como objeto de estudio la red de RTVC, ya que la información de esta entidad es carácter público, como se menciona en la sección 1.7, además este proyecto cuenta con la asesoría de los ingenieros del área de transmisión. Las redes de los demás operadores no son objeto de este estudio porque la información de las investigaciones es de carácter privado.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos a desarrollar en este proyecto son:

1.2.1 Objetivo general

Analizar y Diseñar una red de frecuencia única de televisión digital terrestre para las estaciones Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque en Bogotá.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar las características técnicas de las tres estaciones de transmisión Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque de la red actual de televisión análoga en Bogotá, para determinar los elementos a reutilizar en una red de frecuencia única de televisión digital.
- Establecer los requerimientos de potencia, cobertura, retardos e interferencias en las tres estaciones de transmisión para elaborar el diseño de una red de frecuencia única.
- Simular la red diseñada utilizando la herramienta **Xirio Online** para verificar su funcionalidad y determinar los ajustes necesarios a realizar.

1.3 ANTECEDENTES

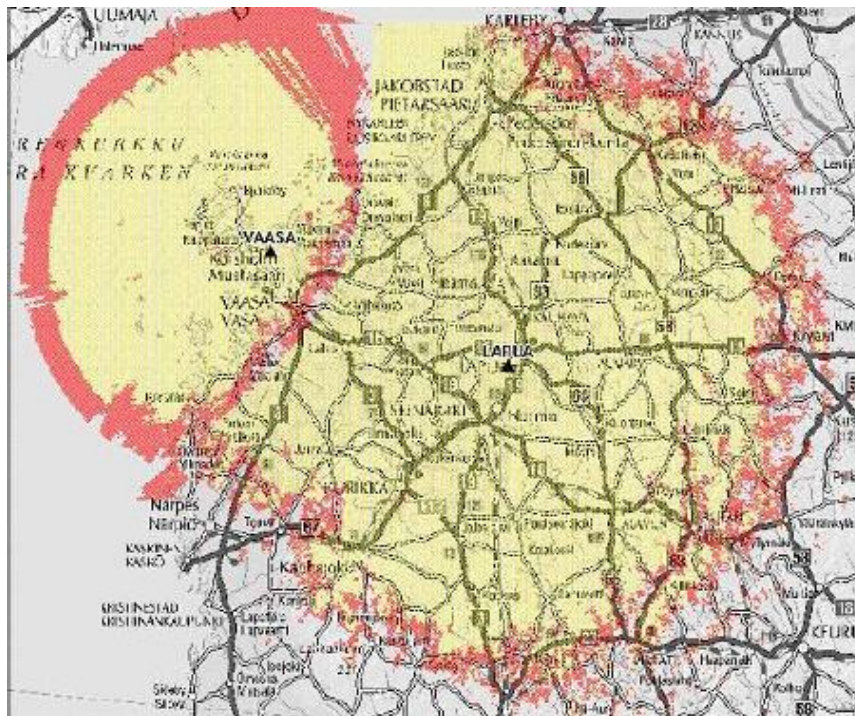
El tema de televisión digital es claramente novedoso tanto en el ámbito nacional como internacional, sin embargo en muchos países de Europa ya se ha implementado este sistema, haciendo uso de la infraestructura de las estaciones

análogas e implementando estaciones digitales para ser usadas en redes de frecuencia única y así lograr una optimización del espectro radioeléctrico.

Uno de los países que realizó un reajuste de la red de televisión análoga es Finlandia, cuya micro-red se compone de dos transmisores únicamente, ubicados en las ciudades de Lapua y Vaasa, a 313 m y 117 m de altura respectivamente, con una distancia entre las estaciones transmisoras de 77 Km y una canalización de 8 MHz. Al realizar las pruebas correspondientes se observó que las zonas fronterizas eran fuertemente afectadas por interferencias producidas por los ecos de los dos transmisores. Para corregir esto, por medio de simulaciones se retrasó en tiempo la señal transmitida en la estación de Vaasa obteniendo como resultado una mejora de la cobertura que fue ratificada por medidas de intensidades de campo realizadas en 12 localizaciones del país. [24]

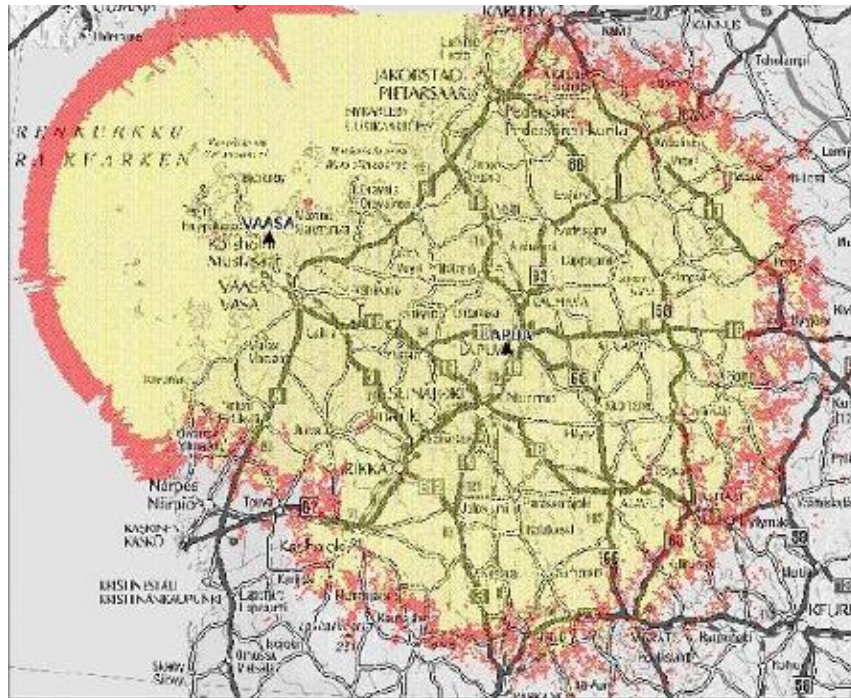
En las Figura 1 y Figura 2 se puede apreciar el cambio en la cobertura con los ajustes realizados. El color amarillo indica que hay cobertura en el 95% de localizaciones, el color rojo indica que hay cobertura en el 70% de las localizaciones.

Figura 1. Cobertura de las estaciones Vaasa y Lapua en Finlandia sin ajustes.



Fuente: Congreso redes TDT ACIEM.

Figura 2. Cobertura de las estaciones Vaasa y Lapua en Finlandia con ajustes.



Fuente: Congreso redes TDT ACIEM.

En Brasil se adoptó en Mayo de 2005, una propuesta para el plan de distribución de canales de televisión digital usando redes MFN (**Multiple Frequency Network**, Red de frecuencia múltiple), en las cuales se utiliza un valor de frecuencia o canal diferente para cada localidad. Sin embargo, debido a la característica de este tipo de redes de no preservar el espectro electromagnético y aumentar la interferencia, se vio la necesidad de implementar las redes SFN, por lo cual en el año 2007 se realizó una propuesta basada en simulaciones para demostrar los beneficios de utilizar este tipo de redes. [16]

La investigación consistió en analizar el comportamiento de tres estaciones transmisoras que llegan a un mismo receptor con una dispersión temporal. Inicialmente se observó el resultado de las tres señales sin ningún retraso obteniendo una relación señal a ruido pequeña, posteriormente se introdujo un retraso en uno de los transmisores, y por último se retrasaron dos de la señales y se observaron los resultados. Debido a las características del sistema, se concluyó que ninguno de los retrasos insertados en las estaciones superaba el intervalo de protección escogido, por lo tanto no se producía interferencia y las señales eran combinadas constructivamente por el receptor.

Además de esto, se determinó la intensidad de campo mínima utilizando tres estaciones ubicadas en la ciudad de Campinas, Santa Bárbara D'Oeste y Piracicaba en Brasil, tomando como referencia la banda de frecuencia VHF (**Very High Frequency**, 30 MHz a 300 MHz) para el canal 13. Se observaron las intensidades de campo entre las tres estaciones y se concluyó que la intensidad de campo propuesta por el plan de distribución de canales se encontraba debajo de los límites de las simulaciones realizadas con las tres estaciones, por lo cual no se presenta interferencia entre los transmisores de la red SFN. [16]

Australia es otro de los países que tiene adaptada una red de frecuencia única, desde 1995 la Autoridad Australiana de Radiodifusión (ABA) inició los estudios de la implementación en este tipo de redes; en el año 2002 se montó la primera red en la región **Sunshine Coast** de Queensland, el satélite que administraba la red SFN tenía inicialmente 5 transmisores que cubrían 80 km de longitud y actualmente ésta red cuenta con 10 transmisores que cubren aproximadamente 240 Km. La red de frecuencia única en Australia está compuesta de diferentes topologías debido a la distribución geográfica y poblacional.

Inicialmente, se realizaron pruebas con un programa de simulación de redes SFN, pero los estudios arrojados indicaban una restricción en los parámetros de televisión digital que se habían adoptado para poder implementar con estos la red. Se presentaron problemas con el modulador del GPS (**Global Positioning System**, Sistema de Posicionamiento Global), sincronización entre zonas, tiempos inestables e interferentes, entre otros problemas causados por los ecos, no recepción de la señal, medidas del MER (**Modulation Error Ratio**, tasa de error de modulación) y BER (**Bit Error Ratio**, tasa de error de bit) en diferentes lugares, para todo esto se realizaron pruebas de retrasos, intensidad de campo, inclinaciones en los receptores, logrando finalmente establecer señales de excelente calidad mediante el uso de receptores nacionales y receptores internos. [8]

1.4 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto está desarrollado dentro de la Universidad Militar Nueva Granada, en la facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y específicamente en la línea de Televisión digital, con el objetivo de elaborar un diseño que permita garantizar el nivel de servicio de una red de frecuencia única para televisión digital terrestre, y que pueda ser utilizado por los organismos encargados de implementar este servicio en un futuro.

Mediante el desarrollo de este proyecto se podrán aplicar los conocimientos adquiridos acerca de los temas tratados, contribuyendo a la solución del mejoramiento de un servicio que tendrá como beneficiarios una gran parte de la población colombiana.

1.5 ÁREA DE TRABAJO

El proyecto está enfocado en el análisis y diseño de una red de frecuencia única para televisión digital terrestre, debido a la necesidad de implementación y control de este tipo de redes durante el periodo de transición. El proyecto se basa en el área de televisión digital y su desarrollo será útil debido a la diferencia de características con respecto a la televisión análoga, entre éstas los servicios y aplicaciones que deben brindarse de manera eficiente al usuario mediante el aprovechamiento de los escasos recursos de frecuencias.

1.6 FUNDAMENTOS Y CARACTERÍSTICAS

Para el análisis y diseño de una red de frecuencia única para televisión digital terrestre, se necesita de una serie de variables que permiten determinar los requerimientos mínimos para elaborar un diseño adecuado mediante simulaciones que sea lo más cercano a la realidad. Estas variables se encuentran detalladas en los objetivos específicos del proyecto y son las que definen los parámetros utilizados para realizar el análisis y el diseño de la red.

El primer objetivo consiste en analizar las características técnicas de las estaciones de transmisión Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque, entre dichas características se encuentran las variables de potencia, frecuencia o canalización y sistema radiante.

Para el segundo y tercer objetivo se destacan las variables utilizadas para realizar el diseño, entre las cuales se encuentran potencia, cobertura, retardo e interferencia. En el estudio de estas variables se basa el diseño de la red de frecuencia única tomando como referencia la ciudad de Bogotá y sus características topográficas.

1.7 RADIO Y TELEVISIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

La Radio y Televisión Nacional de Colombia (RTVC) es una entidad de radio y televisión pública de Colombia cuya principal función es programar, producir y

emitir los canales públicos de Televisión Nacional, Señal Colombia, Canal Institucional y la emisión del Canal 1, al igual que las emisoras de la Radio Pública Nacional, Radio Nacional de Colombia y Radiónica. [14]

Desde el año 2006, RTVC ha estado desarrollando su estrategia para la implementación de la Televisión Digital Terrestre (TDT) con los recursos que fueron asignados por la CNTV para la realización de pruebas en las ciudades de Bogotá, Pereira y Cartagena, las cuales sirvieron de base para la adopción del estándar europeo DVB-T / MPEG-4 en agosto de 2008.

RTVC cuenta con un laboratorio de pruebas para la TDT, en el cual se simula la cadena de compresión, transmisión y recepción de la señal de TDT, además cuenta con un recurso humano bien capacitado en TDT encargado del desarrollo de aplicaciones interactivas para darle valor agregado a los contenidos transmitidos. [25]

2. MARCO TEÓRICO

Éste capítulo dará a conocer las generalidades del tema tratado en este proyecto, así como las teorías utilizadas para su desarrollo. Para esto se ha dividido en marco conceptual y marco referencial.

2.1 MARCO CONCEPTUAL

En el marco conceptual se especifican los conceptos generales del tema del proyecto, para así facilitar la comprensión de las teorías definidas en el marco referencial.

2.1.1 Televisión Análoga Actual en Colombia

La televisión análoga en Colombia se basa en el estándar estadounidense NTSC (*National Television System Committee*, Comisión Nacional de Sistema de Televisión). Este formato consta de cuatro señales que contienen toda la información necesaria de la imagen para que pueda ser transmitida y recibida en una sola vía y con un ancho de banda de 6 MHz, llamada “señal video compuesta”. La primera señal es la señal de luminancia (Y), que contiene la imagen o la información en blanco y negro, la segunda es la señal de crominancia (C), que contiene la información en color de la imagen, la tercera señal es de sincronía (Sync) que verifica y ajusta las señales recibidas en el orden correcto, y la última es la del audio asociado a la imagen. Estas señales deben combinarse de manera sincrónica para que todas coincidan y formen la imagen que fue transmitida y sin llegar a interferirse entre estas. La señal de vídeo compuesta ocupa un canal de televisión con un ancho de banda de 6 MHz [15].

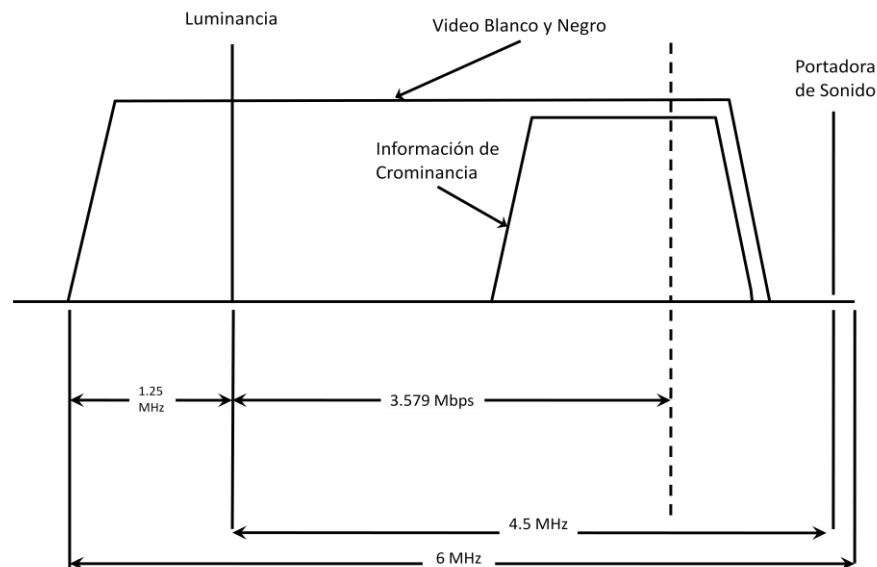
Los principales parámetros de una señal NTSC se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros Básicos del estándar NTSC

Parámetros Básicos	NTSC-M
Líneas/Campos	525/60
Frecuencia Horizontal	15.734 KHz
Frecuencia Vertical	60 Hz
Subportadora de Color	3.58 MHz
Ancho de Banda de Video	4.2 MHz
Portadora de Audio	4.5 MHz
Fuente: Cortes Muñoz, Luisa Fernanda; Garzón Quiroga, Andrés Ricardo. Televisión Academia y Sociedad. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C. (2009).	

La Figura 3 muestra cómo se encuentra distribuido el espectro de un canal en el estándar NTSC. La portadora de imagen ó luminancia (Y) está a 1,25 MHz por encima del extremo inferior del canal. La portadora de sonido se encuentra a 4,5 MHz de la luminancia, esta señal esta modulada en FM (**Frequency Modulation**, Frecuencia Modulada). Estas señales tienen como resolución visibles de 720 pixeles x 486 líneas.[5]

Figura 3. Espectro de Frecuencia de una canal NTSC



Fuente: Cortes Muñoz, Luisa Fernanda; Garzón Quiroga, Andrés Ricardo. Televisión Academia y Sociedad. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C. (2009).

2.1.2 Televisión digital terrestre

La televisión digital terrestre que será implementada en Colombia está basada en el estándar europeo DVB-T (**Digital Video Broadcasting – Terrestrial**, Difusión de Video Digital - Terrestre), cuyas características se encuentran definidas en la recomendación ETSI EN 300 744 **Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television European**. Las características de la red de televisión digital terrestre utilizada para la elaboración de este proyecto, se basan en dicha recomendación. [17]

Según la recomendación ETSI EN 300 744, el sistema de televisión digital terrestre para el estándar DVB-T, está constituido por una serie de bloques utilizados para adaptar la señal de televisión de banda base desde la salida de los

multiplexores de transporte MPEG-4 (**Moving Picture Experts Group**, Grupo de Expertos en Imágenes Móviles) a las características del canal terrestre.

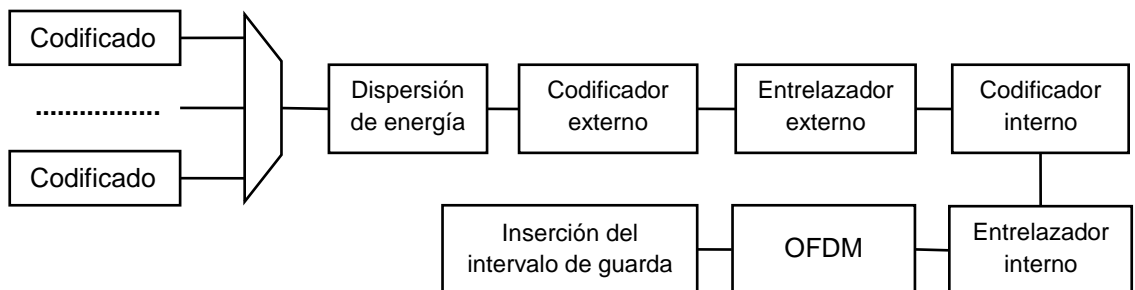
Las fases por las que debe pasar el flujo de información consisten en: adaptación del multiplexor de transporte y aleatorización para la dispersión de energía, codificación externa, entrelazado externo, codificación interna, entrelazado interno, mapeo y modulación de la señal, y por último la transmisión por medio de la técnica de, OFDM (**Orthogonal Frequency Division Multiplex**, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales).

Los sistemas de transmisión para las redes DVB-T y DVB-H (**Digital Video Broadcasting Handheld**, Radiodifusión de Vídeo Digital Móvil), utilizan dos modos de operación, un modo 2K y un modo 8K. El modo 2K es utilizado para redes con un único transmisor y para pequeñas redes SFN con distancias de transmisión limitadas. El modo 8K puede utilizarse para ambos, para una operación con único transmisor y para pequeñas y grandes redes SFN.

Además de estos dos modos de operación, el sistema también soporta diferentes niveles de modulación QAM (**Quadrature Amplitude Modulation**, Modulación de Amplitud en Cuadratura) y permite utilizar diferentes tasas de codificación interna, con esto es posible tener dos niveles de jerarquía de codificación de canal y de modulación, para esto se debe expandir el sistema para incluir los bloques de cada uno de los niveles dentro de la jerarquía. [17]

En la Figura 4 Se ilustra el proceso de adaptación de la señal de televisión de banda base.

Figura 4. Adaptador canal terrestre.



Fuente: Recomendación ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01), European Standard (Telecommunications series). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

Cada uno de los bloques indicados en el diagrama cumple su función correspondiente.

2.1.2.1 Multiplexor adaptador de dispersión de energía. La función de este bloque es uniformizar el espectro de radiofrecuencia para tener un reparto homogéneo de la energía en el canal de emisión. La longitud del paquete de transporte MPEG-4 del multiplexor es de 188 bytes, donde el primer byte es de sincronización y tiene un valor de 0x47HEX (01000111).

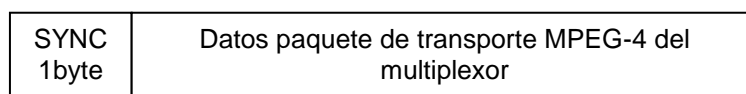
Para asegurar la adecuada transición binaria, la señal de entrada debe hacerse cuasi-aleatoria mediante un proceso de convertir el multiplexor de entrada aleatorio.

El proceso de adaptación del TS (**Transport Stream**, Flujo de transporte) consiste en invertir el byte de sincronización del primer paquete de cada grupo, de tal manera que el receptor pueda identificar el comienzo de cada conjunto de 8 paquetes de transporte. Según esto, el byte de sincronización 0x47HEX (01000111) se invierte obteniendo como resultado 0xB8HEX (10111000). [17]

El periodo de la secuencia PRBS (**Pseudo Random Binary Sequence**) es de $(188 * 8) - 1 = 1503$ bytes

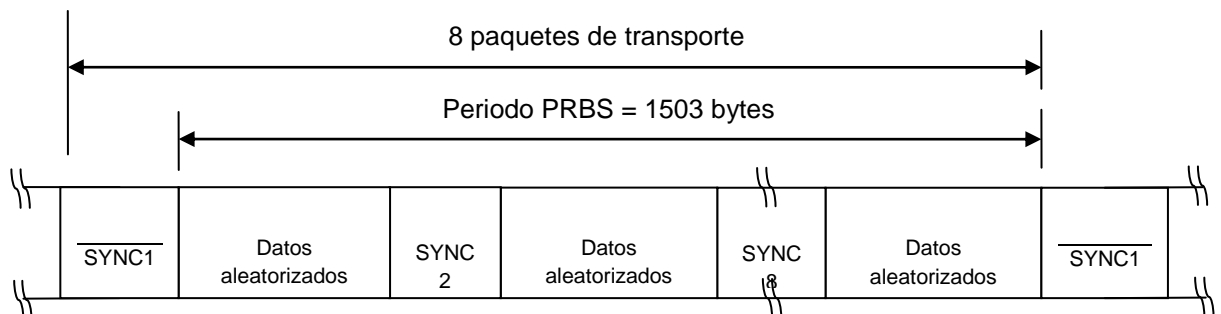
El proceso descrito se ilustra en las Figura 5 y Figura 6.

Figura 5. Paquete de transporte MPEG-4 del multiplexor.



Fuente: Recomendación ETSI EN 300 744.

Figura 6. Paquetes de transporte aleatorizados.



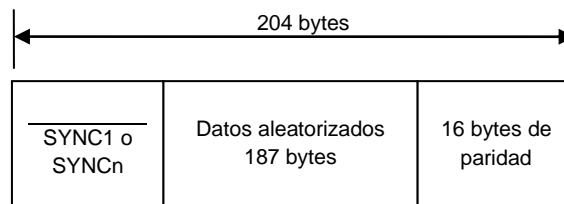
Fuente: Recomendación ETSI EN 300 744.

2.1.2.2 Codificador externo. En la red de televisión digital terrestre se utiliza la llamada codificación de Reed Solomon, una versión de menor longitud que la codificación original. Ésta consiste en agregar 16 bytes de paridad a los 188 bytes iniciales de un paquete de transporte, teniendo como resultado un total de 204 bytes. Por lo cual la codificación se denomina RS (204, 188, T=8). El 8 corresponde a la totalidad de bytes erróneos que se pueden corregir con esta codificación.

La codificación original RS (255, 239, T=8), añade inicialmente 51 bytes nulos a los 188 bytes del paquete de transporte, resultando 239 bytes. Luego de esto se pasa por la codificación Reed Solomon donde se agregan los 16 bytes mencionados, resultando 255 bytes. Seguidamente se eliminan los 51 bytes nulos obteniendo 204 bytes. [17]

El paquete de transporte resultante de agregar la redundancia es mostrado en la Figura 7.

Figura 7. Codificación Reed Solomon RS (204, 188, T=8).



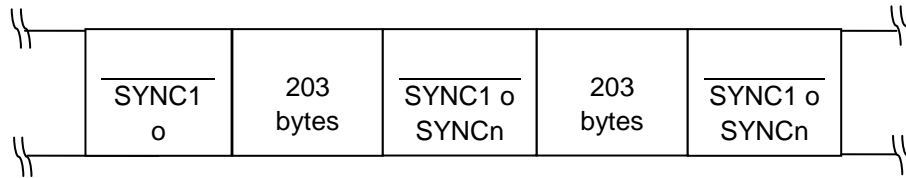
Fuente: Recomendación ETSI EN 300 744.

2.1.2.3 Entrelazado externo. La función de este bloque es repartir en el tiempo los errores introducidos por el canal por medio de un entrelazado temporal de los bytes modificando su orden de transmisión.

Este proceso se lleva a cabo mediante una técnica denominada aproximación de Forney, que mantiene las características del paquete de transporte con longitud de 204 bytes y con los bytes de sincronización invertida y no invertida que delimitan cada conjunto. [17]

El paquete resultante del proceso de entrelazado se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Entrelazado externo.



Fuente: recomendación ETSI EN 300 744.

2.1.2.4 Codificador interno. Este bloque también realiza la función de corrección de errores y es una codificación de tipo convolucional. Además de esto se efectúa un proceso llamado perforado que permite tener diferentes modos de transmisión.

La tasa de codificación puede variar según las escogencias de transmisión, entre 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8.

Entre mayor es la tasa de codificación, menor es la corrección de errores, pero mayor es la capacidad del canal.

2.1.2.5 Entrelazado interno. En este bloque se realizan dos procesos, el entrelazado de bits y el entrelazado de símbolos.

El flujo de datos resultante del proceso de codificación se demultiplexa en un número de subflujos que dependen del esquema de modulación utilizado. Para un esquema de modulación QPSK (**Quadrature Phase Shift Keying**, Clave de Desplazamiento de Cuadratura de Fase), se tiene una cantidad de 2 bits por símbolo, por lo tanto para este caso se tendrían dos subflujos después de la demultiplexación. Para 16-QAM se tendrían 4 subflujos (4 bits por símbolo), y para 64-QAM, 6 subflujos (6 bits por símbolo).

2.1.2.6 OFDM e inserción del intervalo de guarda. Es el esquema de modulación utilizado en la transmisión de televisión digital. La combinación de ésta técnica con el método de codificación para la corrección de errores se denomina COFDM (**Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex**, Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada).

La modulación OFDM tiene la característica de permitir la distribución de la información en varias portadoras cuya velocidad es menor a la del flujo de datos total. Ésta técnica garantiza la robustez de la señal frente a interferencias debido a la característica de ortogonalidad entre las portadoras, esto quiere decir que la posición central de las portadoras en frecuencia coincide con los puntos nulos de las portadoras adyacentes.

Además de esto, con el fin de evitar la interferencia cuando se transmite la misma señal por distintos caminos con un retardo, se introduce delante de cada símbolo un intervalo de guarda que corresponde a una continuación cíclica de la parte útil de éste. Se produce Interferencia Inter Símbolo (ISI) si el retardo con el que llega una señal transmitida por dos caminos diferentes es mayor que el intervalo de guarda.

El tiempo del intervalo de guarda está expresado con respecto al tiempo útil del símbolo, tomando como relación los valores de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32.

Los símbolos OFDM para el modo 8K contienen 6817 portadoras, sin embargo los datos resultantes de la codificación de canal modulan únicamente 6048 portadoras activas para datos. Las demás portadoras se dividen en portadoras piloto continuas, utilizadas para la sincronización del receptor en frecuencia y fase; portadoras piloto dispersas para la regeneración del canal en amplitud y fase en el receptor; y las portadoras TPS (***Transmission Parameter Signalling***) que contienen la información del modo transmitido.

La distribución de las portadoras para el modo 8K es la siguiente:

177 portadoras continuas, 524 portadoras dispersas, 68 portadoras TPS y 6048 portadoras de datos para un total de 6817 portadoras.

2.1.3 Redes de frecuencia única

Las redes de frecuencia única (SFN) mejoran el uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico dado que los transmisores en este tipo de redes, operan todos sobre una misma frecuencia optimizando el ancho de banda, reduciendo zonas de vacíos que se creaban con redes de múltiples frecuencias y la transmisión con bajas potencias.

Una red de frecuencia única consiste en que todos los transmisores de la red, transmitan la misma información al mismo tiempo sobre una misma frecuencia. Este tipo de red tiene una cobertura mayor a las que se obtienen con las redes de múltiples frecuencias y además que reduce el uso de espectro radioeléctrico y aumenta el número de canales y programas para ser emitidos.

2.1.3.1 OFDM basado en redes de frecuencia única. Entre las características principales de OFDM es superar la interferencia multi-ruta generada por los transmisores, en una red de frecuencia única, la señal útil recibida es la superposición de las múltiples señales procedentes de los transmisores, al aplicar este tipo de modulación sobre una red SFN se obtiene:

- Mayor área de cobertura con menor potencia de emisión en los transmisores debido a su ganancia interna.
- Alta eficiencia en ahorro de espectro radioeléctrico
- Mejor señal a la hora de recepción
- Redes sencillas y de fácil instalación

Se basa en el hecho de que una vez establecida, la red se puede ajustar para asegurar que cuando varias señales lleguen simultáneamente a un receptor se sumen constructivamente sin causar interferencias. Esto se consigue mediante la selección cuidadosa del modo COFDM y variando el intervalo de duración de guarda para que coincida con los retrasos en la transmisión. [6]

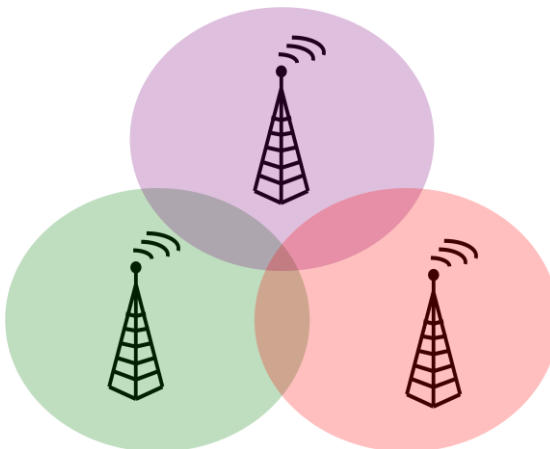
Existen algunas restricciones en una red SFN con modulación OFDM, como la creación de subredes y la sincronización de los transmisores tanto en la frecuencia exacta como el tiempo de emisión de la señal.

2.1.3.2 Tipos de redes de frecuencia única. Según el diseño de operador y de las condiciones regulatorias del país, se crean diferentes tipos de redes dependiendo del área y de las opciones de propagación.

- SFN Nacional. Para servicios a nivel nacional o regiones extensas, es necesaria la instalación de varios transmisores de alta potencia con separaciones largas para cubrir el área que se desea. Una SFN Nacional debe transmitir la misma información en todo el país.
- SFN Regional. Para áreas más pequeñas, se tienen pocos transmisores de alta potencia y sus distancias son relativamente considerables. Las redes SFN vecinas tienen otro canal, entonces también es posible que la información que se envíe sea diferente.

2.1.3.3 Redes SFN dentro de las redes MFN. Para áreas locales, se tienen pequeños transmisores operando sobre la misma frecuencia, al tener varias redes SFN y cada una con una frecuencia diferente se obtiene una MFN ¹ compuesta de SFN. En la Figura 9, las diferentes frecuencias se encuentran representadas con diferentes colores simulando la interacción en una red MFN.

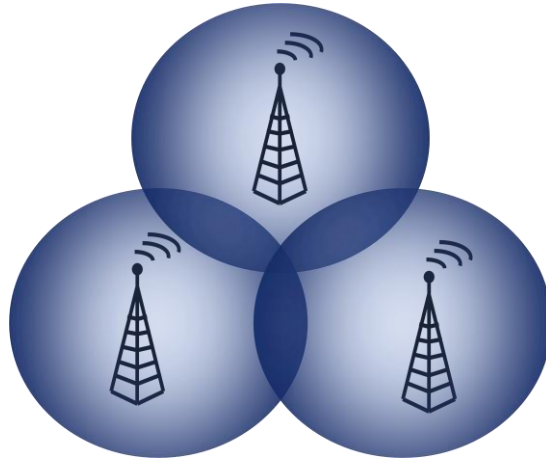
Figura 9. MFN



¹ MFN, **Multiple Frequency Network**, Redes de Frecuencia Múltiple.

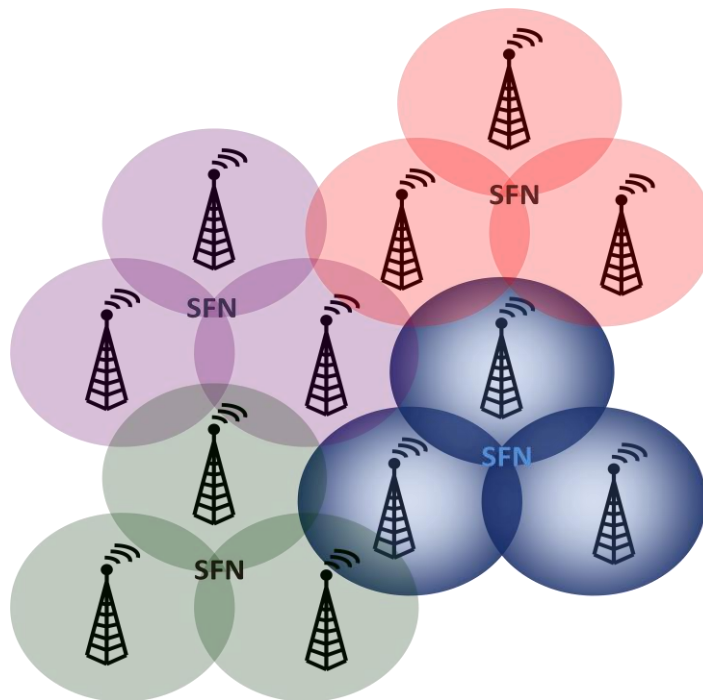
En la Figura 10, se muestra cómo los transmisores operan sobre la misma frecuencia

Figura 10. SFN



En la Figura 11, se muestra como se encuentran distribuidas las redes SFN dentro de las redes MFN.

Figura 11. Redes SFN dentro de las redes MFN



2.1.3.4 Interferencia. El diseño de una red de frecuencia única tiene una interferencia propia, dado que las distancias entre los transmisores superan la máxima distancia que se establece con el intervalo de guarda.

Si en un punto de recepción se tienen varias señales, unas llegarán primero que otras debido a que físicamente unos transmisores se encuentran más cerca a este punto que otros, los transmisores más lejanos deben estar retardados en tiempo y al llegar actuaría como señal de ruido causando interferencia. Para evitar que esto suceda, el diseño debe tener en cuenta este tipo de retraso.

2.1.3.5 Longitud del intervalo de guarda. Cada transmisor emite el mismo símbolo OFDM al mismo tiempo, lo cual los transmisores más lejanos producen ecos, dado que las señales llegan retardadas en cierto tiempo ya sea por la distancia o el multitrayecto de la señal.

El intervalo de guarda debe tener un tiempo de recepción para evitar la mezcla de dos o más símbolos OFDM en el receptor, después del intervalo de guarda las señales que llegan después de ese tiempo serán ignoradas y las señales que están dentro del intervalo serán señales constructivas, ya que todo ese conjunto tiene los mismos símbolos.

Para los criterios de las tasas de codificación y el intervalo de guarda ir a la Tabla 2. La selección del valor de intervalo de guarda depende del diseño de red dado que este parámetro regula los ecos máximos que puede admitir el receptor.

2.1.3.6 Sincronización. Una red de frecuencia única necesita una perfecta sincronización entre sus transmisores dado que se transmite la misma información, al mismo tiempo y sobre una misma frecuencia. Por lo tanto es necesario garantizar una sincronización de las señales, para evitar que otra señal que opera en la misma frecuencia pueda resultar interferente.

Existen dos criterios de sincronización:

- Sincronización Temporal: Todos los transmisores están en sincronía al mismo tiempo. En el adaptador SFN o MIP (***Megaframe Initialization Packet***, Paquete de Inicialización de Megacuadro), se proporciona la información de la sincronización entre los transmisores sobre la base de un reloj de referencia común GPS, información como 1 PPS (***Pulse per second***, Pulso por segundo) y 10 MHz (derivado de 1PPS).
- Sincronización de frecuencia: La precisión común en 10 MHz, garantiza que únicamente los transmisores que pertenezcan a la celda SFN puedan transmitir solamente en el mismo conjunto de sub-portadoras. [9]

2.1.3.7 Paquete MIP. Para la sincronización de la información es necesario crear un paquete en TS, llamado MIP, que contiene:

- Parámetros de transmisión de señalización (TPS): Contiene la configuración de la modulación, intervalo de guarda, ancho de banda, el

modo FFT (**Fast Fourier Transform**, Transformada Rápida de Fourier), entre otros.

- Sincronización de la información de la fecha y hora (STS): Contiene la fecha, la hora de transmisión y una estimación del tiempo máximo que debe permanecer la información en la red.
- Funciones opcionales: Se realiza de forma individual en cada uno de los transmisores, que permite el pulir de cobertura de su área.

2.2 MARCO REFERENCIAL

En el marco referencial se especifican las normas utilizadas para definir los parámetros del diseño de la red de frecuencia única y las ecuaciones utilizadas para los cálculos correspondientes, tomando como referencia el concepto general expuesto en el marco conceptual.

Además de esto, se expone el método de estudio utilizado para realizar los cálculos y el software utilizado para la simulación.

2.2.1 Análisis de ingeniería

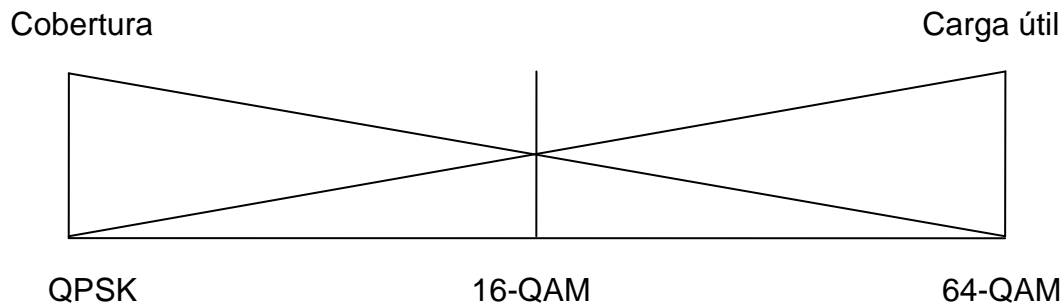
El análisis de ingeniería corresponde a la aplicación de las normas y recomendaciones de ETSI sobre televisión digital, con el fin de reconocer los parámetros que se deben definir para realizar el diseño de la red de frecuencia única.

El proceso de análisis de ingeniería consiste en estudiar las características de un sistema de televisión digital con los parámetros escogidos en RTVC, especificados en el Anexo B:

- Carga útil de transmisión: 11,19 Mbps
- Esquema de Modulación: 16-QAM
- Tasa de Codificación: 3/4
- Intervalo de guarda: 1/4

RTVC realizó el proceso investigativo para seleccionar el criterio más adecuado para su red, este análisis determinó que QPSK tiene una capacidad de bits muy baja y tiene mayor cobertura, 64-QAM en cambio tiene una gran capacidad de bits pero no soporta recepción de tipo **indoor**, con antena interior, ni movilidad, además que requiere un mayor procesamiento en la recepción y la cobertura disminuye. En cambio la modulación 16-QAM tiene una buena capacidad y soporta recepción con antena interior y también ofrece buena cobertura. Las características de los tipos de modulación se pueden observar en la Figura 12.

Figura 12. Relación de cobertura y carga útil según el tipo de modulación



A partir de la gráfica se observa que la modulación QPSK tiene una gran cobertura pero un nivel de carga útil muy bajo, al contrario que la modulación 64-QAM, que tiene una gran carga útil pero un bajo nivel de cobertura. El punto medio de esta relación es la modulación 16-QAM, que fue la escogida.

Los valores escogidos de tasa de codificación e intervalo de guarda son pequeños debido a que permiten tener recepción en movilidad y que los dispositivos móviles, cuyos receptores son mucho más sencillos que un receptor fijo, puedan decodificar la señal. El valor del intervalo de guarda escogido también determina la distancia entre transmisores.

Los estudios realizados para la escogencia de estos parámetros fueron de tipo externo a la entidad RTVC.

A partir de estos parámetros se realizan los cálculos correspondientes para las variables de potencia, cobertura, retardo e interferencia para efectuar la correspondiente simulación y definir cuál se acerca más a la realidad del diseño adecuado para la red de Bogotá. [1]

Dentro del campo del análisis de ingeniería es necesario definir las normas y recomendaciones utilizadas para el diseño de la red.

2.2.2 Recomendación ETSI EN 300 744

Radio difusión digital de video; Estructura de la trama, codificación de canal y modulación para televisión digital terrestre (***Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television***). [17]

En esta recomendación se especifican los procesos previamente descritos en el marco conceptual para la adaptación de la señal de televisión antes de la transmisión.

Para el diseño de la red de frecuencia única se utilizaron las tablas descritas en esta recomendación con el fin de determinar la tasa de transmisión y el valor de la relación C/N (**Carrier/Noise**, portadora/ruido).

2.2.2.1 Tasa de transmisión. Para determinar la tasa de bits o tasa de transmisión se utiliza la Tabla 2 tomada de la recomendación para un canal de 6 MHz. [17]

Tabla 2. Tasa de bits útil (Mbps) según el intervalo de guarda, modulación y tasa de codificación para un canal de 6 MHz.

Modulación	Tasa de codificación	Intervalo de guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,732	4,147	4,391	4,524
	2/3	4,976	5,529	5,85	8,04
	3/4	5,599	6,221	6,587	6,032
	5/6	6,221	6,912	7,318	6,786
	7/8	6,532	7,257	7,684	7,540
16-QAM	1/2	7,465	8,294	8,782	7,917
	2/3	9,953	11,059	11,709	9,048
	3/4	11,197	12,441	13,173	12,064
	5/6	12,441	13,824	14,637	13,572
	7/8	13,063	14,515	15,369	15,080
64-QAM	1/2	11,197	12,441	13,173	13,572
	2/3	14,929	16,588	17,564	18,096
	3/4	16,796	18,662	19,760	20,358
	5/6	18,662	20,735	21,955	22,620
	7/8	19,595	21,772	23,053	23,751

Fuente: Recomendación ETSI EN 300 744.

2.2.2.2 Relación portadora/ruido C/N. La relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa también es conocida según la modulación y la tasa de codificación. Es importante recalcar que el estudio se basa en la relación C/N dado que esta indica la calidad de la señal de radiofrecuencia y no en la relación S/N (**Signal/Noise**, señal/ruido), que muestra la relación de la potencia de una señal analógica con respecto al nivel de ruido. En la televisión digital las señales moduladoras están mezcladas y no son analizadas, únicamente se analizan las portadoras por lo cual se utiliza como referencia esta relación.

En la Tabla 3 se indican los valores de C/N según el tipo de modulación y la tasa de codificación. [17]

Tabla 3. C/N requerido según la modulación y tasa de codificación.

Modulación	Tasa de codificación	Canal Ricean	Canal Rayleigh
QPSK	1/2	4,1	5,9
	2/3	6,1	9,6
	3/4	7,2	12,4
	5/6	8,5	15,6
	7/8	9,2	17,5
16-QAM	1/2	9,8	11,8
	2/3	12,1	15,3
	3/4	13,4	18,1
	5/6	14,8	21,3
	7/8	15,7	23,6
64-QAM	1/2	14,3	16,4
	2/3	17,3	20,3
	3/4	18,9	23,0
	5/6	20,4	26,2
	7/8	21,3	28,6

Fuente: Recomendación ETSI EN 300 744.

Para recepción de tipo portable se utiliza el canal de Rayleigh, para recepción fija se utiliza el canal Ricean.

2.2.3 Recomendación ETSI TR 101 190

Radio difusión digital de video; Directrices de aplicación para los servicios de DVB terrestre; aspectos de transmisión (**Digital Video Broadcasting (DVB)**);

Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects).

En esta recomendación se definen los aspectos de planeación de redes tenidos en cuenta para realizar el diseño y que dependen de las características de la red de televisión digital estudiada. [18]

2.2.3.1 Antena de recepción. La antena de recepción puede ser de tipo fija, portable o móvil.

En recepción fija se utiliza una antena receptora direccional ubicada en el techo, y para realizar los cálculos con este tipo de antena se asume una altura de la antena de 10 m sobre el nivel del suelo.

La recepción portable se puede clasificar en dos tipos:

La clase A corresponde a la recepción al aire libre o **outdoor**, en donde la altura considerada es de mínimo 1,5 m sobre el nivel del suelo.

La clase B es una antena de recepción en interiores o **indoor**, cuya altura mínima es de 1,5 m sobre el nivel del piso dentro de una habitación, en una planta baja o ubicada en una ventana.

Los niveles de recepción para cada tipo de recepción se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Recepción nivel de servicio.

Tipo de recepción	Nivel de recepción
Outdoor fijo	$\geq 48 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$
Indoor portable	$\geq 79 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$
Outdoor móvil	$\geq 71 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$
Fuente: ACIEM	

La recepción móvil no está abarcada dentro de los límites de este proyecto.

Para los cálculos realizados se asume la recepción de tipo **indoor** portable ya que el área estudiada es de tipo urbana. [1]

2.2.3.2 Área de cobertura. El área de cobertura según la recomendación se clasifica como “buena” si al menos un 95% de los lugares recibe la señal de televisión, y es “aceptable” si al menos un 70% se encuentra cubierto. Para los cálculos se asume un porcentaje de 95% del área de cobertura.

2.2.3.3 Niveles mínimos de la señal de recepción. Teniendo en cuenta el nivel de C/N estipulado por la recomendación ETSI EN 300 744 es posible calcular el nivel mínimo de intensidad de campo que debe haber en la recepción para establecer un nivel mínimo de potencia según la banda de frecuencia.

Para realizar este cálculo se utilizan una serie de tablas y ecuaciones definidas a continuación:

Tabla 5. Nivel mínimo equivalente de la señal de entrada al receptor.

Bandas de frecuencia I, III, IV, V						
Ancho de banda del ruido equivalente	B(Hz)	7,6 * 10 ⁶	7,6 * 10 ⁶	7,6 * 10 ⁶	7,6 * 10 ⁶	7,6 * 10 ⁶
Figura de ruido del receptor	F(dB)	7	7	7	7	7
Potencia de ruido de entrada del receptor	P _n (dBW)	-128,2	-128,2	-128,2	-128,2	-128,2
Relación señal RF /ruido	C/N(dB)	2	8	14	20	26
Potencia mínima de la señal entrada al receptor	P _{s min} (dBW)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Voltaje mínimo equivalente a la entrada del receptor	U _{s min} (dBμV)	13	19	25	31	37
Fuente: Recomendación ETSI TR 101 190.						

Las ecuaciones utilizadas para realizar los cálculos de los valores expuestos en la Tabla 5 son las siguientes:

$$P_n = F + 10 * \log(k * T_0 * B) \quad (1)$$

Donde k es la constante de Boltzmann (1,38 * 10⁻²³J/K) y T₀ temperatura absoluta (290 K).

$$P_{s \min} = P_n + C/N \quad (2)$$

$$U_{s \min} = P_{s \min} + 120 + 10 * \log(Z_i) \quad (3)$$

Donde Z_i (75Ω) es la impedancia de entrada al receptor.

Para calcular la densidad de flujo de potencia mínima o la intensidad de campo equivalente para un porcentaje del 95% de las ubicaciones, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\varphi_{\min} = P_{s \min} - A_a \quad (4)$$

Donde φ_{\min} es la mínima densidad de flujo de potencia en el receptor (dBW/m^2) y A_a es la apertura efectiva de la antena en dBm^2 .

$$E_{\min} = \varphi_{\min} + 120 + 10 * \log(120 * \pi) \quad (5)$$

$$E_{\min} = \varphi_{\min} + 145,8 \quad (6)$$

Donde E_{\min} es la intensidad de campo mínima equivalente en el receptor ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$).

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l + L_h + L_b \quad (7)$$

Donde φ_{med} es la mediana de la mínima densidad de flujo de potencia, que es el valor que se utiliza para hacer la planeación de redes (dBW/m^2). P_{mmn} es la tolerancia por el ruido introducido por el hombre, C_l es el factor de corrección de ubicación, L_h es la pérdida por altura y L_b es la pérdida por penetración de edificios.

$$E_{\text{med}} = \varphi_{\text{med}} + 120 + 10 * \log(120 * \pi) \quad (8)$$

$$E_{\text{med}} = \varphi_{\text{med}} + 145,8 \quad (9)$$

Donde E_{med} es la mediana de la intensidad de campo mínima equivalente, también es el valor utilizado para planeación ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$).

Estos cálculos se encuentran en la Tabla 6 para una probabilidad de ubicación del 95%:

Tabla 6. Densidad de flujo de potencia e intensidad de campo en banda IV para recepción portable *indoor*.

Frecuencia f (MHz)		500				
C/N mínimo requerido por el sistema (dB)		2	8	14	20	26
Potencia mínima de la señal entrada al receptor	$P_{s \min}$ (dBW)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Voltaje mínimo equivalente a la entrada	$U_{s \min}$ (dB μ V)	13	19	25	31	37

Frecuencia f (MHz)		500				
del receptor, 75 Ω						
Ganancia de la antena relativa al dipolo de media onda	G_a (dB)	0				
Apertura efectiva de la antena	A_a (dBm ²)	-13,3				
Mínima densidad de flujo de potencia en el receptor	φ_{\min} (dBW/m ²)	-112,9	-106,9	-100,9	-94,9	-88,9
Intensidad de campo mínima equivalente en el receptor	E_{\min} (dBμV/m)	33	39	45	51	57
Tolerancia por el ruido introducido por el hombre	P_{mmn} (dB)	0				
Pérdida por altura	L_h (dB)	12				
Pérdida por penetración de edificios	L_b (dB)	7				
Probabilidad de ubicación: 95%						
Factor de corrección de ubicación	C_l (dB)	14				
Mediana de la mínima densidad de flujo de potencia	φ_{med} (dBW/m ²)	-79,9	-73,9	-67,9	-61,9	-55,9
Mediana de la intensidad de campo mínima equivalente	E_{med} (dBμV/m)	66	72	78	84	90
Fuente: Recomendación ETSI TR 101 190.						

2.2.4 Recomendaciones UIT-R P.525-2 y UIT-R P.526-10

La recomendación UIT-R P.525-2 permite realizar el cálculo de la atenuación en el espacio libre, lo cual es una referencia fundamental en ingeniería radioeléctrica y en enlaces de telecomunicaciones. Este cálculo se realiza dependiendo del tipo de servicio a estudiar, en este caso es un enlace de tipo punto a zona, por lo cual se puede calcular la intensidad de campo en un punto como lo indica la ecuación (10):

$$e = \frac{\sqrt{30 \cdot \text{pire}}}{d} \quad (10)$$

Donde e es la intensidad de campo (V/m), pire es la potencia isotrópica radiada equivalente (W) y d es la distancia del transmisor al punto considerado (m).

Como la intensidad de campo es conocida, se pretende con esta ecuación calcular el valor de p_{ire} y a su vez conocer el valor de la potencia requerida por el transmisor como se indica en las ecuaciones (11) y (12).

$$p_{ire} = \frac{(e*d)^2}{30} \quad (11)$$

$$P = \frac{p_{ire}}{G} \quad (12)$$

Donde P (W) es la potencia de transmisión requerida y G (W) es la ganancia de la antena de transmisión.

Teniendo en cuenta las pérdidas por transmisión la potencia requerida incluyendo pérdidas se calcula con la ecuación (13):

$$P_{tx} = P + L_{tx} \quad (13)$$

Donde P_{tx} (dB) es la potencia de transmisión requerida y L_{tx} (dB) son las pérdidas por transmisión que para este caso son de 2 dB.

La relación de potencia entre los sistemas análogo y digital se encuentra expresada en las ecuaciones (14) y (15).

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{P_a(W)}{P_d(W)} \quad (14)$$

$$P_a(\text{dB}) - P_d(\text{dB}) \cong 10 * \log \frac{P_a}{P_d} \quad (15)$$

Donde P_a es la potencia para transmisión análoga y P_d es la potencia para transmisión digital

La recomendación UIT-R P.526-10, permite un análisis geométrico del perfil radioeléctrico y así mismo evalúa el efecto de la difracción en la intensidad de campo recibida teniendo en cuenta los diferentes tipos de obstáculos y geometrías de trayecto. Esta recomendación es utilizada como método de cálculo en la simulación con Xirio Online.

2.2.5 Recomendación UIT-R BT.1368-8

Criterios para la planificación de servicios de televisión digital terrenal en las bandas de ondas métricas/decimétricas. Servicio de radiodifusión (televisión).

Esta recomendación establece los valores de protección que se deben tener en cuenta para evitar interferencias en la planificación de sistemas de televisión digital terrestre. La relación de protección corresponde al valor mínimo de la relación entre la señal deseada y la señal no deseada y se expresa en dB. Este valor se mide a la entrada del receptor.

El sistema DVB-T puede ser interferido por cuatro tipos de señales: señal de televisión digital terrestre DVB-T, señal de televisión analógica, señales de audio análogas o señales de radiodifusión de audio digital T-DAB (**Digital Audio Broadcasting**).

Para cada una de estas señales existe una relación de protección que se debe tener en cuenta con el fin de evitar interferencias, sin embargo, en la recomendación no se han establecido las relaciones correspondientes entre NTSC y DVB-T para un canal de 6 MHz.

En la Tabla 7 se indica la relación de protección cocanal para una señal de televisión digital terrestre DVB-T interferente. Este valor depende de la modulación y de la tasa de codificación para un canal Gaussiano, canal de Rice y canal de Rayleigh. Como se especificó previamente, este último se trabaja para recepción de tipo portable.

Tabla 7. Relaciones de protección cocanal de una señal DVB-T interferida por una señal DVB-T.

Modulación	Tasa de codificación	Canal Gaussiano (dB)	Canal de Rice (dB)	Canal de Rayleigh (dB)
QPSK	1/2	5	6	8
QPSK	2/3	7	8	11
16-QAM	1/2	10	11	13
16-QAM	2/3	13	14	16
16-QAM	3/4	14	15	18
64-QAM	1/2	16	17	19
64-QAM	2/3	19	20	23
64-QAM	3/4	20	21	25

Fuente: Recomendación UIT-R BT.1368-8.

La relación de protección de una señal DVB-T interferente en los canales adyacentes inferior y superior se indica en la Tabla 8.

Tabla 8. Relaciones de protección de una señal DVB-T interferida por una señal DVB-T en los canales adyacentes.

Canal	N-1 (dB)	N+1 (dB)
Radio de protección	-30	-30
Fuente: Recomendación UIT-R BT.1368-8.		

2.2.6 Unidades

El manejo de unidades y conversiones en el proyecto es de vital importancia. A continuación se muestran las unidades de potencia más utilizadas y algunas equivalencias.

- **Decibel (dB):** Expresa una relación entre dos cantidades de potencia o voltaje en términos logarítmicos.

$$dB = 10 \log \frac{P_1(w)}{P_2(w)} = 20 \log \frac{V_1(v)}{V_2(v)}$$

- **dBW:** Expresa el nivel de potencia en un punto respecto a 1 Watio.

$$dBW = 10 \log P(W)$$

De dBW a Watts :

$$W = 10^{(dBW/10)}$$

- **dBW/m²:** Unidad de referencia para indicar medidas de densidad de flujo de potencia para una intensidad de campo dada. Ver ecuación (5).
- **dBμV:** Expresa el nivel de tensión (V).existente en un punto con respecto a 1 microvatio (μV).

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

De dBμV a Voltios:

$$V = 10^{((dB\mu V - 120)/20)}$$

- **dBμV/m:** Unidad de referencia para indicar medidas de intensidad de campo eléctrico. Se puede expresar en términos de V/m. Los resultados de las simulaciones de Xirio Online para esta unidad se escriben en dBu. [11]

De dBμV/m a V/m

$$V/m = 10 \left(\frac{((dB\mu V/m) - 120)}{20} \right)$$

De V/m a dB μ V/m

$$dB\mu V/m = 20 \log(V/m) + 120$$

- **dB_i**: Unidad de referencia para la ganancia de una antena expresada en decibeles (dB) referida a la radiación isotrónica.

De dB_i a dB_d

$$dB_i = dB_d + 2,14dB$$

- **dB_d**: Unidad de referencia para la ganancia de la antena en referencia al dipolo de media onda.

De dB_d a dB_i

$$dB_d = dB_i - 2,14dB$$

2.2.7 Xirio Online

Es una herramienta en línea que permite realizar simulaciones de coberturas radioeléctricas en baja resolución de manera rápida y sin ningún costo, por lo cual no es necesario disponer de herramientas de planificación ni cartografía digital propias para poder realizar los cálculos deseados. Esta herramienta permite calcular, compartir y publicar los resultados obtenidos en la red.

Mediante la aplicación **PlanningTool** de Xirio Online se pueden realizar estudios de distintas tecnologías y de servicios radioeléctricos, cada uno requiere una metodología específica, procedimientos de planificación particulares, y los parámetros necesarios de configuración para obtener simulaciones válidas y realistas; estos estudios ayudan a realizar un análisis del comportamiento radioeléctrico de los diferentes elementos que componen la red de las diferentes tecnologías: transmisores, receptores, métodos de cálculo, etc.

Los cálculos que definen la viabilidad de un radioenlace digital no estudian únicamente los niveles de señal que imponen las estaciones transmisoras en los

puntos de recepción, sino que realizan un análisis detallado de las características del enlace para obtener los niveles esperados de calidad. [13]

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO

Este capítulo contiene la propuesta de ingeniería, el análisis y el diseño para realizar las simulaciones correspondientes, mostrando el proceso de investigación utilizado para desarrollar las variables de ingeniería y la metodología. Estos resultados se encuentran en este capítulo desarrollados de la siguiente manera:

Respecto al primer objetivo específico, el análisis de características técnicas de las estaciones de televisión Manjui, Calatrava y Boquerón, puede consultarse en la sección 3.1.1, así como la síntesis de los elementos a reutilizar en una red SFN de televisión digital.

Respecto al segundo objetivo específico, los requerimientos de potencia, cobertura, retardos e interferencias para el diseño de la red están especificados en las secciones 3.2 y 3.3.

El tercer objetivo de este proyecto se encuentra desarrollado en el capítulo 5 de pruebas y análisis de resultados.

3.1 ESTADO DEL ARTE

El análisis se inicia a partir del sistema actual que corresponde a la red de televisión analógica que cubre Bogotá, de donde se obtiene la información física, geográfica y técnica de las estaciones para así poder determinar qué elementos pueden ser reutilizados en una red de frecuencia única.

3.1.1 Sistema Actual

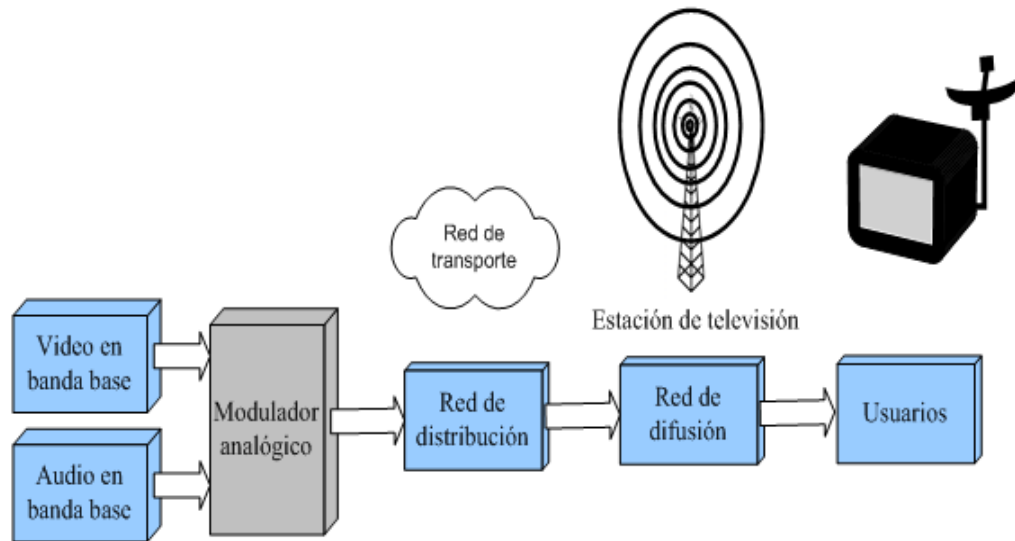
En esta sección se presenta una síntesis del sistema análogo y los parámetros de transmisión y recepción, a partir de los cuales se realizó la simulación de la cobertura de las estaciones sobre la ciudad de Bogotá utilizando Xirio Online, ya que no hay documentación al respecto. Es preciso aclarar que la estación de Calatrava ya es de tipo digital, debido a que ha sido utilizada para el proceso de investigación en Colombia y realizar las pruebas correspondientes para implementar la televisión digital.

Actualmente, el servicio de televisión terrestre radiodifundida en Colombia está basado en el estándar analógico NTSC. Este estándar define un ancho de banda de 6 MHz para un canal de televisión y es un sistema americano que transmite

imágenes a color y sonido en FM. La distribución de un canal NTSC se encuentra en la Figura 3.[5]

El sistema actual de televisión análoga consiste en una serie de procesos realizados desde el centro de emisión hasta la recepción de los usuarios. Este sistema se describe en la Figura 13.

Figura 13. Sistema de televisión análogo



El proceso de transmisión empieza en el estudio de emisión o centro de producción, donde se genera el programa de televisión por un proveedor de contenidos. Las señales de video y de audio de estos contenidos se encuentran en banda base y se introducen en un modulador analógico, cuando se realiza la modulación se envía la señal a los centros de difusión mediante la red de transporte que está compuesta por enlaces vía radio. Finalmente se realiza la difusión por radiofrecuencia desde las estaciones de transmisión a los usuarios finales.

La información de las especificaciones técnicas de las estaciones utilizadas para el desarrollo del proyecto y para realizar las simulaciones se encuentran en el Anexo C.

3.1.1.1 Estación Análoga Boquerón de Chipaque. La estación análoga de Boquerón de Chipaque se encuentra ubicada en una zona rural del departamento de Cundinamarca más específicamente en el municipio de Chipaque. Las características geográficas de su ubicación se encuentran en la Tabla 9.

Tabla 9. Características geográficas de Boquerón de Chipaque.

Sistema de coordenadas: WGS84 ²
Latitud (Grados – Minutos – Segundos): N: 4°28'37"
Longitud (Grados – Minutos – Segundos): W: 74°04'30"
Altura (msnm, metros sobre el nivel del mar): 3519
Fuente: Anexos RTVC.

La torre de Boquerón de Chipaque es de tipo autosoportada, con base cuadrada y tiene una altura total de 30 m. Actualmente esta torre se encuentra en mal estado, a pesar que sólo cuenta con 13 años de funcionamiento para la red primaria de RTVC, pero presenta un alto deterioro a lo que se sugiere la necesidad de pintura general. El sistema radiante de esta estación se encuentra resumido en la Tabla 10.

Tabla 10. Sistema Radiante Estación Análoga Boquerón de Chipaque.

Marca	HARRIS
Modelo	RYMSA AT13-240
Potencia de transmisión:	Potencia nominal del transmisor (W): 500
Tipo	Panel
Ganancia de la antena (dBd)	10.5
Configuración (número de elementos por cara con su respectivo acimut)	1 en 120°, 1 en 210°, 1 en 300°,0
Distancia en X, Y, Z (mm)	700, 700, 3200
Número de antenas instaladas	3
Altura de las antenas en la torre	Ubicación primera antena en la torre 30 m, sección de la torre 1400 mm.
Tamaño de la antena (m)	1.25 x 2.8
Fuente: Anexos RTVC.	

Actualmente, este transmisor cuenta con la emisión nacional de 3 canales públicos en la banda VHF del espectro radioeléctrico (BI, que va de 47 MHz a 68 MHz y BIII, que va de 174 MHz a 230 MHz), la canalización correspondiente se encuentra en la Tabla 11.

² *World Geodetic System 84* , Sistema Geodésico Mundial 1984

Tabla 11. Canalización Boquerón de Chipaque.

Nombre del canal	Número del canal	Frecuencia(MHz)
Institucional	6	82-88
Canal Uno	3	60-66
Señal Colombia	12	204-210
Fuente: Anexos RTVC.		

3.1.1.2 Estación Análoga Manjui. Manjui es uno de los principales transmisores de radiodifusión análoga que existe en Colombia y se encuentra ubicado cerca al municipio de Facatativá en Cundinamarca. Sus características geográficas se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12. Características geográficas de Manjui.

Sistema de coordenadas: WGS84
Latitud (Grados – Minutos – Segundos): N: 4°48'11"
Longitud (Grados – Minutos – Segundos): W: 74°23'36"
Altura (msnm, metros sobre el nivel del mar): 3250
Fuente: Anexos RTVC.

La ubicación de este transmisor es estratégica para la transmisión análoga, dado que proporciona cobertura a grandes áreas geográficas entre las cuales se encuentran Bogotá, el Magdalena medio, parte del Tolima y Cundinamarca. La estación de Manjui cuenta con dos torres de transmisión de tipo autosoportada con base cuadrada. La torre principal tiene una altura de 150 m y es la utilizada para realizar el correspondiente estudio en este proyecto. La segunda torre cuenta con una altura de 70 m, es un transmisor de reserva y es usada para soporte del transmisor principal.

El sistema radiante de los dos transmisores es el mismo, por lo tanto las especificaciones son iguales y se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13. Sistema Radiante Estación Análoga Manjui.

Marca	RYMSA
Modelo	AT13-240
Tipo	Panel
Potencia de transmisión:	20000 W
Ganancia de la antena (dBd)	10.5
Distancia en X, Y, Z (mm)	700, 700, 3200
Número de antenas instaladas	16
Altura de las antenas en la torre	Ubicación primera antena en la torre 150 m, sección de la torres 1300 mm y soporte 50 mm. Segunda torre

	es de 70 m
Tamaño de la antena (m)	1.25 x 2.8
Fuente: Anexos RTVC.	

Manjui es centro de emisión nacional, desde este punto se transmiten los principales canales nacionales existentes, sin embargo esta investigación sólo está basada en la red de RTVC, como se indicó previamente, debido a la facilidad para acceder a la información que es de carácter pública.

La canalización correspondiente se encuentra en la Tabla 14.

Tabla 14. Canalización Manjui.

Nombre del canal	Número del canal	Frecuencia(MHz)
Institucional	9	186-192
Canal Uno	7	174-180
Señal Colombia	11	198-204
Fuente: Anexos RTVC.		

Estación Digital Calatrava. Es una estación instalada en el año 2000, cuando se inició el proceso de investigación de televisión digital para Colombia y actualmente se sigue utilizando para realizar pruebas de los parámetros adecuados para el estándar DVB-T. Se encuentra ubicada en el norte de Bogotá, en los altos de Chozica, Calatrava.

Sus características geográficas se encuentran descritas en la Tabla 15.

Tabla 15. Características geográficas de Calatrava.

Sistema de coordenadas: WGS84
Latitud (Grados – Minutos – Segundos): N: 4°43'37"
Longitud (Grados – Minutos – Segundos): W: 74°4'50"
Altura (msnm, metros sobre el nivel del mar): 2666
Fuente: Anexos RTVC.

La estación Calatrava cuenta con un transmisor principal y un transmisor de reserva. El transmisor principal es usado para el estudio de este proyecto y se encuentra en una torre autosoportada de base cuadrada, el transmisor de reserva como su nombre lo indica se utiliza como soporte en caso de fallas del transmisor principal.

Teniendo en cuenta que la estación de Calatrava ya tiene instalado un sistema digital, es preciso conocer las características técnicas de los transmisores utilizados en esta estación. (Véase Anexo C)

El sistema radiante de esta estación se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Sistema Radiante Estación Calatrava.

Marca	RYMSA
Modelo	AT15-250
Tipo	Panel
Potencia de transmisión:	1000 W
Ganancia de la antena (dBd)	11.35
Distancia en X, Y, Z (mm)	340, 340, 1000
Número de antenas instaladas	18
Altura de las antenas en la torre	Ubicación primera antena en la torre 60 m, sección de la torre 680 mm.
Tamaño de la antena (m)	0.483 x 0.983
Fuente: Anexos RTVC.	

Calatrava es el centro de pruebas para televisión digital terrestre actualmente para Colombia y está diseñada para una red MFN digital. Las frecuencias de los canales públicos de RTVC se encuentran en la banda UHF (**Ultra High Frequency**, 300 MHz – 3000 MHz), más específicamente en la banda BIV, que va de 470-582 MHz, tal como se puede ver en la Tabla 17.

Tabla 17. Canalización Calatrava


Nombre del canal	Número del canal	Frecuencia(MHz)
Institucional	30	566-572
Canal Uno	27	548-554
Señal Colombia	25	536-542
Fuente: Anexos RTVC		


3.1.1.3 Parámetros de transmisión. Los parámetros de transmisión configurados para cada una de las estaciones se indican en las Figura 14, Figura 15 y Figura 16. Para las simulaciones se tomaron las frecuencias centrales de los rangos establecidos para el canal institucional.

Figura 14. Propiedades del transmisor análogo Boquerón de Chipaque.

Propiedades del Transmisor

Transmisor	
Nombre:	Boqueron_Análogo

Emplazamiento	
Coordenadas 	
Latitud:	04°28'37.00"N
Longitud:	074°04'30.00"W


Parámetros de radio	
Antena:	AT 13-240 
Frecuencia:	85 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	30 m
Orientación:	330 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	500 W


Fuente: Xirio Online

Figura 15. Propiedades del transmisor análogo Manjui.

Propiedades del Transmisor

Transmisor	
Nombre:	Manjui_Análogo

Emplazamiento	
Coordenadas 	
Latitud:	04°48'11.00"N
Longitud:	074°23'36.00"W

Parámetros de radio	
Antena:	AT 13-240 
Frecuencia:	189 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	150 m
Orientación:	0 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	20000 W

Fuente: Xirio Online

Figura 16. Propiedades del transmisor digital Calatrava.

Propiedades del Transmisor

Transmisor	
Nombre:	Calatrava_Actual
Emplazamiento	
Coordenadas	
Latitud:	04°43'37.00"N
Longitud:	074°04'50.00"W
Parámetros de radio	
Antena:	AT 15-250
Frecuencia:	569 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	60 m
Orientación:	0 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	1000 W

Fuente: Xirio Online

3.1.1.4 Parámetros de recepción. En esta sección se presentan los parámetros de recepción que se deben tener en cuenta para una red de televisión análoga con el fin de establecer la comparación con el sistema digital.

Los parámetros de recepción para la televisión análoga se encuentran definidos en la recomendación UIT-R BT.417-5 (Mínima intensidad de campo que puede ser necesario proteger al establecer los planes de un servicio de televisión terrenal analógica). Esta recomendación incluye los planes de servicio de las Bandas I, III, IV ó V, como se indica en la Tabla 18. Estos valores corresponden a la intensidad de campo a una altura de 10 m sobre el suelo.

Tabla 18. Valores Mínimos de Intensidad de Campo en televisión análoga.

Banda	I	III	IV	V
dB μ V/m*	48	55	65	70
Fuente: Recomendación UIT-R BT.417-5.				
* La intensidad de campo se da en términos de dB con relación a microvoltios por metro (dB μ V/m)				

Para conocer la intensidad de campo mínima en la recepción con el transmisor de Calatrava se toma como referencia el valor indicado en la Tabla 20 para banda IV.

Tabla 19. Valores Mínimos de Intensidad de Campo en Televisión Digital.

Banda	Nivel mínimo de servicio	Unidades
I y II	45	$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$
III	47	$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$
IV y V	52	$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$

Fuente: Acuerdo CNTV.

Las Figura 17, Figura 18 y Figura 19 indican los parámetros de recepción con una antena tipo Yagi de 14 dBi (Ganancia de la antena referida a la radiación isotrópica), a una frecuencia según la de cada transmisor, para una antena receptora con altura de 10 m y el umbral de recepción correspondiente según la Tabla 18 para televisión análoga y la Tabla 19 para televisión digital.

Figura 17. Parámetros de recepción para la estación Boquerón de Chipaque.

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena:

Frecuencia: MHz

Polarización: Horizontal

Altura antena: m

Umbral recepción: Campo Potencia

dBu

Fuente: Xirio Online

Figura 18. Parámetros de recepción para la estación Manjui.

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena:

Frecuencia: MHz

Polarización: Horizontal

Altura antena: m

Umbral recepción: Campo Potencia

dBu

Fuente: Xirio Online

Figura 19. Parámetros de recepción para la estación Calatrava.

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena: Yagi 14 dBi 36°

Frecuencia: 569 MHz

Polarización: Horizontal

Altura antena: 10 m

Umbral recepción: Campo Potencia

52 dBu

Fuente: Xirio Online

3.1.1.5 Cobertura estaciones análogas. A partir de los parámetros de transmisión y recepción ya definidos se realizaron las simulaciones de las coberturas radioeléctricas del sistema actual en Bogotá con el programa Xirio Online. El transmisor de Boquerón de Chipaque cubre el sur de Bogotá y otros municipios del departamento de Cundinamarca. En la Figura 20 se observa que la cobertura análoga de este transmisor abarca con gran eficiencia el área destinada para su funcionamiento con un nivel de intensidad de campo de $73 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, lo cual es muy superior al nivel mínimo de $48 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, a pesar que es un transmisor con una baja potencia de 500 W.

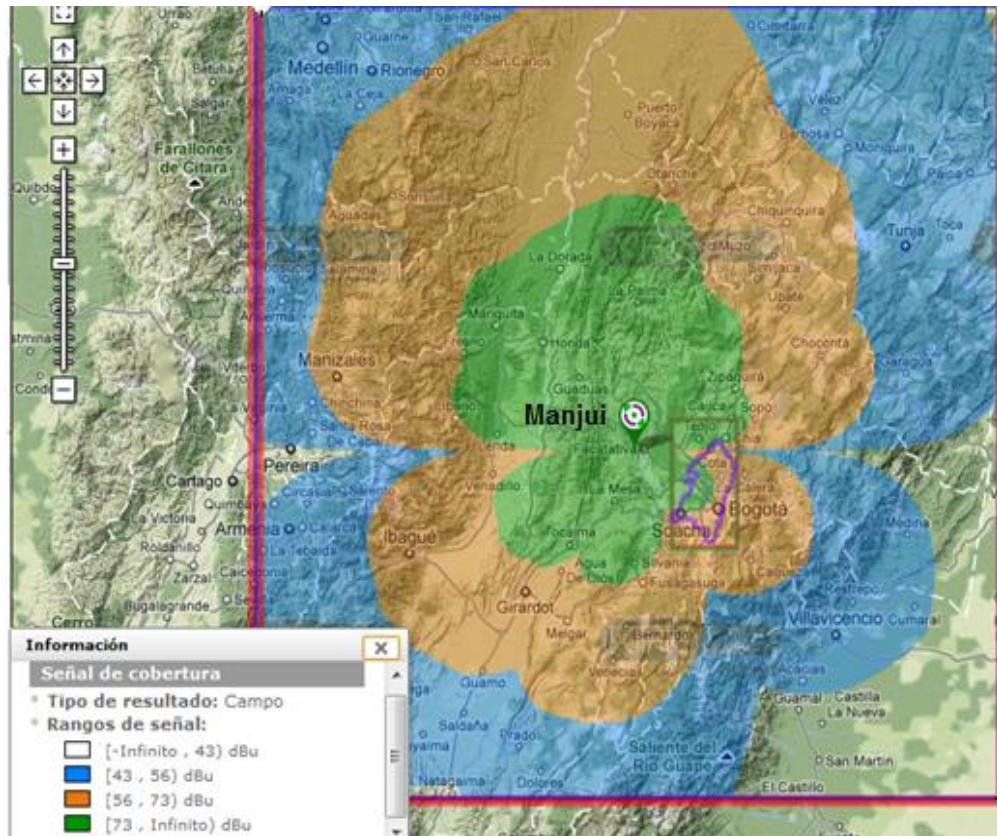
Figura 20. Cobertura Análoga Boquerón de Chipaque.



Fuente: Xirio Online

En la Figura 21 se observa la cobertura de Manjui sobre Bogotá y sobre zonas aledañas a ésta. Se observa que la ciudad de Bogotá es cubierta en su totalidad con un nivel de intensidad de campo de 56 dB μ V/m a 73 dB μ V/m, lo cual supera el nivel mínimo de 55 dB μ V/m. En Figura 22 la se observa esta cobertura con mayor precisión sobre el área de Bogotá.

Figura 21. Cobertura Análoga Manjui.

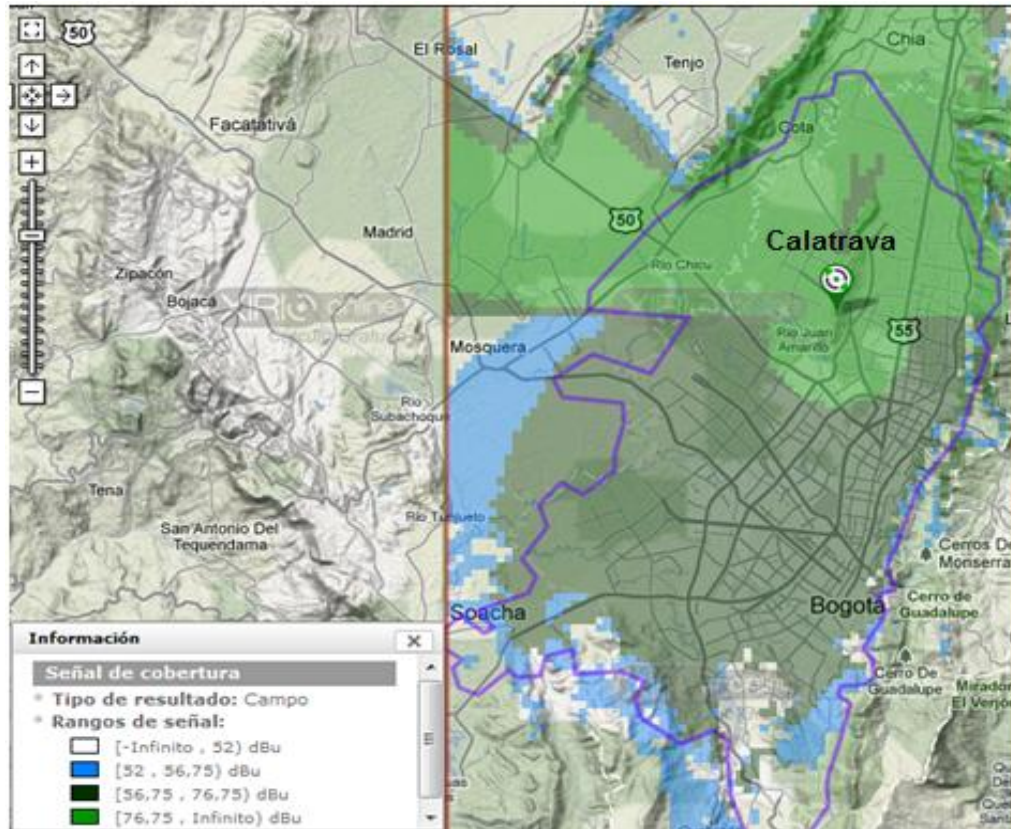


Fuente: Xirio Online

Figura 22. Cobertura Análoga Manjui sobre Bogotá.

En la Figura 23 se observa que según el nivel mínimo de intensidad de campo establecido de 52 dB μ V/m para banda IV, la cobertura de Calatrava sobre Bogotá abarca toda la ciudad con valores entre 56.75 dB μ V/m y 76.75 dB μ V/m. Sin embargo es preciso aclarar que con estas características actuales de la estación pueden presentarse interferencias con las demás estaciones que componen la red de frecuencia única, este análisis se realiza en la sección 4.2

Figura 23. Cobertura Digital Actual Calatrava.

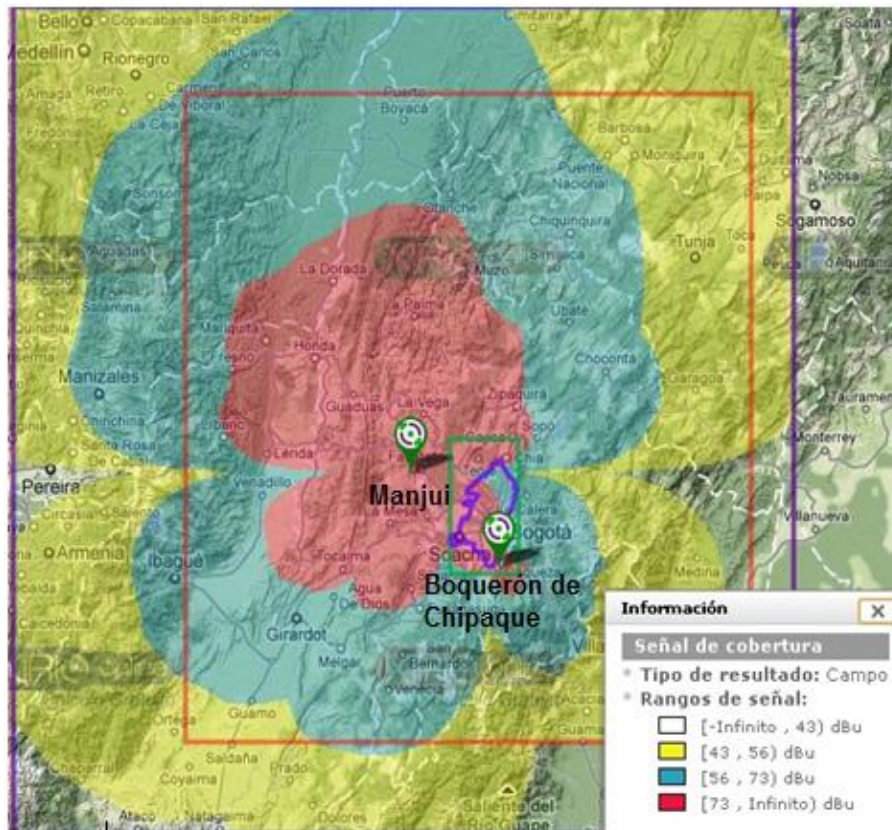


Fuente: Xirio Online

La tabla de información de la Figura 24, indica los niveles del campo umbral de recepción para televisión análoga,

Desde el nivel de campo 56.75 dB μ V/m a niveles mayores, la señal recibida tiene excelentes niveles de recepción y la figura indica que el nivel adecuado sólo se presenta en un área pequeña al norte de Bogotá y que el resto de la ciudad cuenta con una óptima cobertura.

Figura 24. Cobertura de Bogotá con las estaciones análogas del sistema actual.



Fuente: Xirio Online

3.2 ANÁLISIS DE VARIABLES DE INGENIERÍA

Las variables delimitadas en los objetivos específicos son utilizadas para determinar los requerimientos mínimos para el diseño de la red, realizando la comparación de variables entre el sistema análogo y digital. La estación de Calatrava ya tiene definidos los parámetros digitales especificados en el Anexo C, que serán analizados con el fin de determinar si son los adecuados para este diseño. A continuación se indica el análisis de cada una de ellas.

3.2.1 Potencia

Uno de los beneficios del cambio de televisión análoga a digital es que este nuevo sistema no requiere de grandes cantidades de potencia de transmisión para cubrir la misma área que actualmente cubre el servicio de televisión análoga. La potencia en el sistema digital es aproximadamente entre 10 dB y 15 dB menor a la

potencia requerida en el sistema análogo y se puede representar en la ecuación (16).³

$$P_a(\text{dBW}) - (10 \text{ dBW a } 15 \text{ dBW}) = P_a(\text{dBW}) \quad (16)$$

El análisis de esta variable consiste en determinar las relaciones de potencia existentes entre los sistemas de televisión análoga y el sistema de televisión digital. En el diseño se utilizan las ecuaciones descritas en el marco teórico referencial para calcular el valor aproximado de potencia requerida según las características de la red y se realice la comparación con los valores de este análisis. Según la información suministrada por RTVC los valores de potencia de las estaciones se indican en la Tabla 20:

Tabla 20. Potencia nominal de los transmisores actuales.

Estación	Potencia (W)	Potencia (dBW)
Boquerón	500	26,9897
Manjui	20 000	43,0103
Calatrava	1000	30
Fuente: Anexos RTVC.		

Para determinar el rango aproximado de las potencias para transmisión digital con respecto a las potencias actuales se realizaron los siguientes cálculos:

Boquerón de Chipaque

Basado en la ecuación (16) se tiene que:

$$26,9897\text{dBW} - (10 \text{ dBW a } 15 \text{ dBW}) = 16,9897 \text{ dBW a } 11,9897 \text{ dBW}$$

Manjui

$$43,0103\text{dBW} - (10 \text{ dBW a } 15 \text{ dBW}) = 33,0103 \text{ dBW a } 28,0103 \text{ dBW}$$

Estas potencias aproximadas para las estaciones digitales tendrían el mismo cubrimiento que las estaciones análogas actuales.

Calatrava

La potencia de la estación de Calatrava está establecida para una transmisión de tipo digital para una red MFN, por eso no es tenida en cuenta dentro de la relación, sin embargo es necesario replantear el valor de esta frecuencia para una red SFN

³ Este valor se toma como referencia de la televisión digital terrestre en España.[1]

en la que se requiere una menor potencia. El cálculo correspondiente se realiza en la sección 3.4.2.3.

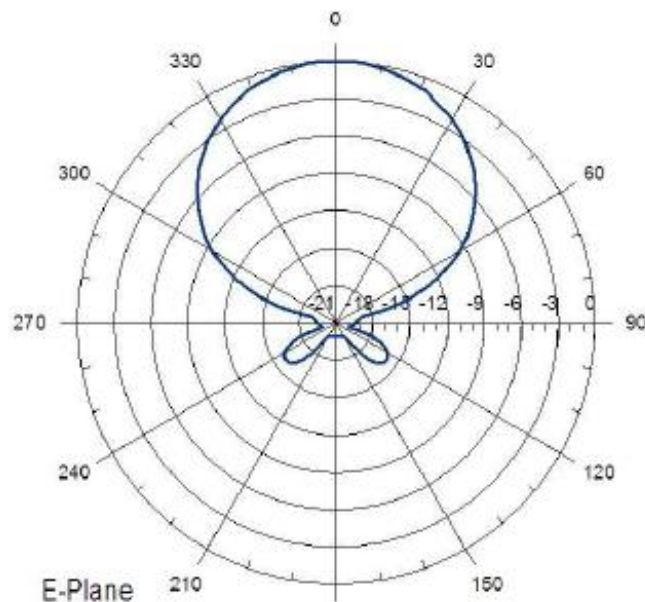
3.2.2 Cobertura

Para mantener la misma cobertura que se tiene actualmente con el servicio de televisión análoga se debe conservar el mismo patrón de radiación, sin embargo se debe realizar el cambio del sistema radiante de las estaciones para que corresponda con la banda UHF según el acuerdo de la CNTV. [1]

Las estaciones análogas de Boquerón de Chipaque y Manjui utilizan la misma antena de transmisión, AT 13-240, que se encuentra en la sección 3.1.1 donde se indican cada uno de los sistemas radiantes de las estaciones actuales. El patrón de radiación de esta antena se muestra en las Figura 25 y

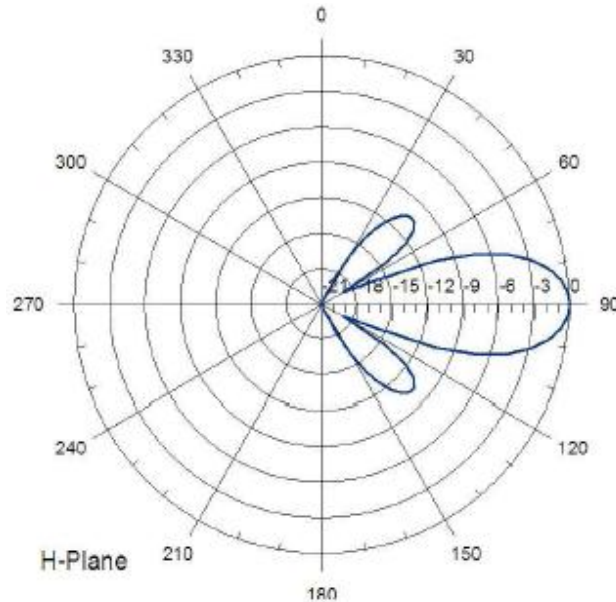
Figura 26.

Figura 25. Patrón de Radiación AT 13 -240, Plano E.



Fuente: RYMSA

Figura 26. Patrón de Radiación AT 13- 240 Plano H.



Fuente: RYMSA

El sistema radiante de la estación de Calatrava está adecuado para transmisión digital. Esta estación fue instalada para realizar las pruebas necesarias al momento de escoger el estándar que usaría Colombia para TDT, las demás estaciones requieren realizar cambios en su sistema radiante.

En el acuerdo de la CNTV, se afirma que para la implementación de los sistemas radiantes de las estaciones de transmisión, se trabajará con antenas con polarización horizontal. [1]

Teniendo en cuenta que la marca de las antenas de RTVC es RYMSA, se estudió el catálogo de este fabricante observando las bandas de frecuencias de las antenas ofrecidas. Dentro de la banda de frecuencia UHF con polarización horizontal se encontraron las antenas descritas en la Tabla 21:

Tabla 21. Antenas RYMSA en la banda UHF

Antena	Banda de frecuencia	Ganancia		Características
		dBd	dBi	
AT 15-250	470 MHz – 862 MHz	11.35	13.49	Omnidireccional, panel, polarización horizontal
AT 15-804	470 MHz – 790 MHz	9.7	11.84	No omnidireccional,

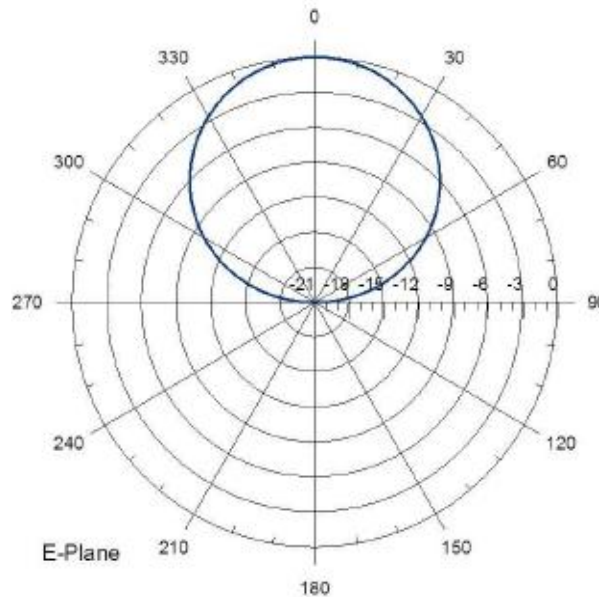
Antena	Banda de frecuencia	Ganancia		Características
		dBd	dBi	
				polarización horizontal
AT 15-826	470 MHz – 790 MHz	11.6	13.74	No omnidireccional, polarización horizontal
AT 15-870	470 MHz – 790 MHz	13.5	15.64	No omnidireccional, polarización horizontal

Fuente: RYMSA

Las antenas actualmente utilizadas en las estaciones Manjui y Boquerón de Chipaque son de tipo panel y con polarización horizontal, según estas características y las antenas indicadas en la Tabla 21, la antena cuyo patrón de radiación es el que más se asimila al patrón de radiación análogo es la AT 15-250, que además es de tipo panel y tiene polarización horizontal, por lo cual se garantiza que no haya una variación en la cobertura y sea escogida como la más adecuada para el nuevo sistema radiante. La estación de Calatrava ya utiliza para transmitir la antena AT 15-250.

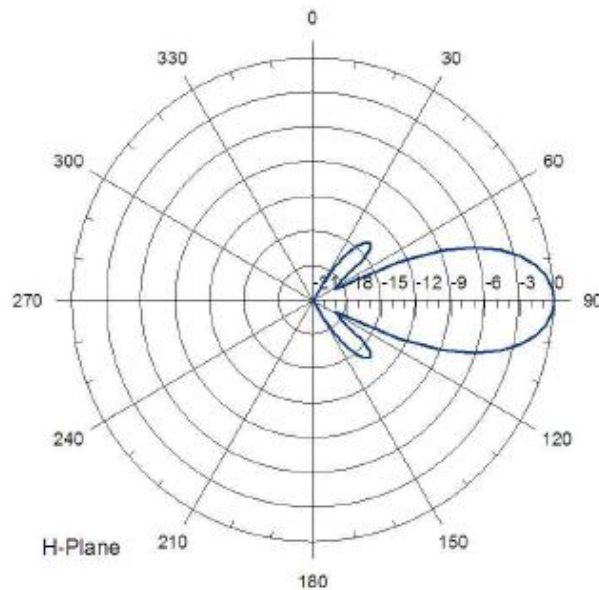
El patrón de radiación de la antena AT-15 250 se indica en las Figura 27 y Figura 28.

Figura 27. Patrón de Radiación AT 15 -250, Plano E.



Fuente: RYMSA

Figura 28. Patrón de Radiación AT 15 -250, Plano H.



Fuente: RYMSA

Con las Figura 25 y Figura 27 se puede realizar la comparación del plano E de las dos antenas. Los lóbulos principales de las dos antenas son similares en cuanto a su forma en el lóbulo principal. La AT13-240 cuenta con dos lóbulos secundarios en la parte inferior mientras la AT15-250 no cuenta con lóbulos secundarios, haciendo que las relaciones delante atrás (FBR, **Front to Back Ratio**) entre las dos antenas sea diferente pero sin ninguna alteración significativa al sistema radiante que se necesita.

Para el plano H,

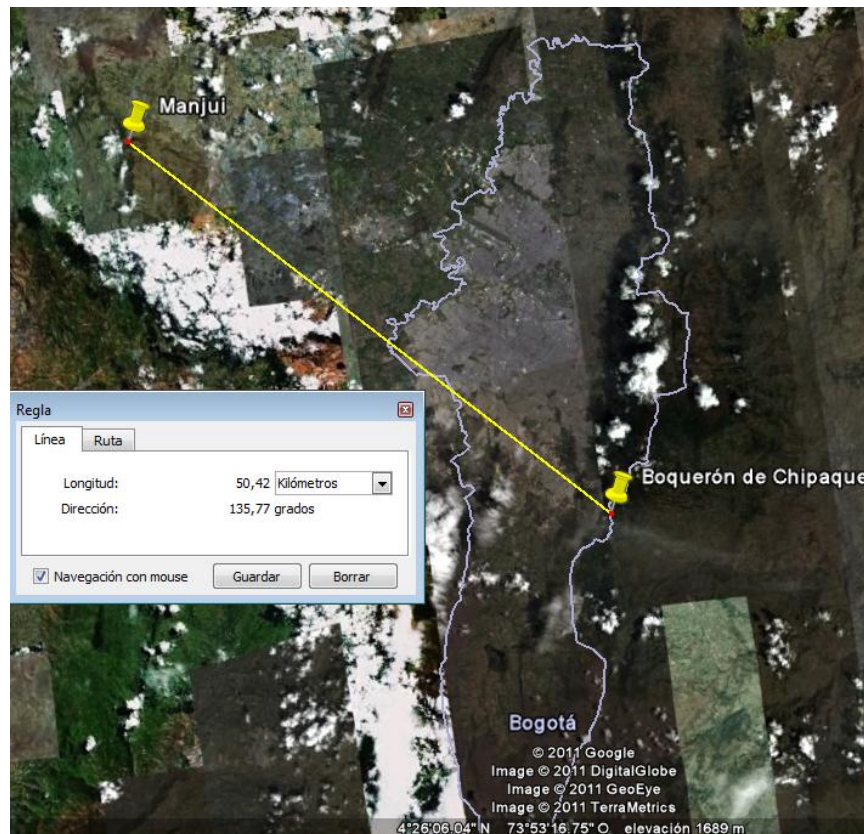
Figura 26 y Figura 28, se puede observar que los lóbulos de ambas antenas tienen la misma forma pero sus proporciones son diferentes. El lóbulo principal tiene la misma medida en las dos antenas, por lo cual emiten una misma radiación en la misma dirección; los lóbulos secundarios que se encuentran a cada costado de cada lóbulo principal tienen diferente ancho del haz, la AT13-240 tiene una relación de lóbulo principal a secundario (SLL, **Side Lobe Level**) mayor que la antena AT15-250. Esta variación entre las relaciones SLL de las dos antenas indica que los lóbulos secundarios de la antena AT15-240 abarcaría menos área en la parte donde se encuentran estos lóbulos.

3.2.3 Retardos

Para hallar los retardos del sistema análogo actual, se realizaron los cálculos correspondientes a partir de las distancias entre los transmisores. Para conocer este valor se utilizó el programa **Google Earth** en el cual se realiza la medición de las distancias teniendo en cuenta el perfil geográfico del terreno, sin embargo se realizó el cálculo a partir de las coordenadas y el resultado arrojado por la herramienta regla de **Google Earth** es aproximadamente igual, por lo cual se tomaron como referencia para los cálculos realizados.

La distancia entre los transmisores análogos actuales, Boquerón de Chipaque y Manjui, se encuentra en la Figura 29.

Figura 29. Distancia entre transmisores análogos actuales



Fuente: Google Earth

La ecuación (17), muestra el cálculo correspondiente para determinar el retardo:

$$\text{Velocidad de la luz} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}}$$

(17)

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Velocidad de la luz}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{50.42 \text{ Km}}{3 * 10^8 \text{ m/s}}$$

$$\text{Tiempo} = 168.066 \mu\text{s}$$

Por lo tanto, el retardo entre las estaciones análogas Manjui y Boquerón de Chipaque es de 168.066 μs .

En una red de frecuencia única se debe controlar y prevenir la aparición de interferencias a partir de los retardos que no deben superar el valor del intervalo de guarda. Para controlar este hecho la norma ETSI EN 300 744 define un valor máximo de la distancia que debe haber entre los transmisores según el intervalo de guarda.

Para la red SFN de RTVC cuyos parámetros se indican en el Anexo B, se tiene que para un canal de 6 MHz con un intervalo de guarda de 1/4 y un modo de transmisión 8K, el intervalo de guarda es de 299 μs (298,667 μs) según la norma ETSI. Éste valor se calcula de la siguiente forma:

La duración de la parte útil de un símbolo, que equivale a 4 bits por ser una modulación 16-QAM, para el modo 8K es 1194,667 μs .

$$\text{Duración del intervalo de guarda de } 1/4: 1194,667 \mu\text{s} * \frac{1}{4} = 298,667 \mu\text{s}$$

A partir de este valor se puede calcular la distancia máxima que debe haber entre los transmisores con la ecuación (17).

$$\text{Distancia Máxima} = \text{Velocidad de la luz} * \text{Tiempo}$$

$$\text{Distancia Máxima} = (3 * 10^8 \text{ m/s}) * 298,667 \mu\text{s}$$

$$\text{Distancia Máxima} = 89,6 \text{ Km}$$

La distancia máxima entre transmisores para que no exista interferencia inter símbolo es de 89,6 Km y los retardos en los transmisores no deben superar el valor del intervalo de guarda. Esta distancia se cumple para el sistema análogo como se puede observar en la Figura 29. Lo anterior se resume en la Tabla 22.

Tabla 22. Interferencia inter símbolo en función del intervalo de guarda

Modo 8K	
Intervalo de guarda	1/4
Duración de la parte útil de un símbolo	1194,667 μ s
Duración del intervalo de guarda	298,667 μ s
Distancia máxima entre transmisores para evitar interferencia inter símbolo	89,6 Km

3.2.4 Interferencias

En el sistema actual de televisión análoga, la relación de protección para evitar interferencias para el estándar NTSC con 525 líneas horizontales, se encuentra en la recomendación UIT-R BT.655-7 y se indica en la Tabla 23.

Tabla 23. Relaciones de protección para sistema de televisión análogo.

Tipo de interferencia	Relación de protección (dB)
Cocanal*	45
Canal adyacente inferior**	-13
Canal adyacente superior**	-10

Fuente: Recomendación UIT-R BT.655-7

* Es una interferencia que se presenta cuando las señales están en la misma banda de frecuencia.

** Es una interferencia que se presenta cuando las señales están en una banda inferior o superior.

En televisión digital, además de la interferencia inter símbolo se pueden presentar otro tipo de interferencias entre operadores de televisión. Para evitar este hecho es preciso definir las relaciones de protección mínimas que debe haber según el tipo de modulación y la tasa de codificación como se indica en la sección 2.2.5.

Según la Tabla 7, para una modulación 16-QAM y una tasa de codificación de 3/4, el radio de protección debe ser de 18 dB para evitar las interferencias entre sistemas DVB-T, y la interferencia por canales adyacentes superior e inferior se debe evitar estableciendo un valor de -30 dB según la Tabla 8. [20]

Las relaciones de protección para evitar interferencias entre canales digitales DVB-T y analógicos NTSC no están definidas en la recomendación UIT-R BT.1368-8 para un canal de 6 MHz, sin embargo en el acuerdo de la CNTV se afirma que se tomaron valores provisionales de la asesoría de la Unión Europea

hasta que se establezca la norma. Las relaciones de protección se indican en las Tabla 24 y Tabla 25

Tabla 25. [1]

Tabla 24. Relaciones de protección para sistema NTSC deseado y DVB-T interferente.

Sistema NTSC	N-1 (dB)	N+1 (dB)	Cocanal(dB)
Radio de protección	-5	+1	+38
Fuente: Acuerdo CNTV.			

Tabla 25. Relaciones de protección para sistema DVB-T deseado y NTSC interferente.

Sistema NTSC	N-1 (dB)	N+1 (dB)	Cocanal(dB)
Radio de protección	-	-	+5
Fuente: Acuerdo CNTV.			

3.3 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

Para realizar el diseño de la red de frecuencia única se debe determinar cuáles son los elementos que pueden reutilizarse del sistema de televisión análoga y cuáles son las necesidades que se quieren satisfacer.

Es necesario reutilizar la infraestructura de las estaciones análogas actuales y realizar algunas modificaciones estableciendo los requerimientos para la adecuación al sistema de redes de frecuencia única de televisión digital.

3.3.1 Potencia

El diseño debe mantener la misma cobertura que tiene actualmente la televisión análoga sobre la población urbana de Bogotá, por lo cual se debe garantizar que el nuevo sistema radiante cumpla con este requerimiento indispensable.

Sin embargo, se debe considerar a su vez un cambio en la potencia de transmisión, ya que el sistema digital no requiere del uso de potencias tan elevadas como la televisión analógica, así como las redes de tipo SFN con respecto a las MFN en el caso de los parámetros de la estación de Calatrava. La potencia para televisión digital es aproximadamente entre 10 dB y 15 dB menos que la potencia utilizada para televisión análoga, como se indica en la sección 3.2.1.

Los valores de potencia para los dos sistemas se resumen en la Tabla 26.

Tabla 26. Relaciones de potencia del sistema análogo y el sistema digital

Estación	Potencia en análoga (dBW)	Potencia en digital (dBW)	Potencia en digital (W)
Boquerón	26,9897	16,989 – 11,989	15,811 – 50
Manjui	43,0103	33,010 – 28,010	632,455 - 2000

3.3.2 Tipo de recepción

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de recepción de televisión como lo son fija, portable y móvil, es necesario determinar cuál de éstas se tendrá en cuenta para el estudio en este proyecto.

La recepción fija, como se indica en la sección 2.2.3.1, puede ser de tipo **indoor** o **outdoor**. El sistema análogo actual maneja en la mayoría de los casos la recepción fija con antena exterior o **outdoor**, para el sistema digital se reutilizarán las antenas que los usuarios tienen instaladas, siempre y cuando estas antenas estén dentro de la banda UHF, y además de esto deben adquirir el decodificador o **Set Top Box** para lograr la recepción de la señal digital en sus televisores.

Con el fin de satisfacer las necesidades de cobertura de toda el área de Bogotá, se utilizará como referencia la recepción de tipo **indoor** o recepción portable, con el fin de que el valor de intensidad de campo mínimo en la recepción abarque también la recepción con antena exterior.

La recepción móvil corresponde al sistema DVB-H (**Digital Video Broadcasting Handheld**) el cual no se encuentra contenido dentro de los límites de este proyecto como se especificó en el anteproyecto, sólo se tratará la recepción de tipo fija.

Lo anterior se encuentra resumido en la Tabla 27.

Tabla 27. Tipos de recepción

Recepción análoga	Recepción digital	Elementos a reutilizar	Elementos necesarios
Fija con antena exterior (outdoor).	Fija con antena interior o portable (indoor)	Antenas Yagi instaladas que trabajen en la banda UHF	Decodificador o Set Top Box

3.3.3 Niveles de C/N requeridos

Después de definido el tipo de recepción a manejar para el diseño de la red de frecuencia única, se puede determinar la relación de portadora/ruido que se requiere según los parámetros de modulación y tasa de codificación como se indica en la sección 2.2.2.2.

El nivel de C/N permite conocer la relación mínima que debe haber entre la potencia de la señal recibida y el ruido, para que haya una buena calidad en la recepción. No se utiliza la relación S/N porque en la televisión digital todas las señales portadoras transmitidas están multiplexadas tanto en tiempo como en frecuencia, lo cual hace más complejo el desarrollo de un análisis por separado de cada una de ellas, la relación S/N indica la potencia de una señal analógica con respecto al nivel de ruido.

3.3.4 Niveles de intensidad de campo

Los niveles de intensidad de campo para recepción de la señal de televisión digital terrestre deben cumplir con un mínimo valor, que es establecido por una entidad regulatoria. Este parámetro es fundamental a la hora de realizar los cálculos de transmisión, dado que los receptores captan determinados niveles de señales propicios para una recepción mínima óptima de la imagen, además este parámetro también puede modificar las dimensiones de la cobertura.

En televisión análoga, el nivel mínimo de intensidad de campo se encuentra establecido en la recomendación ITU-R BT.417-5, en donde se define un valor mediano no menor a 55 dB μ V/m para la banda III.

El nivel de intensidad de campo es menor en televisión digital (47 dB μ V/m) que en televisión análoga (55 dB μ V/m), dado que se debe tener acceso del servicio de televisión dentro de los interiores de edificios y al mismo tiempo incluir una recepción externa, estos datos se determinan también a partir del tipo de recepción de la sección 3.3.2. Estos valores se indican en la Tabla 28.

Tabla 28. Valores de intensidad de campo mínima para sistemas análogo y digital

Banda	Sistema análogo (dB μ V/m)	Sistema digital (dB μ V/m)
I	48	45
III	55	47
IV	65	52
V	70	52

3.3.5 Cobertura

La cobertura análoga de los canales públicos de RTVC corresponde al 90.80% de la población Colombiana. [7]

Para Bogotá actualmente se tiene el cubrimiento del 100% con televisión análoga, y con televisión digital se busca el mismo cubrimiento pero con más eficiencia. En la Figura 30 Se muestran los porcentajes de cubrimiento actuales en la ciudad de Bogotá, tanto los porcentajes de televisión análoga como el porcentaje actual del proceso de transición al sistema de televisión digital terrestre. Al terminar las fases planteadas por RTVC en el proceso de transición la cobertura total sería del 100% [25]

Figura 30. Cubrimiento RTVC televisión análoga y digital.



Fuente: RTVC .Televisión Digital Terrestre en Colombia.

3.3.6 Retardos

El retardo entre los transmisores análogos (Boquerón de Chipaque y Manjui) se determinó en la sección 3.2.3, y el valor es 168,066 μ s para una distancia de 50,42 Km.

Para el sistema digital el retardo máximo es el valor del intervalo de guarda que corresponde a 298,667 μ s para una distancia máxima de 89,6 Km.

La relación de los retardos entre los dos sistemas es la misma, como se indica a continuación:

$$\frac{\text{Distancia en An\u00e1loga} * \text{Retardo Digital}}{\text{Distancia M\u00e1xima en digital}} = \text{Retardo An\u00e1logo}$$

$$\frac{50,42 \text{ Km} * 298,67 \mu\text{s}}{89,6 \text{ Km}} = 168,066 \mu\text{s}$$

3.3.7 Relaciones de protecci\u00f3n e interferencias

Las relaciones de protecci\u00f3n definidas en la secci\u00f3n 3.2.3 son los valores que especifican la recomendaci\u00f3n UIT-R BT.1368-8 y el acuerdo de la CNTV, y son medidas a la entrada del receptor.

Las relaciones de protecci\u00f3n requeridas para canales adyacentes se deben cumplir mediante la utilizaci\u00f3n de filtros de m\u00e1scara cr\u00edtica, que son unos dispositivos conectados a la salida de los transmisores para asegurar que la emisi\u00f3n cumpla con la recomendaci\u00f3n ETSI EN 300 744. Los filtros de m\u00e1scara no cr\u00edtica se utilizan cuando se maneja el mismo sistema radiante del sistema an\u00e1logo y las mismas potencias, en cambio un filtro de m\u00e1scara cr\u00edtica es utilizado cuando se transmiten se\u00f1ales digitales en un \u00e1rea donde se reciben adem\u00e1s se\u00f1ales an\u00e1logas. [1]

Estos filtros de m\u00e1scara cr\u00edtica previenen las radiaciones fuera del ancho de banda asignado y son tambi\u00e9n llamados filtros de m\u00e1scara de espectro de transmisi\u00f3n. Esto ayuda a eliminar las interferencias entre canales adyacentes que emiten en una misma zona geogr\u00e1fica.

Las relaciones de protecci\u00f3n que se manejan en el sistema an\u00e1logo y las que se deben tener en cuenta en el sistema digital se indican en la Tabla 29.

Tabla 29. Relaciones de protecci\u00f3n para sistemas an\u00e1logo y digital

Tipo de interferencia	Sistema An\u00e1logo	Sistema digital		
	NTSC interferida por NTSC	DVB-T interferida por DVB-T	NTSC interferida por DVB-T	DVB-T interferida por NTSC
Cocanal	45 dB	18 dB	38 dB	5 dB
Canal adyacente inferior	-13 dB	-30 dB	-5 dB	-
Canal adyacente superior	-10 dB	-30 dB	1 dB	-

En las simulaciones presentadas en la sección 4.2 se observa el resultado de utilizar tres transmisores en zonas cercanas y emitiendo a la misma frecuencia. A partir de estos resultados se propone el nuevo diseño de la red de frecuencia única para lograr cubrir la ciudad de Bogotá sin interferencias entre éstos.

La modulación OFDM también permite eliminar las interferencias debido a la característica de ortogonalidad entre las portadoras, que consiste en que la posición central de las portadoras en frecuencia coincide con los puntos nulos de las portadoras adyacentes. Además de esto, como las señales que llegan al receptor vienen de distintos caminos con diferentes retardos, se introduce delante de cada símbolo un intervalo de guarda garantizando que el retardo no supere este valor para evitar la interferencia inter símbolo.

La sincronización de los transmisores también cumple un papel importante en la aparición de interferencias, y es que se debe garantizar que emitan a una frecuencia exacta y un tiempo de emisión exacto, lo cual se consigue mediante la información contenida en el paquete MIP que toma como referencia la señal 1 PPS y la señal de 10 MHz que emite el GPS.

3.3.8 Frecuencias

Inicialmente cabe aclarar que las frecuencias que se manejan actualmente para la transmisión de televisión análoga están en la banda VHF, y la televisión digital según el acuerdo encuentra en la banda UHF, más exactamente los canales del 14 al 20 cuando se realice el apagón analógico, y mientras el proceso de transición se utilizan los canales 36 al 47. [3]

Este hecho implica un cambio en el sistema radiante de las estaciones de transmisión a la nueva banda de frecuencia. Este cambio afecta directamente a las antenas de transmisión que se describen en la sección 3.2.2.

Según el análisis realizado para escoger la antena que se encuentra en la banda de frecuencias UHF, las características para ambos sistemas se indican en la Tabla 30.

Tabla 30. Antenas y banda de frecuencias para sistemas análogo y digital

Tipo de sistema	Antena	Banda de frecuencia	Ganancia	
			dBd	dBi
Análogo	AT 13-240	174-230 MHz (VHF)	10.5	12.64
Digital	AT 15-250	470 MHz – 862 MHz (UHF)	11.35	13.49

3.3.9 Canalización

Tanto en televisión análoga como en televisión digital se usa el mismo ancho de banda de 6 MHz para cada operador, dentro de este ancho de banda se podrá emitir más de un contenido simultáneamente con diferentes niveles de definición. El canal Señal Colombia cuya emisión se realiza en RTVC será transmitido en alta definición (HD, **High Definition**, cuya resolución es de 1920 x 1080 pixeles), y los canales Canal Institucional y Canal Uno se transmitirán en definición estándar (SD, **Standard Definition**, cuya resolución es 720 x 480 pixeles).

El uso eficiente de la canalización en televisión digital está dado por el uso de una sola portadora que transporta las señales de audio, color y video, a diferencia de la canalización en televisión análoga que emite cada una de estas señales por separado, optimizando el uso del espectro.

La canalización entre la tecnología actual y la digital se encuentra resumida en la Tabla 31. El canal 16 fue asignado a RTVC a través de la resolución 389 de 2010 y la banda de frecuencias para este canal en UHF se encuentra en el rango de 482-488 (MHz). Ver Anexo D. [22]

Tabla 31. Canalización Sistema Actual y Digital

Tecnología	Estación	Nombre del Canal					
		Institucional		Canal Uno		Señal Colombia	
		Canal	Frecuencia (MHz)	Canal	Frecuencia (MHz)	Canal	Frecuencia (MHz)
Actual	Boquerón de Chipaque	6	82-88	3	60-66	12	204-210
	Manjui	9	186-192	7	174-180	11	198-204
	Calatrava	30	566-572	27	548-554	25	536-542
Digital	Boquerón de Chipaque, Manjui y Calatrava	Canal: 16					
		Frecuencia: 482-488					

3.4 DISEÑO

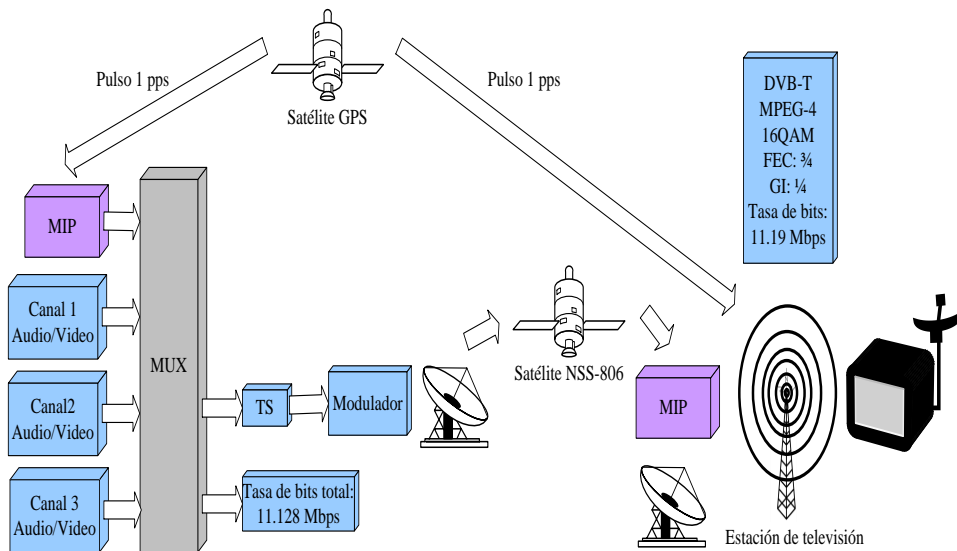
En el diseño se determinaron las características y parámetros que son necesarios para el buen funcionamiento de una red SFN en Bogotá. Se realiza el diseño de ingeniería basado en normas y recomendaciones internacionales.

3.4.1 Diseño general

El diseño general corresponde al sistema global propuesto para la red de frecuencia única en Bogotá, cuyas estaciones transmisoras estarán ubicadas en los cerros Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque. Este nuevo sistema mantendrá las mismas estaciones de transmisión análoga cambiando las configuraciones del sistema de radiación para implementar una red de frecuencia única. Se indican a continuación las gráficas del sistema en bloques y la ubicación de los transmisores en la ciudad de Bogotá con su cobertura.

3.4.1.1 Sistema global propuesto para una red de frecuencia única. El sistema propuesto de la red de frecuencia única contará con transmisores sincronizados que emitirán exactamente la misma señal en la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esto se realizará por medio de un satélite con GPS a través del paquete de sincronización. En la Figura 31 se muestra el diagrama en bloques de una red SFN.

Figura 31. Sistema global propuesto para una red de frecuencia única



En este caso se multiplexan 3 canales de televisión (Canal Institucional, Canal Uno, Señal Colombia) con diferentes servicios y se inserta el Paquete de Inicialización de Mega-cuadro, MIP que contiene la información de la referencia de tiempo y la información de control para los moduladores DVB-T, dando como resultado el flujo de transporte (TS).

Un Mega-cuadro es la composición de dos súper-cuadros para un modo de transmisión de 8K, que a su vez se componen de cuatro cuadros de 68 símbolos OFDM cada uno.

La tasa de transmisión a utilizar es de 11,19 Mbps, sin embargo, se tiene en cuenta el valor de 11,128 Mbps dado que los equipos de transmisión no son exactos y se insertan paquetes nulos por el multiplexor con el fin de mantener una tasa de transmisión constante y cuyo contenido no es tenido en cuenta por el receptor.

Luego de esto, el TS es modulado y se envía por la antena al satélite NSS-806 que emite en banda C (3,7 a 4,2 GHz espacio-Tierra, y 5,9 a 6,4 GHz Tierra, espacio), y el MIP se recibe para permitir la sincronización. Luego de esto, la señal es transmitida a los usuarios por radiodifusión en la estación de televisión.

Para la sincronización temporal de los moduladores DVB-T también se recibe una señal 1pps de los satélites GPS, y además se tiene un receptor GPS profesional con salidas de 10 MHz como señal de referencia en cada sitio de transmisión y en el sitio donde se genera el TS multiplexado.

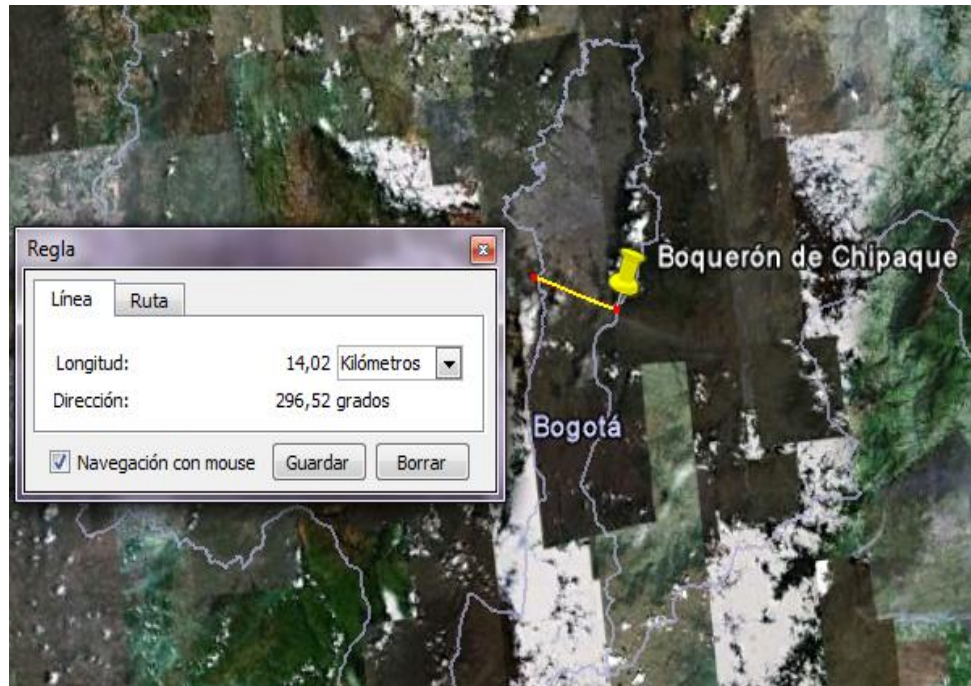
Los parámetros escogidos por RTVC para la transmisión con el estándar DVB-T se especifican en el cuadro ubicado a la derecha del diagrama, con un sistema de compresión MPEG-4, una modulación de 16-QAM, una tasa de codificación de errores de 3/4, un intervalo de guarda de 1/4 y la tasa de transmisión de 11.19 Mbps.

3.4.1.2 Estaciones de transmisión y cobertura. Para observar la cobertura de cada una de las estaciones de transmisión se estimaron unos radios de cobertura a partir de la medición entre el centro de la estación y el perímetro de Bogotá, tomando como referencia la zona urbana de la ciudad.

La medición de los radios de cobertura determina el valor de la potencia de transmisión a utilizar para la simulación, estos cálculos de potencia se indican en la sección 3.4.2.3.

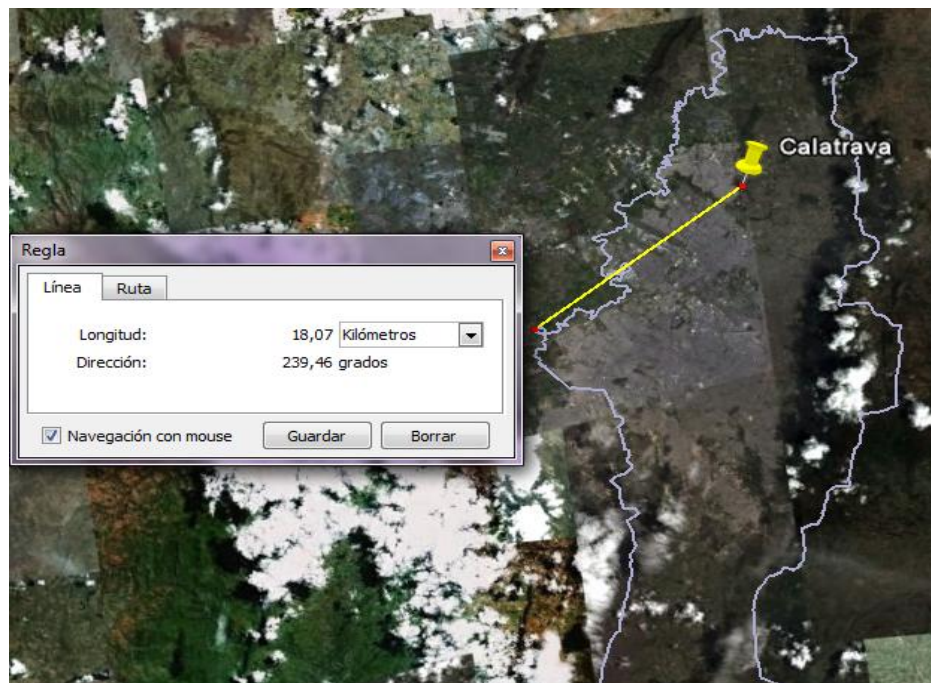
En las Figura 32, Figura 33 y Figura 34 se observan las mediciones realizadas para estimar los radios correspondientes.

Figura 32. Medición de radio de cobertura Boquerón de Chipaque



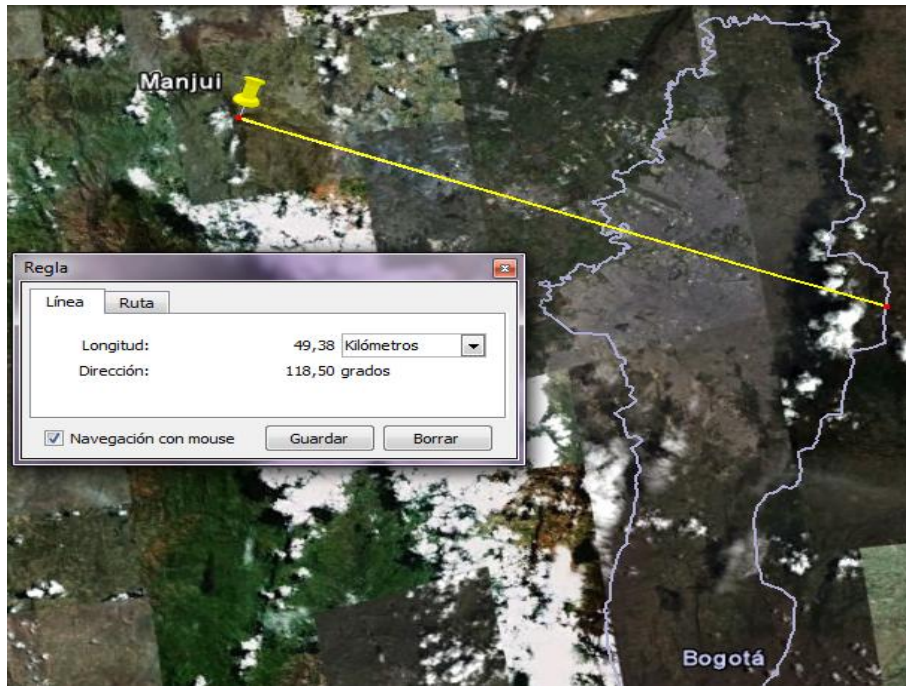
Fuente: Google Earth

Figura 33. Medición de radio de cobertura Calatrava



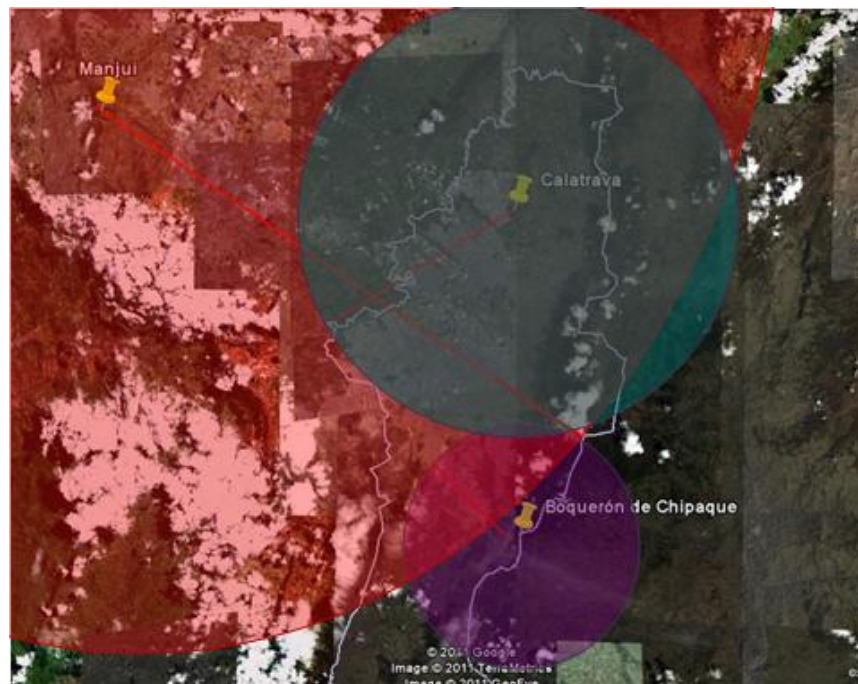
Fuente: Google Earth

Figura 34. Medición de radio de cobertura Manjui.



Fuente: Google Earth

Figura 35. Radios de cobertura de las estaciones en Bogotá



Fuente: Google Earth

En la Figura 35 se muestran las estaciones de transmisión Manjui, Calatrava y Boquerón de Chipaque ubicadas en el mapa geográfico y los radios de cobertura aproximados de cada una de éstas para cubrir la población urbana de Bogotá.

El solapamiento de las coberturas que se muestran en la Figura 35, causarán posibles interferencias entre transmisores, los cuales perturban la señal del otro transmisor y limitan el servicio a transmitir. Es necesario crear márgenes adecuados para evitar los solapamientos de coberturas a partir del intervalo de guarda.

3.4.2 Diseño detallado

En esta sección se presentan los cálculos realizados con las tablas y ecuaciones expuestas en el marco referencial y una descripción detallada del método de estudio y los cálculos correspondientes utilizando la teoría y las ecuaciones descritas previamente.

3.4.2.1 Tasa de transmisión y C/N. El acuerdo de la CNTV del Anexo D indica que sólo se usarán sistemas de transmisión no jerárquicos QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

Para iniciar los cálculos de tasa de transmisión y C/N requeridos para el diseño es importante recordar que los parámetros seleccionados por RTVC, nombrados en el Anexo B son:

- Tasa de transmisión: 11,197 Mbps
- Esquema de Modulación: 16-QAM
- Tasa de Codificación: 3/4
- Intervalo de guarda: 1/4

El primer dato a determinar es la tasa de bits útil para un canal de 6 MHz; este valor va relacionado con el tipo de modulación, la tasa de codificación y del intervalo de guarda. Según los parámetros escogidos por RTVC, la tasa de bits útil es 11,197 Mbps, este valor lo da la Recomendación ETSI EN 300 744 descrito en la Tabla 2.

El C/N requerido para una modulación de 16-QAM, una tasa de codificación de $\frac{3}{4}$ y canal de Rayleigh para recepción portable (2K) es de 18,1 dB. Ver Tabla 3.

3.4.2.2 Densidad de flujo de potencia e intensidad de campo. Para los cálculos de la densidad de flujo de potencia y la intensidad de campo mínima que debe haber en el receptor se utilizan las ecuaciones descritas previamente en el marco referencial.

Inicialmente se deben conocer los niveles mínimos equivalentes de la señal de entrada al receptor expuestos en la Tabla 5, según la cual para un C/N de 14 dB (tomando el valor inferior más aproximado a 18,1 dB) la potencia mínima de la señal entrada al receptor es $P_{s \min}(\text{dBW}) = -114,2$ y el voltaje mínimo equivalente a la entrada del receptor es $U_{s \min}(\text{dB}\mu\text{V}) = 25$.

Como se indicó en la sección 2.2.2.2, el valor de C/N representa la calidad de la señal digital, mientras que el S/N muestra la relación de la potencia de una señal analógica con respecto al nivel de ruido.

Debido a que el valor de C/N indicado en la tabla es de 14 dB y el real es 18,1 dB, se debe considerar la adición en todos los datos proporcionados, con el fin de que la relación sea equivalente a los cálculos reales.

$$14 \text{ dB} + 4,1 \text{ dB} = 18,1 \text{ dB}$$

$$P_{s \min} = -114,2 \text{ dBW} + 4,1 \text{ dB}$$

$$P_{s \min} = -110,1 \text{ dBW}$$

$$U_{s \min} = 25 \text{ dB}\mu\text{V} + 4,1 \text{ dB}$$

$$U_{s \min} = 29,1 \text{ dB}\mu\text{V}$$

Estos valores calculados utilizando las ecuaciones (1), (2) y (3) dan como resultado:

$$P_n = 7 \text{ dB} + 10 * \log\{(1,38 * 10^{-23} \text{ J/K}) * 290 \text{ K} * (7,6 * 10^6 \text{ Hz})\}$$

$$P_n = -128,169 \text{ dBW}$$

$$P_{s \min} = -128,169 \text{ dBW} + 18,1$$

$$P_{s \min} = -110,069 \text{ dBW}$$

$$U_{s \min} = -110,069 \text{ dBW} + 120 + 10 * \log (75)$$

$$U_{s \min} = 28,682 \text{ dB}\mu\text{V}$$

Teniendo estos valores y utilizando la Tabla 6 se conoce que para una banda de frecuencia de 500 MHz, un C/N de 14 dB y una probabilidad de ubicación del 95%, la mediana de la mínima densidad de flujo de potencia es $\varphi_{med} = -67,9 \text{ dBW/m}^2$ y la mediana de la intensidad de campo mínima equivalente es $E_{med} = 78 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.

Estos valores para este caso corresponden a:

$$\varphi_{med} = -67,9 \text{ dBW/m}^2 + 4,1 \text{ dB}$$

$$\varphi_{med} = -63,8 \text{ dBW/m}^2$$

$$E_{med} = 78 \text{ dB}\mu\text{V/m} + 4,1 \text{ dB}$$

$$E_{med} = 82,1 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

Para conocer estos valores teóricamente se utilizan las ecuaciones (4), (5), (6), (7), (8) y (9) como se indica a continuación:

$$\varphi_{min} = -110,069 \text{ dBW} - (-13,3 \text{ dBm}^2)$$

$$\varphi_{min} = -96,769 \text{ dBW/m}^2$$

$$E_{min} = -96,769 \text{ dBW/m}^2 + 145,8$$

$$E_{min} = 49,031 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

$$\varphi_{med} = -96,769 \text{ dBW/m}^2 + 0 \text{ dB} + 14 \text{ dB} + 12 \text{ dB} + 7 \text{ dB}$$

$$\varphi_{med} = -63,769 \text{ dBW/m}^2$$

$$E_{med} = -63,769 \text{ dBW/m}^2 + 145,8$$

$$E_{med} = 81,994 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

Teniendo en cuenta que los valores de las tablas son para un canal de 8 MHz, a este valor final de intensidad de campo se le debe restar 1,25 dB como lo indica la ecuación (18), teniendo como resultado:

$$E_{med}(6\text{MHz}) = E_{med}(8\text{MHz}) - 1,25 \text{ dB} \tag{18}$$

$$E_{med}(6\text{MHz}) = 82,1 \text{ dB}\mu\text{V/m} - 1,25 \text{ dB}$$

$$E_{med}(6\text{MHz}) = 80,85 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

Para los cálculos realizados utilizando el programa Xirio Online se utilizó el valor calculado teóricamente de $E_{med} = 81,994 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ con el fin de tener una mejor precisión por mayor cantidad de cifras decimales.

3.4.2.3 Método de cálculo. Según el análisis de potencia se debe calcular el valor a utilizar para la red de televisión digital, el cual debe ser menor al actualmente utilizado en el sistema análogo. Este cálculo se realiza a partir de las ecuaciones indicadas en la sección 2.2.4 donde se justifica la escogencia del método de cálculo a utilizar.

A continuación se indican los cálculos de las potencias a utilizar para cada estación a partir de los radios definidos en la sección 3.4.1.2. y las ecuaciones (10), (11),(12) y (13).

Para aplicar el valor de intensidad de campo $E_{med} = 81,994 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ en la fórmula, se debe pasar este valor a V/m con la ecuación (19) como se indica a continuación:

$$\text{dB}\mu\text{V/m} = 20 \log(\text{V/m}) + 120 \quad (19)$$

Despejando se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{V/m} &= \frac{10^{\frac{\text{dBV/m}}{20}}}{1 * 10^6} \\ \text{V/m} &= \frac{10^{\frac{81,994\text{dBV/m}}{20}}}{1 * 10^6} \\ \text{V/m} &= 0,0125 \end{aligned}$$

Dando como resultado $E_{med} = 0,0125 \text{ V/m}$.

De la misma forma el valor de la ganancia de la antena escogida AT 15-250 es de 11,35 dBd que equivalen a 13,645 W como se indica en los siguientes cálculos:

$$11,35 \text{ dBd} = 10 \log(P)$$

$$P = 10^{11,35/10}$$

$$P = 13,645 \text{ W}$$

Para la estación de Boquerón de Chipaque:

$$p_{\text{ire}} = \frac{\left(0,0125 \frac{\text{V}}{\text{m}} * 14 \text{ Km}\right)^2}{30}$$

$$p_{\text{ire}} = 1034,085 \text{ W}$$

$$P = \frac{1034,085 \text{ W}}{13,645 \text{ W}}$$

$$P = 75,780 \text{ W}$$

$$P = 18,795 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 18,795 \text{ dBW} + 2 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 20,795 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 120,103 \text{ W}$$

Para la estación de Calatrava:

$$p_{\text{ire}} = \frac{\left(0,0125 \frac{\text{V}}{\text{m}} * 18 \text{ Km}\right)^2}{30}$$

$$p_{\text{ire}} = 1709,406 \text{ W}$$

$$P = \frac{1709,406 \text{ W}}{13,645 \text{ W}}$$

$$P = 125,269 \text{ W}$$

$$P = 20,978 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 20,978 \text{ dBW} + 2 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 22,978 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 198,538 \text{ W}$$

Para la estación de Manjui:

$$p_{\text{ire}} = \frac{\left(0,0125 \frac{\text{V}}{\text{m}} * 49,4 \text{ Km}\right)^2}{30}$$

$$P_{\text{pire}} = 12875,210 \text{ W}$$

$$P = \frac{12875,210 \text{ W}}{13,645 \text{ W}}$$

$$P = 943,527 \text{ W}$$

$$P = 29,747 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 29,747 \text{ dBW} + 2 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 31,747 \text{ dBW}$$

$$P_{\text{tx}} = 1495,389 \text{ W}$$

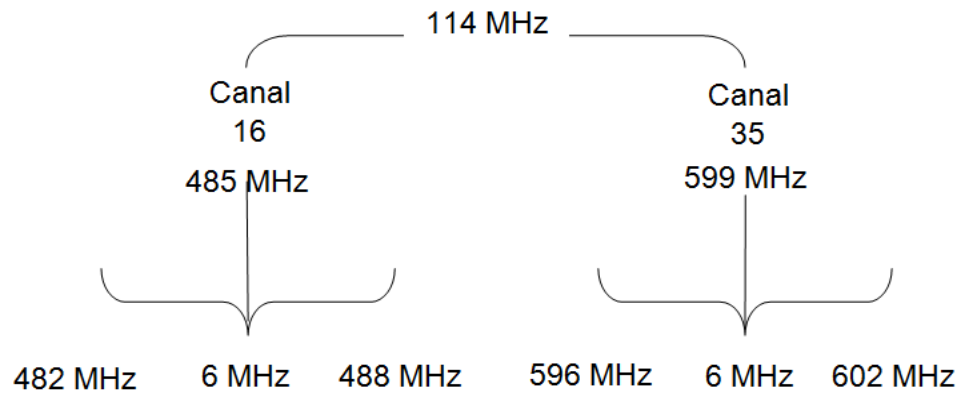
3.4.2.4 Frecuencia. Teniendo en cuenta el análisis de cobertura realizado, es necesario calcular la frecuencia de la banda UHF a la cual se va a transmitir. Según la reglamentación sobre televisión digital en Colombia, la nueva banda para televisión digital se encuentra entre los 470 MHz y 512 MHz, que equivale a los canales del 14 al 20. La asignación de frecuencias a los canales de televisión se indica en la Tabla 32:

Tabla 32. Asignación de frecuencias a los canales de televisión

Canal	Frecuencia
Caracol	14
RCN	15
RTVC	16
Tercer canal privado	17
TV andina	18
Teleantioquia	18
Telecaribe	18
Telepacífico	18
Canal Capital	19
Cuarto canal privado	20
Fuente: Resolución 386 de 2010	

Inicialmente RTVC ha estado realizando pruebas con la estación de Calatrava en el canal 35 cuya frecuencia es 599 MHz, sin embargo el canal al cual emitirá será el canal 16. Con esta diferencia de 19 canales cada uno de 6 MHz como se indica en la Figura 36.

Figura 36. Cálculo de la frecuencia



La frecuencia central para el canal 16 se calcula de la siguiente forma:

$$599 \text{ MHz} - 114 \text{ MHz} = 485 \text{ MHz}$$

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el desarrollo del proyecto a partir de simulaciones y el análisis de los resultados obtenidos para elaborar el diseño final de la red de frecuencia única de televisión digital terrestre para Bogotá.

Finalmente para el tercer objetivo, las simulaciones realizadas a partir del diseño y su análisis correspondiente se encuentran en la sección 4.2.

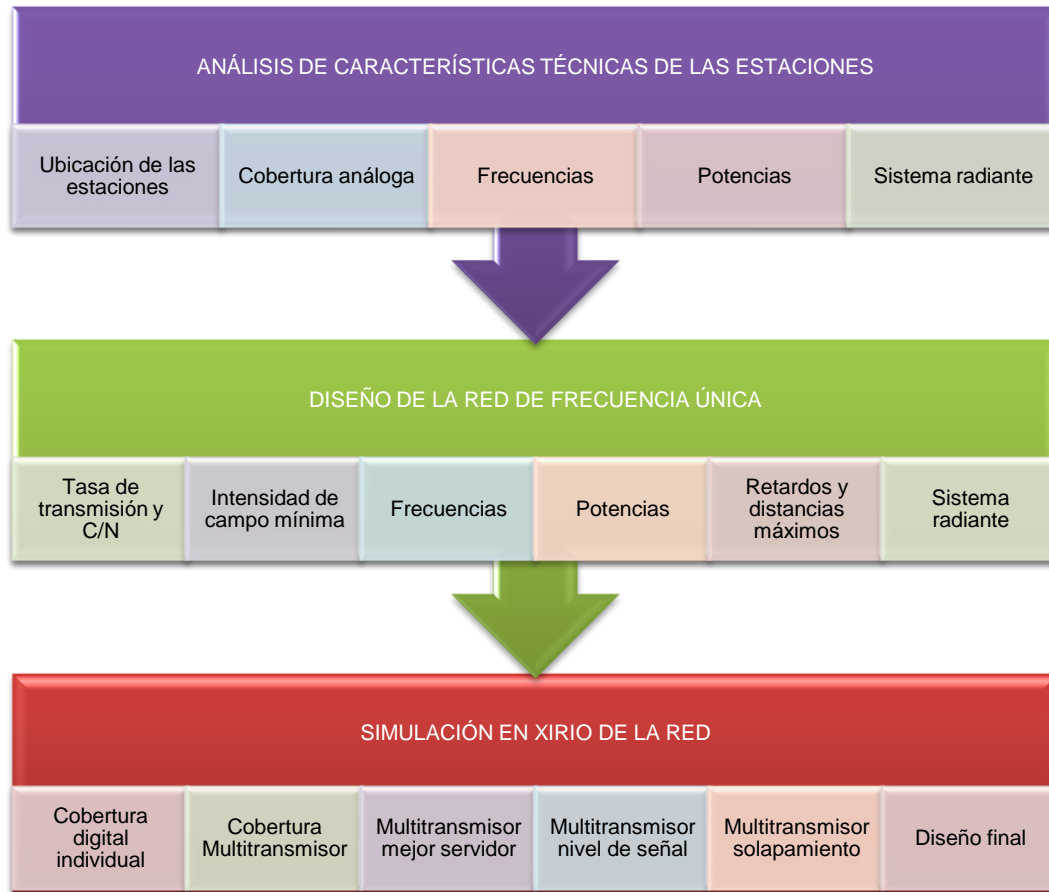
4.1 METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo a partir de la siguiente metodología compuesta por tres fases:

- La primera fase corresponde al análisis de las estaciones de televisión que actualmente transmiten en Bogotá, teniendo en cuenta las principales características como coordenadas geográficas, el alcance que tienen en cobertura, las frecuencias a las cuales transmiten, las potencias utilizadas y el arreglo de antenas que tienen las torres actualmente.
- En la segunda fase se realiza el diseño basándose en las estaciones de transmisión análogas y se definen las características que deben tener para ser utilizadas como estaciones de transmisión digital. Para este diseño se utilizan las normas ETSI que definen los parámetros de transmisión para una red DVB-T. Finalmente, en la fase 3 se realizan las simulaciones a partir del diseño elaborado y los parámetros y cálculos realizados a partir de las normas.
- Estas simulaciones se realizan inicialmente con cada estación individual para luego hacer un análisis mediante la simulación con multitransmisor, estudiando las zonas en las cuales se recibe con mayor intensidad la señal transmitida; las zonas donde se presentan interferencias indican las modificaciones que deben hacerse del diseño para establecer la mejor solución de implementación de una red de frecuencia única que cubra la zona urbana de la ciudad de Bogotá.

Las fases se muestran en la Figura 37

Figura 37. Metodología del desarrollo del proyecto



4.2 SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran las gráficas de las simulaciones realizadas con Xirio Online para las coberturas individuales de las estaciones y la cobertura con multitransmisor.

4.2.1 Parámetros de transmisión

Los parámetros de transmisión configurados para las estaciones Boquerón de Chipaque, Calatrava y Manjui se indican en las Figura 38, Figura 39 y Figura 40. Para las simulaciones se utilizó la frecuencia de 485 MHz calculada en la sección 3.4.2.4.

Figura 38. Propiedades del transmisor digital Boquerón de Chipaque.

Transmisor	
Nombre:	Boquerón Digital

Emplazamiento	
Coordenadas	
Latitud:	04°28'50.60"N
Longitud:	074°04'30.00"W

Parámetros de radio	
Antena:	AT15 250
Frecuencia:	485 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	30 m
Orientación:	330 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	120.103 W

Fuente: Xirio-Online

Figura 39. Propiedades del transmisor digital Calatrava.

Transmisor	
Nombre:	Calatrava Digital

Emplazamiento	
Coordenadas	
Latitud:	04°43'37.00"N
Longitud:	074°04'50.00"W


Parámetros de radio	
Antena:	Nueva antena
Frecuencia:	485 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	60 m
Orientación:	0 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	198.538 W

Fuente: Xirio Online

Figura 40. Propiedades del transmisor digital Manjui.

Transmisor	
Nombre:	Manjui Digital

Emplazamiento	
Coordenadas	
Latitud:	04°48'11.00"N
Longitud:	074°23'36.00"W

Parámetros de radio	
Antena:	AT 15-250 
Frecuencia:	485 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	150 m
Orientación:	0 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	1495.389 W

Fuente: Xirio-Online

4.2.2 Parámetros de recepción

Los parámetros de recepción establecidos para todas las estaciones de transmisión digital que se van a manejar en la red de frecuencia única, son para recepción con antena interior cuya altura es de 1,5 m.

Se realizan las simulaciones con este tipo de antena con el fin de tener un nivel mayor al requerido con la recepción exterior y de esta forma asegurar que se tenga en cuenta también este tipo de recepción.

La intensidad de campo mínima para recepción fija con antena interior es de 81,994 dB μ V/m.

Figura 41. Parámetros de recepción.

Parámetros de radio

Antena: Yagi 14 dBi 36°

Frecuencia: 485 MHz

Polarización: Horizontal

Altura antena: 1.5 m

Umbral recepción: Campo Potencia

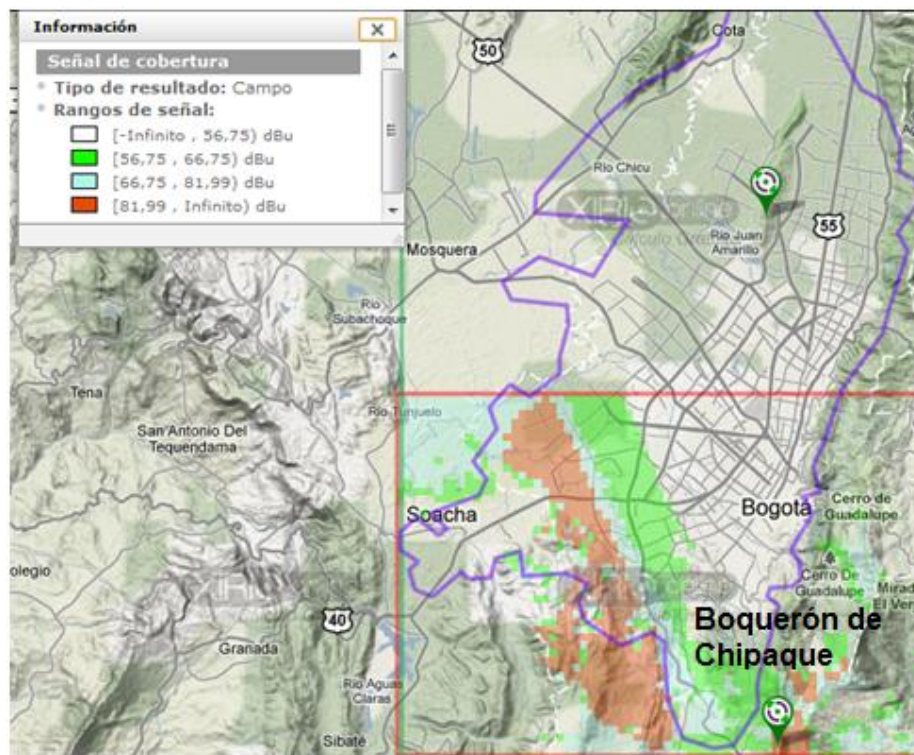
81,994 dBu

Fuente: Xirio-Online

4.2.3 Cobertura Boquerón de Chipaque

Los resultados de la simulación se encuentran en la Figura 42, en donde se observa a partir de la escala que los valores de intensidad de campo están entre 56.75 dB μ V/m y 66.75 dB μ V/m sobre el área que alcanza a cubrirse en Bogotá.

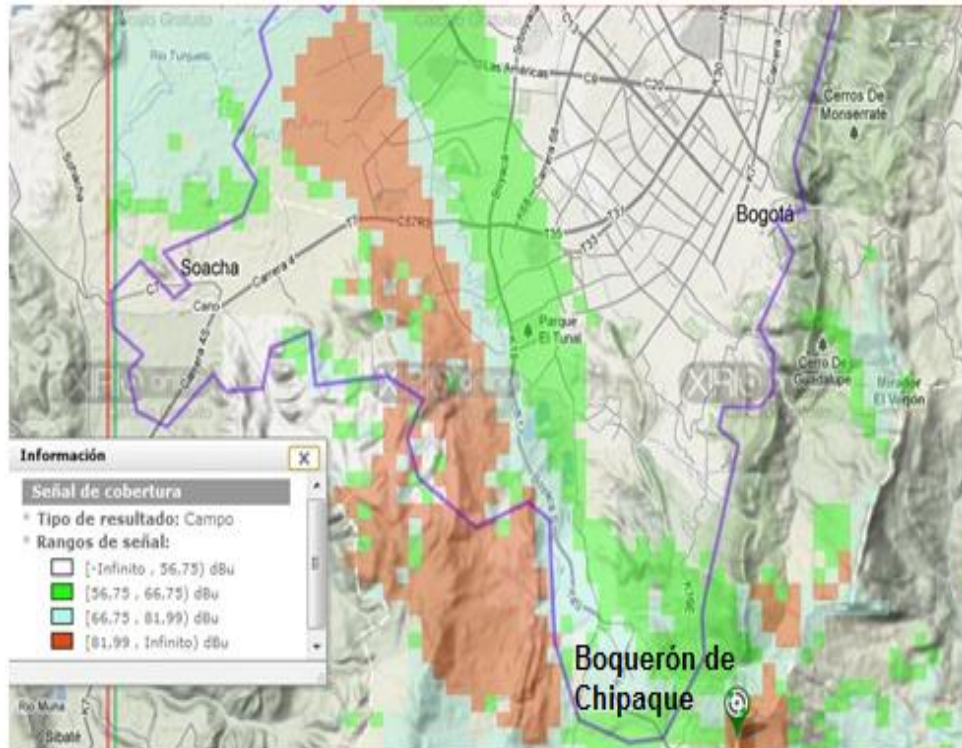
Figura 42. Cobertura estación de Boquerón de Chipaque



Fuente: Xirio-Online

En la Figura 43 se observa con mayor claridad que la cobertura de la estación no abarca la zona sur de Bogotá completamente y tan sólo cubre una cierta parte del área que se tenía planteada. Se observa además que gran parte de la cobertura de la estación de Boquerón de Chipaque llega a las zonas aledañas a la ciudad con un nivel de intensidad de campo de 81.994 dB μ V/m.

Figura 43. Cobertura estación Boquerón de Chipaque sur de Bogotá

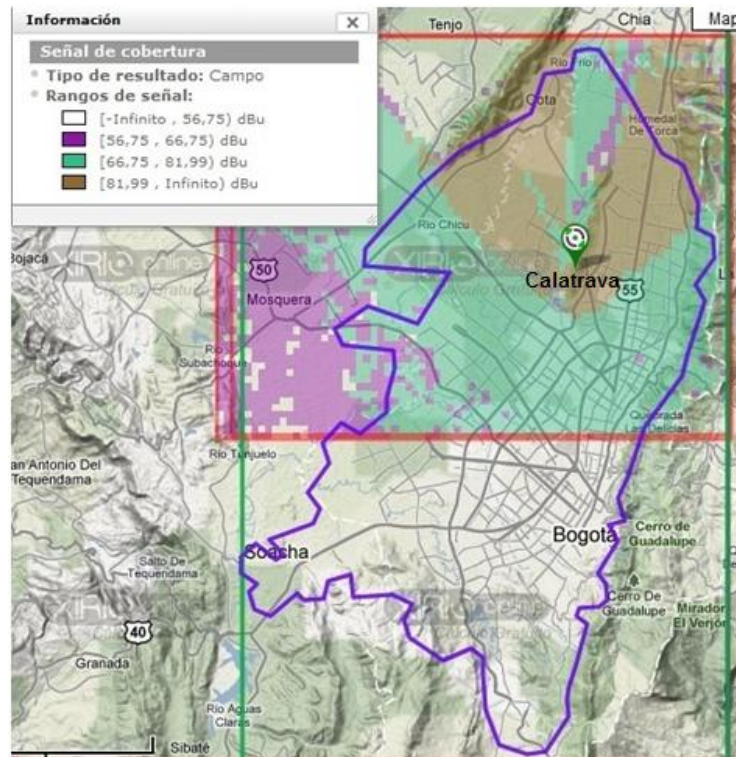


Fuente: Xirio-Online

4.2.4 Cobertura Calatrava

En la Figura 44 se observa la zona cubierta por la estación de Calatrava, donde el nivel de intensidad de campo mínimo de 81.994 dB μ V/m se encuentra dentro y en los límites de Bogotá, esta estación cubre toda la zona norte de la ciudad con buenos valores entre 66.75 dB μ V/m y 81.994 dB μ V/m.

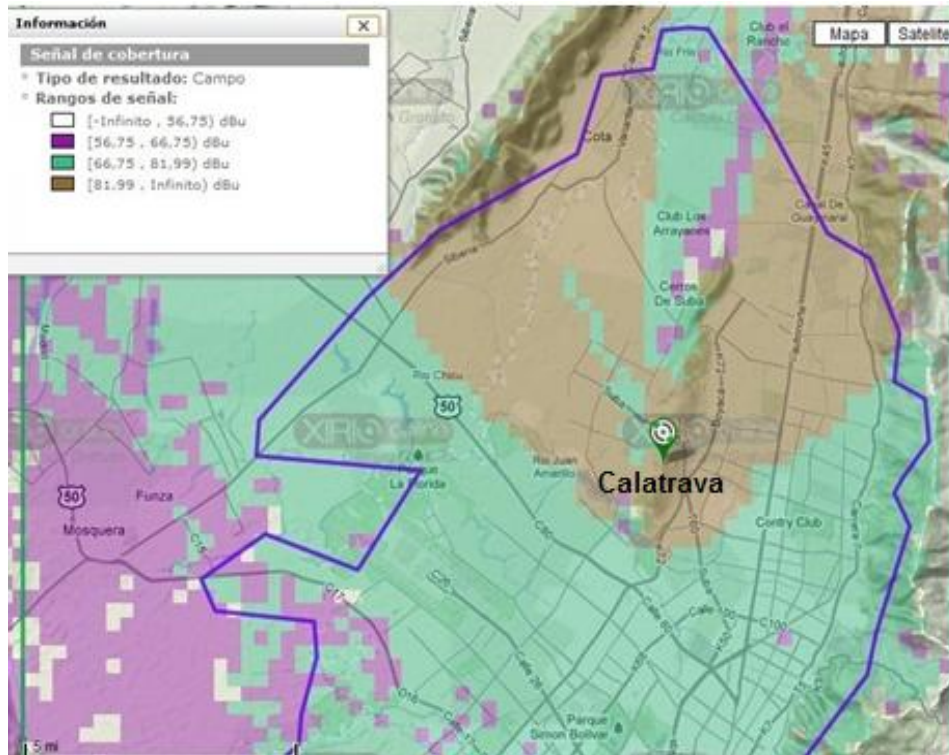
Figura 44. Cobertura estación Calatrava



Fuente: Xirio-Online

La Figura 45 permite observar con mayor claridad la cobertura que tiene la estación de Calatrava en la zona norte de la ciudad de Bogotá, esta zona se tomó como referencia para realizar el cálculo de cobertura para ésta estación. La cobertura de la estación es notable en sus resultados ya que cubre grandes áreas con excelentes niveles de señal de 81.99 dB μ V/m

Figura 45. Cobertura estación Calatrava norte de Bogotá



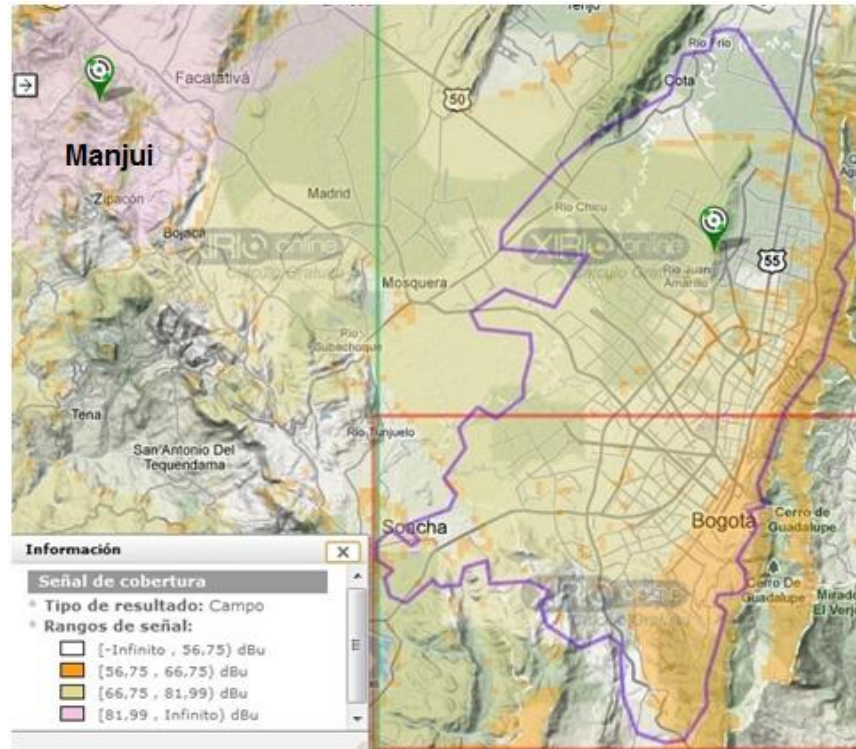
Fuente: Xirio-Online

4.2.5 Cobertura Manjui

En la Figura 46 se observa la ubicación de la estación Manjui y la correspondiente cobertura sobre la ciudad de Bogotá.

Esta cobertura es inútil para una buena recepción en Bogotá, dado que las señales que llegan son menores a $81,994 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ y un valor inferior a este, significa mala recepción de la señal de televisión digital. Otro inconveniente con la cobertura es que cubre la mayoría de la ciudad de Bogotá, por lo tanto estas señales interfieren con los otros transmisores de la red creando así interferencia entre las señales receptoras.

Figura 46. Cobertura estación Manjui



Fuente: Xirio-Online

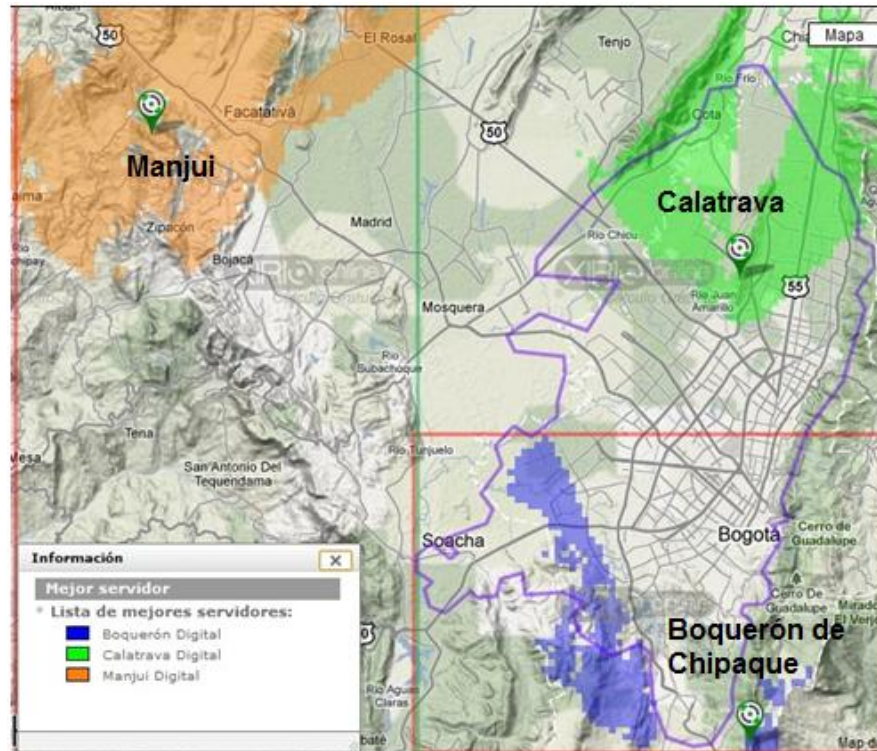
4.2.6 Cobertura Multitransmisor

Las siguientes gráficas muestran la cobertura calculada para los tres transmisores en conjunto sobre una red SFN, teniendo en cuenta tres criterios como son mejor servidor, mejor nivel de señal y solapamiento.

4.2.6.1 Multitransmisor mejor servidor. El multitransmisor mejor servidor indica las zonas en las cuales se ha elegido el mejor transmisor en función de los criterios de los parámetros de recepción.

En la Figura 47 se observa claramente que la estación de Calatrava y la estación de Boquerón de Chipaque alcanzan a cubrir determinadas zonas de la ciudad. La estación de Manjui no alcanza a cubrir Bogotá sino zonas aledañas a la estación, por lo tanto faltarían mejores transmisores para cubrir las zonas del centro y sur de Bogotá en su totalidad.

Figura 47. Cobertura multitransmisor mejor servidor



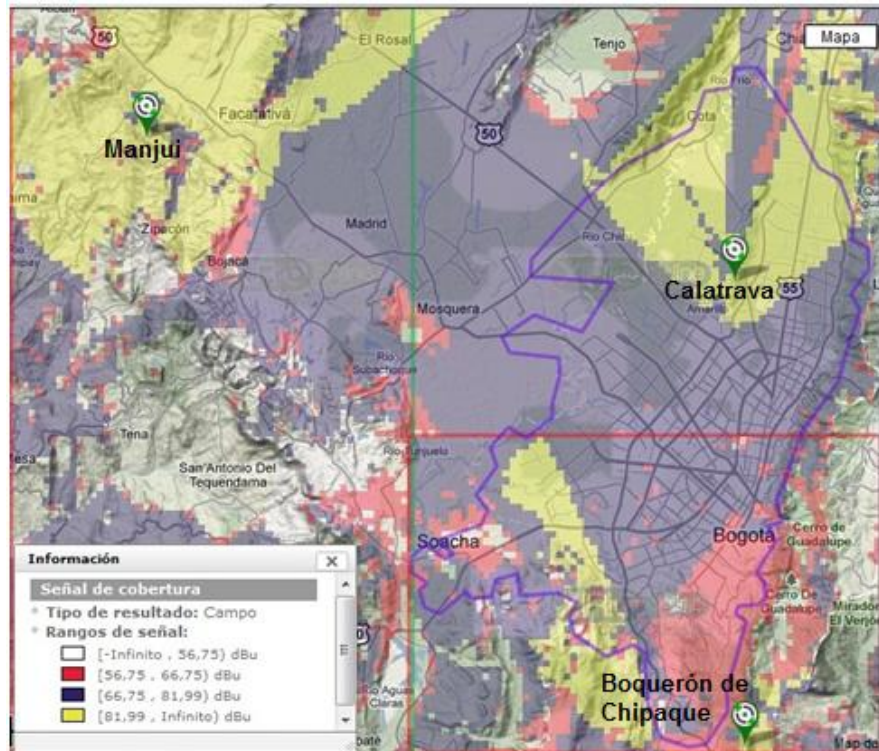
Fuente: Xirio-Online

4.2.6.2 Multitransmisor nivel de señal. Representa el nivel de señal para toda el área de Bogotá entre todos los transmisores que comprenden el estudio de multitransmisor para una red SFN.

La Figura 48 indica los valores de intensidad de campo en Bogotá, el panel de información muestra los colores asignados para los niveles de señal del conjunto de estaciones transmisoras de señal digital. La mayor intensidad de señal dentro de Bogotá se encuentra alrededor de las estaciones de Calatrava y Boquerón de Chipaque, con un valor de $81.994 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, y en algunas zonas aledañas. Las zonas centro y sur-occidente se encuentran en el límite del nivel mínimo óptimo para recepción de la señal con un valor de $66.75 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, y en la zona sur-oriente marca el nivel de señal más bajo entre las escalas, que es de $56.75 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, esto corresponde a una pésima o nula recepción.

Manjui también proporciona un buen rango de intensidad de campo, pero la cobertura no se encuentra dentro Bogotá, por lo tanto se descarta.

Figura 48. Cobertura multitransmisor nivel de señal

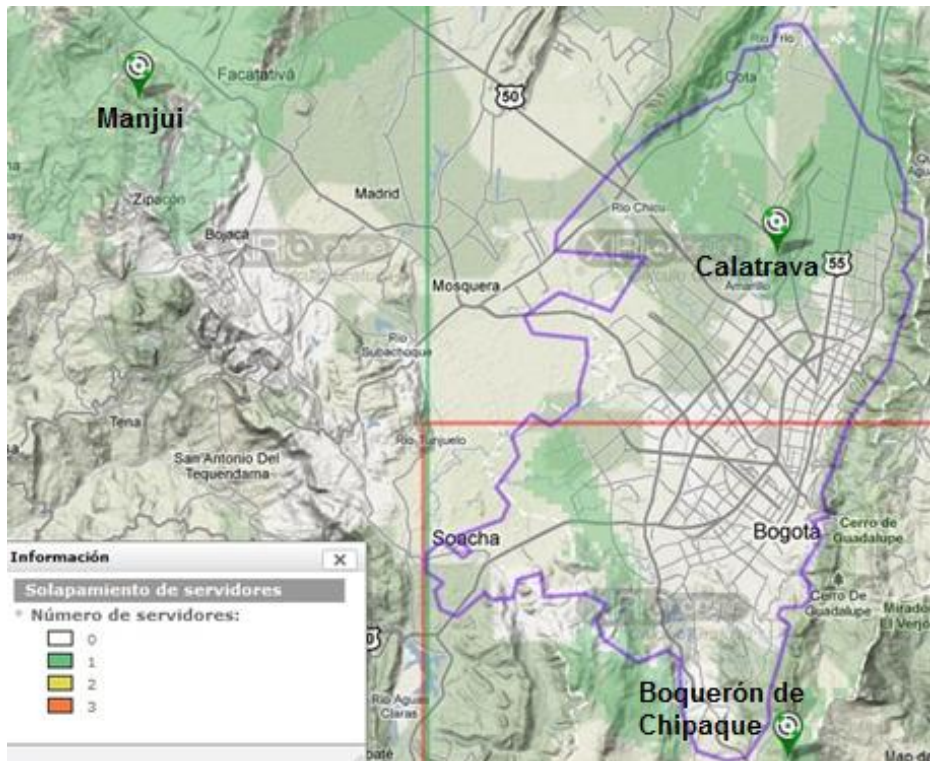


Fuente: Xirio-Online

Multitransmisor solapamiento. Representa el número de señales procedentes de los múltiples transmisores que conforman la red SFN cuyo nivel es igual o superior al valor de umbral de recepción configurado en cada una de las estaciones, tal y como se muestra en la Figura 41, es decir, el número de transmisores que compiten por ser el transmisor deseado en dicho punto.

En la Figura 49 se observan las zonas en donde se pueden presentar interferencias radioeléctricas por causa de solapamiento entre los servidores, en este caso se encuentran las tres estaciones. Manjui es descartado ya que la zona de solapamiento se encuentra fuera de los límites de Bogotá, mientras que las estaciones de Calatrava y Boquerón de Chipaque presentan un nivel de riesgo de solapamiento con 1 estación de la red SFN. En la zona centro de la ciudad no se presenta interferencia ni solapamiento de señales, ya que en estas zonas los transmisores no proporcionan una buena cobertura para la recepción de la señal digital.

Figura 49. Cobertura Multitransmisor solapamiento



Fuente: Xirio-Online

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de las simulaciones es preciso analizar el diseño realizado y las correcciones necesarias que se deben aplicar para proponer la mejor solución de la red de frecuencia única para la ciudad de Bogotá.

5.1.1 Diseño propuesto

El diseño propuesto, consiste en una red de frecuencia única para Bogotá con estaciones de transmisión ubicadas en Boquerón de Chipaque, Calatrava y Manjui. Los resultados de la simulación con estas estaciones muestran claramente que la estación de Manjui debe transmitir a muy alta potencia ($\geq 1,25$ kW) según el Anexo D, debido a que este transmisor se encuentra a una distancia lejana de la zona urbana de Bogotá. Este transmisor de alta potencia causa interferencias con las estaciones de Calatrava y Boquerón de Chipaque, como se muestra en la Figura 49.

Además de esto, se observa que en la zona central y en la zona sur de Bogotá no se cumple el criterio de intensidad de campo mínimo de $81,994$ dB μ V/m. Este criterio determina que no es posible una cobertura óptima y una recepción de señal adecuada.

A partir de estos resultados, la estación de Manjui genera interferencias con las demás, este hecho hace replantear el diseño propuesto. El cambio a realizar es ubicar una estación diferente que abarque la zona que quedaría sin cubrimiento y que mejore la recepción en la zona centro y sur de Bogotá y no genere solapamiento con las estaciones de Calatrava y Boquerón de Chipaque.

Para la nueva estación a proponer se deben analizar las torres existentes en la red de RTVC que se encuentran en el departamento de Cundinamarca y mediante simulaciones elegir la que mejor se adapta a la red en conjunto con las estaciones de Calatrava y Boquerón.

Las características técnicas de las estaciones probables a utilizar se encuentran en el Anexo E.

5.1.2 Diseño mejorado

El diseño corregido muestra el cambio que se realizará del diseño propuesto con el fin de cumplir con los objetivos planteados. Este diseño está trazado para

proponer una red de frecuencia única que sea útil, adaptable y funcional para cubrir Bogotá.

5.1.2.1 Selección nueva estación. La red pública de RTVC clasifica las estaciones de transmisión dependiendo de las tarifas de uso de infraestructura de la red pública nacional de transmisión: Red Primaria y Red Pública.

Según la resolución 479 de 2009 de RTVC, una red primaria son estaciones de alta potencia ($\geq 1,25$ kW) y de alto cubrimiento, y la red secundaria son transmisores de baja potencia ($\geq 12,5$ W < 250 W) y de menor cubrimiento que las estaciones de una red primaria. [14].

Las torres existentes en la red pública de RTVC, tan la red primaria como de la red secundaria que se encuentran en el departamento de Cundinamarca se indican en la Tabla 33. [7]

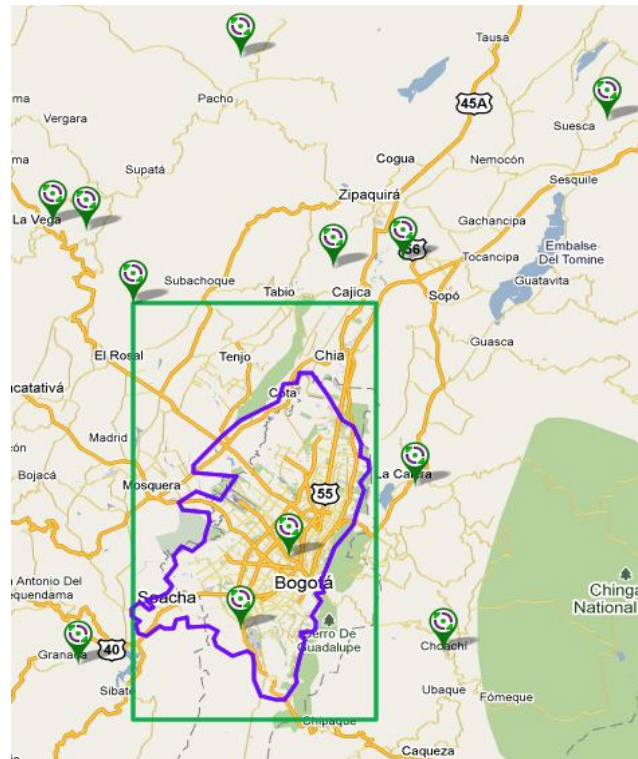
Tabla 33. Estaciones RTVC en Cundinamarca

Red Primaria	CAN
Red Secundaria	Cerro Alemania (Junín)
	Cerro Cristales
	Choachi
	Granada
	Jalisco
	La calera
	La Vega
	Pacho
	Pandi
	Quetame
	San Francisco
	Suesca
	Tabio
	Tibitoc
Villa Pinzón	

Fuente: Anexos RTVC

La ubicación geográfica de las torres de transmisión de RTVC en Cundinamarca se encuentra en la Figura 50.

Figura 50. Estaciones de RTVC en Cundinamarca



Fuente: Xirio-Online

Las estaciones que geográficamente se adaptan a las necesidades son: CAN (Bogotá - Teusaquillo), Granada (Cundinamarca - Charco Alto) y Jalisco (Bogotá - Sur); las demás estaciones se encuentran muy distantes de la zonas que necesitan cobertura y pueden causar interferencia con los transmisores de Boquerón de Chipaque y Calatrava. Ver Figura 51.

Figura 51. Estaciones probables para red SFN



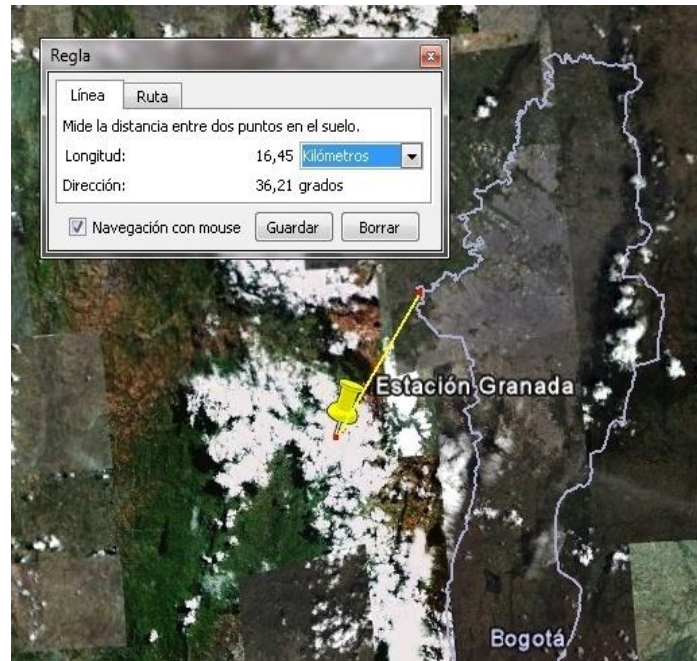
Fuente: Xirio-Online

La estación CAN, es descartada para este estudio porque este es el centro del sistema de Radio y Televisión Pública Nacional. En ella está ubicado el “Master de Emisión”, y el sistema satelital que permite hacer el uplink y el downlink de control y de las señales internacionales de interés. Y los sistemas de transmisión de esta estación son totalmente diferentes a los que se usan para redes SFN. La descripción técnica de la torre se encuentra en el anexo E.[9]

Las estaciones de Granada y Jalisco serán las estaciones opcionales para la red SFN en Bogotá para trabajar conjuntamente con las estaciones de Boquerón de Chipaque y Calatrava.

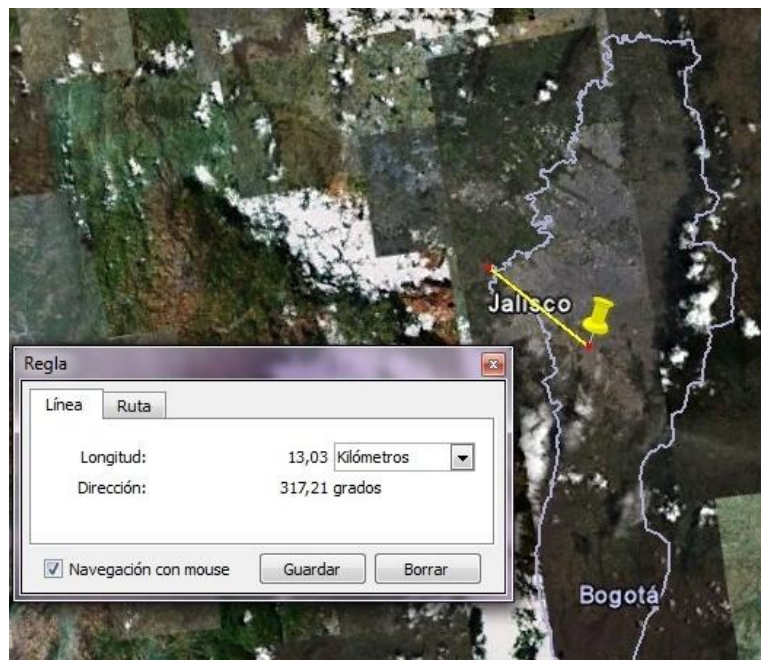
5.1.2.2 Cálculo de potencia. Para iniciar con los cálculos de las potencias de transmisión, es necesario conocer el radio de las estaciones. Las Figura 52 y Figura 53 muestran los radios de cobertura correspondientes para cada una de las estaciones propuestas.

Figura 52. Medición de radio de cobertura Granada



Fuente: Google Earth

Figura 53. Medición de radio de cobertura Jalisco



Fuente: Google Earth

Las ecuaciones para el cálculo de las potencias se indican en la sección 3.4.2.3.

Para la estación de Granada se tiene:

$$pire = \frac{\left(0,0125 \frac{V}{m} * 16,45 \text{ Km}\right)^2}{30}$$

$$pire = 1427,684 \text{ W}$$

$$P = \frac{1427,684 \text{ W}}{13,645 \text{ W}}$$

$$P = 104,624 \text{ W}$$

$$P = 20,196 \text{ dBW}$$

$$P_{tx} = 20,196 \text{ dBW} + 2 \text{ dBW}$$

$$P_{tx} = 22,196 \text{ dBW}$$

$$P_{tx} = 165,818 \text{ W}$$

Para la estación de Jalisco se tiene:

$$pire = \frac{\left(0,0125 \frac{V}{m} * 13,03 \text{ Km}\right)^2}{30}$$

$$pire = 895,755 \text{ W}$$

$$P = \frac{895,755 \text{ W}}{13,645 \text{ W}}$$

$$P = 65,643 \text{ W}$$

$$P = 18,171 \text{ dBW}$$

$$P_{tx} = 18,171 \text{ dBW} + 2 \text{ dBW}$$

$$P_{tx} = 20,171 \text{ dBW}$$

$$P_{tx} = 104,037 \text{ W}$$

5.1.2.3 Simulaciones y Análisis de Resultados. En esta sección se realizaron las simulaciones con Xirio Online de las estaciones probables para la red SFN en Bogotá y se muestran las coberturas individuales de las estaciones y la cobertura multitransmisor.

Para la configuración de las estaciones de transmisión es necesario determinar parámetros de recepción fijos para todas las estaciones. Estos parámetros se encuentran en la Figura 41 de la sección 4.2.2, y se usaron para el diseño propuesto.

- Granada.

La estación de Granada se encuentra cerca al municipio Fusagasuga, pertenece a la red secundaria de RTVC y sus características geográficas se encuentran en la Tabla 34.

Tabla 34. Características geográficas de Granada.

Sistema de coordenadas: WGS84
Latitud (Grados – Minutos – Segundos): 04° 31' 12.8" N
Longitud (Grados – Minutos – Segundos): 74° 18' 28,2" W
Altura (msnm, metros sobre el nivel del mar): 3077
Fuente: Anexos RTVC.

La torre de Granada es de tipo autoportada, con base cuadrada y tiene una altura total de 32.45 m. Esta torre es propiedad de Telefónica Telecom y existen equipos instalados para transmisión de RTVC. El sistema radiante de esta transmisor está descrito en la Tabla 35.

Tabla 35. Sistema Radiante Estación Análoga Granada.

Marca	Screen Service
Modelo	SCT 200U (Simulada con RYMSA AT13-240)
Potencia de transmisión:	Potencia nominal del transmisor (W): 20
Ganancia de la antena (dBd)	10.5
Altura de la torre	32.45 m
Fuente: Anexos RTVC	

La canalización de esta estación se resume en la Tabla 36.

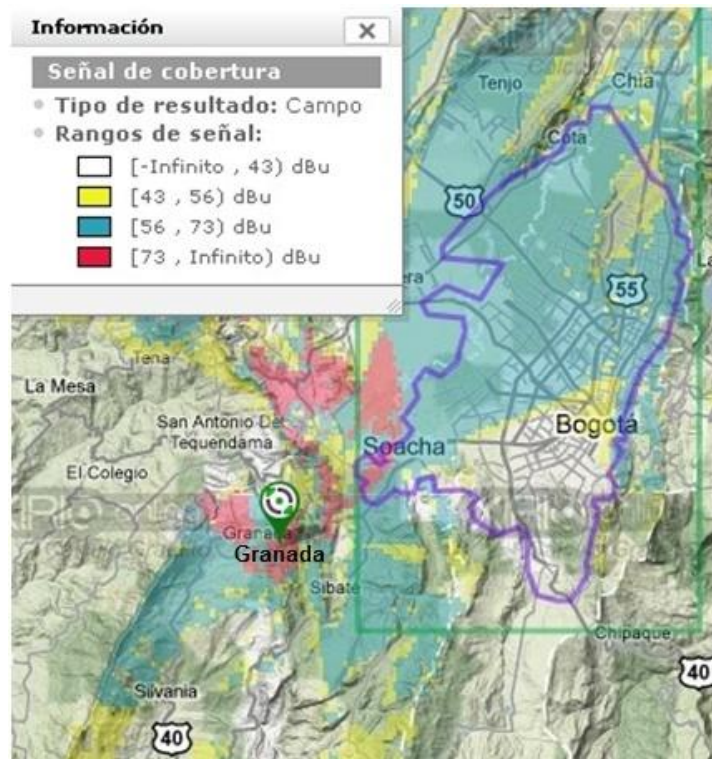
Tabla 36. Canalización Granada. Anexos RTVC

NOMBRE DEL CANAL	NÚMERO DEL CANAL	FRECUENCIA(MHz)
Institucional	24	-
Canal Uno	22	518 - 524
Señal Colombia	26	542 – 548

Fuente: Anexos RTVC.

En la Figura 54 se observa la simulación para la estación análoga de Granada. El transmisor de Granada cubre la zona sur-occidente y centro de Bogotá con una intensidad de campo de 56.75 dB μ V/m, por lo tanto la eficiencia es óptima con un buen nivel de señal. Se observa que la cobertura análoga que este transmisor de baja potencia ($\geq 12,5$ W < 250 W) abarca con gran eficiencia el área que faltaría por cubrir en la red SFN.

Figura 54. Cobertura Análoga Granada



Fuente: Xirio-Online

Para la simulación de la estación digital, en Xirio Online se configura el transmisor de Granada con los parámetros descritos en la Figura 55.

Figura 55. Propiedades del transmisor digital Granada.

Propiedades del Transmisor

Transmisor	
Nombre:	Granada Digital

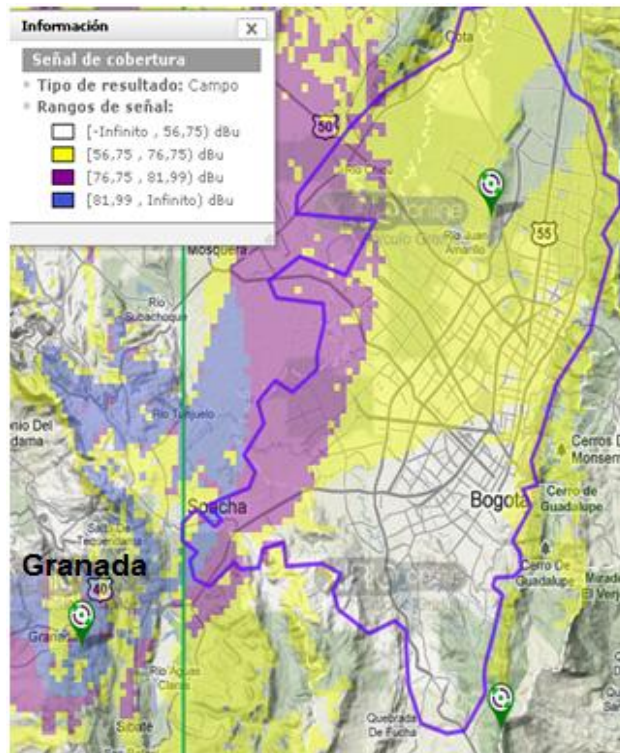
Emplazamiento	
Coordenadas 	
Latitud:	04°31'12.80"N
Longitud:	074°18'28.20"W

Parámetros de radio	
Antena:	AT 15-250 
Frecuencia:	485 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	32.45 m
Orientación:	0 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	165.818 W

Fuente: Xirio-Online

En la Figura 56 se muestra el resultado de la simulación de la cobertura de la estación Granada con los parámetros digitales. En estos resultados se observa que el nivel de señal de 81,994 dB μ V/m se encuentra por fuera de los límites de Bogotá. La zona occidental se cubre con un nivel medio de 76,75 dB μ V/m y la zona centro con un nivel bajo de 56.75 dB μ V/m.

Figura 56. Cobertura digital Granada.



Fuente: Xirio-Online

- Jalisco

La estación de Jalisco se encuentra ubicada en la zona sur de Bogotá en el barrio el Paraíso. Es una estación que se encuentra en una zona muy insegura, y los equipos de esta estación se encuentran incompletos. RTVC está planeando una reubicación de esta torre. Sus características geográficas se encuentran en la Tabla 37.

Tabla 37. Características geográficas de Jalisco.

Sistema de coordenadas: WGS84
Latitud (Grados – Minutos – Segundos): 04° 33' 28,9"N
Longitud (Grados – Minutos – Segundos): 74° 8' 27,2"W
Altura (msnm, metros sobre el nivel del mar): 2676
Fuente: Fuente: Anexos RTVC.

La torre de Jalisco es de tipo autosoportada, con base triangular y tiene una altura total de 20 m y el sistema radiante se encuentra descrito en la Tabla 38.

Tabla 38. Sistema Radiante Estación Análoga Jalisco.

Marca	Screen Service
Modelo	SCT 200UB (Simulada con RYMSA AT13-240)
Potencia de transmisión:	Potencia nominal del transmisor (W): 20
Ganancia de la antena (dBd)	10.5
Altura de la torre	20 m
Fuente: Anexos RTVC.	

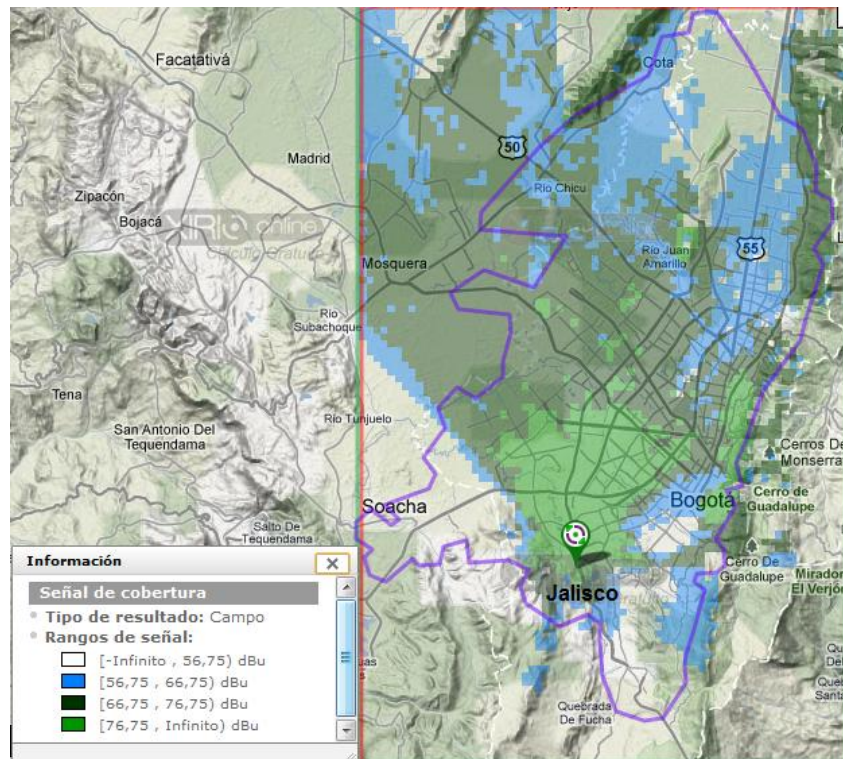
La canalización de esta estación se resume en la Tabla 39.

Tabla 39. Canalización Jalisco.

NOMBRE DEL CANAL	NÚMERO DEL CANAL	FRECUENCIA(MHz)
Institucional	27	548 – 554
Canal Uno	25	536 – 542
Señal Colombia	29	560 – 566
Fuente: Anexo E		

El transmisor de Jalisco cubre la zona sur y centro de Bogotá con una intensidad de campo de $56.75 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ y la eficiencia es óptima con un buen nivel de señal. En la Figura 54, se observa que la cobertura análoga que este transmisor de baja potencia ($\geq 12,5 \text{ W} < 250 \text{ W}$) abarca con gran eficiencia el área que faltaría por cubrir en la red SFN.

Figura 57. Cobertura Análoga Jalisco.



Fuente: Xirio-Online

El resultado de la simulación de la estación de Jalisco con parámetros para la transmisión digital se indica en la Figura 59, en donde se observa que el parámetro mínimo de $81,994 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ se encuentra dentro de la cobertura que abarca la zona sur de la ciudad, sin embargo la zona sur occidente permanece fuera de la cobertura alcanzada y la zona centro tiene un valor de intensidad de campo de $56.75 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, que es muy bajo con respecto al nivel definido.

Figura 58. Propiedades del transmisor Digital Jalisco.

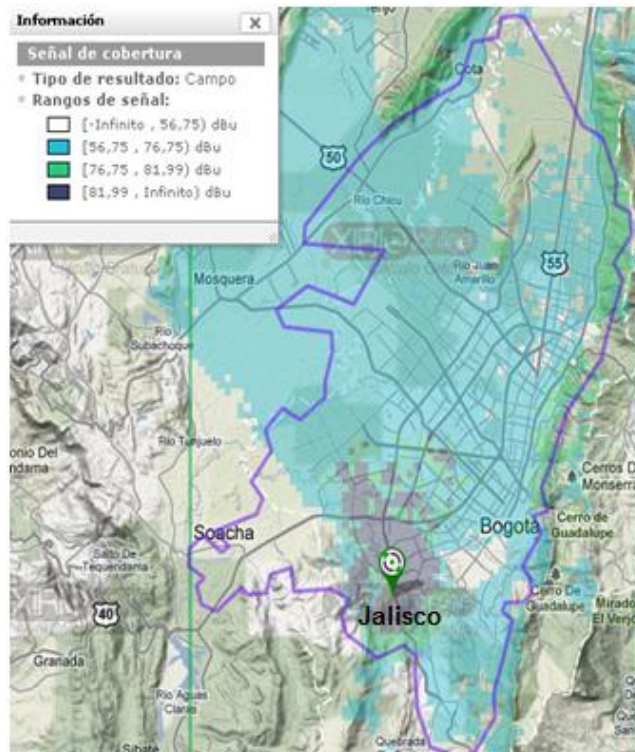
Transmisor	
Nombre:	Jalisco Digital

Emplazamiento	
Coordenadas	
Latitud:	04°33'28.90"N
Longitud:	074°08'27.20"W

Parámetros de radio	
Antena:	AT 15-250
Frecuencia:	485 MHz
Polarización:	Horizontal
Altura antena:	20 m
Orientación:	0 [0,359]
Inclinación:	0 [-90,90]
Potencia:	104.037 W

Fuente: Xirio-Online

Figura 59. Cobertura digital Jalisco



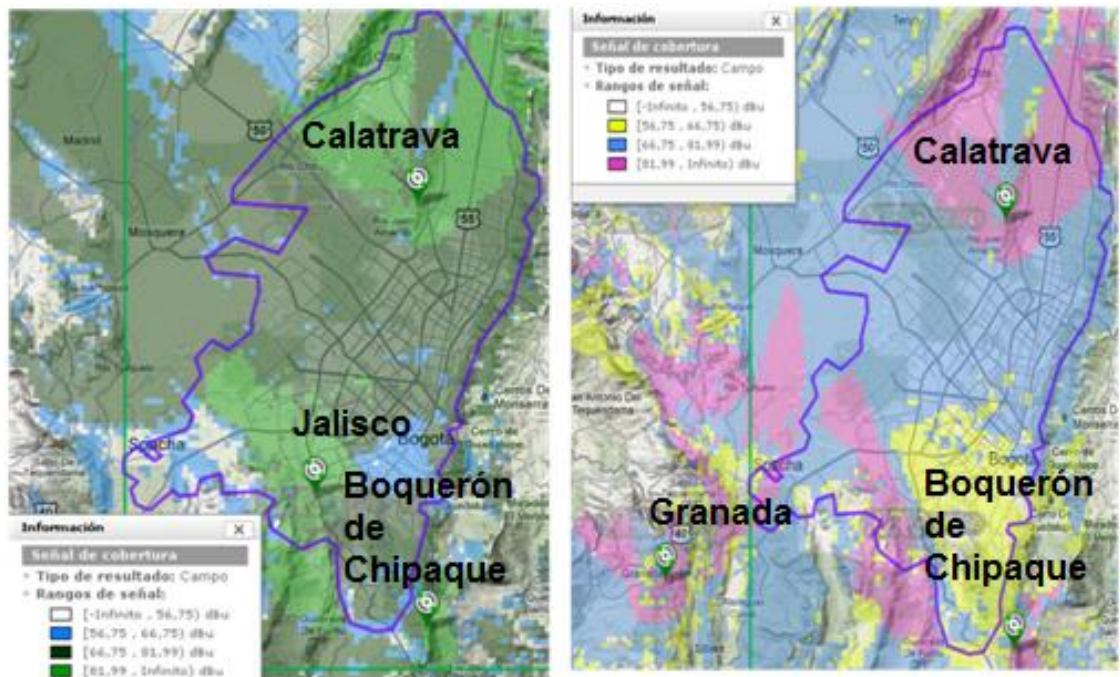
Fuente: Xirio-Online

- Comparación cobertura multitransmisor Nivel de señal

En la Figura 60 se observa que con la estación de Jalisco se tiene una mayor área de cobertura con el nivel mínimo de 81,994 dB μ V/m en la zona sur occidente de Bogotá, mientras que con la estación Granada no se cubre toda el área requerida, sólo cubre una pequeña parte del límite sur occidente con un nivel adecuado.

Para el mejor nivel de señal se considera que la más acertada es la estación de Jalisco.

Figura 60. Multitransmisor Nivel de señal

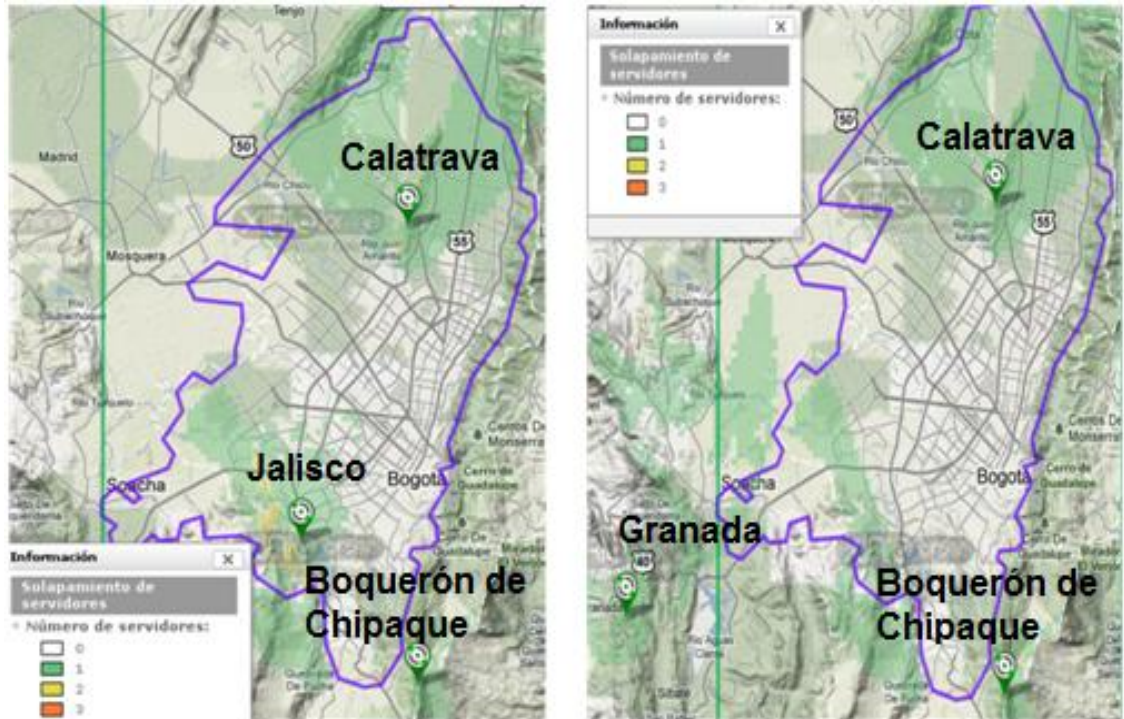


Fuente: Xirio-Online

- Comparación cobertura multitransmisor Solapamiento

En la Figura 61 se observa que con la estación Jalisco se presenta solapamiento con dos servidores en las zonas aledañas a la estación. Con la estación Granada sólo se presenta solapamiento con un servidor y el área interferida es menor que con el transmisor Jalisco. Debido a que las interferencias son generadas por los solapamientos entre las estaciones, se selecciona la estación de Granada para minimizar este tipo de inconvenientes que se presentaban con la estación Manjui descritos en la sección 5.1.1.

Figura 61. Multitransmisor Solapamiento



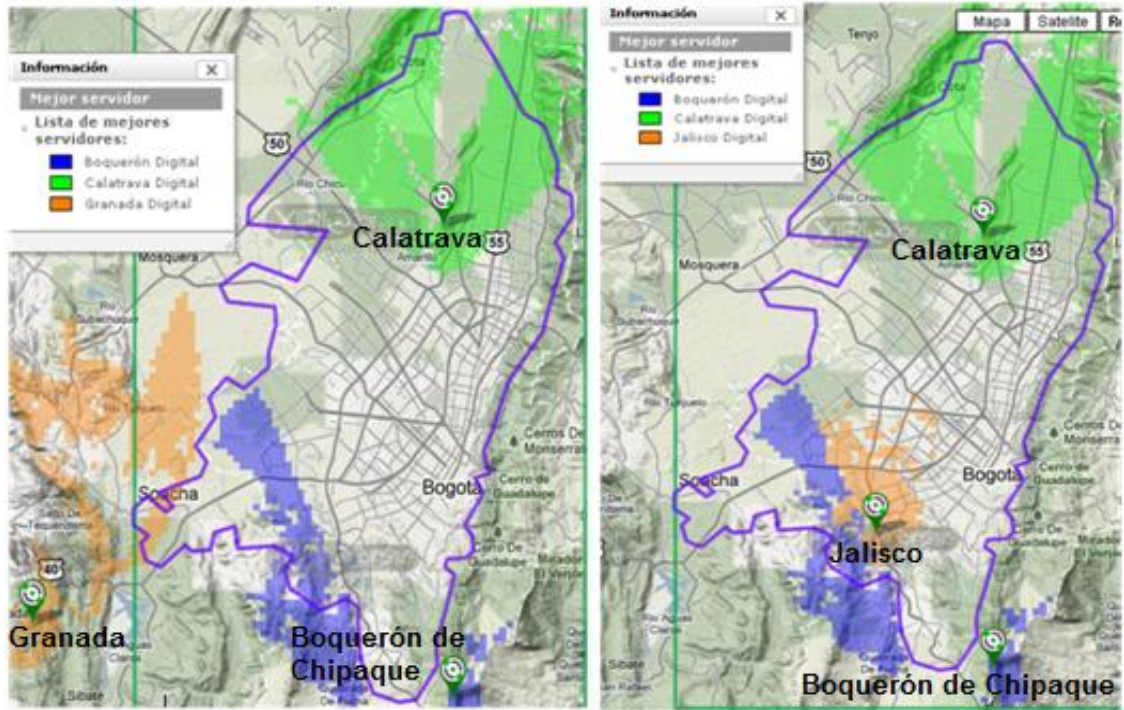
Fuente: Xirio-Online

- Comparación cobertura multitransmisor mejor servidor

En la Figura 62 se observa que la cobertura de la estación Granada está fuera de los límites de Bogotá y sólo cubre el sector de Soacha ubicado en el sur de Bogotá.

Según estos resultados, se selecciona la estación de Granada porque no produce interferencia con ninguna otra estación de la red SFN. Aunque el área de cobertura de la estación de Jalisco es mayor, no es seleccionada porque produce interferencias con Boquerón de Chipaque.

Figura 62. Multitransmisor Mejor servidor



Fuente: Xirio-Online

- Análisis de resultados

A partir de las simulaciones realizadas con las estaciones Jalisco y Granada para la red SFN con Boquerón de Chipaque y Calatrava, se concluye que la estación probable a utilizar es Granada.

La estación de Granada se encuentra en una ubicación geográfica estratégica para las zonas que se necesitan cubrir y no genera interferencias con ninguna otra estación perteneciente a la red. En cambio la estación Jalisco tiene mayor área de cobertura pero genera solapamiento con Boquerón de Chipaque por lo cual no es apta para el diseño propuesto de la red SFN.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las características técnicas, que son, sistema radiante, frecuencias y potencia de las estaciones de transmisión de televisión análoga, deben ser ajustadas para su utilización en el sistema digital.

La potencia de transmisión en televisión digital es aproximadamente entre 10 dB y 15 dB menor a la potencia de transmisión requerida para un sistema de televisión análoga y dependen del radio de cobertura establecido para la estación.

La frecuencia utilizada para la transmisión de la televisión análoga está en la banda de frecuencias VHF, para la transición a la televisión digital se deben adecuar las antenas utilizadas para la transmisión y recepción del servicio que cumplan con la característica de frecuencia UHF.

Para mantener la cobertura del sistema de televisión análoga en el momento de la implantación del sistema de televisión digital, se debe mantener un patrón de radiación similar de la antena utilizada para la transmisión.

Para el diseño de una red de televisión digital es preciso conocer la relación de C/N mínima que debe haber en la recepción. La relación S/N sólo se utiliza en el sistema análogo, debido a que en el sistema digital todas las señales portadoras transmitidas están multiplexadas en tiempo y en frecuencia y es más complejo el análisis por separado de cada una de ellas.

El nivel de intensidad de campo mínimo requerido para obtener un buen nivel de señal en la recepción con televisión análoga es mayor que el requerido por un sistema de televisión digital.

Para evitar interferencia inter símbolo en un sistema de televisión digital, los retardos introducidos no deben superar el valor del intervalo de guarda de $298,667 \mu\text{s}$ y la distancia entre los transmisores debe ser menor a 89,6 Km.

La característica de ortogonalidad de la modulación OFDM permite eliminar interferencias en una red SFN debido a que la posición central de las portadoras en frecuencia coincide con los puntos nulos de las portadoras adyacentes.

Las relaciones de protección para evitar interferencias cocanal, es decir en la misma banda de frecuencia, y de canal adyacente, en diferente banda de frecuencia, se controlan a partir de los filtros de máscara crítica utilizados en la transmisión. Esta relación es medida en la entrada al receptor.

La recepción de tipo **indoor** exige un nivel de intensidad de campo mínimo mayor que la recepción **outdoor**, sin embargo es preciso realizar el diseño utilizando como referencia el uso de la antena interior para abarcar la recepción con antena exterior mediante estos valores.

Se recomienda que Manjui sea utilizado para la cobertura de otras zonas sin incluir la ciudad de Bogotá, para esto habría que realizar cambios en el sistema radiante de Manjui en cuanto a la orientación de las antenas y la potencia de transmisión. Estas modificaciones no se encuentran abarcadas dentro del desarrollo de este estudio ya que se está analizando únicamente la ciudad de Bogotá.

Se recomienda que el diseño de la red de SFN en Bogotá esté conformado por las estaciones Boquerón de Chipaque, Calatrava y Granada, ya que estas estaciones permiten una cobertura **indoor** en gran parte del área de la ciudad y para una cobertura **outdoor** se mantiene el mismo porcentaje de cobertura análoga.

También se recomienda realizar las mediciones en terreno del diseño mejorado para corroborar el estudio realizado y los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Acuerdo por medio del cual se establecen condiciones técnicas para la prestación del servicio de televisión radiodifundida en tecnología digital en Colombia. (Diciembre 2010). Bogotá: Comisión Nacional de Televisión.
- [2] Alonso Montes, José Ignacio; Briso Rodríguez, César. (2004). Los problemas de las interferencias entre canales en la implementación de la TV digital terrenal en España. Madrid: Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación, COIT.
- [3] Anexos red primaria. Radio Televisión Nacional De Colombia. [Consultado el día 20 de Marzo de 2010]. <http://rtvc.gov.co/>
- [4] Carreño Cardona, Juan Andrés (Febrero, 2010). Tendencias e innovaciones tecnológicas a partir de la televisión digital. Cartagena: AndinaLink' – CNTV.
- [5] Cortes Muñoz, Luisa Fernanda; Garzón Quiroga, Andrés Ricardo. Televisión Academia y Sociedad. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C. (2009).
- [6] Delgado Gutiérrez, Alejandro. (Octubre 2002). Transmisión de señales de TV digital en el estándar terreno DVB-T. Madrid: Universidad politécnica de Madrid, departamento de electromagnetismos y teoría de circuitos.
- [7] Estaciones Red Pública Nacional de Televisión. Comisión Nacional de Televisión. [Consultado el día 15 de Marzo 2011]. http://www.cntv.org.co/cntv_bop/
- [8] Iles, D.J., 2003 Operational DVB-T SFN Experience in Australia Proceedings of 1999 ABA Broadcast Planning Conference.
- [9] Implementación Televisión Digital. Comisión Nacional de Televisión. [Consultado el día 17 de Octubre 2010]. http://www.cntv.org.co/cntv_bop/
- [10] Miltet, Oliver. (Noviembre 2007). Technical Overview of single frequency network. Australia: Broadcastpapers, Enensys.
- [11] Modelo LOS (LINE OF SIGHT). Xirio Online [Consultado el día 10 de Marzo de 2011]. <http://www.xirio-online.com/>
- [12] Normas – Resoluciones. Radio Televisión Nacional De Colombia. [Consultado el día 25 de Marzo de 2011]. <http://rtvc.gov.co/>
- [13] Planificación de Radioenlaces. Xirio Online [Consultado el día 10 de Marzo de 2011]. <http://www.xirio-online.com/>

- [14] Quiénes somos. Radio Televisión Nacional De Colombia. [Consultado el día 10 de Octubre de 2010]. <http://rtvc.gov.co/>
- [15] Ramírez Carvajal, Oscar. La televisión digital y sus orígenes. [Consultado el día 25 de Marzo 2011]. <http://servitecnoelectronica.com/>
- [16] R. Arthur, Y. Iano, Member IEEE, S.R.M. Carvalho y R.F. Larico. "Planificación de la expansión del servicio de retransmisión de TV digital en Brasil usando redes SFN". IEEE Latin America Transactions, Vol. 5, NO. 8, 2007: 573-578.
- [17] Recomendación ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01), European Standard (Telecommunications series). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.
- [18] Recomendación ETSI TR 101 190 V1.3.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects.
- [19] Recomendación UIT-R BT.655-7. Relaciones de protección en radiofrecuencia para sistemas de televisión terrenal con modulación de amplitud de banda lateral residual interferidos por señales de imagen analógicas no deseadas y sus señales de sonido asociadas.
- [20] Recomendación UIT-R BT.1368-8 (05/2009), Criterios para la planificación de servicios de televisión digital terrenal en las bandas de ondas métricas/decimétricas. Serie BT. Servicio de radiodifusión (televisión)
- [21] Recomendación UIT-R BT.417-5 (10/2002), Mínima intensidad de campo que puede ser necesario proteger al establecer los planes de un servicio de televisión terrenal analógica
- [22] Resolución 389 de 2010. (Abril 2010) Por la cual se asignan frecuencias al Operador Nacional Público Radio Televisión Nacional de Colombia RTVC, para el servicio de televisión radiodifundida en tecnología digital. Bogotá: Comisión Nacional de Televisión.
- [23] RYMSA, RF Group. Antenna systems, channel combiners & passive components, broadcast catalogue. Madrid.
- [24] Ruiz Coll, Damián. (Julio 2010). Diseño y planificación de redes TDT - DVB-T. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingenieros, ACIEM, Capítulo Cundinamarca.
- [25] Televisión Digital Terrestre en Colombia. Así va la implementación de la red de televisión pública digital. [Consultado el día 10 de Octubre de 2010]. <http://tdt.rtv.gov.co/>

[26] Televisión Digital Terrestre en Colombia. Fases del proyecto TDT Nacional. [Consultado el día 10 de Octubre de 2010]. <http://tdt.rtv.gov.co/>

[27] Televisión Digital Terrestre en Colombia. RTVC continúa desarrollando plan de implementación de la TDT para la televisión pública. [Consultado el día 10 de Octubre de 2010]. <http://2010tdt.rtv.gov.co/>