

**ESTUDIO DE PROPAGACIÓN SOBRE ÁREAS DE COBERTURA Y ÁREAS  
DE INTERFERENCIA PARA LA DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL  
TERRESTRE EN BOGOTÁ**

**FAVIAN DAVID GARCÍA CABRERA**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2011 II**

**ESTUDIO DE PROPAGACIÓN SOBRE ÁREAS DE COBERTURA Y ÁREAS  
DE INTERFERENCIA PARA LA DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL  
TERRESTRE EN BOGOTÁ**

**FAVIAN DAVID GARCÍA CABRERA  
052072  
FAVIAN.GARCIA1@HOTMAIL.COM**

**MONOGRAFÍA**

**ASESOR TÉCNICO  
ING. ANTONIO RICARDO GONZÁLEZ TORRES  
COMUNICACIONES MÓVILES**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2011 II**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Antonio Ricardo González Torres**  
**Asesor**

---

**Jorge Alberto Arévalo Aldana**  
**Jurado 1**

---

**Joaquín Sánchez Cifuentes**  
**Jurado 2**

Bogotá (15, 12, 2011)

Dedico este trabajo en especial a mi madre Eunice Cabrera Peña, quien con amor, dedicación, trabajo, esfuerzo, ejemplo y sacrificios formo a sus hijos y hoy en día somos el fruto de su vida, por estar conmigo en tan duros momentos, por apoyarme en muchas etapas de mi vida y en esta en especial, por enseñarme a ser un hombre de bien y hacer de mi una gran persona. A mi padre Antonio García Romero, porque a pesar de que estuvimos distantes, el tiempo se encargo de unirnos de nuevo y darnos la oportunidad de compartir esa alegría de ser padre e hijo y ser ejemplo de mi vida y yo alegría de la suya. A mi querida hermana Ángela Patricia Gómez Cabrera, por ser esa niña dulce y tierna, porque a pesar de su corta edad eres un gran ejemplo para mí, porque me acompañas me aconsejas y me inspiras para seguir adelante. A mi abuelita Ernestina Peña Malaver, por formarme y acompañarme en mi niñez y juventud, por enseñarme las cosas buenas de la vida, por apoyarme y guiarme en las decisiones que hacen de mí una gran persona y a mis amigos, su apoyo y su gran amistad, es difícil encontrar personas como ustedes. Que Dios y la Virgen nos lleven siempre por el camino del bien, nos acompañe siempre y nos de la vida eterna. AMEN.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y a mi hermana por su apoyo a lo largo de mi vida y en esta etapa en especial. Al ingeniero Antonio Ricardo González Torres por su asesoría, su ayuda, su consejo y su mano amiga. A la facultad de ingeniería electrónica y de telecomunicaciones y su plantel docente, por ser formadores de profesionales y en especial al ingeniero Hans Igor López y al profesor Jairo Preciado, porque con su profesionalismo se convirtieron en mí ejemplo a seguir a lo largo de mi carrera. Finalmente agradezco muy especialmente a Dios, por permitirme culminar mi carrera profesional y llevarme siempre por el camino del bien.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACIÓN	22
3. OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4. MARCO REFERENCIAL	25
4.1 MARCO CONCEPTUAL	25
4.2 MARCO TEÓRICO	27
4.2.1 Potencia en el sistema de transmisión	28
4.2.2 Arquitectura básica de los transmisores de televisión	28
4.2.3 Aspectos comunes de transmisión (A/D)	29
4.2.4 Diferencias entre los sistemas de transmisión (A/D)	30
4.2.5 Topologías de las redes de televisión	31
4.2.6 Plan de Utilización de Frecuencias	32
4.2.7 Estándar MPEG	32
4.2.8 Modulación COFDM	33
4.2.9 Zonas de Fresnel	34

4.2.10	Propagación en espacio libre	35
4.2.11	Método de predicción	37
4.2.12	Exposición de personas a campos electromagnéticos	38
4.2.13	Tecnología Digital Video Broadcasting (DVB)	43
4.3	ANTECEDENTES	45
4.3.1	La televisión en Colombia	45
4.3.2	El plan de desarrollo de la Televisión	45
4.3.3	El organismo DVB	46
4.4	ESTADO DEL ARTE	47
5.	LIMITACIONES Y ALCANCES	48
5.1	ALCANCES	48
6.	DISEÑO METODOLÓGICO	50
6.1	METODOLOGÍA	50
7.	DESARROLLO	51
7.1	ZONA DE ESTUDIO: BOGOTÁ	51
7.1.1	Limites	52
7.1.2	Población	53
7.1.3	Altura	53
7.2	RED DE TELEVISIÓN NACIONAL	65
7.2.1	Asignación de frecuencias para la televisión analógica	66

7.2.2	Asignación de canales para la Televisión Digital Terrestre	68
7.3	ESTACIONES TRANSMISORAS DE TELEVISIÓN PARA BOGOTÁ	70
7.3.1	Calatrava	71
7.3.2	Manjuí	73
7.3.3	Boquerón de Chipaque	75
8.	PRUEBAS Y RESULTADOS PRELIMINARES	78
8.1	PRUEBAS ESTACIÓN DE CALATRAVA	79
8.2	PRUEBAS ESTACIÓN DE MANJUÍ	82
8.3	PRUEBAS ESTACIÓN DE MUNCHIQUE	84
8.4	PRUEBAS ESTACION NUEVO COLON	87
8.5	FACTOR DE AJUSTE DE POTENCIA	89
9.	PRUEBAS Y RESULTADOS	90
9.1	EMISIONES DESDE LAS ESTACIONES ACTUALES	90
9.1.1	Mediciones desde el cerro de Calatrava.	90
9.1.2	Mediciones desde el cerro de Manjuí	95
9.1.3	Mediciones desde Boquerón de Chipaque	97
9.1.4	Análisis de interferencias	98
9.2	EMISIONES DESDE LAS ESTACIONES SUGERIDAS	100
9.2.1	Prueba 1. Un transmisor central	100
9.2.2	Prueba 2. Un transmisor en los cerros orientales	106

9.2.3	Prueba 3. Un transmisor fuera de la ciudad	108
9.2.4	Prueba 4. Dos transmisores centrales	110
9.2.5	Prueba 5. Dos transmisores en los cerros orientales	112
9.2.6	Prueba 6. Dos transmisores fuera de la ciudad	114
9.2.7	Prueba 7. Tres transmisores	116
9.3	ANALISIS DE LOS RESULTADOS	119
10.	CONCLUSIONES	123
11.	RECOMENDACIONES	125
	GLOSARIO	126
	BIBLIOGRAFÍA	127

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características de las bandas de frecuencia.	26
Tabla 2. Factores que influyen en las pérdidas por desvanecimiento	36
Tabla 3. Sitios que posiblemente podrían obstruir la señal de TDT.	54
Tabla 4. Detalle de la ubicación de la estación para la prueba 1.	56
Tabla 5. Detalle de la ubicación de la estación para la prueba 2.	56
Tabla 6. Detalle de las ubicaciones de la estación para la prueba 3.	57
Tabla 7. Detalle de las ubicaciones de las estaciones para la prueba 4.	58
Tabla 8. Detalle de las ubicaciones de las estaciones haciendo uso de un 1 TX.	62
Tabla 9. Detalle de las ubicaciones de las estaciones para la prueba 6.	63
Tabla 10. Ubicaciones de las estaciones haciendo uso de un 1 TX.	65
Tabla 11. Clasificación de las estaciones por potencia del transmisor.	66
Tabla 12. Clasificación de las estaciones por Red.	66
Tabla 13. Niveles de servicio, Valores mínimos de intensidad de campo.	66
Tabla 14. Canales disponibles con su banda de operación.	67
Tabla 15. Red primaria canales públicos, privados y regionales.	68
Tabla 16. Red secundaria canales públicos y privados.	68
Tabla 17. Características de las antenas de la estación Calatrava.	72
Tabla 18. Características de las antenas desde la estación de Manjuí.	74
Tabla 19. Características de las antenas desde la estación B. d. Chipaque.	77
Tabla 20. Parámetros de cobertura digital para la estación de Manjuí.	83
Tabla 21. Parámetros de cobertura digital para la estación de Munchique.	85
Tabla 22. Parámetros de cobertura digital para la estación de Nuevo Colon.	88
Tabla 23. Factor de ajuste en el cambio de potencia.	89
Tabla 24. Mediciones para los puntos correspondientes a la estación Calatrava.	92
Tabla 25. Mediciones para los puntos correspondientes a la estación Manjuí.	96
Tabla 26. Mediciones para los puntos correspondientes a la estación Manjuí.	98
Tabla 27. Mediciones de la prueba 1 para los receptores de Calatrava.	104
Tabla 28. Mediciones de la prueba 1 para los receptores de Manjuí.	104

Tabla 29. Mediciones de la prueba 1 para los receptores de Boq.d.Chip.	105
Tabla 30. Mediciones de la prueba 2 para los receptores de Calatrava.	106
Tabla 31. Mediciones de la prueba 2 para los receptores de Manjuí.	107
Tabla 32. Mediciones de la prueba 2 para los receptores de Boq.d.Chip.	107
Tabla 33. Mediciones de la prueba 3 para los receptores de Calatrava.	108
Tabla 34. Mediciones de la prueba 3 para los receptores de Manjuí.	109
Tabla 35. Mediciones de la prueba 3 para los receptores de Boq.d.Chip.	109
Tabla 36. Mediciones de la prueba 4 para los receptores de Calatrava.	110
Tabla 37. Mediciones de la prueba 4 para los receptores de Manjuí.	111
Tabla 38. Mediciones de la prueba 4 para los receptores de Boq.d.Chip.	111
Tabla 39. Mediciones de la prueba 5 para los receptores de Calatrava.	113
Tabla 40. Mediciones de la prueba 5 para los receptores de Manjuí.	113
Tabla 41. Mediciones de la prueba 5 para los receptores de Boq.d.Chip.	114
Tabla 42. Mediciones de la prueba 6 para los receptores de Calatrava.	115
Tabla 43. Mediciones de la prueba 6 para los receptores de Manjuí.	116
Tabla 44. Mediciones de la prueba 6 para los receptores de Boq.d.Chip.	116
Tabla 45. Mediciones de la prueba 7 para los receptores de Calatrava.	117
Tabla 46. Mediciones de la prueba 7 para los receptores de Manjuí.	118
Tabla 47. Mediciones de la prueba 7 para los receptores de Boq.d.Chip.	118
Tabla 48. Comparación entre las 7 pruebas y las estaciones actuales.	122

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Espectro de frecuencias.	25
Figura 2. Campo electromagnético.	27
Figura 3. Arquitectura básica de un transmisor de televisión.	28
Figura 4. Intervalo de guarda OFDM	33
Figura 5. Ejemplos de constelaciones QAM	33
Figura 6. Zona de Fresnel	34
Figura 7. Zonas de rebasamiento, ocupacional y poblacional.	39
Figura 8. Cálculo de las distancias de las zonas de exclusión.	42
Figura 9. Modulador COFDM.	44
Figura 10. Vista de Bogotá desde los cerros orientales.	51
Figura 11. Mapa de altimetría de la zona de estudio.	53
Figura 12. Vista superior de la ubicación de la estación para la prueba 1	55
Figura 13. Vista superior de la ubicación de la estación para la prueba 2	57
Figura 14. Vista superior de la ubicación de la estación para la prueba 3.	58
Figura 15. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 4.	59
Figura 16. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 4.	59
Figura 17. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 5.	60
Figura 18. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 5	61
Figura 19. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 6.	62
Figura 20. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 6.	63
Figura 21. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 7.	64
Figura 22. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 7.	64
Figura 23. Transmisores difusores de televisión para Bogotá.	70
Figura 24. Vista de la estación de Calatrava.	71
Figura 25. Vista torres 1 y 2 en la estación de Manjuí.	74
Figura 26. Vista de la estación de Boquerón de Chipaque.	76
Figura 27. Transmisor DMT.	79
Figura 28. Patrón de radiación para la estación de Calatrava.	80

Figura 29. Puntos de medición para las pruebas del 2006.	81
Figura 30. Escenario base de transmisión digital en Calatrava.	81
Figura 31. Cobertura analógica desde Manjuí según ICS TELECOM.	82
Figura 32. Patrón de radiación para la estación de Manjuí.	83
Figura 33. Cobertura analógica desde el cerro de Manjuí con R.M.	84
Figura 34. Patrón de radiación para la estación de Munchique.	85
Figura 35. Cobertura analógica desde Munchique según ICS TELECOM.	86
Figura 36. Cobertura analógica desde Munchique según R.M.	86
Figura 37. Patrón de radiación para la estación de Nuevo Colon.	87
Figura 38. Cobertura analógica desde Nuevo Colon según ICS TELECOM.	88
Figura 39. Cobertura analógica desde Nuevo Colon según R.M.	89
Figura 40. Puntos de medición y análisis para la estación Calatrava.	90
Figura 41. Vista de la herramienta Radio Link.	91
Figura 42. Vista de la herramienta POLAR RADIO COVERAGE en RM.	93
Figura 43. Cobertura en intensidad de campo desde la estación de Calatrava.	94
Figura 44. Cobertura en potencia de la señal desde la estación de Calatrava.	95
Figura 45. Puntos de medición para la estación de Manjuí.	96
Figura 46. Puntos de medición para la estación de B. d. Chipaque.	97
Figura 47. Interferencia analógica desde las estaciones actuales.	98
Figura 48. Posible interferencia digital desde las estaciones actuales.	99
Figura 49. Intensidad de campo para un Tx en el centro de Bogotá.	100
Figura 50. Cobertura en potencia de señal para un Tx en el centro de Bogotá.	101
Figura 51. Cobertura digital vs analógica para un Tx central.	101
Figura 52. Diagrama de polarización omnidireccional.	102
Figura 53. Patrón de radiación de una antena Cardio.	102
Figura 54. Cobertura en intensidad de campo con una antena Cardio.	103
Figura 55. Diagrama de puntos de las 7 pruebas.	119
Figura 56. Diagrama de bloques comparativo de las 7 pruebas	120
Figura 57. Diagrama de bloques comparativo en 3D de las 7 pruebas.	121
Figura 58. Línea de vista al centro para la estación de la prueba 1.	131
Figura 59. Línea de vista al norte para la estación de la prueba 2.	131

Figura 60. Línea de vista al centro para la estación de la prueba 3.	132
Figura 61. Línea de vista al norte para la estación 1 de la prueba 4.	132
Figura 62. Línea de vista al sur para la estación 1 de la prueba 4.	133
Figura 63. Línea de vista al norte para la estación 2 de la prueba 4.	133
Figura 64. Línea de vista al centro para la estación 1 de la prueba 5.	134
Figura 65. Línea de vista al norte para la estación 2 de la prueba 5.	134
Figura 66. Línea de vista al sur para la estación 2 de la prueba 5.	135
Figura 67. Línea de vista al centro para la estación 1 de la prueba 6.	135
Figura 68. Línea de vista al sur para la estación 2 de la prueba 6.	136
Figura 69. Línea de vista al norte para la estación 2 de la prueba 6.	136
Figura 70. Línea de vista al centro para la estación 1 de la prueba 7.	137
Figura 71. Línea de vista al centro para la estación 2 de la prueba 7.	137
Figura 72. Intensidad de campo para la estación de la prueba 2.	138
Figura 73. Intensidad de campo para la estación de la prueba 3.	138
Figura 74. Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 4.	139
Figura 75. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 4.	139
Figura 76. Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 5.	140
Figura 77. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 5.	140
Figura 78. Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 6.	141
Figura 79. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 6.	141
Figura 80. Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 7.	142
Figura 81. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 7.	142
Figura 82. Intensidad de campo para la estación 3 de la prueba 7.	143

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Longitud de onda	35
Ecuación 2. Primera zona de Fresnel	35
Ecuación 3. Segunda zona de Fresnel	35
Ecuación 4. Pérdidas de trayectoria	36
Ecuación 5. Pérdidas por desvanecimiento	36
Ecuación 6. Calculo para zonas de exclusión.	40
Ecuación 7. Cálculo para zonas de exclusión para televisión.	40
Ecuación 8. Calculo de la distancia al sistema radiante	41
Ecuación 9. Calculo de distancias a las zonas de exclusión.	42

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1 Figuras de línea de vista para las nuevas estaciones	131
Anexo 2. Figuras de intensidad de potencia para la cobertura de Bogotá.	138

## INTRODUCCIÓN

Ver televisión es una actividad que muchas de las personas elijen porque a través de ella encuentran en su programación espacios de interés que les permiten momentos de descanso, tranquilidad y distracción, convirtiéndose en un medio importante para la sociedad, mostrando así según la Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) realizada por la oficina de planeación de la Comisión Nacional de Televisión (CNTV, 2009), que más del 95% de los hogares colombianos posee al menos un televisor y que más del 70% ve por lo menos una hora de televisión al día.

Desde sus orígenes en Colombia un 13 de junio de 1954 bajo el gobierno del General Gustavo Rojas Pinilla quien incluyó al país nuevas tecnologías traídas desde Alemania y Estados Unidos, hasta ahora, la televisión ha venido evolucionando de un modelo analógico, básico, educativo y cultural por medio de canales públicos con el televisor a blanco y negro, pasando por la llegada del televisor a color en 1979 de origen japonés (Ospina de Fernández & Zapata, 2004), la llegada de canales privados en 1997 como lo son canal Caracol y canal RCN, hasta la elección de uno de los cuatro sistemas existentes en la actualidad de transmisión digital de televisión en el 2008 (llamada a partir de ahora TDT), la cual pretende brindar beneficios como una mejor recepción de la señal optimizando el uso del espectro radioeléctrico, mejor calidad de imagen y sonido, e interactividad entre usuario y estación televisiva, los cuales la red de televisión analógica actual no ofrece.

Tanto en la televisión analógica como en la digital se asigna un rango de frecuencias dentro de un ancho de banda dando origen a un espacio en el que un centro emisor pueda transmitir sus contenidos dando origen a un canal de televisión. La diferencia radica en que en el sistema analógico se pueden asignar diferentes canales o espacios de transmisión de contenidos a un mismo operador pudiendo este disponer de varios canales para transmitir el mismo programa. El funcionamiento de la televisión digital es diferente, ya que para cada operador se asignará un único canal para que dentro de una red de estaciones transmisoras instale sus respectivas tecnologías y haga desde este único canal la difusión de su señal a lo largo de todo el país.

Con la asignación de una sola frecuencia para un canal de televisión, en el momento que se empiecen a instalar las nuevas tecnologías digitales se presentará el fenómeno de múltiple cobertura que el sistema analógico no presenta, pues en el momento que varias estaciones cercanas trabajen dentro de las mismas frecuencias el mismo canal, un receptor ubicado en una área compartida de cubrimiento no sabrá de cuál de estas estaciones recibir los datos correspondientes al contenido, generando distorsión en el audio, ruido en la señal

de video y posiblemente impidiendo la interactividad con el centro de emisión. El presente proyecto de investigación está orientado a eliminar las estaciones innecesarias o reubicar las estaciones de televisión analógica desde las cuales se pretende hacer la propagación del nuevo sistema de televisión para minimizar las zonas de múltiple cobertura.

Para dar solución al objetivo principal, basado en estudios realizados anteriormente por el ente dedicado a regular el espectro electromagnético reservado a la transmisión de las señales de televisión llamado COMISION NACIONAL DE TELEVISION, se plantean siete pruebas donde se analizan las posibles nuevas ubicaciones de las estaciones de televisión digital haciendo uso de una, dos o las mismas tres estaciones que utiliza la red actual de televisión analógica y que cubran el 100% de la capital, desde donde se irradia la señal de los canales públicos nacionales.

Al inicio del documento, se plantea la problemática principal del desarrollo del proyecto de investigación, justificando por qué y para que se hace necesario el desarrollo del mismo, seguido de esto dentro del marco referencial se explican los antecedentes de los temas que hacen referencia al proyecto como la historia de la televisión en Colombia, que es el plan de desarrollo de la televisión y que es el organismo DVB. En el marco teórico se podrá encontrar una explicación de cómo es la arquitectura básica de un sistema de transmisión de televisión y de los aspectos comunes y diferentes entre el sistema analógico y el digital. Seguido de esto se explican las topologías de red que manejan los sistemas de televisión y de una serie de temas relacionados a su funcionamiento como lo son el formato MPEG, que son las zonas de Fresnel, como es la propagación en espacio libre, como se hace la diferenciación de las zonas donde se arriesga la exposición de personas a campos electromagnéticos y se describe que es DVB o tecnología Digital Video Broadcasting. Finalmente dentro del capítulo cuatro se describe el estado del arte del proyecto de investigación.

En el capítulo cinco se explican las limitaciones y los alcances del proyecto de investigación.

Dentro del capítulo seis se explica de cómo fue la metodología de desarrollo y de cómo se dio cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos planteados.

Para el desarrollo de la investigación, se hace una descripción de la zona en estudio correspondiente a la capital colombiana, allí, se mencionan los límites, la población y la altura para poder conocer y entender los resultados que se muestran al final del documento. Una vez se da a conocer el área en estudio, se habla de la red de televisión nacional, de cómo se asignaron las frecuencias para la formación de los canales y de que canales se le otorgaron a cada productor.

Seguidamente se hace una minuciosa explicación de cómo está distribuida la red de televisión analógica y de qué forma se hace la radiación de la señal de televisión de los canales públicos nacionales.

El capítulo ocho está designado a hacer una explicación de los estudios realizados anteriormente y relacionados con el funcionamiento del sistema de televisión digital viéndolo desde dos aspectos diferentes. En la primera parte se explica el estudio estándar realizado en el 2006 para el funcionamiento de la única estación que en la actualidad difunde la señal digital para Bogotá, la otra parte hace una descripción detallada de por qué y cuáles son las características más indicadas para el funcionamiento del sistema de televisión digital, describiendo el análisis para una estación de potencia alta llamada la estación de Manjuí, una estación de potencia media llamada Munchique y una estación de potencia baja llamada Nuevo Colon.

Finalmente en el capítulo nueve se plantean siete diferentes pruebas las cuales lleven al análisis de un debido funcionamiento del sistema digital permitiendo plantear las condiciones de operación desde las cuales se pueda mejorar la radiación del nuevo sistema. Para el desarrollo de las pruebas se planteó un esquema que inicia con el objetivo de la prueba, los resultados esperados, los resultados obtenidos y las conclusiones de cada una de ellas.

El resultado final del proyecto de grado está orientado a plantear nuevos escenarios desde los cuales se haga la difusión del sistema de televisión digital terrestre, los resultados y las conclusiones se obtuvieron por medio de la simulación de nuevas redes de televisión haciendo uso de la herramienta diseñada para el análisis de radioenlaces llamada Radio Mobile. Todos los resultados son teóricos más no prácticos.

## 1. PROBLEMA

En la actualidad, el sistema de radiodifusión de la señal de televisión en Colombia se hace por medio de centros de emisión que difunden sus contenidos por medio de una señal analógica modulada al satélite NSS 806 (Santofimio, 2011), este se encarga de aterrizar la señal a las estaciones de recepción y transmisión ubicadas a lo largo del territorio colombiano y estas estaciones según su potencia abarcan un área de cobertura donde los receptores o antenas de casa reciben la señal de la estación transportándola por medio de un circuito interno hasta el televisor. Este proceso de difusión de la señal se hace por medio de un esquema de red llamado MFN (Múltiple Frequency Network o Red de Frecuencia Múltiple), donde cada estación puede hacer la difusión de la señal de cada canal usando diferentes frecuencias las cuales permitan visualizar el mismo programa en diferente canal según el sitio desde donde se esté recepcionando.

Para el año 2019 se pretende hacer un gran apagón analógico a nivel nacional de todas las tecnologías analógicas de televisión que en la actualidad funcionan, para dar paso al nuevo sistema TDT. Por lo tanto, se hace necesaria la educación para la sociedad colombiana en todo lo que al cambio se refiere y la presencia de personal capacitado para hacer del sistema digital todo un hecho.

Según las características del estándar adoptado en Colombia, la televisión digital que se transmitirá en el país cuenta con un esquema de red diferente al analógico. Los centros de emisión tendrán el reto de producir más contenido por la opción de multicanalidad que ofrece la TDT. Estos programas serán emitidos ya no de una forma analógica sino que se transportarán en forma digital. El sistema digital se comportará de una manera similar de acuerdo con la emisión hasta el satélite y la recepción en las estaciones, pero a partir de estas no se difundirá con el esquema de frecuencia múltiple sino que se transmitirán todas las señales del mismo operador en una única frecuencia asignada, entonces todas las estaciones en el país trabajarán siempre a la misma frecuencia el mismo canal. A este esquema de red se le reconoce como SFN (Single Frequency Network o Red de Frecuencia Única).

A partir del cambio en el esquema de red para transmitir la señal desde las estaciones base, se crean problemas que la red de frecuencia múltiple no presentaba, ya que cada estación analógica funciona de forma individual y la señal que quiera transmitir no afecta ni crea conflictos con las otras señales radiadas desde estaciones próximas, pues una estación cercana trabaja el mismo canal en diferentes frecuencias o la estación que se esté transmitiendo en la misma frecuencia se encuentra lo suficientemente separada para que los niveles de señal o datos semejantes no se encuentren fácilmente. El problema más importante con el funcionamiento futuro del sistema de transmisión de la señal de televisión es la

formación de áreas donde dos o más antenas tengan cobertura según la potencia a la que trabajen y las condiciones geográficas de la zona, ya que en el momento que todas las estaciones trabajen en el esquema SFN, las antenas emitirán siempre en las mismas frecuencias el mismo canal con el mismo contenido. Este esquema crea un conflicto en el receptor el cual no sabrá de cuál de estas antenas recibir el contenido disminuyendo la calidad de servicio que ofrece la televisión digital como la alta definición de video, distorsionando la señal de audio o impidiendo la interacción con el centro de emisión.

Basándose en simulaciones de cobertura en potencia de señal e intensidad de campo, se realiza un estudio de propagación teniendo en cuenta factores como ubicación, potencia, cobertura y beneficios, para encontrar las zonas de interferencia en las que se presentan problemas de recepción y así mismo hacer de la TDT un excelente servicio.

Teniendo como base las transmisiones iniciales de TDT que se han realizado y los resultados que de estas se obtuvieron, surge la siguiente incógnita: ¿Son las ubicaciones de las estaciones de transmisión analógica, las ubicaciones de las antenas y las características de operación, las más indicadas para hacer la difusión del sistema de TDT como se está haciendo en la actualidad con las transmisiones de prueba y como se va a realizar en un futuro haciendo uso de la red de televisión actual?

## 2. JUSTIFICACIÓN

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

En la reunión de información que tuvo desarrollo en las instalaciones de la Comisión Nacional de Televisión el día 7 de marzo del 2011, el ingeniero Giovanni Ricardo Ángel García, del departamento de subdirección técnica y de operaciones, afirmó: “Se hace necesaria la presencia de las universidades y con ellas sus estudiantes de ingeniería con el desarrollo de estudios en lo que hace referencia a la difusión de señal de TDT, con un especial enfoque en los problemas que presentan las zonas de interferencia donde dos o más antenas comparten áreas de cobertura”.

Por las razones expuestas anteriormente, se hace necesario un estudio detallado de la infraestructura física haciendo referencia a las antenas de propagación de las señales de TDT, además se precisan las características de propagación más indicadas para la transmisión del sistema TDT y a su vez, una investigación para dar solución al problema de zonas de interferencia.

Un factor determinante dentro de esta investigación, es que por medio de ella se podrá apoyar el Plan de Desarrollo de Televisión programado para el periodo 2010-2013, en el cual hace público el requerimiento de apoyo entre las universidades, los canales de televisión y la CNTV, para contribuir con la adopción e implementación de tecnologías, prácticas y procesos que permitan fortalecer y modernizar la infraestructura de la televisión. Además, el subdirector técnico y de operaciones de la CNTV manifestó su interés por que se realice el estudio e invitó a que se llevara a cabo (Peña, 2011).

Será de gran aporte realizar esta investigación, pues por medio de ella el desarrollo de la tecnología y el de Colombia tendrán una base para la evolución de su sistema de televisión, a su vez, la Fundación Universitaria San Martín y la facultad de ingeniería con el programa de ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones podrá tener representación académica en las decisiones que se tomen durante el proceso de implementación de televisión digital en la medida que el ente regulativo evalúe los resultados obtenidos, además para el sistema de TDT y para su investigador será de gran aporte porque por medio de este la

CNTV podrá tener por medio de un estudio detallado, la posibilidad de analizar diferentes características de propagación para el montaje y funcionamiento de la red de TDT.

Con los resultados se esperan obtener las características de propagación y las ubicaciones más viables de las antenas de difusión de TDT para evitar zonas de interferencia, además, por medio de ellos, se pretende proporcionar ideas y recomendaciones sobre los estudios que se hayan realizado o los que se hagan en un futuro.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Calcular y evaluar por medio de un estudio de propagación las ubicaciones para las antenas de difusión, las zonas de interferencia y las características de operación para un óptimo funcionamiento del sistema TDT en Bogotá

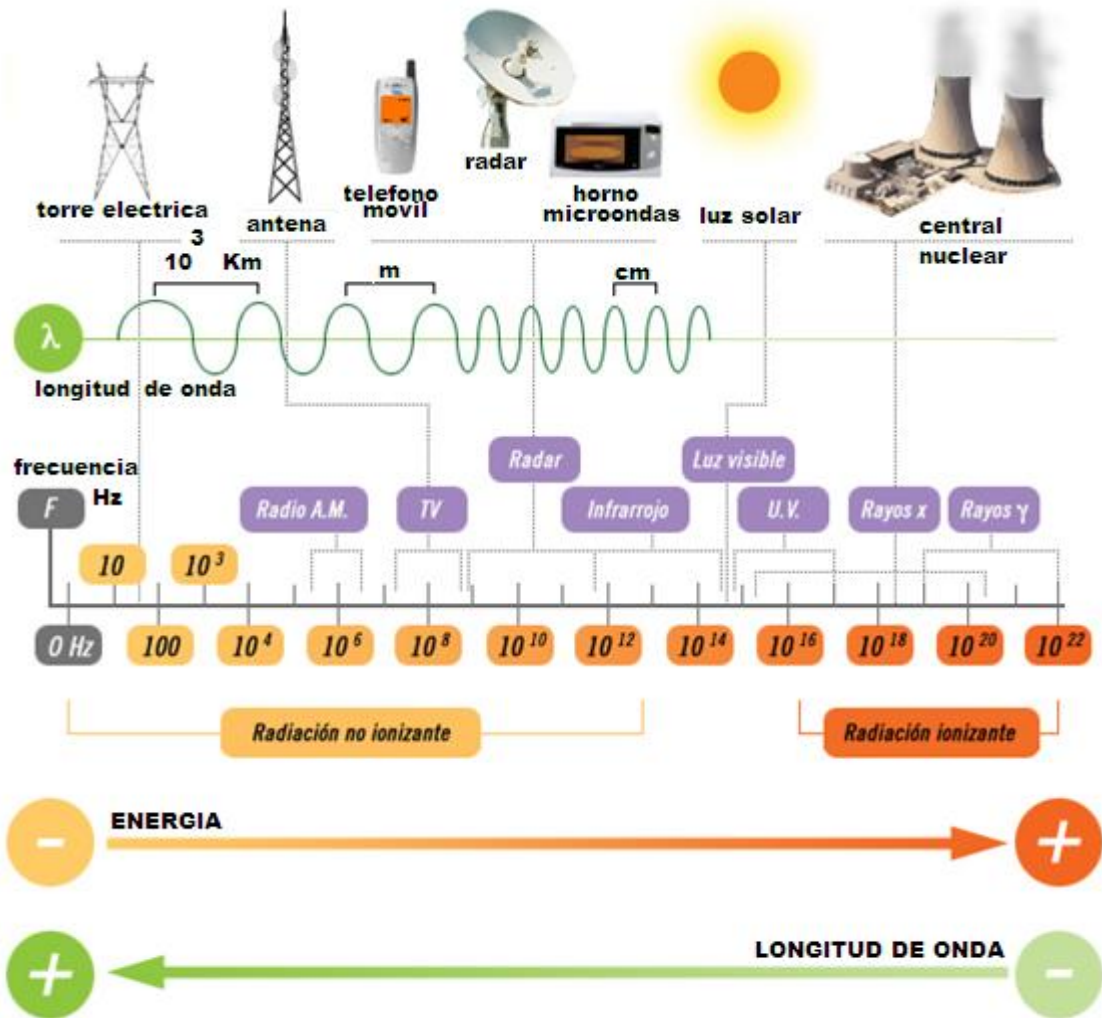
#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información en entidades de comunicación como el Ministerio de Telecomunicaciones, la Radio Televisión de Colombia y la Comisión Nacional de Televisión.
- Realizar un estudio geográfico de la zona de trabajo (Bogotá), para determinar según las características de las antenas de propagación de TDT las ubicaciones más óptimas para la transmisión del nuevo sistema de televisión.
- Analizar las transmisiones de prueba de TDT realizadas para medir factores a favor y factores en contra.
- Analizar las características de operación de las antenas de TDT.
- Realizar los cálculos de potencia y área de cobertura de una antena para la difusión de la TDT.
- Evaluar los resultados obtenidos con el estudio de propagación frente a los realizados anteriormente para tener en cuenta aspectos a mejorar y la validez del estudio.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO CONCEPTUAL

Figura 1. Espectro de frecuencias.



(Universidad d. M., s.f).

El contenido de este proyecto de investigación, toma como base los temas referentes a la propagación de la televisión digital terrestre, entendiendo que esta viene de la evolución de la televisión análoga en donde la física y la electrónica son las encargadas de dar explicación al sistema de propagación de dichas señales. He aquí unos conceptos que se deben tener en cuenta para el entendimiento en la cadena de funcionamiento de la televisión.

Un campo electromagnético se puede entender como la suma de dos factores. El primer factor es el campo eléctrico (E), el cual es el fenómeno que se presenta en la región del espacio que rodea a un objeto con carga ya sea positiva o negativa donde se experimentan efectos de fuerzas eléctricas de atracción o repulsión, el segundo factor es el campo magnético (B) el cual es un campo de fuerza donde una carga experimenta cambios de velocidad y posición debido a fenómenos eléctricos en su alrededor llamado movimiento de cargas eléctricas o flujo de la electricidad. Dichos campos tienen la misma longitud de onda pero son perpendiculares entre sí (Hewitt, 2009).

Una vez se tienen claros los conceptos de E y B, se puede decir que un campo electromagnético es un espacio físico el cual afecta cargas eléctricas.

Sabiendo que es un campo electromagnético se puede entender con mayor claridad lo que es el espectro electromagnético; se puede entender como un conjunto de ondas electromagnéticas que van desde ondas con mayor longitud como lo son las ondas de radio, hasta las que tienen menor longitud como lo son los rayos gama.

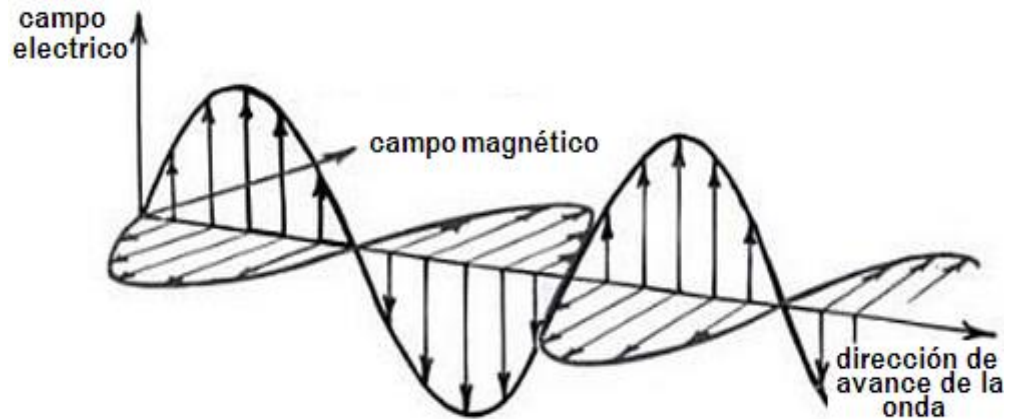
Tabla 1. Características de las bandas de frecuencia.

SIGLA	LONGITUD DE ONDA	RANGO	DENOMINACIÓN
VLF	----	10 kHz a 30 kHz	Muy baja frecuencia
LF	10 km a 1 km	30 kHz a 300 kHz	Baja frecuencia
MF	160 m.	300 kHz a 3 MHz	Frecuencia media
HF	80, 40, 30, 20, 17, 15, 12 y 10 m.	3 MHz a 30 MHz	Alta frecuencia
VHF	6 a 2 m.	30 MHz a 300 MHz	Muy alta frecuencia
UHF	70 a 23 cm.	300 MHz a 3 GHz	Ultra alta frecuencia
SHF	10 a 1 cm.	3 GHz a 30 GHz	Súper alta frecuencia
EHF	1 a 10 mm.	30 GHz a 300 GHz	Extra alta frecuencia

(Tomassi, 1996).

Al hablar del espectro electromagnético, se hace necesario hablar de la clasificación de las ondas según su longitud de onda y su rango. En la tabla 1 se explican las diferentes denominaciones.

Figura 2. Campo electromagnético.



(Hewitt, 2009).

Para entender el desarrollo práctico de esta investigación, se debe tener en cuenta que un estudio de propagación se basa en la planificación, análisis tecnológico y diseño de la red en el cual se toma como base un ambiente rural para explicar los fenómenos que ocurren en el momento de la inclusión de señales al medio en el cual a lo largo de su propagación se presentan propiedades físicas que modifican los parámetros ideales de difusión. En el momento que se tienen estas señales viajando y experimentando cambios a medida que se desplazan en el espacio, llegan a un destino el cual al hacer una recepción de ellas no puede hacer un aprovechamiento total de todas las propiedades que inicialmente se quieren que tengan en el momento de su recepción; para esto por medio de un estudio de propagación se obtienen opciones de mejoramiento y aspectos a tener en cuenta en el proceso de producción, emisión y recepción para un mejor uso de cualquiera sea la señal que se esté transmitiendo.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se encuentra una explicación de cómo es la arquitectura básica de un sistema de transmisión de televisión y de los aspectos comunes y diferentes entre el sistema analógico y el digital. Seguido de esto se explican las topologías de red que manejan los sistemas de televisión y de una serie de temas relacionados a su funcionamiento como lo son el formato MPEG, que son las zonas de Fresnel, como es la propagación en espacio libre, como se hace la diferenciación de las zonas donde se arriesga la exposición de personas a campos electromagnéticos y se describe que es DVB o tecnología Digital Video Broadcasting.

### 4.2.1 Potencia en el sistema de transmisión

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

- Baja potencia: se clasificará como sistemas de baja potencia a aquellos en que la potencia de salida del transmisor es inferior a 500 w.
- Media potencia: Cuando la potencia de salida es superior a 500 w, e inferior a 10 Kw
- Alta potencia: Cuando la potencia de salida del transmisor es superior a 10 Kw

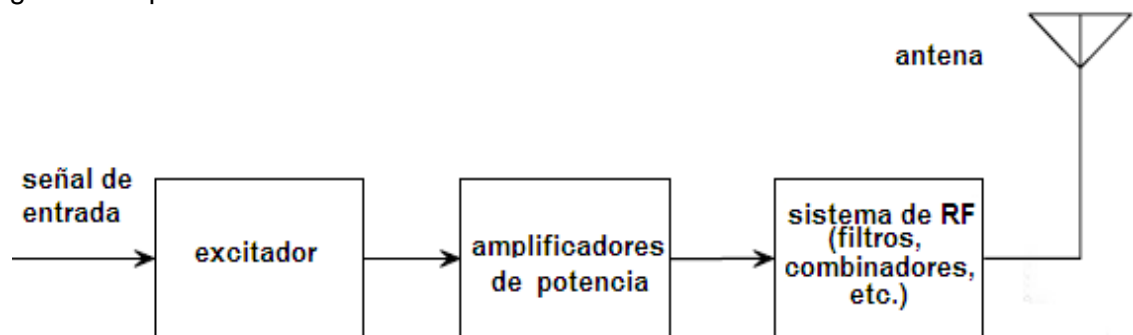
La clasificación anterior es arbitraria, pero establece un criterio inicial que depende, entre otras cosas, de la tecnología utilizada en el transmisor, de la complejidad de la instalación, de los requisitos necesarios en lo que respecta energía eléctrica, accesos, área de cobertura, etc.

### 4.2.2 Arquitectura básica de los transmisores de televisión

En términos generales, la arquitectura de los transmisores, bien sean analógicos o digitales, es prácticamente la misma y se ilustra en la figura 3.

En la figura 3, el excitador contiene, básicamente, al modulador, cuya salida es una señal modulada a la frecuencia de la portadora o a alguna frecuencia intermedia, en cuyo caso, contiene también un conversor ascendente para trasladar la señal en frecuencia modulada a la frecuencia de la portadora del canal de RF. En los transmisores digitales, el modulador puede incluir también al codificador de canal.

Figura 3. Arquitectura básica de un transmisor de televisión.



(Pérez, 2005).

Como parte del excitador también suelen incluirse los amplificadores de baja potencia para la señal modulada que, dependiendo del diseño particular del transmisor, pueden proporcionar una señal de RF desde unas fracciones de vatio hasta unos 50 vatios. En la tecnología actual de los transmisores de televisión el excitador está constituido por elementos de estado sólido (Pérez, 2005).

A continuación se explican los aspectos comunes y diferencias entre los sistemas de transmisión entre un sistema analógico y uno digital teniendo como base los documentos publicados en la página personal del profesor Constantino Pérez de la Universidad de Cantabria (España).

### **4.2.3 Aspectos comunes de transmisión (A/D)**

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

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

En condiciones ideales, una antena es “transparente”, independientemente de que lo que transmita sean señales analógicas o digitales. Esto significa que el mismo tipo de antena puede usarse para televisión analógica que para digital. Las condiciones ideales suponen principalmente que la respuesta en frecuencia de la

antena es plana en la banda de interés, en este caso, la banda correspondiente al canal de televisión de que se trate.

Líneas de transmisión y guías de onda: La “transparencia” mencionada para las antenas es también válida para las líneas de transmisión y guías de onda, sin embargo, hay que hacer aquí una aclaración. Las líneas de transmisión y guías de onda deben ser capaces de manejar, sin dañarse, tanto la potencia promedio como la potencia pico de radiofrecuencia. En televisión analógica, la relación entre la potencia de pico y la potencia promedio es del orden de 2 dB, en tanto que en televisión digital las características de la señal modulada hacen que esta relación sea del orden de 10 dB. Este es un factor importante a tener en cuenta en la implementación de los sistemas transmisores o, en el caso de sistemas analógicos preexistentes, en su adecuación para la transición de analógico a digital.

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

#### **4.2.4 Diferencias entre los sistemas de transmisión (A/D)**

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

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

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

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

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

#### **4.2.5 Topologías de las redes de televisión**

El despliegue de la red de televisión en la actualidad para Colombia, se hace por medio de un esquema de red donde para cada operador tiene asignadas una serie de frecuencias para trabajar a lo largo del área de cobertura.

Este esquema de red permite difundir la señal a un 97% del país (CNTV, 2009), pero con la llegada de la TDT cambia el esquema mostrando beneficios y problemas.

Los dos diferentes tipos de red que se maneja para la difusión de la señal de televisión se explican en los numerales 4.3.5.1 y 4.3.5.2.

##### **4.2.5.1 Redes de frecuencia múltiple**

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

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

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

#### **4.2.5.2 Redes de frecuencia única**

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

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

#### **4.2.6 Plan de Utilización de Frecuencias**

Para el servicio de televisión radiodifundida en Colombia, la comisión nacional de televisión por medio del Plan de Distribución de Canales, y con el Registro de Asignación de Frecuencias, asignó las frecuencias para los canales nacionales privados y públicos, regionales, locales con y sin ánimo de lucro, así como el registro de disponibilidad de frecuencias en funcionamiento analógico y digital.

#### **4.2.7 Estándar MPEG**

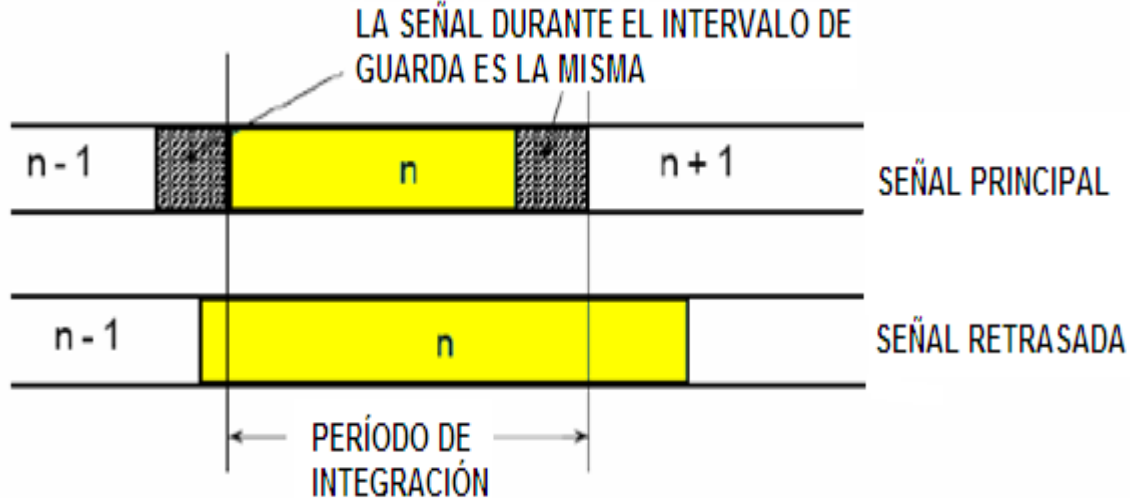
El estándar MPEG (Moving Picture Experts Group), es un estándar para la compresión de video y de audio. Se establecen cuatro tipos de MPEG: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-3 y MPEG-4. Cada tipo se diferencia de los demás en su calidad.

Los archivos MPEG son la alternativa más utilizada para video. Sus tres ventajas principales son: que son notablemente compatibles con cualquier plataforma o sistema operativo, que admiten gran compresión y que la imagen no se degrada aún con compresiones grandes. Este formato se compone de tres capas: audio,

video y una capa con información sobre sincronización, tiempo y calidad (Osuna y Busón, s.f)

#### 4.2.8 Modulación COFDM

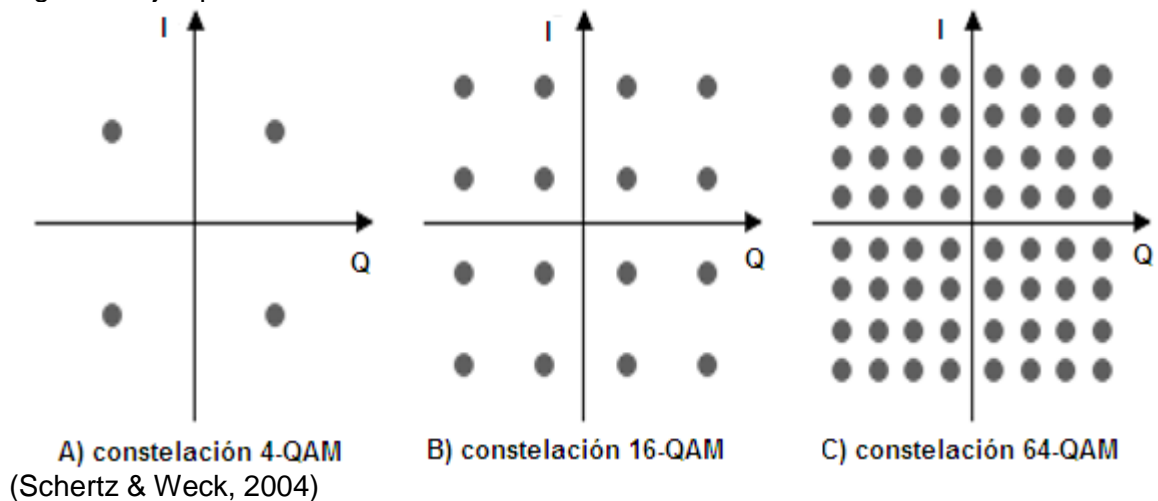
Figura 4. Intervalo de guarda OFDM



(Schertz & Weck, 2004).

La modulación por multiplexado por división de frecuencia ortogonal es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada una modulada en amplitud y fase. Cuando la OFDM se emplea junto con codificación de canal para detección y corrección de errores, se designa como COFDM (multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada).

Figura 5. Ejemplos de constelaciones QAM



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

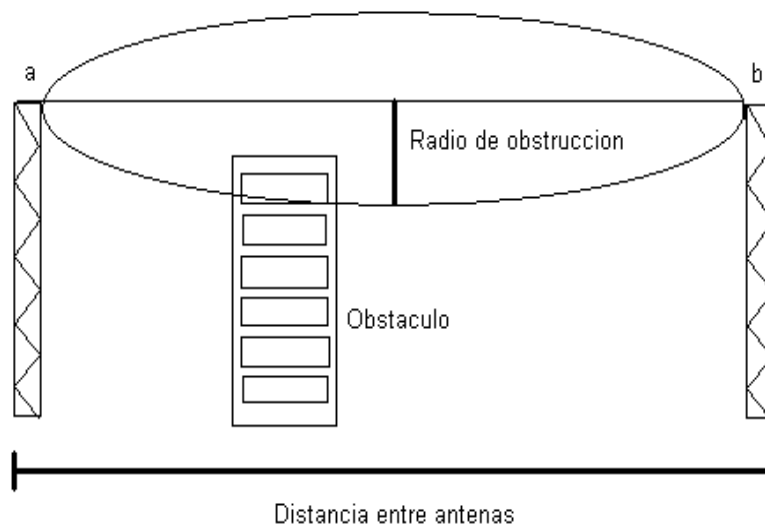
La modulación COFDM tiene el mismo esquema de la modulación OFDM pero la C en el inicio de su nombre se refiere a “codificada”. Para conseguir la modulación OFDM los datos de entrada se “mapean” en símbolos OFDM, lo que significa que modulan a cada una las subportadoras individuales. Esta modulación puede ser de diferentes tipos, pero en el sistema DVB-T las constelaciones contempladas son 4QAM, 16QAM y 64QAM que se ilustran en la figura 5.

#### 4.2.9 Zonas de Fresnel

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

Este aspecto es muy importante cuando se habla de comunicación directa entre dos antenas, ya que esta zona debe estar despejada en más de un 60% y tener LOS (línea de vista) para que la comunicación sea óptima, esto se debe a la expansión de las ondas electromagnéticas viajando por el aire, y el esparcimiento de estas ondas ocurre al hacer contacto con objetos u obstáculos. (Tomassi, 1996).

Figura 6. Zona de Fresnel



(Tomassi, 1996)

Ecuación 1. Longitud de onda

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

(Haykin & Moher, 2005)

De la ecuación 1 se tiene que:

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

Ecuación 2. Primera zona de Fresnel

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

(Haykin & Moher, 2005)

De la ecuación 2 se tiene que:

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

Ecuación 3. Segunda zona de Fresnel

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

(Haykin & Moher, 2005)

#### **4.2.10 Propagación en espacio libre**

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

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

Ecuación 4. Pérdidas de trayectoria

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

(Haykin & Moher, 2005)

De la ecuación 4 se tiene que:

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

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

Tabla 2. Factores que influyen en las pérdidas por desvanecimiento

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

(Morocho, 2009)

Ecuación 5. Pérdidas por desvanecimiento

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

(Haykin & Moher, 2005)

Donde en la ecuación 5 se tiene que:

- **Factor de rugosidad (A)**

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

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

#### **4.2.11 Método de predicción**

El modelo del método de predicción está definido por la Comisión Nacional de Televisión mediante el documento Plan de Utilización de Frecuencias. Para realizar estudios de cubrimiento e interferencias, se deben utilizar métodos de predicción por computador empleando bases de datos digitales del terreno y modelos de propagación estadísticos, determinísticos o semideterminísticos.

Para la zona de influencia de cada estación, se deben visualizar en mapas topográficos las simulaciones de cubrimiento, los contornos de cobertura y las interferencias de canal adyacente y cocanal. Los niveles de intensidad de campo deben ser expresados en dBuV/m. En todos los casos el modelo de propagación debe reflejar la topografía del terreno (Comisión N. d. T. 2009).

La separación mínima entre estaciones de alta potencia que utilicen el mismo canal de transmisión, con igual polarización y diferente programa, debe ser de 96 Kilómetros para emisiones en VHF y de 88 Kilómetros para emisiones en UHF. La CNTV podrá permitir menores valores de separación, con base en el estudio del caso y los soportes que al respecto presente el operador, en el diseño técnico de las estaciones (Comisión N. d. T. 2009).

#### **4.2.12 Exposición de personas a campos electromagnéticos**

El Plan de Utilización de Frecuencias (PUF), además de controlar el espectro televisivo, tiene por objeto adoptar límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos CEM producidos por estaciones de radiodifusión de televisión, adecuar los procedimientos y establecer lineamientos y requisitos que al respecto se deben tener en cuenta para la instalación de estaciones de televisión de cualquier potencia, con el fin de asegurar que en las distintas zonas de exposición a campos electromagnéticos, su nivel de emisión no exceda el límite máximo de exposición correspondiente a su frecuencia de operación.

##### **4.2.12.1 Zonas de exclusión**

Cuando se sobrepasan los límites de exposición a campos electromagnéticos en zonas accesibles a las personas y estos no pueden ajustarse mediante arreglos en el diseño de las estaciones por cambio en potencia de la emisión, variación en la altura de la torre, reorientación del sistema de antenas, entre otros, los operadores de servicios de televisión radiodifundida deberán establecer las zonas de exclusión, tal como lo indica la Unión Internacional de Comunicaciones en la Recomendación UIT- T K52.

- **Zona de rebasamiento**

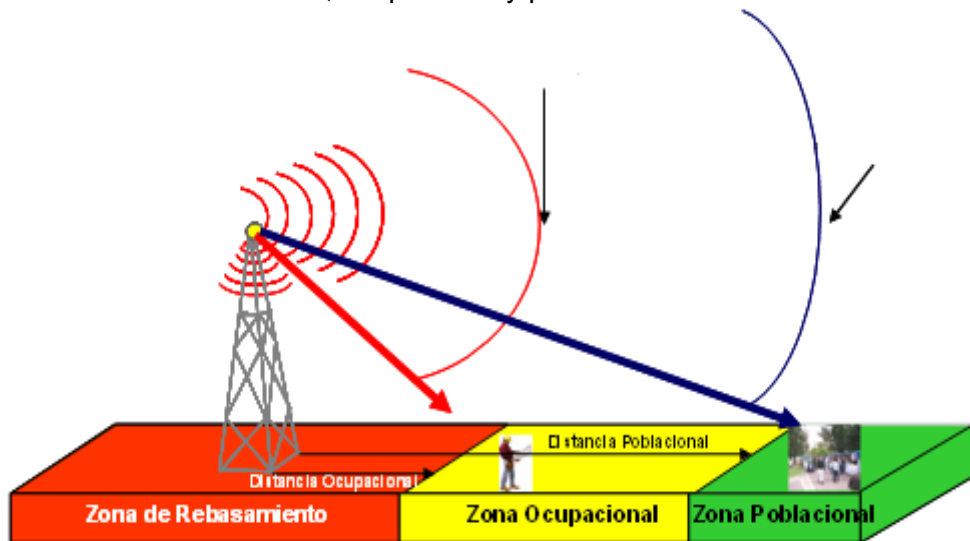
Es aquella zona donde la posible exposición a CEM excede tanto los límites aplicables a la exposición ocupacional controlada, como los de la exposición no controlada del público en general.

En esta zona se debe restringir el acceso a operarios de la estación y al público en general, mediante barreras físicas, procedimientos de cierre y señalización adecuada, desde el punto de vista de la advertencia del riesgo y la visibilidad.

En el caso que sea necesario que un operario ingrese a esta zona se requiere tomar medidas para el control de la exposición, tales como:

- Reducción de la potencia de transmisión durante el período de tiempo que el operario se encuentre en la zona.
- Control del tiempo de exposición, de tal manera que la exposición promediada en el tiempo se encuentre dentro de los límites de exposición.
- Utilización de blindaje o prendas de protección.

Figura 7. Zonas de rebasamiento, ocupacional y poblacional.



(Comisión N. d. T. 2009)

- **Zona ocupacional**

Es aquella zona aledaña a la estación donde la posible exposición a campos electromagnéticos está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional controlada, pero excede los límites aplicables a la exposición no controlada, del público en general.

En esta zona se debe restringir el acceso al público en general, mediante barreras físicas, procedimientos de cierre y señalización adecuada, desde el punto de vista de la advertencia del riesgo y la visibilidad.

- **Zona de conformidad o de público en general**

Es aquella zona donde la posible exposición a CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general y por tanto también está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional controlada.

En caso de múltiples fuentes, el nivel de exposición porcentual es menor al ciento por ciento (100%). En esta zona el acceso es libre a cualquier persona.

#### 4.2.12.2 Procedimiento para cálculo de zonas de exclusión.

El objetivo del procedimiento es el de predecir teóricamente las distancias de las zonas de exclusión, cuando estas resultan necesarias de acuerdo con los parámetros técnicos proyectados o aprobados de la estación de televisión y no toma en cuenta la existencia de otras fuentes radiantes en el ambiente de la estación de televisión.

Estos procedimientos de predicción parten de la expresión de densidad de potencia:

Ecuación 6. Cálculo para zonas de exclusión.

$$S = \frac{PG}{4\pi R^2} \text{ o } S = \frac{PIRE}{4\pi R^2}$$

(Comisión N. d. T. 2009)

Donde:

- S = densidad de potencia (W/m<sup>2</sup>)
- P = Potencia de entrada a la antena (W)
- G = Ganancia de la antena en la dirección de interés, relativa a un radiador isotrópico
- R = Distancia al centro de radiación de la antena
- PIRE = Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

La ecuación para el caso de televisión se puede expresar como:

Ecuación 7. Cálculo para zonas de exclusión para televisión.

$$S = \frac{2.56 f^2 (0.4 PIRE_{Video} + PIRE_{Audio})}{4\pi R^2}$$

(Comisión N. d. T. 2009)

Es decir, para determinar a qué distancia del sistema radiante, ubicado en una torre, se cumple con una condición determinada de S, se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Cálculo de la distancia al sistema radiante

$$D \text{ (metros)} = \sqrt{\frac{2.56 f^2 (0.4 PIRE_{Video} + PIRE_{Audio})}{4\pi S}}$$

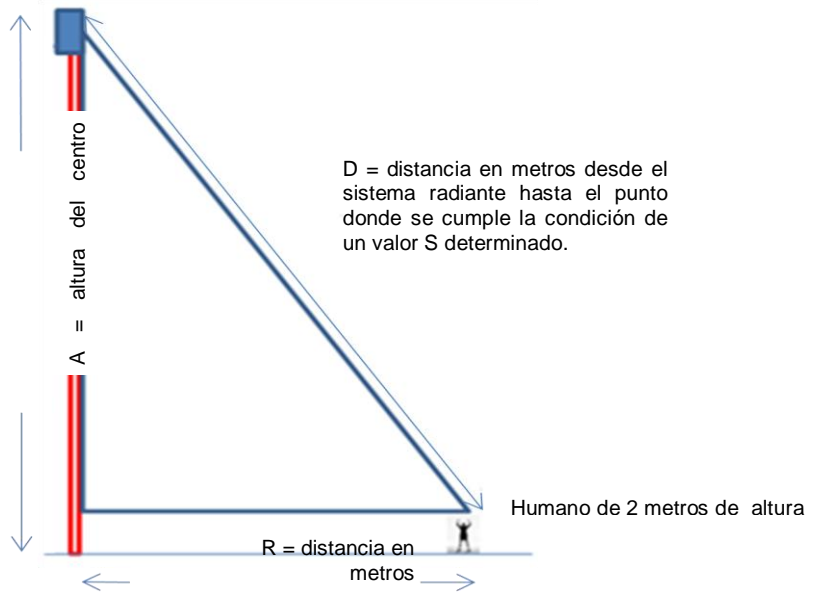
(Comisión N. d. T. 2009)

Donde:

- D = distancia en metros desde el sistema radiante hasta el punto donde se cumple la condición de un valor de S determinado.
- Se utiliza como factor adimensional, de reflexión de tierra 1,6 en la intensidad de campo es decir de 2,56 en la PIRE, tal como lo recomienda EPA y lo utiliza FCC.
- Se utiliza un factor de 0,4 adimensional, para convertir el valor pico de la PIRE de video a RMS, lo cual es más real en las transmisiones de video, de acuerdo con lo recomendado por FCC.
- PIRE de video y PIRE de audio expresadas en Vatios
- S = densidad de potencia (W/m<sup>2</sup>). Para el cálculo de la zona de exclusión poblacional, se utiliza el límite de S recomendado por ICNIRP para las zonas donde existe acceso del público en general en la frecuencia de interés. Para el cálculo de la zona de exclusión ocupacional, se utiliza el límite de S recomendado por ICNIRP para las zonas ocupacionales, calculado en la frecuencia de interés.

f = patrón de radiación vertical de la antena, el cual indica la potencia radiada en el sentido vertical de la antena. Este factor se debe tomar del patrón de radiación del sistema de antenas. Típicamente es 0,2 en promedio para VHF y 0,1 para UHF. Para los casos donde se esté analizando la exposición al haz principal, por ejemplo en el caso de terrazas o estructuras muy cercanas a torres, podría ser aconsejable tomar f como 1 y en este caso no se aconseja tomar el factor de reflexión de 2,56, ya explicado.

Figura 8. Cálculo de las distancias de las zonas de exclusión.



(Comisión N. d. T. 2009)

Para el cálculo de las distancias que definen las zonas de exclusión se aplica el teorema de Pitágoras según se muestra en la Figura 8, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Cálculo de distancias a las zonas de exclusión.

$$R \text{ (metros)} = \sqrt{D^2 - (A - 2)^2}$$

(Comisión N. d. T. 2009)

Donde:

- R = distancia en metros que determina las zonas de exclusión
- D = distancia en metros desde el sistema radiante hasta el punto donde se cumple la condición de un valor S determinado.
- A = Altura del sistema de antenas
- 2 = Unidades en metros y valor promedio de altura de un ser humano

### **4.2.13 Tecnología Digital Video Broadcasting (DVB)**

El sistema DVB (digital video broadcasting) incluye varias versiones dependiendo del medio de transmisión: DVB-C (cable), adoptado en 1994, DVB-S (satélite), adoptado en 1995 y DVB-T (terrestre), adoptado en 1997 (DVB, 2003). Recientemente se han desarrollado DVB-S2, para transmisión más eficiente por satélite que su predecesor y DVB-H, para transmisión terrestre y con el que se pretende la recepción por equipos portátiles de “bolsillo” y móviles con reducida capacidad de procesamiento. También está en desarrollo una versión mejorada de DVB-T el DVB-T2.

#### **4.2.13.1 Estándar DVB**

El estándar DVB se desarrolló para transmisión terrestre, por satélite y por cable. DVB continúa en desarrollo buscando mejoras en los sistemas existentes, como es el caso del reciente DVB-S2 y el DVB-T.

Como ATSC (modelo americano para la televisión digital), está basado en compresión MPEG-2 y la codificación de canal, sigue una filosofía similar, es decir, aleatorización, codificación de bloque, entrelazado interno, codificación convolucional (trellis) y entrelazado externo, con pequeñas diferencias con ATSC. Sin embargo, la diferencia principal radica en el sistema de modulación empleado: Multiplexado por división de frecuencia ortogonal o COFDM (Pérez, s.f).

A diferencia de ATSC en que los símbolos de información están constituidos por tres bits y modulan a una portadora única, el sistema DVB es de portadoras múltiples multiplexadas en un canal de RF, con dos variantes, una de 2048 portadoras, designado como modo 2K y otro de 8192 (8K) (Pérez, s.f), en que cada portadora individual puede ser modulada con diversos esquemas (16QAM, 64QAM, 256QAM, QPSK, 8PSK, etc.) y permite la implementación de redes de frecuencia única (SFN), lo que no es posible en el estado actual de ATSC. En teoría, la idea de las redes SFN es relativamente simple, pero plantea problemas de implementación importantes, uno de ellos es que todos los transmisores de la red deben estar perfectamente sincronizados a una misma señal de referencia. Un receptor sintonizado a la frecuencia de la red puede recibir señales de varios transmisores simultáneamente, cada una con un retardo diferente.

En condiciones de propagación multicamino, como es el caso de la transmisión en la cercanía de la superficie terrestre, la intensidad de la señal recibida de cada transmisor puede variar con el tiempo, sin embargo los intervalos de guarda y la ecualización utilizada en OFDM facilitan la recepción satisfactoria en esas condiciones.

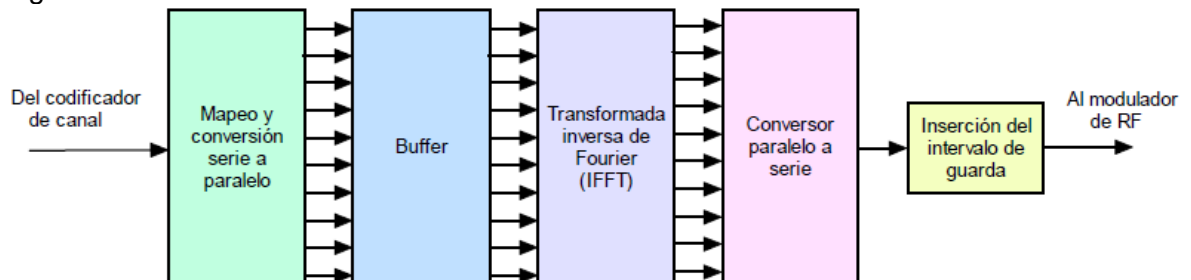
De manera similar a ATSC, la parte del transmisor más afectada por la transición del dominio analógico al digital es el excitador, en que los cambios principales afectan al procesado de la señal en banda base y al modulador (Pérez, s.f).

#### 4.2.13.2 Señales de entrada y salida

La señal de entrada al sistema de transmisión DVB-T, es un flujo síncrono de transporte MPEG-2, compuesto por 187 bytes de datos más un byte de sincronismo. La carga útil de datos puede incluir paquetes de audio, vídeo y/o datos.

La señal de salida del modulador es una señal COFDM, multiplexada ortogonalmente en frecuencia, generada a alguna frecuencia intermedia entre la de banda base y la portadora de RF. Dicha frecuencia intermedia, nivel de la señal y otras características del interfaz de FI, por lo general dependen de la elección de los diseñadores. La salida del codificador de canal se entrega al modulador COFDM, como se ilustra esquemáticamente en la figura 9, como un flujo binario continuo en serie (Pérez, s.f).

Figura 9. Modulador COFDM.



(Pérez, s.f)

Los datos en serie se convierten a paralelo y se realiza la función de mapeo. Cada símbolo corresponde a un coeficiente de Fourier de modo que la señal puede considerarse en el dominio de frecuencia (Pérez, s.f).

El propósito del buffer es principalmente sincronizar el símbolo OFDM mapeado. A continuación se realiza la transformada inversa de Fourier para generar las portadoras múltiples en cuadratura. La señal de salida del bloque IFFT se convierte nuevamente a serie, ahora en el dominio del tiempo y se inserta el intervalo de guarda entre símbolos (Pérez, s.f).

La señal transmitida se organiza en cuadros, cada uno con una duración TF consistente en 68 símbolos OFDM, numerados de 0 a 67, cada uno conteniendo datos e información de referencia. Además, cada cuadro OFDM contiene celdas

piloto y portadoras de señalización de parámetros (TPS). Las señales piloto pueden utilizarse para sincronización de cuadro, frecuencia, tiempo, estimación de canal e identificación de modo de transmisión. Las señales TPS se utilizan para seleccionar los parámetros relacionados con la codificación de canal y modulación.

En la modulación de las portadoras individuales suele emplearse principalmente QPSK, 16QAM y 64QAM. La selección de diferentes niveles QAM, junto con las diversas tasas de código interno e intervalos de guarda permite conseguir mayor robustez a expensas de la tasa binaria. Por ejemplo, una modulación QPSK es mucho más robusta que una 64QAM, sin embargo la tasa binaria es considerablemente menor (Pérez, s.f).

### **4.3 ANTECEDENTES**

#### **4.3.1 La televisión en Colombia**

En Colombia, la televisión nace como un proyecto del presidente de la nación en el año de 1954, general Gustavo Rojas Pinilla, el cual trae esta tecnología desde Alemania y Estados Unidos, pasando por la televisión a color en 1979 (Ospina de Fernández & Zapata, 2004) y la difusión de canales de televisión privada como lo son el canal Caracol y el canal RCN en el año de 1998 (CNTV, 2009).

Este prototipo de televisión se basa en un sistema análogo el cual utiliza un espacio en el espectro electromagnético denominado ancho de banda y da origen a un canal de televisión.

La televisión radiodifundida en Colombia, según el Artículo 19 Ley 182/95, es el sistema que hace uso del espectro radioeléctrico donde las señales de televisión se emiten desde estaciones base y estas son sintonizadas mediante antenas receptoras aéreas que operen en las bandas de frecuencias VHF y UHF. Cuenta con una red para la reproducción del sistema con antenas ubicadas a lo largo del territorio caracterizadas por su potencia de radiación. Esta red se divide en dos partes: la red primaria, la cual hace uso de transmisores que trabajan con una potencia mayor a 1 KW y la red secundaria que utiliza transmisores de potencia menores a 1 KW.

#### **4.3.2 El plan de desarrollo de la Televisión**

La Comisión Nacional de Televisión, para el buen funcionamiento de un bien común como es la televisión, creó estrategias para el mejoramiento de la misma y por medio de ella el “Plan de Desarrollo” y se creó el documento “La televisión que

Colombia necesita” (Comisión N. d. T, 2009). Con el apoyo de la academia y de los canales regionales se convocaron y desarrollaron ocho foros participativos en varias ciudades del país, en los que se realizaron amplias discusiones y se hicieron propuestas sobre los temas de la dinámica de la televisión en el país. El primer Plan de Desarrollo de la Televisión 2004-2007, se orientó al cumplimiento de cuatro objetivos coherentes con los propósitos de desarrollo nacional. El primero de ellos fue construir democracia y contribuir a la equidad social, el segundo fortalecer la televisión pública, el tercero impulsar a la industria de la televisión y el cuarto rediseñar el sector de la televisión pública.

Por medio del Plan de Desarrollo, y según su segundo objetivo “fortalecer la televisión pública” (CNTV, 2009), se requirieron cambios en los sistemas y procedimientos de producción, emisión y recepción, haciendo referencia al hecho que “las posibilidades tecnológicas de la TDT son muchas pero si Colombia no está preparada desde todos los ángulos, se verá afectada en el desarrollo de la industria audiovisual”, para esto, se hizo necesaria la revisión y actualización de especificaciones técnicas generales que deben cumplir las estaciones de difusión de televisión para la prestación del servicio.

Al dar final al Plan de Desarrollo 2004-2007, la CNTV organizó un nuevo Plan de Desarrollo para el periodo 2010-2013, en el cual aceptan por parte de la comunidad la actualización de las condiciones técnicas y de equipos para la transmisión de la TDT.

### **4.3.3 El organismo DVB**

El Proyecto DVB es una alianza de 250 a 300 empresas, inicialmente de origen europeo, ahora de nivel internacional. Su objetivo es acordar las especificaciones para sistemas digitales de distribución de medios, incluyendo la radiodifusión.

Hasta finales de 1990, la radiodifusión de televisión digital para el hogar se pensaba que era poco práctica y costosa de implementar. Durante 1991, los organismos de radiodifusión y fabricantes de equipos de consumo discutieron cómo formar una plataforma para desarrollar la televisión digital terrestre. Hacia el final de ese año, los organismos de radiodifusión, fabricantes de electrónica de consumo y los organismos reguladores se reunieron para discutir la formación de un grupo que se encargaría de supervisar el desarrollo de la televisión digital en Europa (DVB, 2003).

#### 4.4 ESTADO DEL ARTE

Las pruebas de televisión digital terrestre tuvieron origen mediante el acta 1215 de enero 17 de 2006, la cual autorizó al Consorcio de Canales Privados (CCNP), para utilizar las frecuencias de los canales 60, 62, 64 y 66 en la Ciudad de Bogotá con el fin de iniciar las pruebas técnicas de televisión digital en los sistemas ATSC y DVB radiodifundidos desde la estación de Suba (Calatrava). Para el sistema DVB fue implementado un transmisor de estado sólido marca BTSA de potencia nominal de 1kW operando a 500W.

Las pruebas realizadas por la RTVC tuvieron desarrollo mediante el acta 1287 de noviembre 9 de 2006, donde aprobó el proyecto “Pruebas de Televisión Digital Terrestre empleando equipos transmisores en formato ATSC y DVB-T” para que RTVC realizara pruebas con un transmisor ubicado en la estación Cerro de Suba con cubrimiento para Bogotá.

Luego de sus orígenes y la estandarización de modelos para la TDT como el japonés, el americano, el europeo y el brasilero, en Colombia se optó por implementar el sistema europeo en agosto del 2008 además de crear planes para el mejoramiento y el buen desarrollo de la TDT por parte del ente regulativo a nivel nacional y encargado de las transmisiones de televisión (CNTV, 2010).

Luego de la selección del estándar de televisión digital a utilizar en Colombia, el 15 de febrero del 2010 la Comisión Nacional de Televisión asignó las frecuencias que utilizarán los canales de televisión digital terrestre. Las transmisiones iniciales de TDT tienen origen a comienzos del 2010, Señal Colombia y Canal Institucional empezaron con sus emisiones de prueba. “Esta señal puede recibirse en una amplia área de la capital colombiana”, aseguró el director de la CNTV, Eduardo Osorio Lozano.

En diciembre del 2010, con la difusión de los canales digitales RCN y CARACOL y la proliferación de su señal para un 25 por ciento de la población se sumaron a la difusión de señales digitales. A partir de este momento los canales privados emiten la señal digital utilizando el estándar europeo DVB-T (CNTV, 2010).

En la Fundación Universitaria San Martín durante el segundo periodo del año 2009, se realizó un proyecto de grado llamado “Cálculo de la cobertura de un canal de televisión digital en los municipios de choachí, ubaque y fómeque Cundinamarca”, realizado por el estudiante Diego Fernando Puentes Rojas, el cual hizo un cálculo y simulación de la cobertura de un canal de de televisión digital.

## **5. LIMITACIONES Y ALCANCES**

La Comisión Nacional de Televisión al hacer pública la escasez de investigaciones que fortifiquen el proceso evolutivo de la televisión, estará dispuesta a atender cualquier duda que los investigadores tengan para apoyar el Plan de Desarrollo de la Televisión 2010-2013, ofreciendo la información requerida y generando aportes para el desarrollo de los estudios, pero no ofrecerá prioridades a estudiantes para sus investigaciones. La atención e información suministrada será pública para el estudiante como para la comunidad en general.

Un factor importante durante el desarrollo de la presente investigación, es que en la actualidad no se cuentan con estudios suficientes los cuales permitan seguir modelos que muestren los temas necesarios para un estudio de propagación, por lo tanto, en el presente estudio los temas a tratar se seleccionaron según sugerencias recibidas por la CNTV, ingenieros relacionados al campo de estudio, profesores de la facultad de ingeniería de Telecomunicaciones, a voluntad propia del graduando y en especial al estudio de tecnologías realizado en el año 2006 por la CNTV.

Para el desarrollo de la investigación, el ingeniero Ricardo Ángel (Subdirección técnica y de operaciones CNTV), explicó que la CNTV da prioridad a los análisis obtenidos con el software ICS-TELECOM, cuya licencia cuesta US\$200.000 (Ángel, 2011) pero también afirmó que el ente regulativo aceptará resultados obtenidos con cualquier otro simulador de redes. Por lo tanto al no poder financiar la licencia estudiantil para la universidad de ICS-TELECOM y al no poder trabajar directamente con la licencia de la CNTV, se optó por trabajar con el software de simulación de radioenlaces de distribución pública RADIO MOBILE, a partir de ahora R.M.

### **5.1 ALCANCES**

Este proyecto está planteado para obtener por medio de simulaciones de cobertura en intensidad de potencia e intensidad de campo resultados los cuales aporten al buen funcionamiento del sistema de televisión digital en la capital, tratando de minimizar los problemas que se presentarán a lo largo de la implementación de la red que son las áreas de múltiples coberturas de antenas de transmisión en la cual se hace la presencia de multiportadoras y multitrayectos. Para esto, se hará un estudio detallado del funcionamiento de las antenas que prestaran el servicio de la propagación de la señal de televisión digital terrestre en Colombia y luego de esto haciendo interpretación de las simulaciones se sugieren las posiciones más indicadas en las cuales deberían estar dichas antenas.

El objetivo principal de esta investigación está orientado a cumplirse al obtener respuestas ideales las cuales sean dadas por el método de investigación y los resultados obtenidos con el software utilizado. En ningún momento se tendrá en cuenta el aplicar dichas soluciones para el análisis práctico durante el funcionamiento de la TDT en Bogotá

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1 METODOLOGÍA

Teniendo como base la información encontrada en las páginas web y la suministrada personalmente por funcionarios del ente regulativo del espectro electromagnético dedicado a la radiodifusión de la señal de televisión (CNTV) y del organismo administrador de los canales públicos nacionales (RTVC), además de estudios realizados en el instituto Agustín Codazzi, se dio inicio a la primera fase la cual consistía en hacer la debida documentación de cómo funciona el sistema de televisión, de cómo está diseñada la red del sistema, de cómo será el funcionamiento del esquema digital y de cómo se trabajará en el futuro.

Una vez recolectada la información necesaria para el proyecto de investigación, se documentó el marco teórico se seleccionaron los temas indicados mencionados en el capítulo 4.3. Dentro de esta selección de la información, también se optó por trabajar con el software de libre distribución diseñado para el análisis de radioenlaces llamado Radio Mobile.

De acuerdo con la información recolectada, se hizo un estudio detallado del sistema de televisión digital dentro de los tópicos importantes. El primero de ellos fue el estudio del sistema de funcionamiento actual de la televisión digital desde la estación de Calatrava, de este se pudo abstraer la información necesaria para las simulaciones mostradas en los capítulos de pruebas y resultados preliminares y pruebas y resultados del estudio. El segundo fue el análisis de las simulaciones estándares realizadas para estaciones de alta, media y baja potencia, las cuales permitieron hacer una comparación del diseño real con herramientas dedicadas al funcionamiento de la televisión digital frente al software seleccionado para realizar las simulaciones en el presente documento.

En el momento que se estudiaron los diseños preliminares para el funcionamiento, se decidió realizar el estudio de propagación desarrollando siete pruebas las cuales involucrarán una, dos o las mismas tres estaciones encargadas para el cubrimiento de la capital, teniendo en cuenta que las simulaciones más próximas al mejoramiento de la cobertura y de la disminución en gastos de potencia, se analizarían variando parámetros como la altura, la potencia y el tipo de antena.

Una vez finalizadas las simulaciones se hizo una reunión con el asesor técnico para discutir los resultados y poder concluir cuáles serían los escenarios que podrían realizar una cobertura mejor o igual al sistema que funcionaría desde las estaciones dedicadas al funcionamiento de la televisión analógica.

## 7. DESARROLLO

En este capítulo en la parte inicial se presenta la zona a la cual va dirigido el estudio de propagación que es la capital colombiana: Bogotá. Una vez se explican detalles como límites y población, se hace una descripción del estudio de altimetría realizado desde dos fuentes diferentes. La primera de las fuentes es la herramienta Radio Mobile, donde por medio del uso de cartografía se pueden estudiar las alturas de las condiciones geográficas de Bogotá y la segunda fuente es el instituto geográfico Agustín Codazzi, donde por medio del estudio de planchas de altimetría se tuvo otra base para entender las alturas de los cerros que rodean a la capital.

Luego de hacer una descripción de Bogotá, se explica la red de televisión nacional, las estaciones que transmiten la señal de televisión para la capital y las características analógicas del sistema. También se habla de la asignación de frecuencias tanto para los canales analógicos como para los digitales.

En la parte final del capítulo se hace una descripción detallada de las estaciones que hacen la radiación de la señal de televisión para Bogotá, teniendo en cuenta los respectivos estudios que la empresa TESS AMERICA realizó en el 2008 para las estaciones de Calatrava, Manjuí y Boquerón de Chipaque.

### 7.1 ZONA DE ESTUDIO: BOGOTÁ

El presente proyecto de investigación tiene como zona de estudio la capital colombiana.

Figura 10. Vista de Bogotá desde los cerros orientales.



(Bogotá, 2011)

Como se explica en la página oficial de la capital (Bogotá, 2011), Bogotá está ubicada en el centro del país, en la cordillera oriental, ramal de los Andes americanos y perteneciente al altiplano cundiboyacense, la capital del país conocida como la Sabana de Bogotá, tiene una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte y 16 kilómetros de oriente a occidente y se encuentra situada en las siguientes coordenadas:

- Latitud Norte: 4° 35'56"
- Longitud Oeste: 74°04'51"

La capital colombiana descansa sobre la extensión noroccidental de la cordillera de Los Andes en una sabana con gran variedad de climas, tipos de suelos, cuerpos de aguas y otras formaciones naturales.

Como Bogotá está ubicada entre montañas, estas sirven como barrera natural que restringe el flujo de humedad, influyendo en el régimen de lluvias. Esta deformación geográfica hace que para el cubrimiento de la señal en la capital se hagan necesarias varias estaciones de la red de televisión analógica para el cubrimiento total.

Según el portal de televisión digital en línea desarrollado por la RTVC, en la actualidad Colombia tiene una cobertura de televisión analógica del 78.55% frente un 0.03% de cobertura de la señal digital. Para el departamento de Cundinamarca, se tiene un cubrimiento analógico del 79.31% frente un 0.0% de TDT, cabe anotar que la capital no se tiene en cuenta para estas estadísticas. Finalmente, Bogotá tiene una cobertura total de la señal analógica, este 100% se debe al servicio prestado por las estaciones de los canales públicos y privados ubicadas en el cerro de Manjuí para la cobertura del centro de la ciudad, en Calatrava y Suba para la zona norte y en Santa Librada y Boquerón de Chipaque para la zona sur, frente a un 33% de cubrimiento de la señal digital radiada desde la estación de Calatrava.

### **7.1.1 Limites**

Bogotá limita por el norte con el municipio de Chía, por el oriente la limitan los cerros orientales y los municipios de la Calera, Choachí, Ubaque, Chipaque, Une y Gutiérrez, por el sur la rodean los departamentos del Meta y del Huila mientras que por el occidente lo hace el río Bogotá, y los municipios de Cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibaté, Soacha, Mosquera, Funza y Cota.

### 7.1.2 Población

Según el artículo publicado el 18 de enero de 2010 por la alcaldía mayor de Bogotá en la página oficial de la capital colombiana, la población en el año 2010 de la zona en estudio es de 7'363.782 habitantes, teniendo como mayor índice poblacional las localidades de Suba, Kennedy, Engativá y Ciudad Bolívar, y las de menor cantidad de habitantes son las localidades de Sumapaz, la Candelaria, los Mártires y Antonio Nariño.

### 7.1.3 Altura

Dentro de los datos encontrados en la página web de la capital, la altura media está en los 2.600 metros (2.625 metros más exactamente según el instituto geográfico Agustín Codazzi y el mapa de altimetría mostrado por RADIO MOBILE) sobre el nivel del mar. Para efectos de visualización la figura 11 capturada desde el software Radio Mobile, permite ver con más exactitud el mapa de altimetría de Bogotá.

Figura 11. Mapa de altimetría de la zona de estudio.

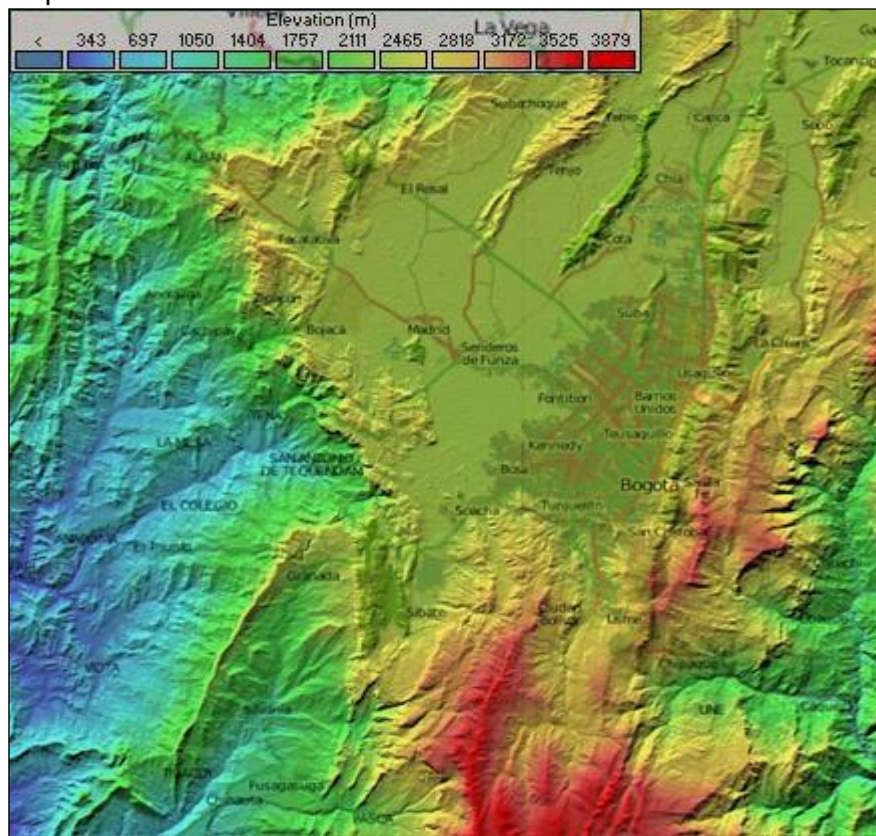


Imagen capturada de software Radio Mobile

En la figura 11 se observa un plano de alturas variables desde 343 metros mostrando las zonas azules correspondientes a esta altura, haciendo un degrade de color hasta 3879 metros que es la altura máxima mostrada de color rojo. También se puede observar que para la herramienta utilizada, la altura promedio esta alrededor de los 2550 metros en la zona occidental, que en la zona norte se encuentra el Cerro de Suba con una altura máxima promedio de 2650 metros, en los cerros orientales el altiplano asciende a una altura promedio de 2580 metros mientras en los cerros orientales la altura varía desde 2900 metros en la zona norte hasta 3400 metros en la zona sur donde está localizada la mayor zona montañosa de la capital.

Como estudio práctico de altimetría de la capital, en compañía de Franz Stephen Gómez Rodríguez, estudiante de 10º semestre de ingeniería civil en la Universidad Nacional de Colombia, se realizó en el mes de agosto del 2011 la visita al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y haciendo uso de las planchas 227, 228, 246 y 247 de los planos de la cartografía oficial de Bogotá y sus alrededores se lograron establecer las locaciones indicadas para las posibles nuevas estaciones de TDT y los puntos que posiblemente podrían intervenir en la difusión de la señal digital. .

Tabla 3. Sitios que posiblemente podrían obstruir la señal de TDT.

NOMBRE	ALTITUD	LONGITUD	ALTURA PROMEDIO (M)	POSIBLE ZONA AFECTADA
Cuchilla vuelta al cerro	4°48'50"	74°20'5"	2950	Norte desde Manjuí
Cerro Juarica	4°54'5"	74°07'45"	3100	Centro desde Manjuí
Cerro de Majoy	4°48'35"	74°07'45"	3000	Centro y norte desde Manjuí
Cerro Santa Barbará	4°39'5"	74°19'25"	2700	Sur desde Manjuí
Salto del Tequendama	4°34'55"	74°17'25"	2700	Sur desde Manjuí
Cerro de Monserrate	4°36'7"	74°03'20"	3152	Sur desde Calatrava y norte desde Boquerón
Cerro de Monserrate	4°34'4"	74°03'3"	3224	Sur desde Calatrava y norte desde Boquerón

La tabla 3 muestra según el estudio de altimetría realizado, los sitios en los que se podrían presentar problemas durante la difusión de la señal de televisión ya que sus alturas están por fuera del promedio de la capital y podrían generar obstrucción de la señal para las localidades a las cuales se aspira cubrir.

Dentro del estudio realizado en el IGAC y teniendo en cuenta el mapa de altimetría de la ciudad mostrado por RADIO MOBILE, se planteó que para el desarrollo de las siete pruebas mostradas en el capítulo 9, se ubicarán estaciones en puntos estratégicos los cuales muestren los mejores resultados para cada prueba.

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

El estudio geográfico para las ubicaciones de las estaciones de las diferentes pruebas realizadas en el capítulo 9 se expone en los capítulos 7.1.3.1 al 7.1.3.7.

### 7.1.3.1 Estación prueba 1

Figura 12. Vista superior de la ubicación de la estación para la prueba 1

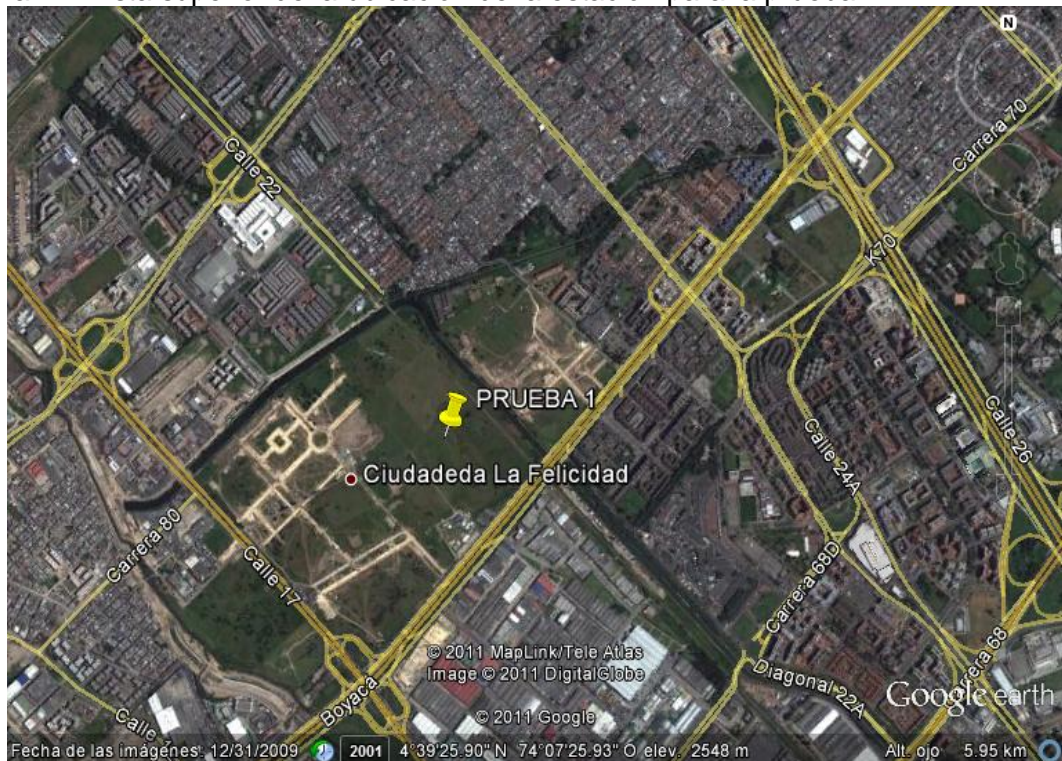


Imagen capturada de software Google Earth

En la primera prueba se ubicará un transmisor en el centro de la capital cuyo objetivo principal es el cubrir la ciudad en su totalidad con la señal de TDT. Para cumplir el objetivo de la prueba se ubicó una estación en el centro de la capital en zona no poblacional. La ubicación se muestra en la figura 12.

Esta nueva estación de televisión estaría ubicada en zona no poblacional en la avenida Boyacá entre la calle 22 y la calle 17 cerca a la ciudadela La Felicidad. Se optó por trabajar desde esta locación ya que no presenta ninguna interferencia a su alrededor causada por montañas, además desde esta locación se tiene una perfecta línea de vista hacia norte y sur de la capital. La descripción del sitio se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Detalle de la ubicación de la estación para la prueba 1.

PRUEBA	TIPO DE ALTURA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.	ALTURA SEGÚN GOOGLE EARTH
1	Baja	4°39'25,2" N	74°7'26,3" W	2546,55 m	2.548m

Para todas las ubicaciones sugeridas por medio del estudio geográfico, se estudió la línea de vista hacia la zona a la cual está orientada a cubrir la antena de TDT. Las figuras de línea de vista correspondientes para cada estación se encuentran en el anexo 1.

### 7.1.3.2 Estación prueba 2

En la segunda prueba se ubicará un transmisor en el centro de la capital en los cerros orientales, cuyo objetivo principal es el cubrir la ciudad en su totalidad con la señal de TDT. La ubicación de la estación permite tener una línea de vista clara como se muestra en la figura 59 en el anexo 1 permitiendo que no se presenten pérdidas en la cobertura a su alrededor. La figura 13 muestra la ubicación de la estación.

Tabla 5. Detalle de la ubicación de la estación para la prueba 2.

PRUEBA A	TIPO DE ALTURA A	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.	ALTURA SEGÚN GOOGLE EARTH
2	Alta	4°34'40,2" N	74°3'11,9" W	3.446,38 m	3.446m

Figura 13. Vista superior de la ubicación de la estación para la prueba 2

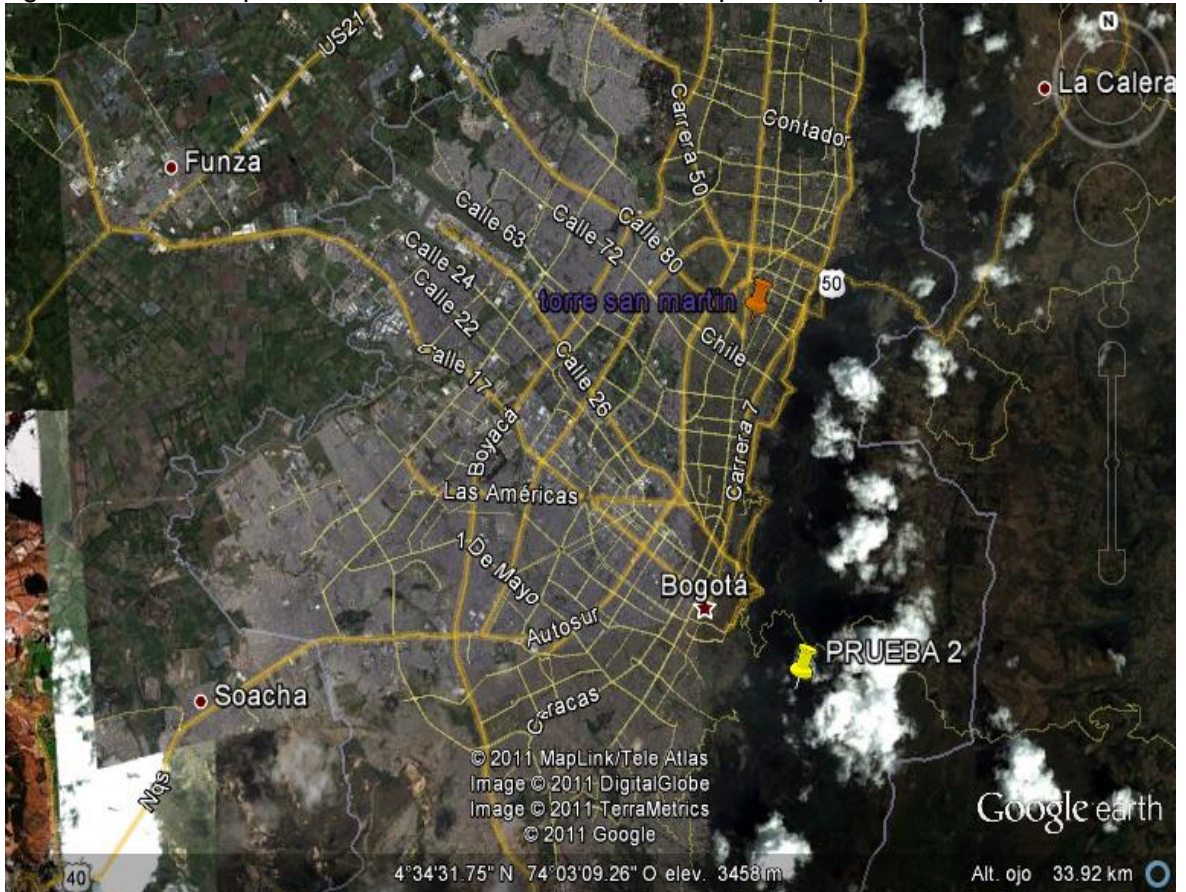


Imagen capturada de software Google Earth

Esta nueva estación de televisión estaría ubicada al oriente del barrio la Peña en la localidad de Santa Fe. Las especificaciones del lugar se muestran en la tabla 5.

### 7.1.3.3 Estación prueba 3

Tabla 6. Detalle de las ubicaciones de la estación para la prueba 3.

TIPO DE ALTURA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.	ALTURA SEGÚN GOOGLE EARTH
Baja	4°40'23,3" N	74°11'40,6" W	2540,6 m	2.545m

En la última prueba usando un solo transmisor, se ubicará un transmisor en las afueras de Bogotá cuyo objetivo principal es el cubrir la ciudad en su totalidad con

la señal de TDT. Para cumplir el objetivo de la prueba se ubicó una estación en la vereda Pesqueritas al oriente de Funza y Mosquera en zona no poblacional en el costado occidental de la capital para la zona centro.

Figura 14. Vista superior de la ubicación de la estación para la prueba 3.



Imagen capturada de software Google Earth

#### 7.1.3.4 Estaciones prueba 4

Tabla 7. Detalle de las ubicaciones de las estaciones para la prueba 4.

PRUEBA	TIPO DE ALTURA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.	ALTURA SEGÚN GOOGLE EARTH
4-1	Media	4°43'37" N	74°4'51" W	2.702,88 m	2.707m
4-2	Media-Alta	4°29'56,1" N	74°9'42,6" W	3.393,98 m	3.397 m

Figura 15. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 4.

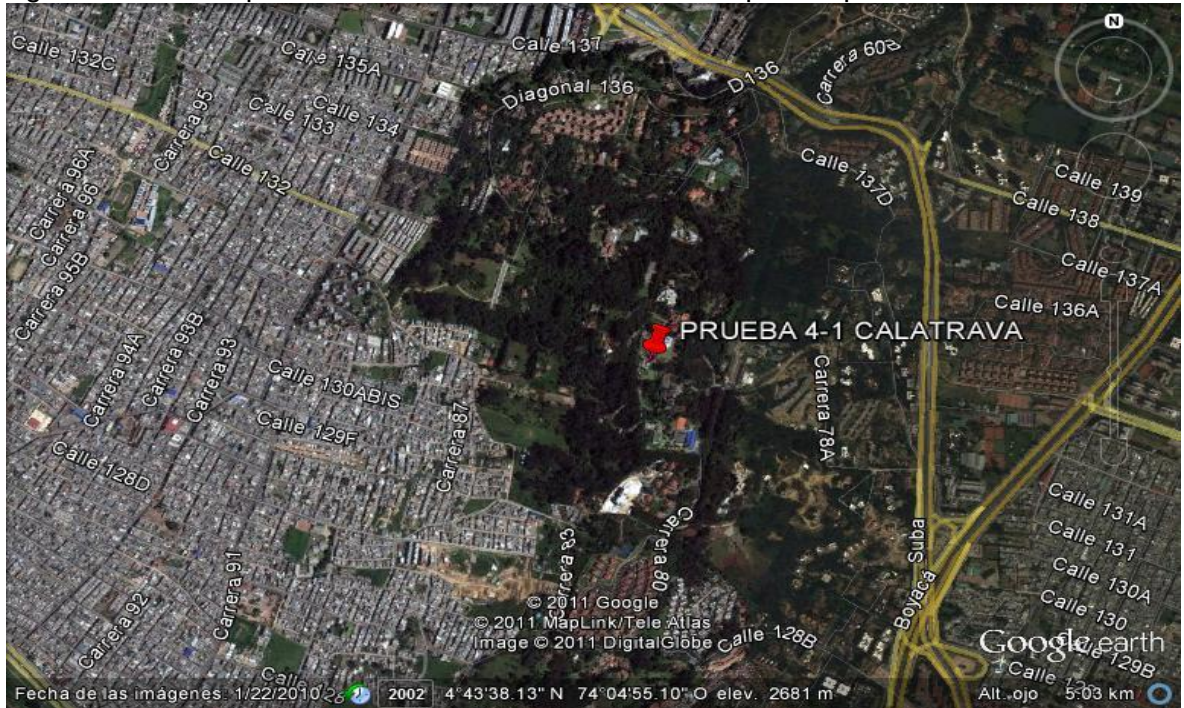


Imagen capturada de software Google Earth

Figura 16. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 4.

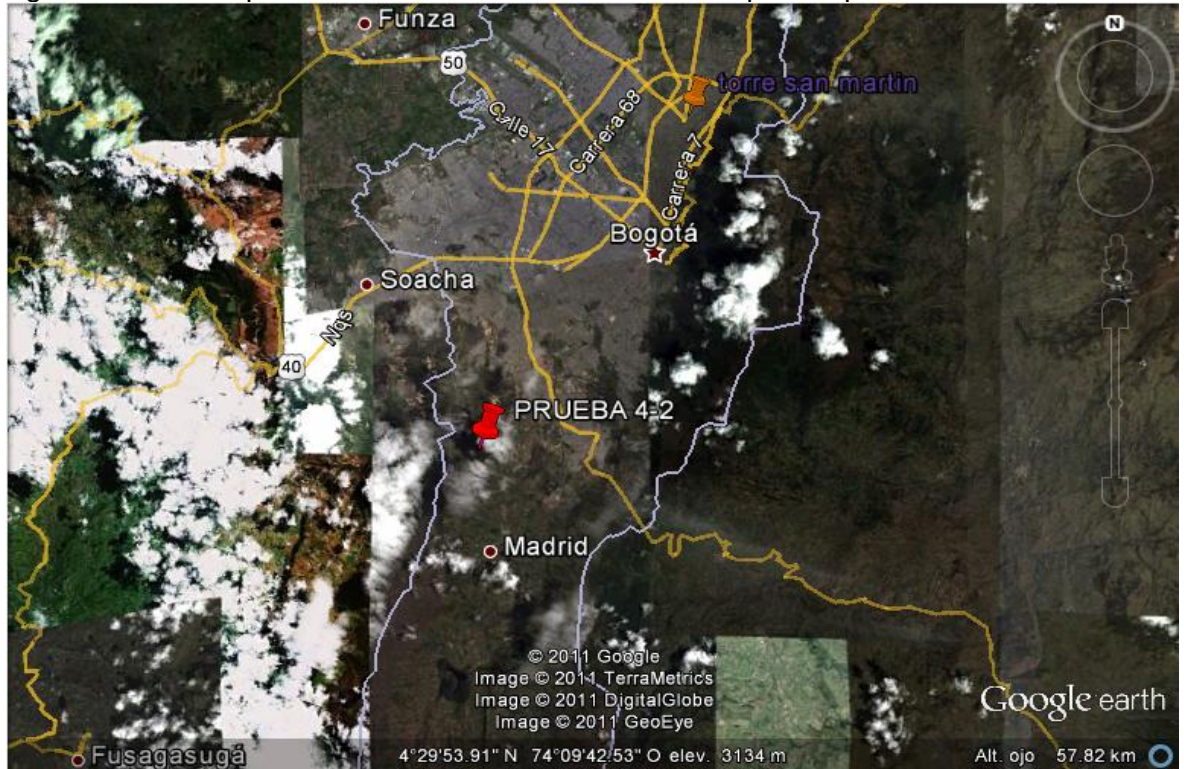


Imagen capturada de software Google Earth

En la prueba 4 se hará uso de dos estaciones transmisoras las cuales estén orientadas a cubrir el norte y el sur de la capital, el centro tendría una cobertura dependiendo de la estación que mayor potencia maneje y que según las condiciones geográficas pueda cubrir determinada estación.

Para la primera estación de la prueba, se pondrá a radiar la señal desde el mismo sitio que se está haciendo la difusión de la señal digital en el cerro de Calatrava. El objetivo principal de ubicar esta estación en la misma locación de las antenas actuales es de trabajar un sistema a una altura media entre la altura promedio y la máxima de la capital. La ubicación de la estación se muestra en la figura 15.

Ahora bien, una vez planteada la ubicación de la primera estación, se ubicará una segunda estación en el sur de la capital para tener una cobertura de esta zona de Bogotá. Esta estación está ubicada en la parte occidental de la localidad de Usme en zona montañosa no poblacional como se muestra en la figura 16.

### 7.1.3.5 Estaciones prueba 5

Figura 17. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 5.

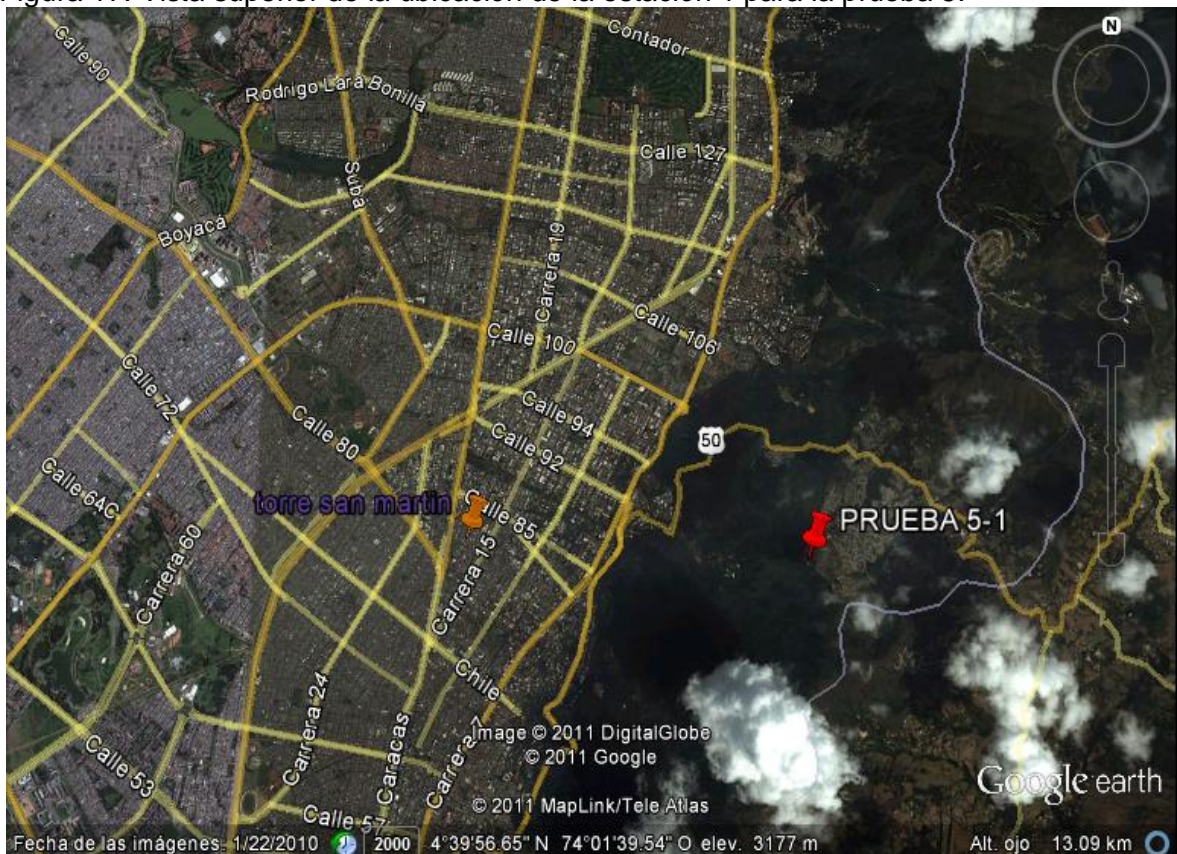


Imagen capturada de software Google Earth

En la segunda prueba haciendo uso de dos estaciones transmisoras del sistema de TDT, se ubican una en la zona norte y otra en la zona sur en la altura de los cerros orientales, siendo estos puntos los sitios más altos fuera de la zona central de la ciudad desde los cuales se pueda hacer la difusión del nuevo sistema de televisión permitiendo analizar el comportamiento de la cobertura realizada desde puntos altos de la capital.

Para la zona norte, se ubicó un transmisor en los cerros orientales al oriente de la carrera 7ma con calle 92 en Bosques del Encenillo. La ubicación se muestra en la figura 17.

Para la zona sur se ubicara una estación en los cerros orientales cerca al cerro de Guadalupe, en el barrio el Delirio en la localidad de San Cristóbal, permitiendo que desde esta nueva ubicación se tenga perfecta línea de vista con las localidades de la zona sur de la capital. La ubicación de la estación se muestra en la figura 18.

Figura 18. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 5

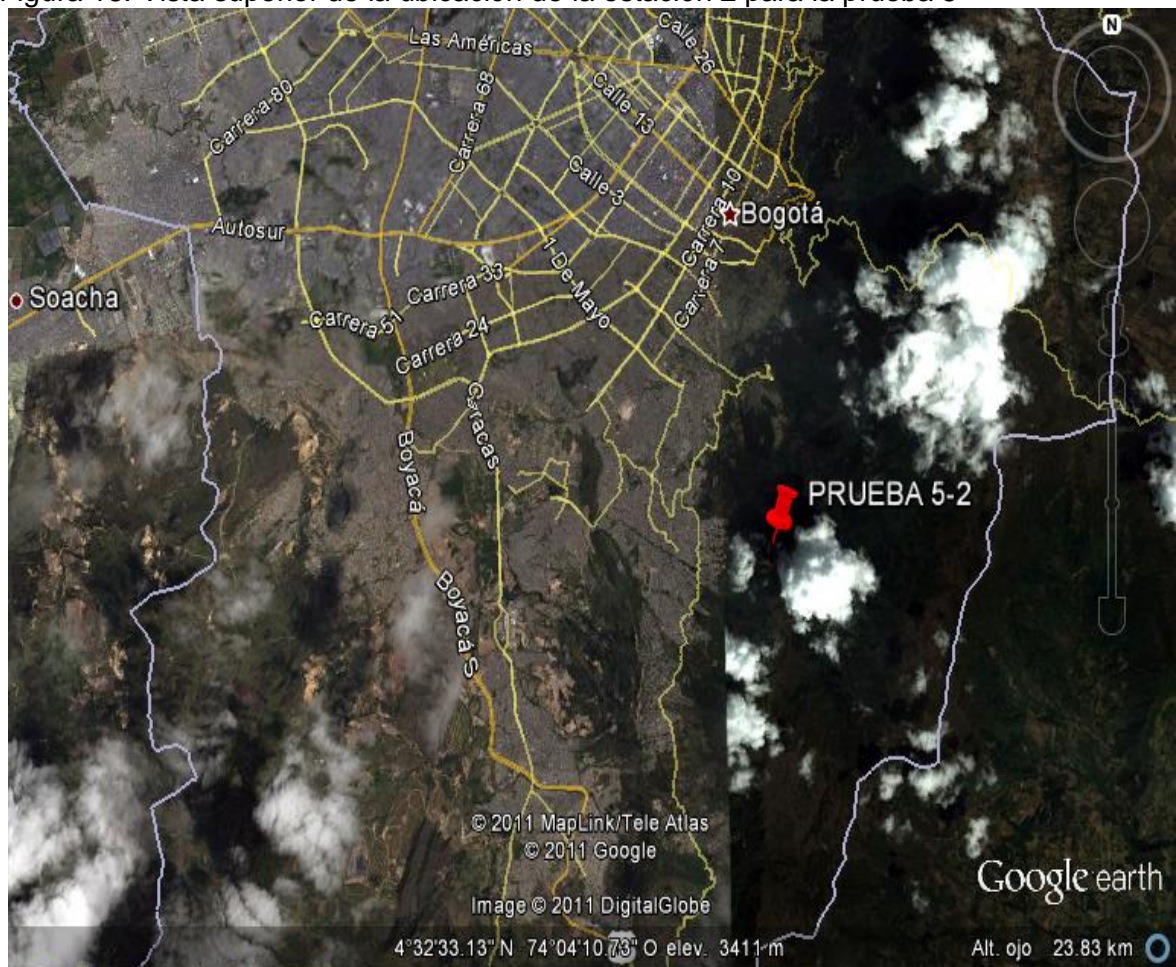


Imagen capturada de software Google Earth

Tabla 8. Detalle de las ubicaciones de las estaciones haciendo uso de un 1 TX.

PRUEBA	TIPO DE ALTURA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.	ALTURA SEGÚN GOOGLE EARTH
5-1	Alta	4°39'57,2" N	74°1'40,51" W	3.199,77 m	3.200 m
5-2	Alta	4°32'33,8" N	74°4'13,25" W	3.407,85 m	3.407 m

### 7.1.3.6 Estaciones prueba 6

Figura 19. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 6.

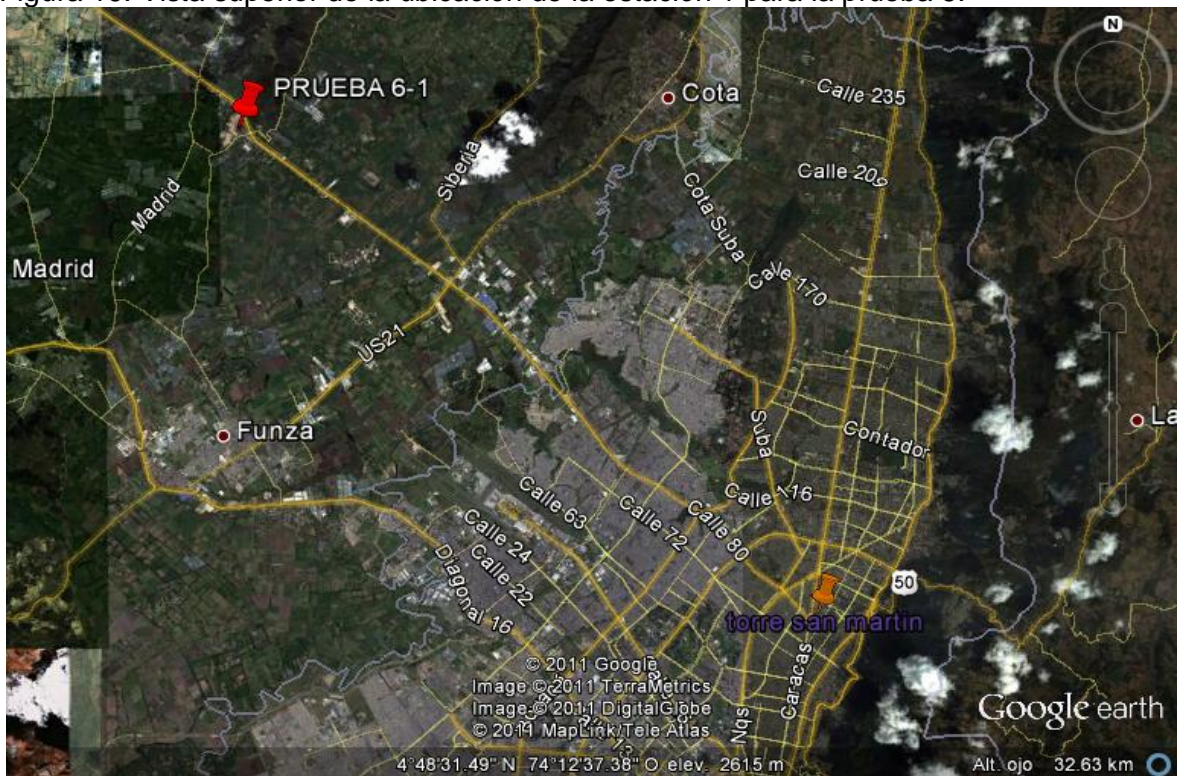


Imagen capturada de software Google Earth

En la última prueba haciendo uso de dos transmisores, se va a hacer la difusión de la señal desde dos puntos en una altura media entre el punto de altura mínimo y el máximo de la capital teniendo como característica principal que la estación ubicada en calatrava que cubre el norte de la ciudad se trasladaría a un sitio fuera del centro de la capital no poblacional en la vereda las Peñas en el municipio de Madrid Cundinamarca.

Una vez teniendo la estación correspondiente para el norte de la capital, se ubica la respectiva estación para el sur de Bogotá. Esta estación se localizará en la vereda Tibanica en la parte alta de la localidad de Tunjuelito desde la cual se podría hacer la difusión de la señal de TDT para el centro, la localidad de Usme y el municipio de Soacha. La ubicación se muestra en la figura 20.

Figura 20. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 6.

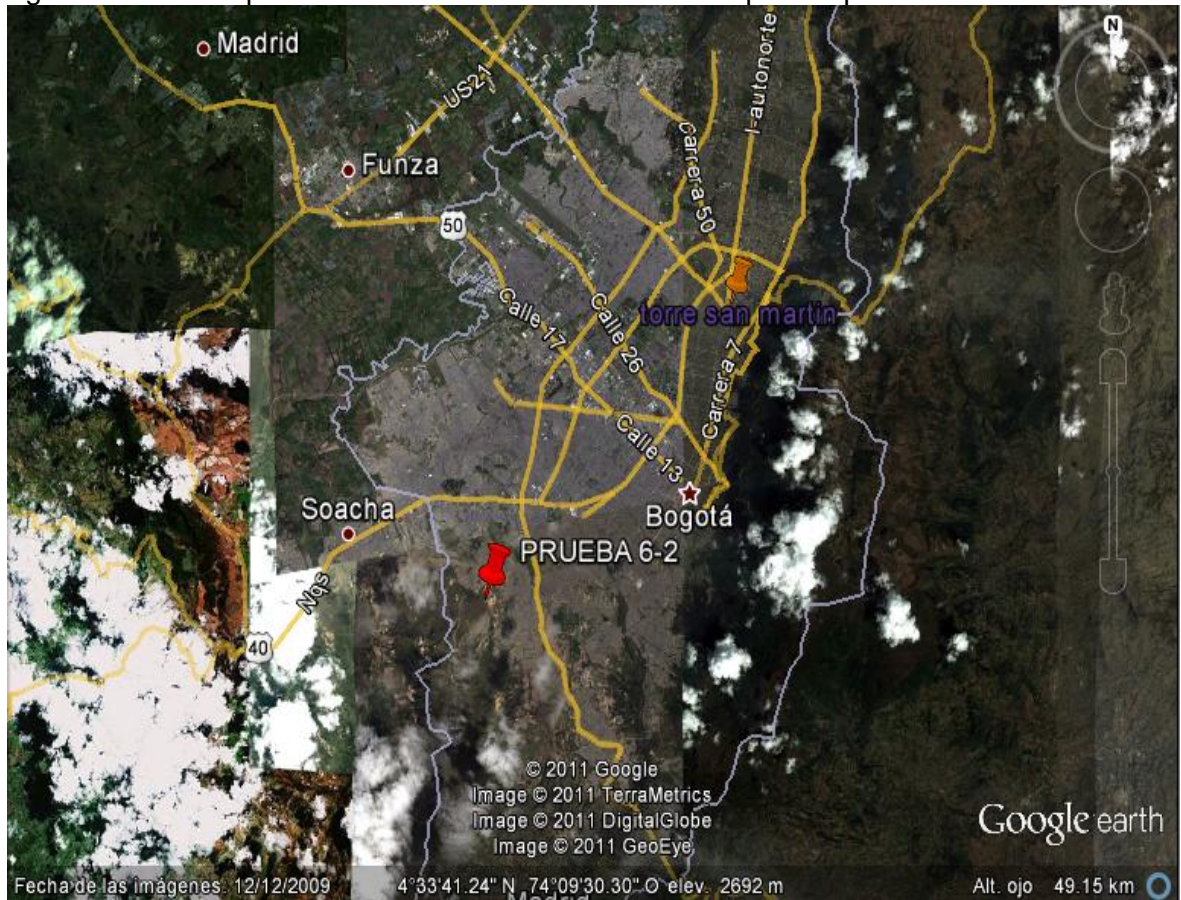


Imagen capturada de software Google Earth

Tabla 9. Detalle de las ubicaciones de las estaciones para la prueba 6.

PRUEBA	TIPO DE ALTURA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.	ALTURA SEGÚN GOOGLE EARTH
6-1	Media	4°48'6,05" N	74°12'44,8" W	2.619,31 m	2.619 m
6-2	Media	4°33'36,8" N	74°9'35,56" W	2.794,14 m	2.797 m

### 7.1.3.7 Estaciones prueba 7

Figura 21. Vista superior de la ubicación de la estación 1 para la prueba 7.



Imagen capturada de software Google Earth

Figura 22. Vista superior de la ubicación de la estación 2 para la prueba 7.



Imagen capturada de software Google Earth

En la última prueba se ubicaran las mismas tres estaciones que hacen la difusión de la señal de televisión analógica y que funcionarán para la TDT, pero tendrán nuevas locaciones las cuales estratégicamente permitan minimizar los gastos de potencia y disminuyan el área de múltiple cobertura.

Para la primera estación, se selecciono la nueva ubicación en un punto alto de los cerros orientales en el norte de la capital, en la parte oriental carrera 7ma con calle 196 en el barrio el Codito. Esta estación cumpliría el mismo objetivo de la estación actual de Calatrava la cual cubre la zona centro de Bogotá, pero al estar más hacia el norte y tener obstrucción en el cerro de suba y con los cerros orientales hacia el sur, permitiría minimizar las zonas de múltiple cobertura. La ubicación de la estación se muestra en la figura 21.

Ahora bien, una vez seleccionada la ubicación para la estación correspondiente a la cobertura del norte de Bogotá, se plantea que la ubicación de la estación que cubre el centro de la capital (Manjuí) se traslade a un punto más cercano a la capital. Una locación importante dentro de los límites de la ciudad por el occidente en la zona central es un punto en la parte occidental del municipio de Mosquera en zona no poblacional. La ubicación de la estación se muestra en la figura 22.

Finalmente, se opta por trabajar con la misma locación seleccionada para la cobertura del sur de la capital en expuesto en el capítulo 7.1.3.5 la cual está ubicada en el barrio el Delirio en la localidad de San Cristóbal.

Tabla 10. Ubicaciones de las estaciones haciendo uso de un 1 TX.

PRUEBA A	TIPO DE ALTURA A	LATITUD	LONGITUD	ALTURA SEGÚN R.M.	ALTURA SEGÚN GOOGLE EARTH
7-1	Media	4°46'21,7" N	74°1'23" W	2.691,82 m	2.693 m
7-2	Media	4°42'38,8" N	74°15'41	2.645,97 m	2648 m
7-3	Alta	4°32'33,8" N	74°4'13,25" W	3.407,85 m	3.407 m

## 7.2 RED DE TELEVISIÓN NACIONAL

La red de televisión nacional cuenta con estaciones ubicadas a lo largo del territorio colombiano, dedicadas a la difusión de la señal televisiva y la emisión de los contenidos de los diferentes canales públicos, privados y regionales.

Tabla 11. Clasificación de las estaciones por potencia del transmisor.

TRANSMISOR	RANGO DE POTENCIA
Transmisores de muy baja potencia	<50
Transmisores de baja potencia	$\geq 50\text{w}, < 1\text{Kw}$
Transmisores de media potencia	$\geq 1\text{ Kw}, < 5\text{Kw}$
Transmisores de alta potencia	$\geq 5\text{kW}$

(Comisión N. d. T. 2009)

Esta red de televisión se puede clasificar según la potencia del transmisor como lo indica la tabla 12.

Tabla 12. Clasificación de las estaciones por Red.

POTENCIA MANEJADA	NOMBRE
Estaciones que trabajan a 1kW o potencias mayores	Red Primaria
Estaciones que trabajan potencias menores a 1Kw.	Red Secundaria

(Comisión N. d. T. 2009)

La tabla 12 diferencia por nombre de red a las estaciones transmisoras, haciendo relación a solo dos niveles de potencia de transmisión, pero esta caracterización es muy importante para el reconocimiento por tipo de red a lo largo del territorio colombiano. Además de caracterizar las estaciones por potencia, estas se pueden dividir según los niveles de servicio.

Tabla 13. Niveles de servicio, Valores mínimos de intensidad de campo.

Banda	I Y II	III	IV	V
dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )	+48	+55	+65	+70

(Comisión N. d. T. 2009)

Las señales de televisión radiodifundidas deben cumplir con los valores mínimos de intensidad de campo, en dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ) (dB referidos a un microvoltio / metro), los cuales tienen que estar presentes en el área de cubrimiento autorizada por la CNTV con la señal de televisión del operador, protegidos contra posibles interferencias. Los valores consignados son los establecidos por la Recomendación UIT-R BT 417-5, según se indica en la tabla 13 (Comisión N. d. T. 2009).

### 7.2.1 Asignación de frecuencias para la televisión analógica

Como característica principal del funcionamiento de las estaciones, el servicio de televisión trabaja dentro de las frecuencias de las bandas VHF y UHF. Las características de estas frecuencias se observan en la tabla 1.

El rango de frecuencias de los canales disponibles para la difusión de la señal de televisión van desde el canal 2 hasta el canal 51, cada cual con un ancho de banda de 6 MHz. La CNTV en el Plan de utilización de frecuencias, explica que las transmisiones para el canal 6 en la banda VHF, deben controlarse las interferencias que producen a este canal las estaciones de emisoras de FM. Según recomendación 73.610 de la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones). El canal 37 no se utiliza para el servicio de televisión radiodifundida, correspondiente a la banda 608 - 614 MHz, ya que está atribuida al servicio de radioastronomía.

Tabla 14. Canales disponibles con su banda de operación.

CANAL	ANCHO DE BANDA (MHz)	CANAL	ANCHO DE BANDA (MHz)	CANAL	ANCHO DE BANDA (MHz)
2	54-60	19	500-506	36	602-608
3	60-66	20	506-512	37	608-614
4	66-72	21	512-518	38	614-620
5	72-78	22	518-524	39	620-626
6	78-84	23	524-530	40	626-632
7	174-180	24	530-536	41	632-638
8	180-186	25	536-543	42	638-644
9	186-192	26	542-548	43	644-650
10	192-198	27	548-554	44	650-656
11	198-204	28	554-560	45	656-662
12	204-210	29	560-566	46	662-668
13	210-216	30	566-572	47	668-674
14	470-476	31	572-578	48	674-680
15	476-482	32	578-584	49	680-686
16	482-488	33	584-590	50	686-692
17	488-494	34	590-596	51	692-698
18	494-500	35	596-602		

(Comisión N. d. T. 2009)

La zona en estudio cuenta con transmisores tanto de alta como de baja potencia, radiando la señal de los canales públicos, privados y regionales. La radiación de la señal se hace desde las estaciones ubicadas en el cerro de Manjuí en el municipio de Zipacon, el cerro de Calatrava, Suba, Boquerón de Chipaque en la cordillera oriental y Santa Librada desde Bogotá. Los canales operan desde las estaciones y en las frecuencias indicadas en diferentes potencias como lo muestran las tablas 15 y 16.

Tabla 15. Red primaria canales públicos, privados y regionales.

ESTACIÓN	NOMBRE DEL CANAL	CANAL	ZONA DE COBERTURA
Manjuí	Canal señal Colombia	11	Bogotá centro
	Canal institucional	9	Bogotá centro
	Canal uno	7	Bogotá centro
Calatrava	Canal señal Colombia	25	Bogotá norte
	Canal institucional	30	Bogotá norte
	Canal uno	27	Bogotá norte
Manjuí	Canal RCN	4	Bogotá centro
	Canal Caracol	5	Bogotá centro
Calatrava	Teveandina	23	Bogotá norte
Manjuí	Canal capital	2	Bogotá centro
Suba	Canal capital	32	Suba
B. d. Chipaque	Canal capital	32	Bogotá sur

(Comisión N. d. T. s.f)

Tabla 16. Red secundaria canales públicos y privados.

ESTACIÓN	NOMBRE DEL CANAL	CANAL	ZONA DE COBERTURA
B. d. Chipaque	Canal señal Colombia	12	Bogotá sur
	Canal institucional	6	Bogotá sur
	Canal uno	3	Bogotá sur
Suba	Canal RCN	8	Bogotá norte
	Canal Caracol	10	Bogotá norte
Santa Librada	Canal RCN	8	Bogotá sur
	Canal Caracol	10	Bogotá sur

(Comisión N. d. T. s.f)

### 7.2.2 Asignación de canales para la Televisión Digital Terrestre

La Junta Directiva de la Comisión Nacional de Televisión (CNTV) asignó las frecuencias para los canales nacionales públicos y privados y a los canales regionales, así como a los locales con y sin ánimo de lucro de Bogotá, destinadas a la Televisión Digital Terrestre.

De acuerdo con las asignaciones definidas, los operadores mencionados quedarán en los siguientes canales, para emitir sus señales de TDT en buena parte de los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Boyacá, Antioquia, Caldas, Valle del Cauca, Cauca, Guajira Atlántico, Magdalena y Bolívar:

- Canal Caracol: 14
- Canal RCN: 15
- RTVC (Canales Uno, Institucional y Señal Colombia): 16.
- Tercer canal privado: 17.
- Cuarto canal privado (eventual): 20.

En cuanto a los demás departamentos, la CNTV continúa haciendo los estudios correspondientes, para proceder a hacer las asignaciones.

Los canales regionales serán emitidos en sus respectivos departamentos, de la siguiente manera:

- Teveandina: 18
- Capital: 19.
- Teleantioquia: 18.
- Telecaribe: 18.
- Telepacífico: 18.

Posteriormente, la CNTV asignará las frecuencias para los canales regionales Televisión Regional del Oriente, Telecafé y Teleislas.

En cuanto a Bogotá, la CNTV asignó el canal 40, al operador local Citytv; los canales 41, 42 y 46, a los locales sin ánimo de lucro, multiplexado para cinco operadores cada uno; el 47, para un canal local con ánimo de lucro; los 43, 44 y 45, para ser utilizadas en tecnología digital móvil; el 49, para un operador local privado zonas norte y centro, y el 51 para un operador local privado zona sur, los dos últimos en tecnología analógica.

Con estos canales, los operadores podrán iniciar los procesos de compra de los equipos para que al final del año 2010, la televisión pública haya cubierto el 42 por ciento de la población colombiana, y la privada, RCN y Caracol, el 25 por ciento exigido en sus contratos (CNTV, 2010).

### 7.3 ESTACIONES TRANSMISORAS DE TELEVISIÓN PARA BOGOTÁ

Figura 23. Transmisores difusores de televisión para Bogotá.



Imagen capturada de software Radio Mobile

Como el estudio de propagación va dirigido a la capital colombiana, se tienen en cuenta inicialmente las estaciones que irradian la señal para Bogotá. Estas estaciones son Manjuí para la zona centro con los canales públicos y privados, Calatrava para los canales públicos en la zona norte y Suba para los canales privados en la misma zona, Boquerón de Chipaque para la zona sur con los canales públicos y Santa Librada radiando los canales privados.

Como la asignación de canales digitales multiplexa los canales públicos en el mismo ancho de banda en las frecuencias del canal 16 desde 482MHz hasta 488 MHz, el presente proyecto de investigación basa las simulaciones en este ancho de banda, teniendo entonces como referencia tan solo las estaciones de Manjuí, Calatrava y Boquerón de Chipaque.

En la figura 23 se hace una descripción geográfica de la locación de las estaciones de transmisión para la capital en la red primaria como en la red secundaria y para la radiación de canales públicos y privados en general.

En los numerales 7.3.1, 7.3.2 y 7.3.3 se hace una explicación detallada de cada estación transmisora involucrada en el proyecto de investigación teniendo como fuente de información el estudio realizado por la empresa TES AMERICA en el año 2009.

La empresa TESS AMERICA es una empresa que ofrece servicios especializados de ingeniería para la industria de las telecomunicaciones utilizando las ciencias de la computación, la electrónica y las radiocomunicaciones.

Los estudios fueron realizados para el ente administrador de los canales privados nacionales y se encuentran en la página web de la RTVC.

### **7.3.1 Calatrava**

Figura 24. Vista de la estación de Calatrava.



(TESS AMERICA, 2008)

La estación de Calatrava o también conocida como Altos de Chozica, queda ubicada en el norte de la capital en los altos de Chozica, para llegar se inicia en la Av. Suba dirección al Norte, frente a Bulevar Niza, sigue hacia Suba y hace retorno en estación de transmilenio 21 Ángeles. Sigue al sur y después de pasar la bomba Mobil, gira a derecha por calle 131, Sigue por la vía principal, después del sitio conocido como “vara” se toma el primer cruce a la derecha y luego el segundo cruce en " Y " a derecha. Se ha convertido en un sitio muy poblado por parte de operadores de Telecomunicaciones tanto públicos como privados (Acero, 2008).

La estación está situada en las siguientes coordenadas:

- Latitud: 4° 43'37.7"N
- Longitud: 74°4'51.4"W

El cerro se encuentra a una altura de 2710 metros sobre el nivel del mar.

### 7.3.1.1 Detalle de la torre Calatrava

La torre de Calatrava tiene antenas para la propagación de la señal de televisión en los canales Uno, Institucional, Señal Colombia. Las especificaciones de las antenas para cada canal se muestran en la tabla 10.

Tabla 17. Características de las antenas de la estación Calatrava.

Transmisor Principal Canal Uno	
Marca	Harris
Serie	HS 994-501-0007
Modelo	Ultravision
Frecuencia de operación	548MHz-554MHz
Canal	27
Potencia	1kW
Actualización digital	No
Transmisor Reserva Canal Uno	
Marca	Thomson.LGT
Serie	4349
Modelo	100S
Frecuencia de operación	548MHz a 554MHz
Canal	27
Potencia	0.1 kW
Actualización digital	No
Transmisor Principal Señal Colombia	
Marca	Harris
Serie	HS 994_501-0006
Modelo	Ultravision
Frecuencia de operación	536MHz a 542 MHz
Canal	25
Potencia	1kW
Actualización digital	No
Transmisor Reserva Señal Colombia	
Marca	Thomson.LGT
Serie	547

Modelo	200S
Frecuencia de operación	536MHz a 542MHz
Canal	25
Potencia	2 kW
Actualización digital	No
<b>Transmisor Principal Canal Institucional</b>	
Marca	Harris
Serie	HS 994_501-0008
Modelo	Ultravision
Frecuencia de operación	566MHz a 572 MHz
Canal	30
Potencia	1kW
Actualización digital	No
<b>Transmisor Reserva Canal Institucional</b>	
Marca	Thomson
Serie	4350
Modelo	100S
Frecuencia de operación	566MHz a 572MHz
Canal	30
Potencia	0.1 kW
Actualización digital	No

(TESS AMERICA, 2008)

### 7.3.2 Manjuí

El cerro de Manjuí ubicado en el municipio de Zipacon es una locación muy importante dentro de la red de transmisión de la señal de televisión, puesto que cuenta con transmisores operando en la red primaria para gran parte del país y en especial para intereses del proyecto, cubre la zona centro de la capital.

Para llegar a la estación de Manjuí se toma la vía Bogotá - Faca, en Cartagenita se gira a la izquierda para tomar la vía a Zipacon, en el Km 11 se toma el ramal que encuentra a la derecha, esta vía lleva al interesado a la estación (Acero, 2008). El cerro tiene una altura de 3250 metros sobre el nivel del mar, la ubicación en latitud y longitud de la estación es la siguiente:

- Latitud: 4°48'11" N
- Longitud: 74°23'36" W

### 7.3.2.1 Detalle de la torre Manjuí

Figura 25. Vista torres 1 y 2 en la estación de Manjuí.



(TESS AMERICA, 2008)

La torre de Manjuí cuenta con antenas difusoras de señales de televisión como de otros medios de comunicación.

En la tabla 11 se hace una descripción de las antenas encargadas de radiodifundir la señal televisiva para los canales de interés del presente proyecto, los canales públicos nacionales Canal Institucional, Canal Señal Colombia y Canal Uno.

Los datos mostrados en la tabla 11 se obtuvieron de la página web de la licitación pública realizada por la RTVC para la adquisición, instalación y puesta en funcionamiento de los sistemas de transmisión de Televisión Digital Terrestre TDT para las estaciones de Manjuí, Cerro Kennedy, La Azalea y Padre Amaya, en el estándar DVB-T.

Tabla 18. Características de las antenas desde la estación de Manjuí.

SISTEMA DE ANTENAS CANAL UNO	
MARCA	RYMSA
CANAL - BANDA DE OPERACIÓN	CH7 -/ 175,25/ B III
POTENCIA NOMINAL DEL TRANSMISOR EN (W)	20,000
MODELO	AT13-240
TIPO	PANEL
GANANCIA DE LA ANTENA (dBm)	10,5
TAMAÑO DE ANTENA (m)	1,25 X 2,80

CABLE PRINCIPAL	
MARCA	GEDELEX
LONGITUD DEL CABLE TOTAL (m)	150
ATENUACIÓN DE CABLE(dB/100)	0,48
PERDIDAS CABLE dB	0,72
TIPO – REFERENCIA	3 1/8" AIRE
SISTEMA DE ANTENAS CANAL INSTITUCIONAL	
MARCA	RYMSA
CANAL - BANDA DE OPERACIÓN	CH9 / 187,25 MHz / BIII
POTENCIA NOMINAL DEL TRANSMISOR EN (W)	20,000
MODELO	AT13-240
TIPO	PANEL
GANANCIA DE LA ANTENA (dBm)	10,5
CABLE PRINCIPAL	
MARCA	GEDELEX
LONGITUD DEL CABLE TOTAL (m)	170
ATENUACIÓN DE CABLE(dB/100)	0,51
PERDIDAS CABLE dB	0,867
TIPO – REFERENCIA	3 1/8" AIRE
SISTEMA DE ANTENAS CANAL SEÑAL COLOMBIA	
MARCA	RYMSA
CANAL - BANDA DE OPERACIÓN	CH11 - /199,25 / BIII
POTENCIA NOMINAL DEL TRANSMISOR EN (W)	20,000
MODELO	AT13-240
TIPO	PANEL
GANANCIA DE LA ANTENA (dBm)	10,5
CABLE PRINCIPAL	
MARCA	GEDELEX
LONGITUD DEL CABLE TOTAL (m)	150
ATENUACIÓN DE CABLE(dB/100)	0,52
PERDIDAS CABLE dB	0,78
TIPO – REFERENCIA	3 1/8" AIRE

(TESS AMERICA, 2008)

### 7.3.3 Boquerón de Chipaque

La estación de Boquerón de Chipaque se encuentra ubicada en el sur de la ciudad sobre la cordillera oriental. Desde esta estación se emiten señales de televisión para la cobertura del sur de Bogotá como para los municipios vecinos de Ubaque, Fómeque y Choachí.

La estación está situada en las siguientes coordenadas:

- Latitud: 4° 28' 37"N
- Longitud: 74°4'30"W

Figura 26. Vista de la estación de Boquerón de Chipaque.



(TESS AMERICA, 2008)

El cerro se encuentra a una altura de 3478 metros sobre el nivel del mar.

### **7.3.3.1 Detalle de la torre de Boquerón de Chipaque**

Para visitar la estación de Boquerón de Chipaque desde Bogotá, se toma la vía antigua a Caqueza, sigue por esta vía hasta terminar la subida. Cuando se empieza a bajar, se encuentra una tienda y por esa calle se dobla a la derecha en la vía que se llama "Tienda El Boquerón", pocos metros más adelante y a la izquierda de la vía está la entrada al cerro. Ahí hay una puerta metálica, que el trabajador de la finca abre si lleva autorización del dueño de la finca. En general la vía de acceso a la estación está en mal estado (Acero, 2008).

La información de las características de operación y de las antenas localizadas en la estación de Boquerón de Chipaque se encuentra especificada en la tabla 12.

Tabla 19. Características de las antenas desde la estación B. d. Chipaque.

Transmisor Principal Canal Uno	
Marca	Screen service
Serie	N/D
Modelo	SCA 501 FB
Frecuencia de operación	60MHz-66MHz
Canal	3
Potencia	500W
Actualización digital	No
Transmisor Principal Señal Colombia	
Marca	Screen service
Serie	N/D
Modelo	SCA 501 TB
Frecuencia de operación	204MHz a 210 MHz
Canal	12
Potencia	500W
Actualización digital	No
Transmisor Principal Canal Institucional	
Marca	Screen service
Serie	N/D
Modelo	SCA 501 FB
Frecuencia de operación	78MHz a 84 MHz
Canal	6
Potencia	500W
Actualización digital	No

(TESS AMERICA, 2008)

## 8. PRUEBAS Y RESULTADOS PRELIMINARES

Las pruebas y resultados preliminares obtenidas y mostradas en este capítulo, simulan cuatro escenarios base donde la CNTV hace la predicción estándar de las transmisiones desde la estación en Calatrava, la estación de Manjuí, la estación de Munchique y la estación de Nuevo Colon.

La primera prueba expuesta tuvo lugar en el año 2006, donde se estaba haciendo el estudio de los estándares que desarrollan tecnología de televisión digital, el estándar japonés, el americano y el europeo, siendo este ultimo el elegido en el año 2008.

Las otras tres pruebas realizadas para Manjuí, Munchique y Nuevo Colon (Comisión N. d. T. 2008). En el anexo D del libro de televisión digital terrestre (Comisión N. d. T. 2008) se expone la Inversión de los operadores para la implementación de la televisión digital terrestre. Este estudio es de vital importancia ya que aunque de las estaciones mencionadas solo Bogotá tiene cobertura de la estación de Manjuí trabajando en un nivel de potencia alta, la estación de Munchique trabaja haciendo difusión con potencia media (entre 1kW y 10Kw) para los departamentos de Cauca y Nariño y la estación de Nuevo Colon trabajando a una potencia baja (menor a 1kW) en el municipio de Boyacá, pero para estas dos estaciones se realizo el cálculo de cobertura teniendo como base el funcionamiento del sistema digital lo cual apoya el proceso investigativo teniendo datos de la predicción estándar en diferentes niveles de potencia de transmisión.

Como herramienta de trabajo, la CNTV realizó las simulaciones con el programa ICS Telecom. El objetivo principal de estas simulaciones fue estimar las características técnicas de la red de televisión digital como potencia de transmisión, sistema de antenas, frecuencia, altura, pérdidas y área de cobertura, sujeto a que la población de cubrimiento sea igual a la población de cubrimiento actual de la televisión analógica.

A medida que se exponen las características digitales, se adjuntan las simulaciones hechas por la CNTV para la cobertura analógica y también las obtenidas a lo largo de la investigación. Estas figuras permiten ver la proximidad de los datos simulados en televisión analógica para demostrar que las simulaciones expuestas en el capítulo nueve son aproximadas al funcionamiento real y a las simulaciones obtenidas desde el software de precisión ICS TELECOM.

## 8.1 PRUEBAS ESTACIÓN DE CALATRAVA

Para llevar a cabo las pruebas de televisión digital, la RTVC instaló en la estación denominada Calatrava (ubicada al nor-occidente de Bogotá) desde el año 2006, un sistema de transmisión de Televisión Digital Terrestre para los formatos DVB-T y ATSC.

Figura 27. Transmisor DMT.



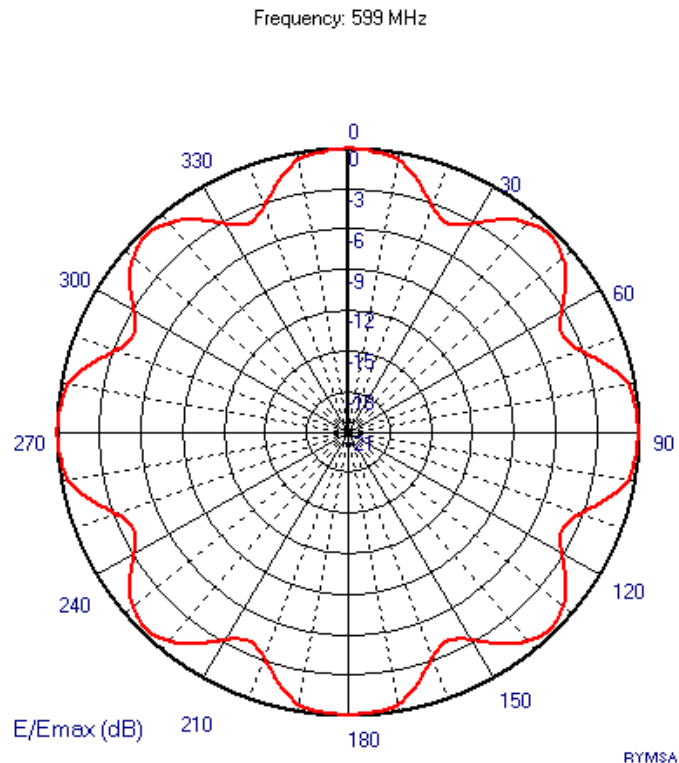
(Comisión N. d. T. 2008).

Para contar con la señal digital de los tres estándares se dispuso de un transmisor DMT, de fabricación italiana, el cual contaba con un conmutador digital que permitía la operación de un estándar a la vez y con una potencia nominal de 400 W en canal 35 (Comisión N. d. T. 2008).

El sistema de antenas se encuentra ubicado en la parte superior de una torre auto-soportada de 50 metros de altura con una configuración 2 – 2 – 2 – 2, esta configuración explica que se ubican dos antenas sectoriales cada 90°, lo cual garantiza una cobertura uniforme en los 360° como se muestra en la figura 28. Para efectos del desarrollo de las pruebas mencionadas en el capítulo 9, se utilizará primeramente una antena tipo omnidireccional la cual cumple el mismo objetivo del arreglo de antenas que funcionan en la actualidad para el cubrimiento en los 360°, además, también se analizarán las diferentes pruebas con otro tipo de antena llamado Cardio, el cual también tiene una cobertura omnidireccional pero

este tipo de antena permite orientar una mayor concentración de potencia en el punto al cual apunta la cara de la antena.

Figura 28. Patrón de radiación para la estación de Calatrava.  
A.S.: Calatrava\_TV Digital



(Comisión N. d. T. 2008).

Las antenas usadas desde la estación de Calatrava en la actualidad son de tipo panel UHF, el cable utilizado es de 1 5/8" y la ganancia unitaria por antena es de 11.35 dB. Una vez instalado el transmisor y el sistema radiante la CNTV trazó los radiales espaciados 45° con centro en la estación y a su vez se crearon perímetros a 1, 5, 10 y 20 kilómetros (Comisión N. d. T. 2008).

La intersección entre el radial y el perímetro determina la ubicación del punto de prueba. Sumado a los puntos definidos, se adicionaron otros puntos que buscan situaciones particulares como densidad de edificaciones, cercas naturales (arborización densa), ruido industrial y vehicular con la finalidad de obtener datos suficientes para estudiar el comportamiento de los sistemas digitales presentes. Se definieron 34 puntos para la capital tal y como lo muestra la figura 29, donde los puntos sobre el radial son los recomendados por la UIT y los puntos rojos fuera de los radiales son adicionales.

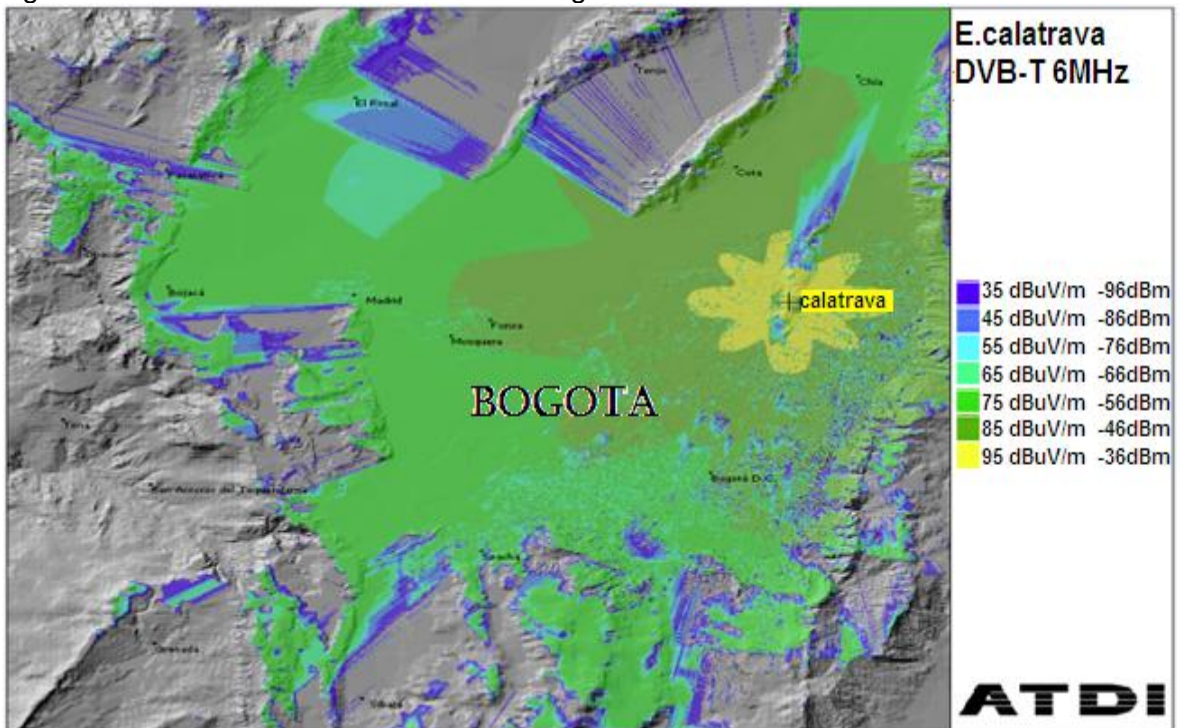
Figura 29. Puntos de medición para las pruebas del 2006.



(Comisión N. d. T. 2008).

Como resultado de las simulaciones realizadas por la CNTV trabajando desde la frecuencia del canal 35 se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 30.

Figura 30. Escenario base de transmisión digital en Calatrava.

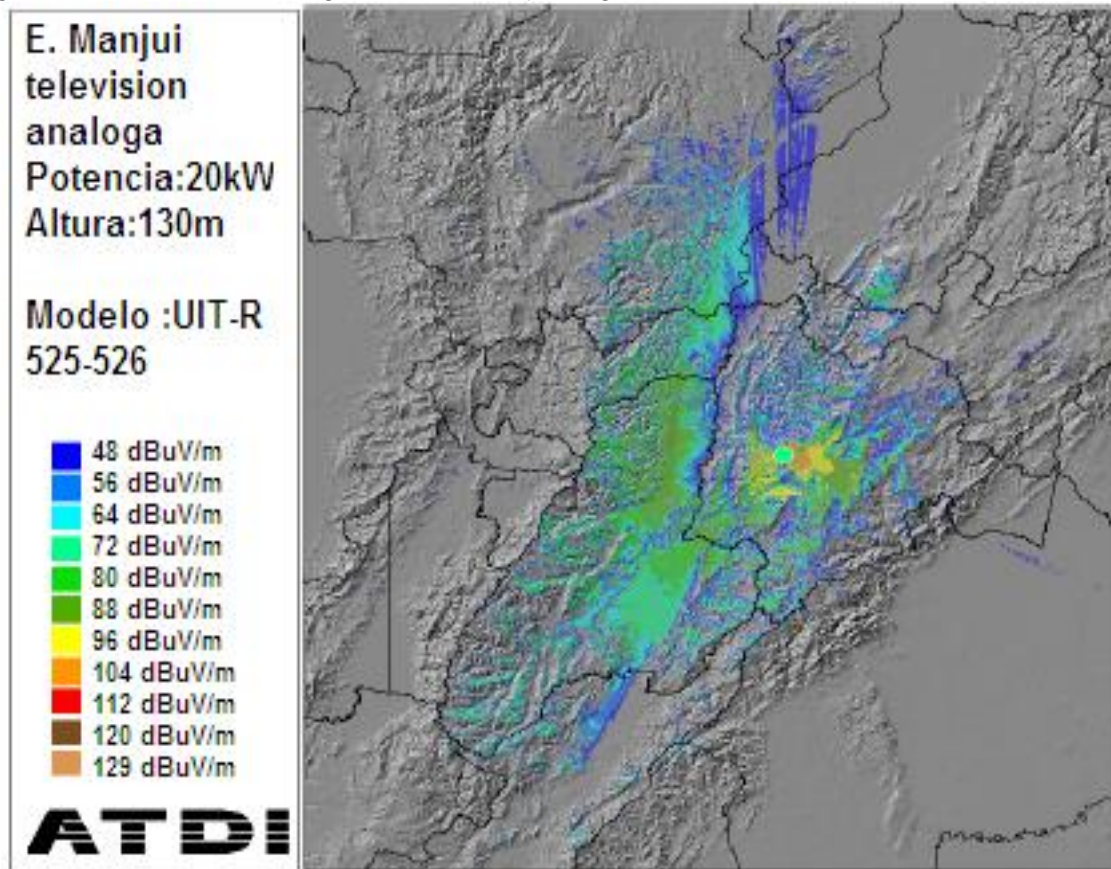


(Comisión N. d. T. 2008).

Como se observa en la figura 30, el patrón de radiación se forma de acuerdo al arreglo de dos antenas sectoriales cada 90° permitiendo una cobertura alrededor de la estación, ya que el arreglo tiene como objetivo la cobertura de los 360° y no está orientada a trabajar una zona en especial, se trabaja en el desarrollo de las pruebas realizadas un tipo de antena omnidireccional.

## 8.2 PRUEBAS ESTACIÓN DE MANJUÍ

Figura 31. Cobertura analógica desde Manjuí según ICS TELECOM.



(Comisión N. d. T. 2008).

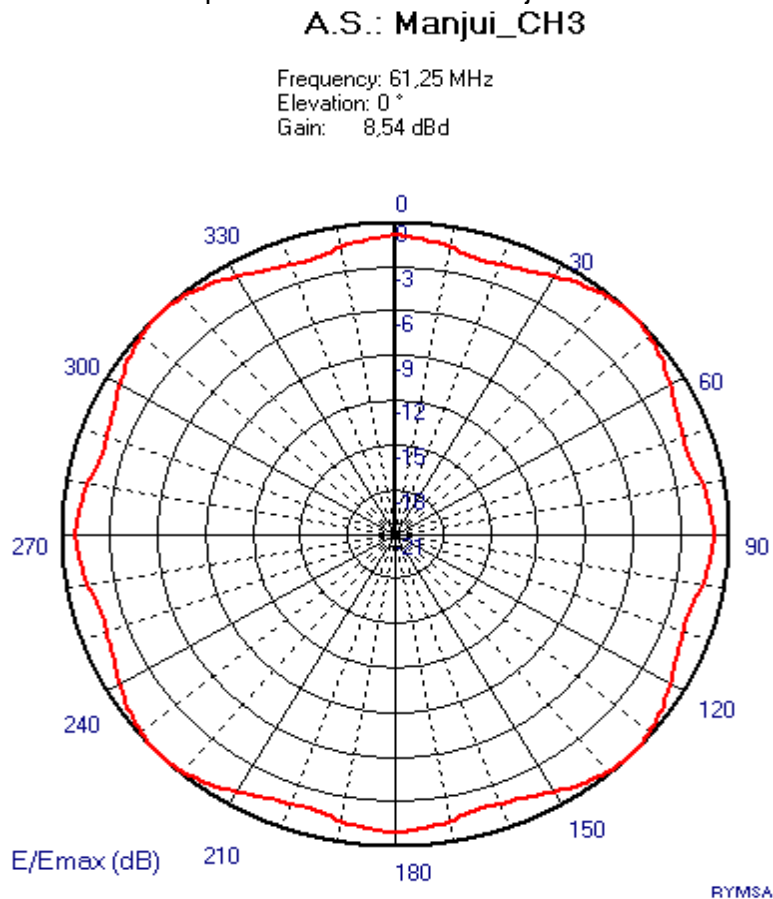
Como el estudio se realizó en el año 2006, la asignación de frecuencias para los canales de TDT no había tenido desarrollo, por lo tanto la CNTV realizó las simulaciones bajo el supuesto de que las frecuencias otorgadas para la transmisión de televisión digital se encontrarían en la banda V (UHF). La información de locación de la estación se encuentra en el numeral 7.3.2.

La cobertura poblacional que tiene la transmisión del sistema analógico es de un promedio de 27% teniendo en cuenta la población que se encuentra en la región central de Colombia, no con la población en total (Comisión N. d. T. 2008).

Teniendo en cuenta este cubrimiento, se tuvieron en cuenta las características expuestas en la tabla 13 para tener la misma cobertura con el sistema de TDT.

El patrón de radiación para las pruebas de cobertura estándar hechas desde la torre de Manjuí para la cobertura digital se muestra en la figura 32.

Figura 32. Patrón de radiación para la estación de Manjuí.



(Comisión N. d. T. 2008).

Tabla 20. Parámetros de cobertura digital para la estación de Manjuí.

PARAMETRO	DESCRIPCION
NOMBRE DE LA ESTACION	Manjuí
Intensidad de campo	+39dBuV/m - +42dBuV/m
Potencia	20.000 W
Ganancia	16,54 dB
Perdidas	3,0 dB
Altura	130 m

(Comisión N. d. T. 2008).

Figura 33. Cobertura analógica desde el cerro de Manjuí con R.M.

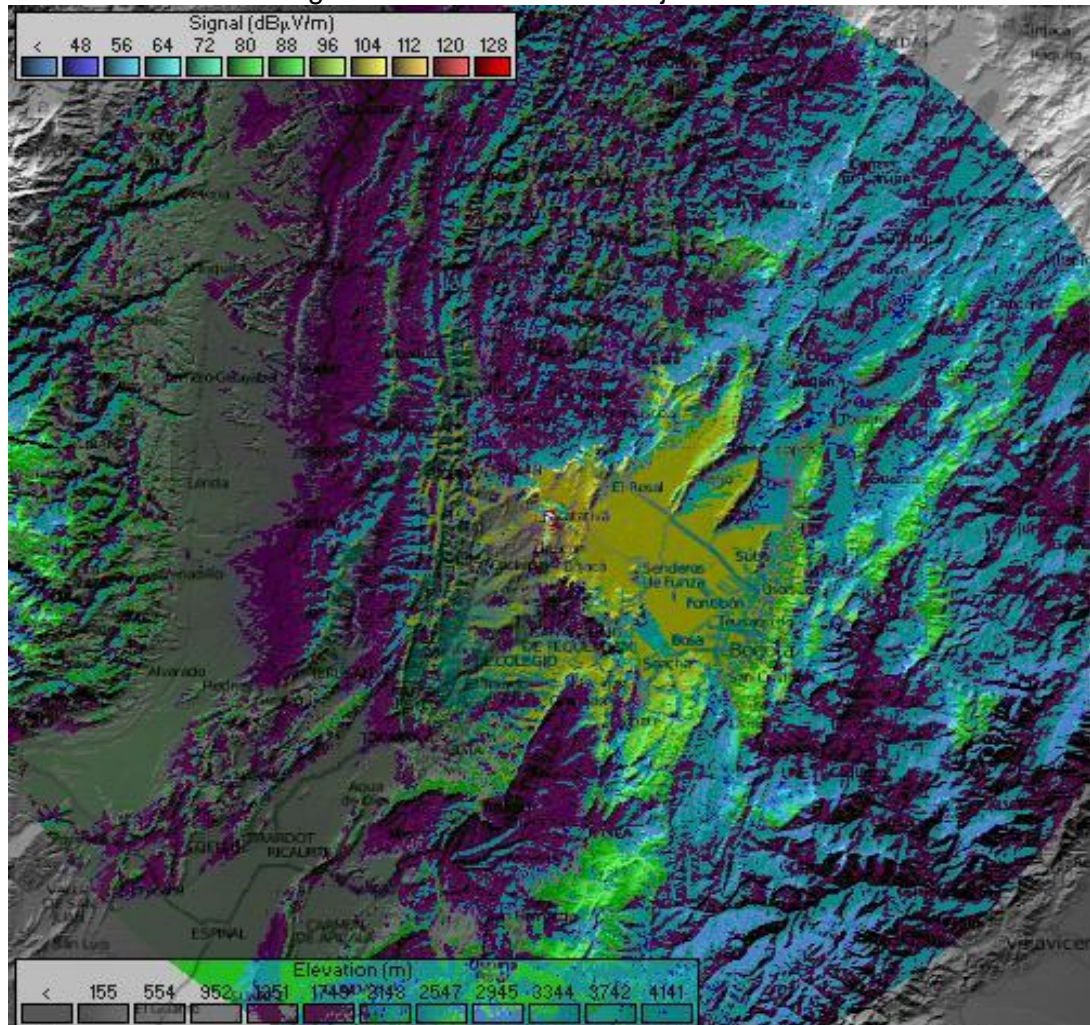


Imagen capturada de software Radio Mobile

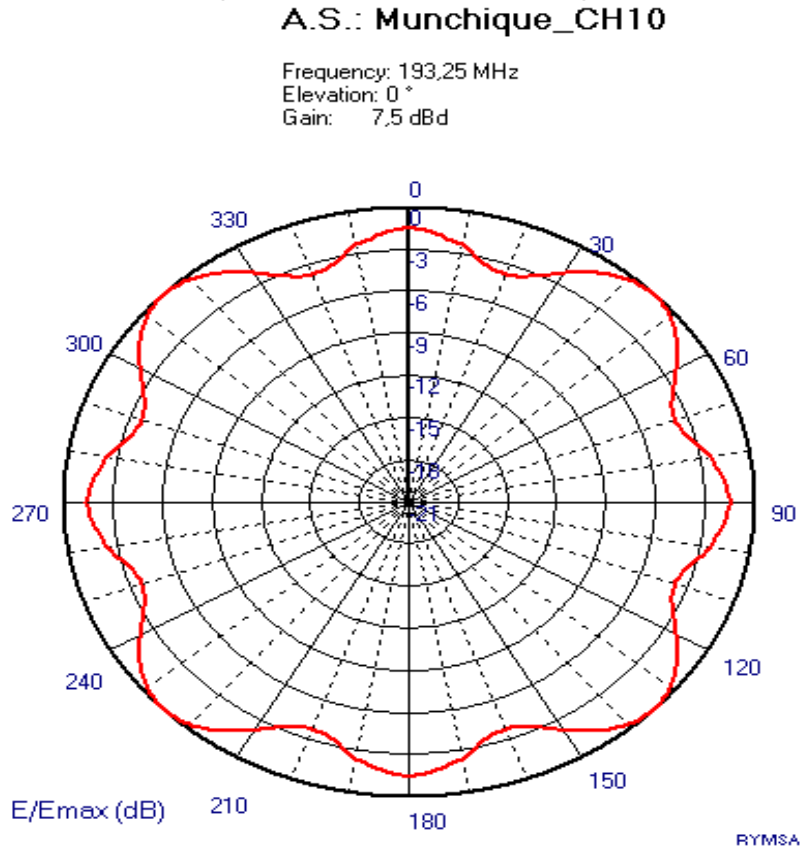
### 8.3 PRUEBAS ESTACIÓN DE MUNCHIQUE

La estación de Munchique se encuentra ubicada en el departamento del Cauca, sus coordenadas son:

- Latitud: 2° 31' 12,7" N.
- Longitud: 76° 57' 34,8" W

El patrón de radiación para las pruebas de cobertura estándar hechas desde la torre de Munchique para la cobertura digital se muestra en la figura 34.

Figura 34. Patrón de radiación para la estación de Munchique.



(Comisión N. d. T. 2008).

La cobertura poblacional, obtenida a partir de las simulaciones de transmisión analógica es del 2,53% en promedio para las simulaciones del funcionamiento de televisión analógica. En la tabla 14 se muestran las especificaciones de la estación de media potencia para tener el mismo cubrimiento.

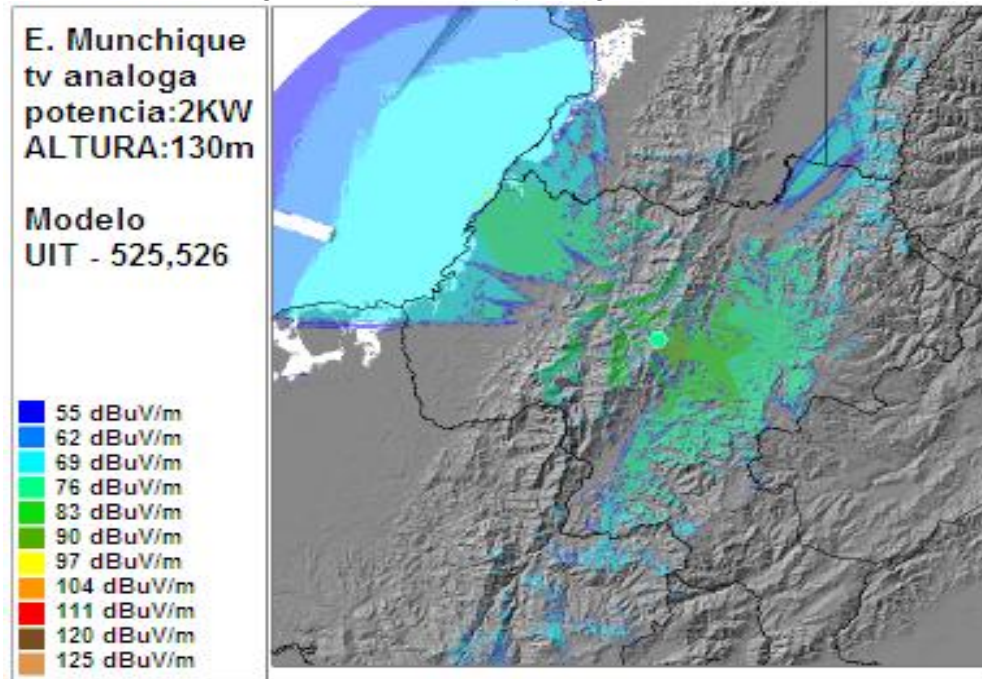
El cerro se encuentra a una altura aproximada de 3025 metros sobre el nivel del mar.

Tabla 21. Parámetros de cobertura digital para la estación de Munchique.

PARAMETRO	DESCRIPCION
NOMBRE DE LA ESTACION	Munchique
Intensidad de campo	+39dBuV/m - +42dBuV/m
Potencia	200 W
Ganancia	10,52 dB
Perdidas	3,0 dB
Altura	130 m

(Comisión N. d. T. 2008).

Figura 35. Cobertura analógica desde Munchique según ICS TELECOM.



(Comisión N. d. T. 2008).

Figura 36. Cobertura analógica desde Munchique según R.M.

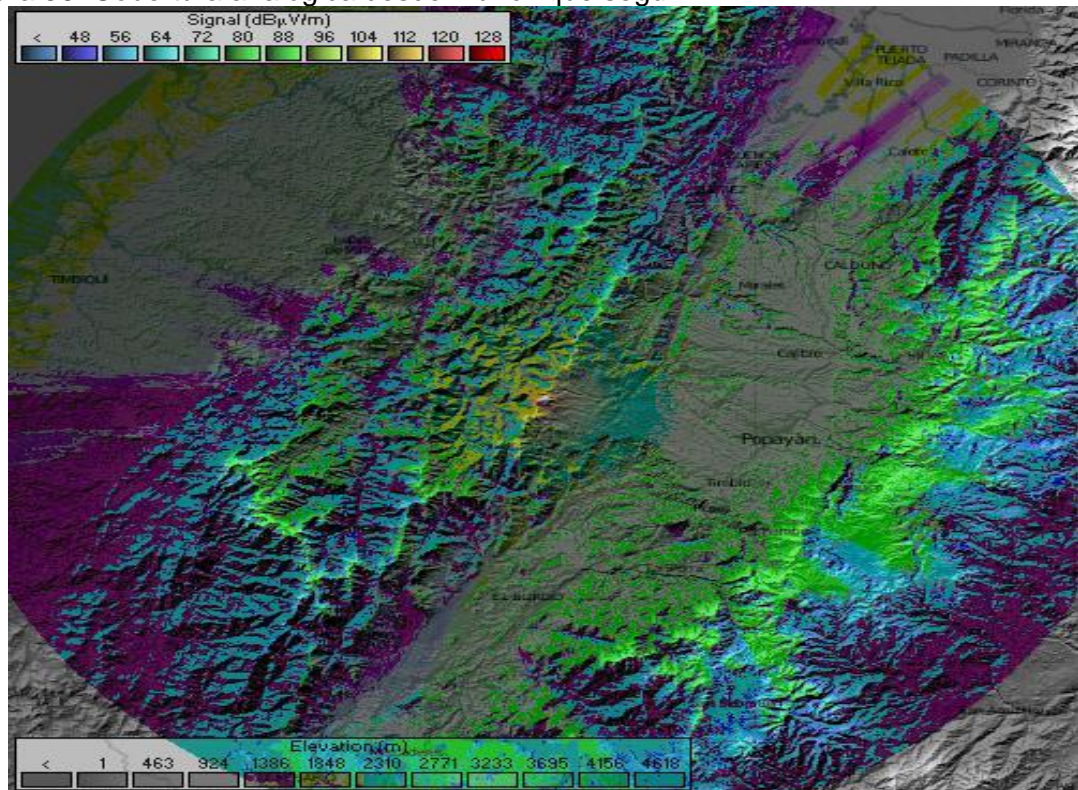


Imagen capturada de software Radio Mobile

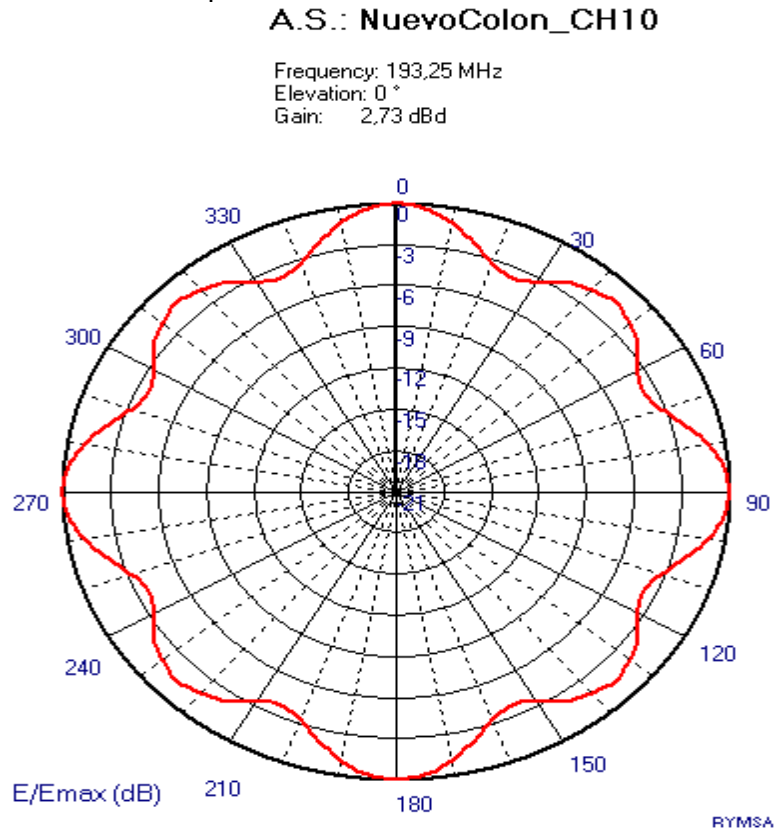
## 8.4 PRUEBAS ESTACION NUEVO COLON

La estación de Nuevo Colon está ubicada en el departamento de Boyacá, sus coordenadas son:

- Latitud: 5°21'36,9" N
- Longitud: 73°25'20,1"W

Esta estación está ubicada a una altura de 3063 metros sobre el nivel del mar, dista de Tunja 27,5 Km y de la capital a 120 Km.

Figura 37. Patrón de radiación para la estación de Nuevo Colon.



(Comisión N. d. T. 2008).

El patrón de radiación para la estación de Nuevo Colon se muestra en la figura 37.

La cobertura poblacional, obtenida a partir de las simulaciones de transmisión analógica realizadas por la CNTV es del 0.2% para las simulaciones. Luego de varias simulaciones con los estándares digitales, la CNTV presenta las

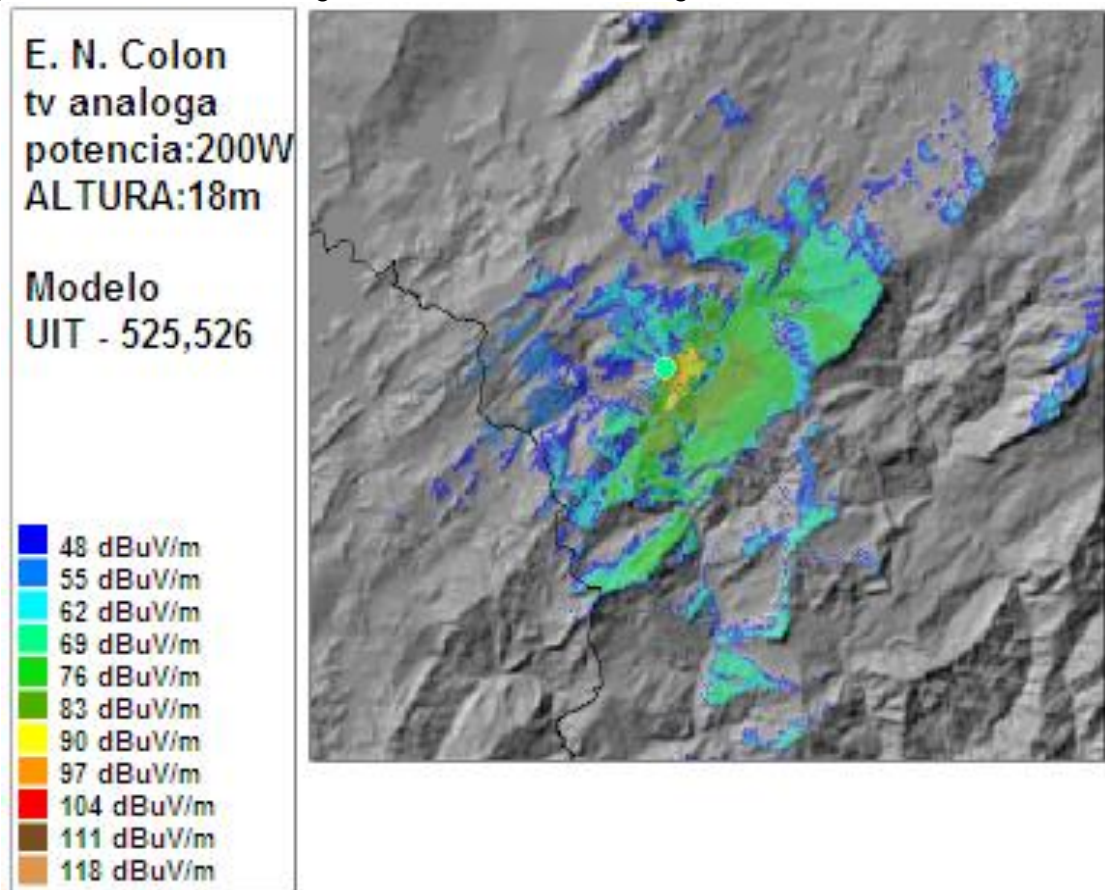
características de una estación digital de baja potencia (para Nuevo Colón) que cumple con las coberturas de transmisión analógica.

Tabla 22. Parámetros de cobertura digital para la estación de Nuevo Colón.

PARAMETRO	DESCRIPCION
NOMBRE DE LA ESTACION	Nuevo Colón
Intensidad de campo	+39dBuV/m - +42dBuV/m
Potencia	100W y 200 W
Ganancia	5,75 dB
Perdidas	2,0 dB
Altura	18 m

(Comisión N. d. T. 2008).

Figura 38. Cobertura analógica desde Nuevo Colón según ICS TELECOM.



(Comisión N. d. T. 2008).



## 9. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se exponen todos los resultados obtenidos durante la investigación, empezando por un análisis de las emisiones analógicas y su área de cobertura correspondiente para cada estación para luego hacer una comparación frente al sistema digital en funcionamiento desde las estaciones actuales como se pretende hacer en el futuro. Una vez realizados los estudios de cobertura se expone el estudio de interferencias desde un resultado gráfico obtenido por el software de simulación donde se puede observar el fenómeno tanto analógico como digital. Para finalizar el capítulo se tienen 7 pruebas realizadas en donde se pone a radiar el sistema desde diferentes coordenadas con diferentes propiedades. Cada una de las pruebas tiene una explicación del objetivo principal, los resultados esperados, los resultados obtenidos y las conclusiones que se pueden obtener del desarrollo de cada una de ellas.

### 9.1 EMISIONES DESDE LAS ESTACIONES ACTUALES

Para el estudio de las nuevas estaciones de transmisión, se trazan los radiales desde las estaciones actuales, midiendo lo niveles de intensidad de campo y la potencia de la señal, luego de tener estos datos, con las pruebas enunciadas a partir del numeral 9.2, se llega a una opción la cual mejore el área de cobertura y minimice el área de interferencia con otras antenas.

#### 9.1.1 Mediciones desde el cerro de Calatrava.

Figura 40. Puntos de medición y análisis para la estación Calatrava.

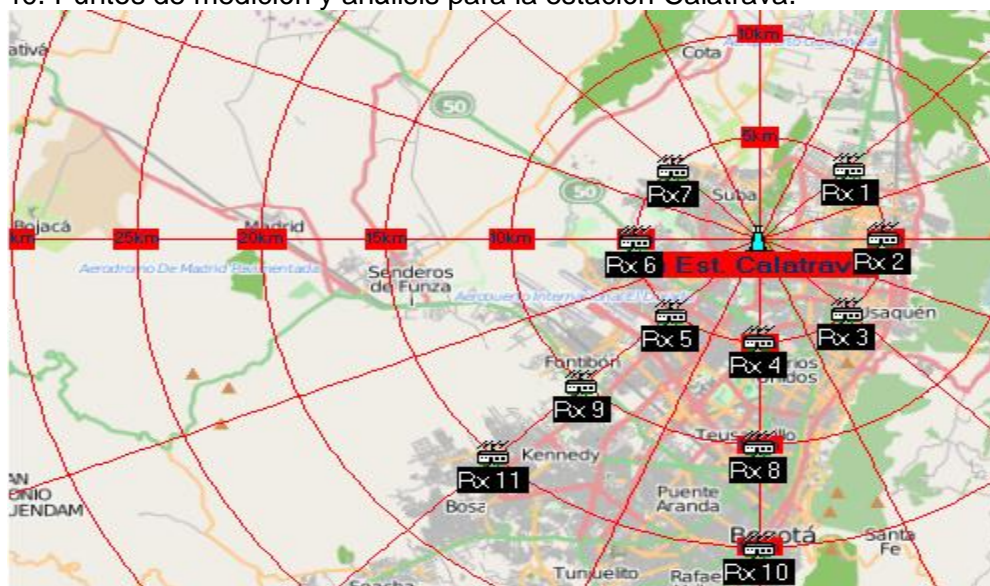


Imagen capturada de software Radio Mobile

Teniendo en cuenta que desde la estación de Calatrava se emiten los primeros canales digitales para la capital, para el estudio del funcionamiento desde las estaciones actuales de televisión con la herramienta seleccionada se realiza la medición en los puntos recomendados por la UIT, la figura 40 muestra los puntos en los cuales se debe realizar la medición.

El proceso de obtención de datos consiste en definir los parámetros de funcionamiento para la estación (el software lo denomina Systems), una vez se establecen los parámetros del sistema, se establecen los miembros de la red, bajo qué sistema funcionara y si es transmisor o receptor.

Cuando se pone a radiar el sistema, se puede hacer el análisis desde dos puntos de vista diferentes: el primero de ellos y mas cuantitativo es el sistema RADIO LINK, esta herramienta interna de RADIO MOBILE muestra numéricamente los datos resultantes del sistema de comunicación entre una estación transmisora y una receptora. La figura 41 muestra la vista de la herramienta.

Figura 41. Vista de la herramienta Radio Link.

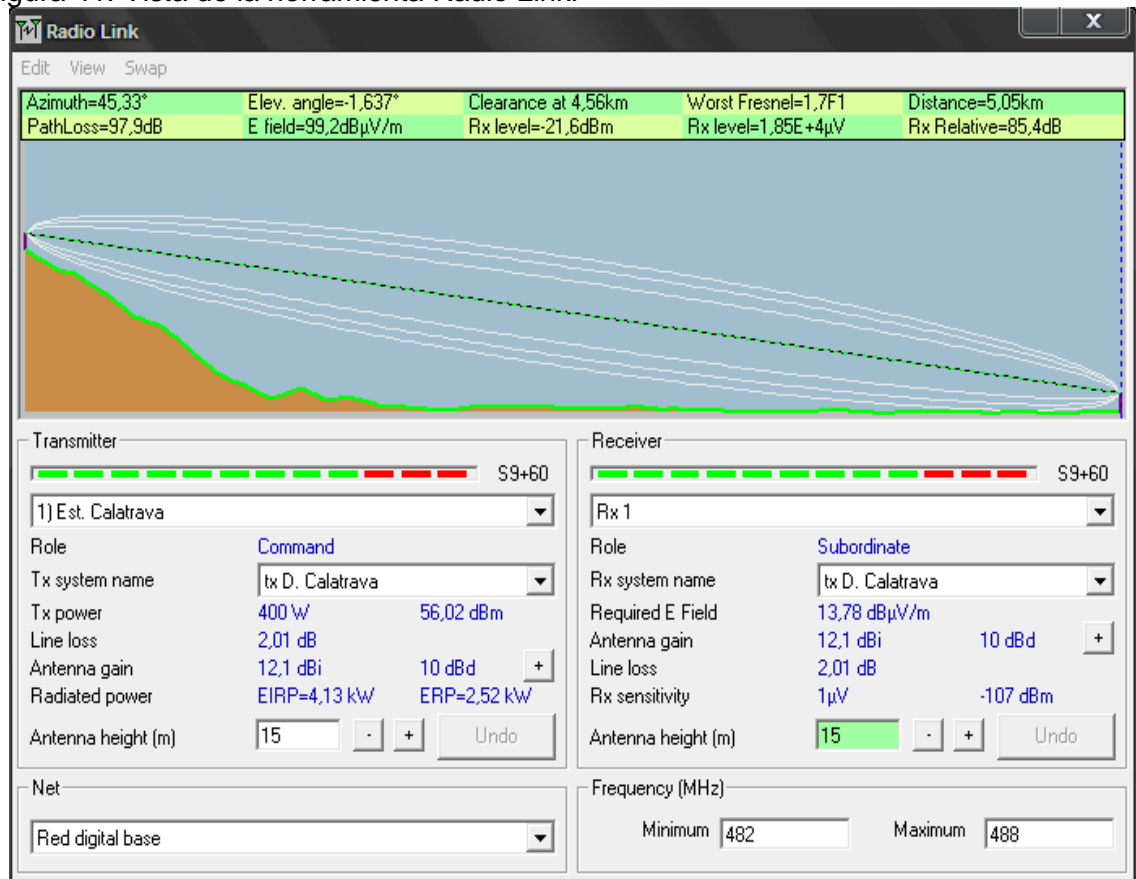


Imagen capturada de software Radio Mobile

El proceso de medición se realiza con todos los puntos pertenecientes al área de cobertura de la estación de transmisión. El resultado de las mediciones se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Mediciones para los puntos correspondientes a la estación Calatrava.

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

Una vez se obtienen de forma numérica los datos de la transmisión el cual está orientado a explicar la comunicación entre dos puntos, RADIO MOBILE ofrece la herramienta llamada POLAR RADIO COVERAGE la cual muestra gráficamente los parámetros de la comunicación en cierta área de cobertura. La vista de la herramienta se muestra en la figura 42.

POLAR RADIO COVERAGE en la parte superior permite diferenciar que estación transmisora va a analizar y que estación receptora hace parte del análisis. En la parte superior derecha en la opción RADIAL RANGE permite especificar que radio de análisis tendrá la simulación, para efectos del desarrollo de la investigación se define un radio de 100 Km ya que supera la distancia a la cual una antena de televisión cubre el territorio con la señal. En la opción AZIMUTH RANGE se puede especificar cada cuantos grados va a hacer el análisis la simulación, para efectos del desarrollo se define hacer el análisis cada 0,1°. En la opción PLOT, se especifica de qué forma se quiere obtener gráficamente el resultado, si se quiere observar la cobertura en un solo valor, si se quiere obtener una línea de contorno hasta donde llega la señal, si se desea hacer un análisis de cobertura en un sistema de degradación de color desde un nivel mínimo hasta un nivel máximo y finalmente se puede elegir la opción de que la grafica sea de forma transparente

permitiendo ver el color del nivel de cobertura y el mapa de fondo o si se quiere solo observar el área de cobertura sobreponiéndose al mapa base.

Una vez se conoce la herramienta, se analizan los sistemas de comunicación de las diferentes redes. Para el análisis de las pruebas en los capítulos 9.2.1 al 9.2.7, se realizará el análisis desde los dos puntos de medición mencionados.

Figura 42. Vista de la herramienta POLAR RADIO COVERAGE en RM.



Imagen capturada de software Radio Mobile

Ya que la herramienta POLAR RADIO COVERAGE en la opción THRESHOLD ofrece varios tipos de mediciones, solo se tendrán en cuenta las mediciones de intensidad de campo medida en dBuV/m y las de potencia de señal medidas en dBm ya que como se muestra en la figura del escenario base son los parámetros de medición que la CNTV tiene en cuenta para las mediciones.

Figura 43. Cobertura en intensidad de campo desde la estación de Calatrava.

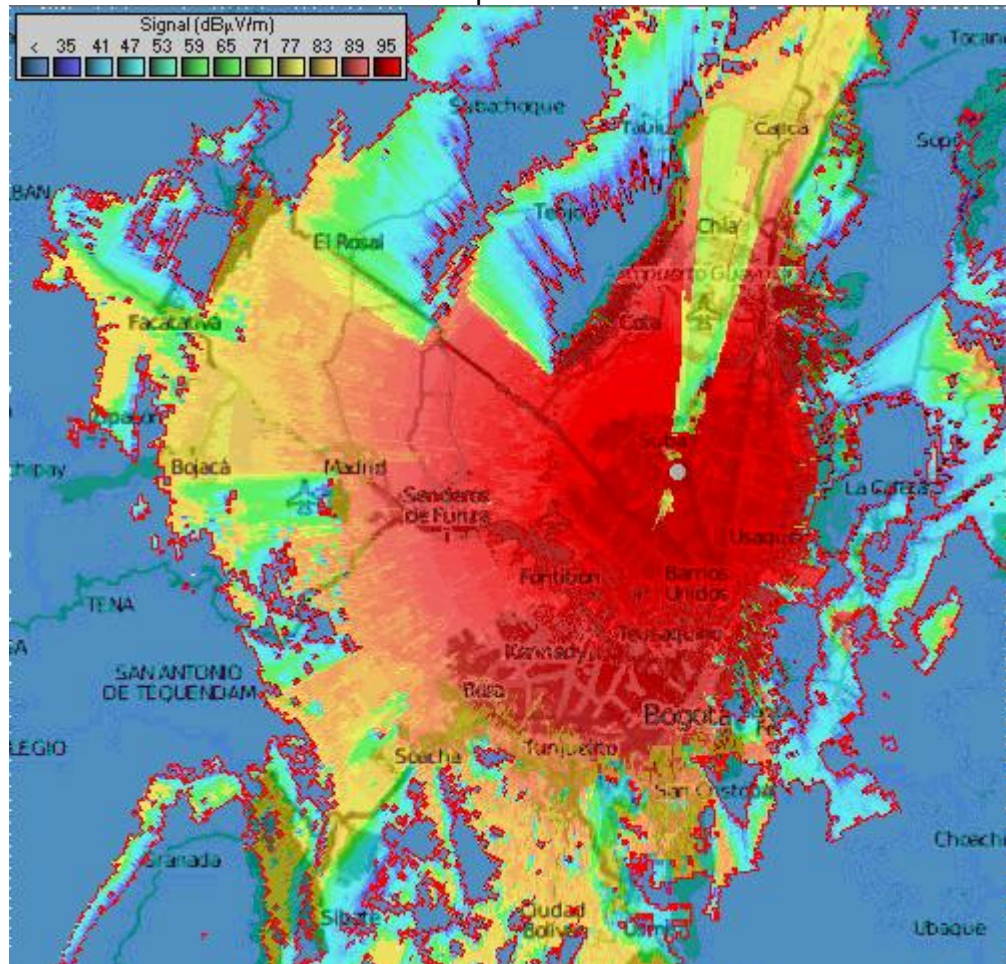


Imagen capturada de software Radio Mobile

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

El resultado de la simulación para la red de TDT desde la estación de calatrava se muestra en las figuras 43 y 44.

Figura 44. Cobertura en potencia de la señal desde la estación de Calatrava.

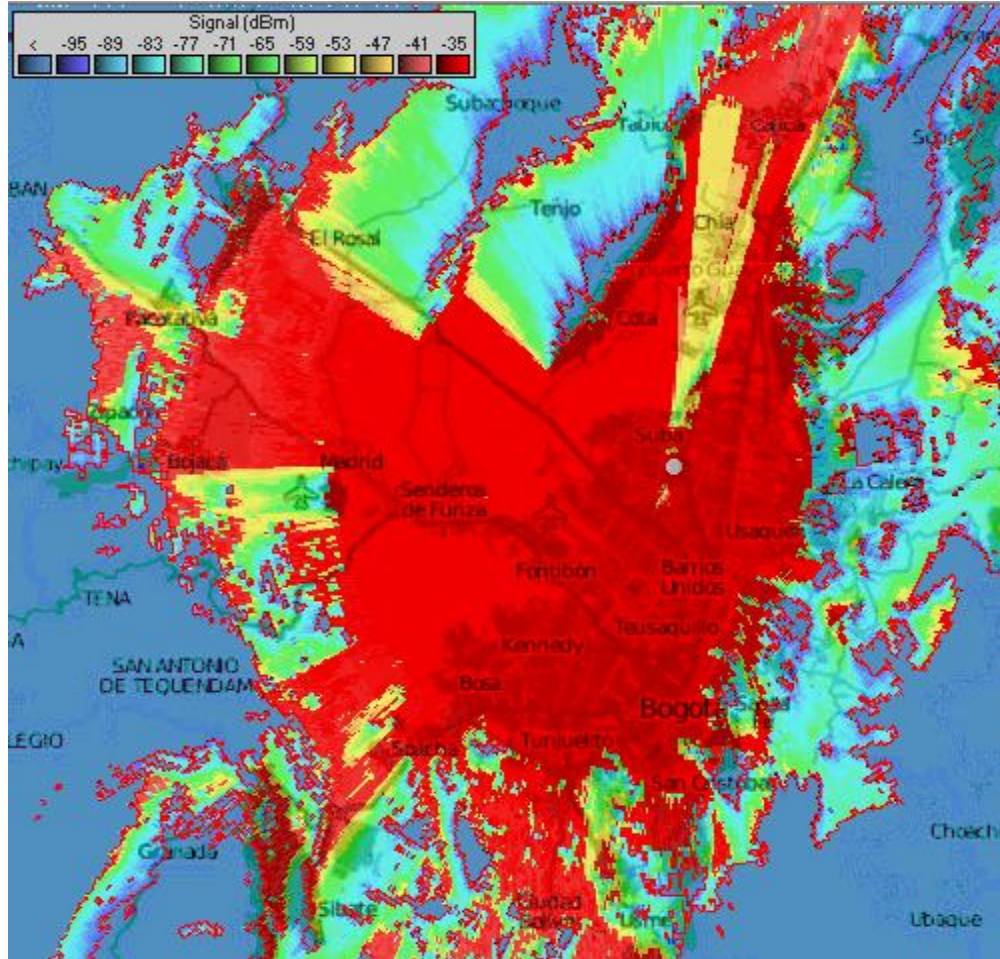


Imagen capturada de software Radio Mobile

### 9.1.2 Mediciones desde el cerro de Manjuí

Para el cerro de Manjuí, se toma en cuenta los radiales trazados por el software para realizar la medición punto a punto. Se debe tener en cuenta que la estación de Manjuí tiene cobertura para el centro de la ciudad por lo tanto los puntos se ubican en esta parte de la capital.

Para esta prueba se realizan los dos mismos procesos de medición realizados para la estación de Calatrava.

Los datos de las mediciones punto a punto se muestran en la tabla mientras que la cobertura en intensidad de potencia y en potencia de la señal se muestra en las figuras 58 en el anexo 2.

Figura 45. Puntos de medición para la estación de Manjuí.

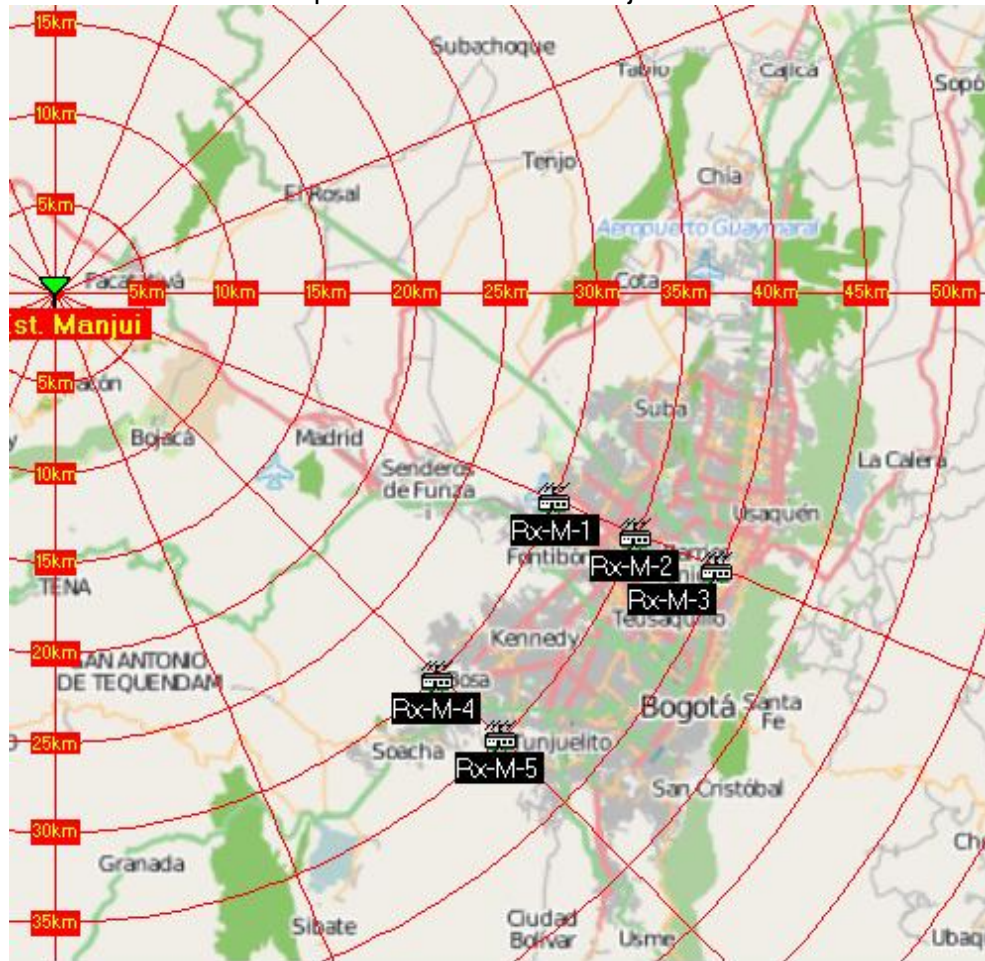


Imagen capturada de software Radio Mobile

Como la distancia entre la estación de Manjuí y los receptores ubicados en el centro de la capital supera las distancias de 5Km, 10 Km y 20Km, se optó por hacer las mediciones en distancias de 30Km, 35Km y 40 Km

Tabla 25. Mediciones para los puntos correspondientes a la estación Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (dBm)	DISTANCIA Km
1	62,2	-56,7	30
4	72,2	-46,8	30
<b>PROMEDIO</b>	<b>67,2</b>	<b>-51,75</b>	<b>30</b>
2	70,2	-48,7	35
5	93,3	25,6	35
<b>PROMEDIO</b>	<b>81,75</b>	<b>-11,55</b>	<b>35</b>
3	100,6	-18,3	40

### 9.1.3 Mediciones desde Boquerón de Chipaque

Figura 46. Puntos de medición para la estación de B. d. Chipaque.



Imagen capturada de software Radio Mobile

Para la estación de Boquerón de Chipaque, se tienen los puntos de medición mostrados en la figura 46, esta figura muestra los radiales sugeridos por el software para hacer la medición en el estándar analógico. El objetivo de la red mostrada en la figura 31 es el de indicar los niveles de potencia y recepción de la señal tal y como lo muestra la figura 32 donde se hace la simulación con los datos de funcionamiento desde la estación de Boquerón de Chipaque.

Cabe resaltar que las especificaciones de las antenas ubicadas en la estación del Boquerón de Chipaque están mencionadas en el numeral 7.3.3.1, donde especifica los niveles de potencia y las alturas de las antenas que están entre 18m y 28m para el sistema analógico. Las simulaciones de cobertura mostradas en la figura 32 están en base a las características de operación del Canal Institucional.

Los resultados de las mediciones para la estación de boquerón de Chipaque se muestran en la tabla 26 y las figuras 58 de potencia de señal y x de intensidad de campo se encuentran en el anexo 2.

Tabla 26. Mediciones para los puntos correspondientes a la estación Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (dBm)	DISTANCIA Km
6	95,6	-41,5	5
5	96,5	43,7	5
4	97,8	42,6	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>96,6333333</b>	<b>-42,6</b>	<b>5</b>
1	64,23	-76,1	10
2	89,7	-50,7	10
3(X)	25,6	114,8	10
<b>PROMEDIO</b>	<b>59,8433333</b>	<b>-80,5333333</b>	<b>10</b>

### 9.1.4 Análisis de interferencias

Figura 47. Interferencia analógica desde las estaciones actuales.

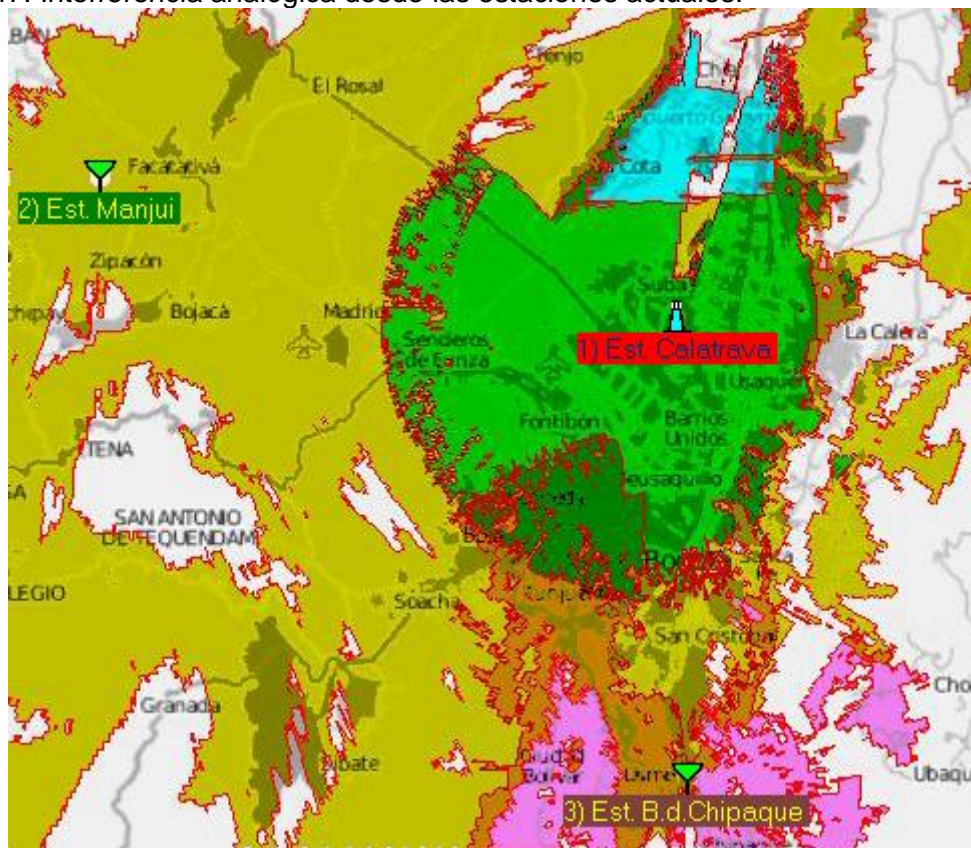


Imagen capturada de software Radio Mobile

Para el análisis de interferencias se tomarán los dos puntos de transmisión, el analógico y el digital. Para hacer el análisis se hace uso de las simulaciones mostradas en los numerales 9.1.1, 9.1.2, 9.1.3, y para el análisis de la cobertura

analógica se realizan las mismas simulaciones pero se varían los parámetros de funcionalidad en el sistema de la red.

Estos análisis se pueden realizar sobrescribiendo las gráficas de intensidad de campo para cada estación teniendo como resultado las figuras 47 y 48.

La figura 47 permite observar que la cobertura en intensidad de campo correspondiente a la estación de Calatrava se visualiza en color azul claro, la de Manjuí en amarillo y la de Boquerón de Chipaque en rosado. Las interferencias corresponden al color verde claro para la interferencia entre Calatrava y Manjuí, la café entre Manjuí y Boquerón de Chipaque, la naranja entre Calatrava y Boquerón de Chipaque y la verde oscuro es la cobertura que comparten las tres estaciones.

El comportamiento digital se expone en la figura 48, donde las interferencias se explican de la misma forma que el sistema analógico.

Figura 48. Posible interferencia digital desde las estaciones actuales.

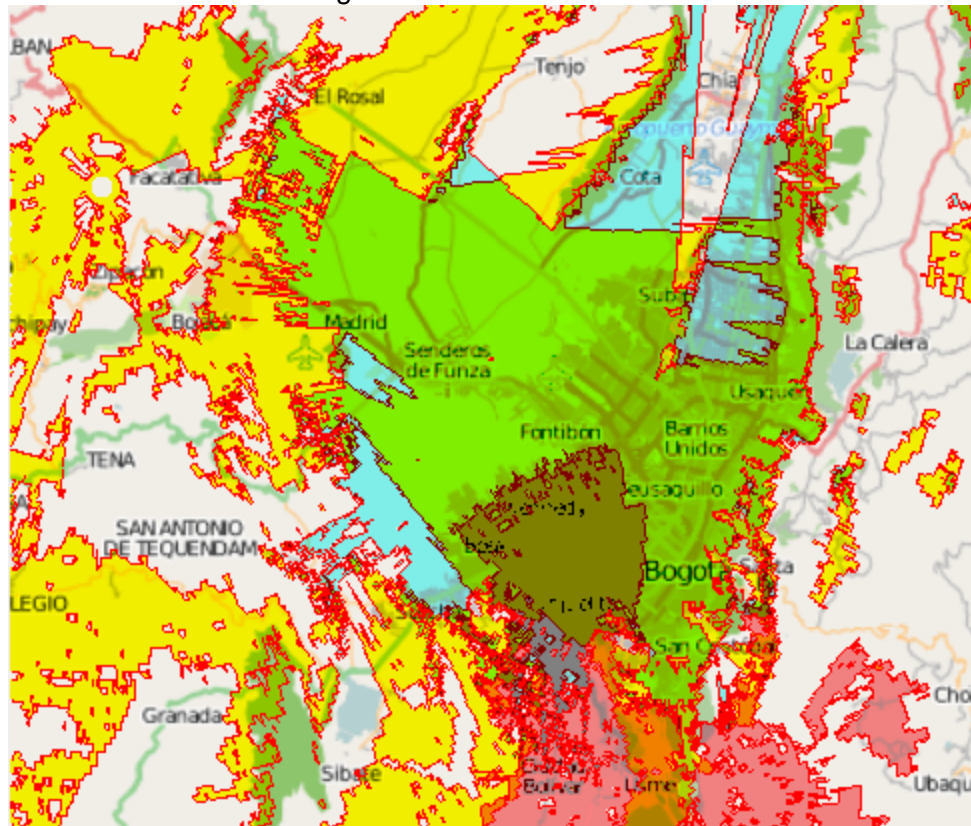


Imagen capturada de software Radio Mobile

## 9.2 EMISIONES DESDE LAS ESTACIONES SUGERIDAS

Para las tres primeras pruebas se pretenderá hacer el cubrimiento total del territorio de la ciudad de Bogotá por medio de una sola estación de transmisión digital. Para esto se pondrá a radiar la señal ubicando en sitios estratégicos acordes al estudio de altimetría mostrado en el capítulo 7.1.3.

### 9.2.1 Prueba 1. Un transmisor central

#### 9.2.1.1 Objetivo de la prueba

Cubrir en la totalidad la capital con la señal de TDT radiando desde la ubicación sugerida en el capítulo 7.1.3.1.

#### 9.2.1.2 Resultados esperados

Los resultados esperados con la primera prueba son una cobertura total del territorio en estudio con los niveles de intensidad mínimos para la recepción de la señal. Con el uso de una sola estación se minimizaría el coste de la implementación de la nueva tecnología y gastos de potencia al eliminar dos estaciones actuales.

#### 9.2.1.3 Resultados obtenidos

Figura 49. Intensidad de campo para un Tx en el centro de Bogotá.

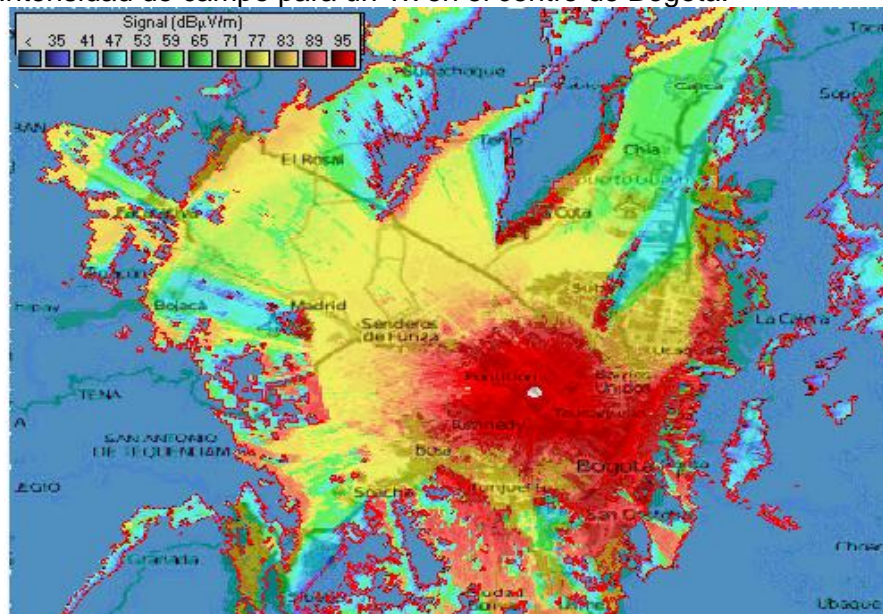


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 50. Cobertura en potencia de señal para un Tx en el centro de Bogotá.

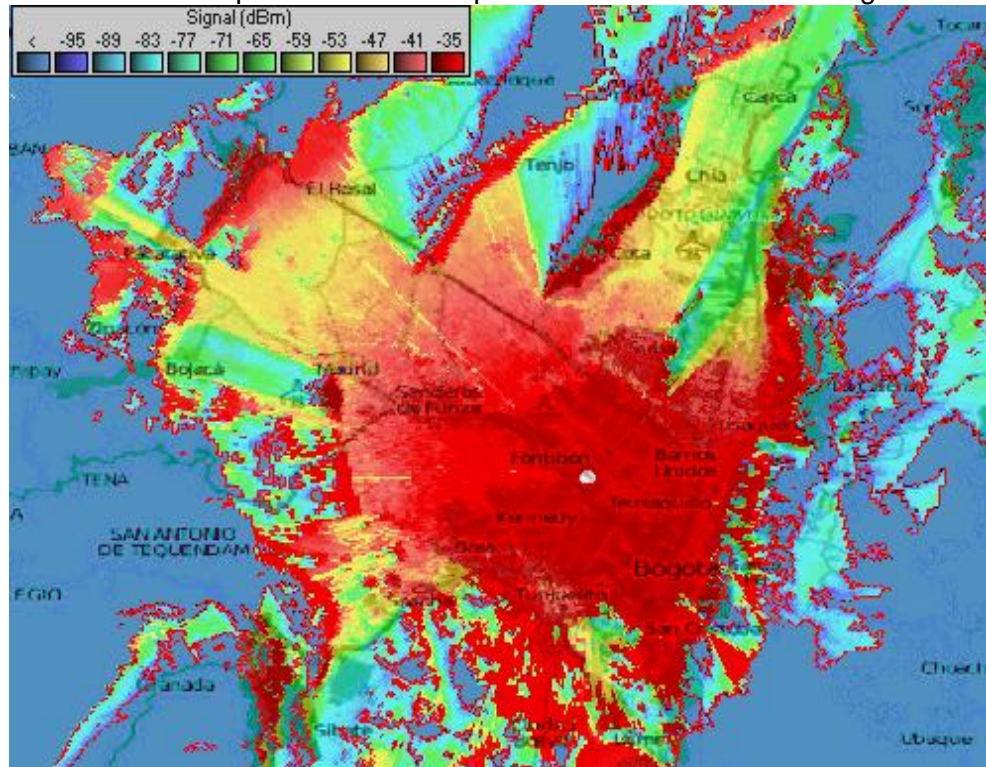
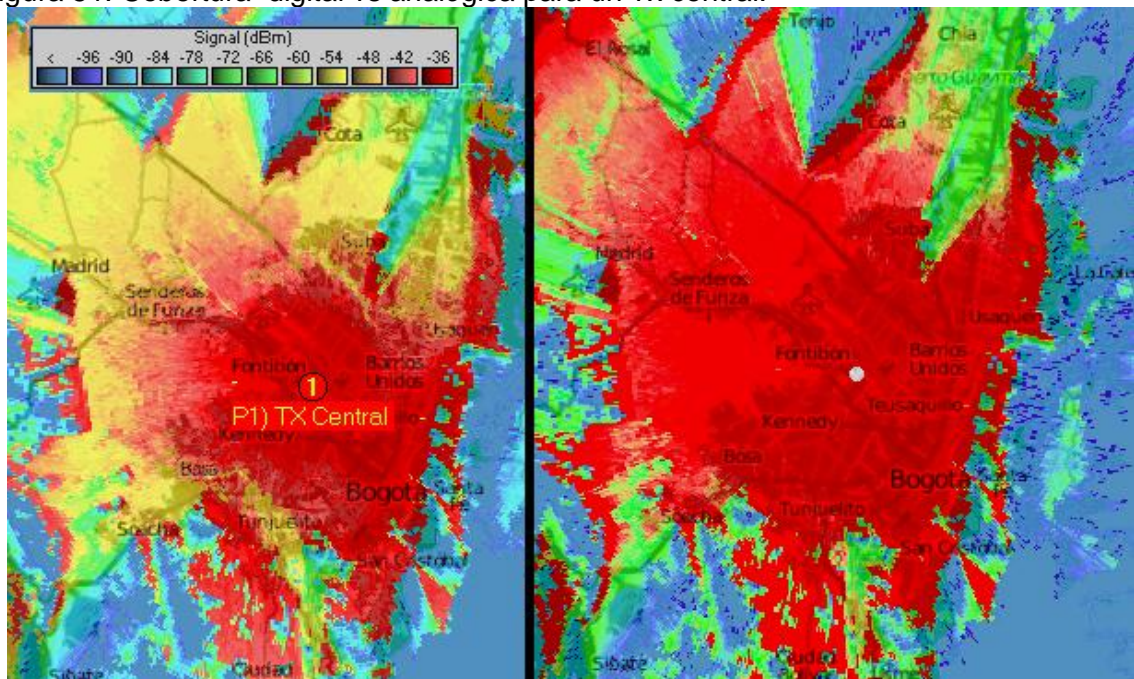


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 51. Cobertura digital vs analógica para un Tx central.



a. Cobertura digital.

b. Cobertura analógica.

Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 52. Diagrama de polarización omnidireccional.

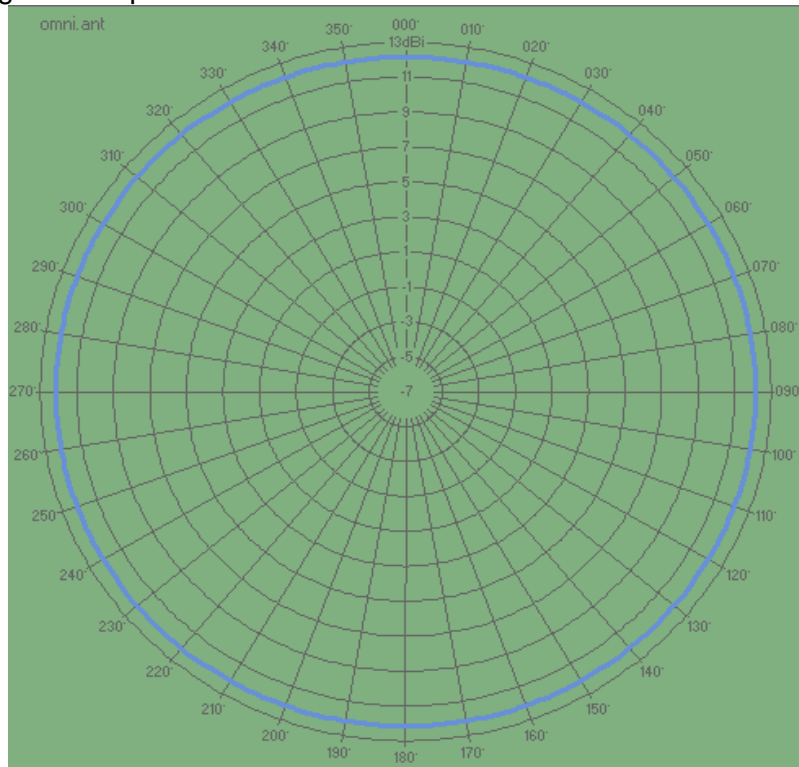


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 53. Patrón de radiación de una antena Cardio.

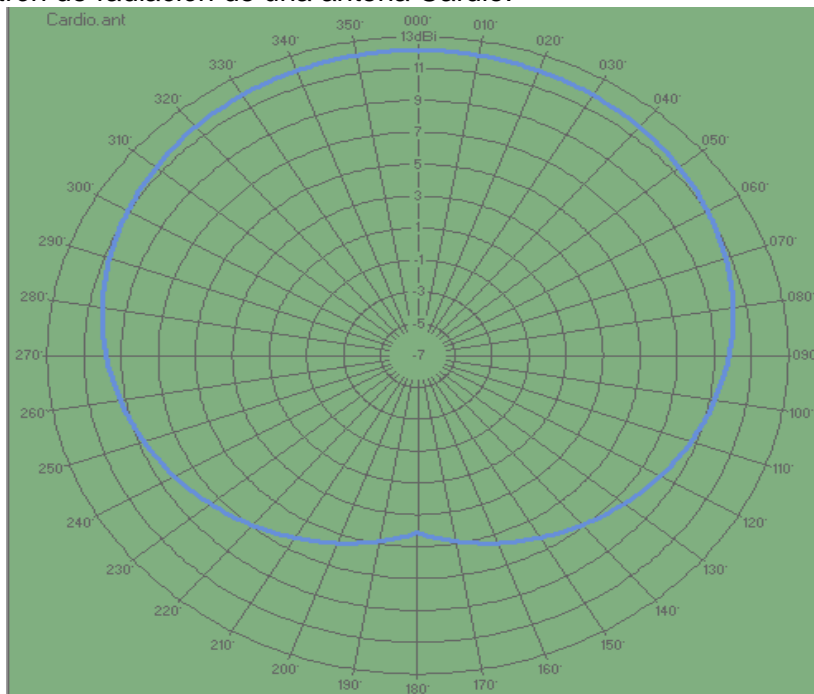


Imagen capturada de software Radio Mobile

Para la primera prueba, se ubico un único transmisor en el centro de la capital como lo muestra la figura 50. La ubicación de la estación funcionando con los parámetros expuestos para una estación de potencia media digital se muestra en el capítulo 8.3.

En la figura 50 se observa que el área de cobertura con una estación central está en los términos de potencia adecuados para la señal, además se observa que en la zona norte y zona sur se presentan pérdidas considerables desde -36dB hasta -90dB y -66dB. La figura 49 muestra la intensidad de campo para el transmisor central, explicando la intensidad de la señal para los receptores ubicados en la capital.

La relación en potencia del sistema análogo frente al digital se expone en la figura 51 donde en la parte izquierda se observa la estación trabajando con los parámetros digitales y en la derecha con los analógicos.

Figura 54. Cobertura en intensidad de campo con una antena Cardio.

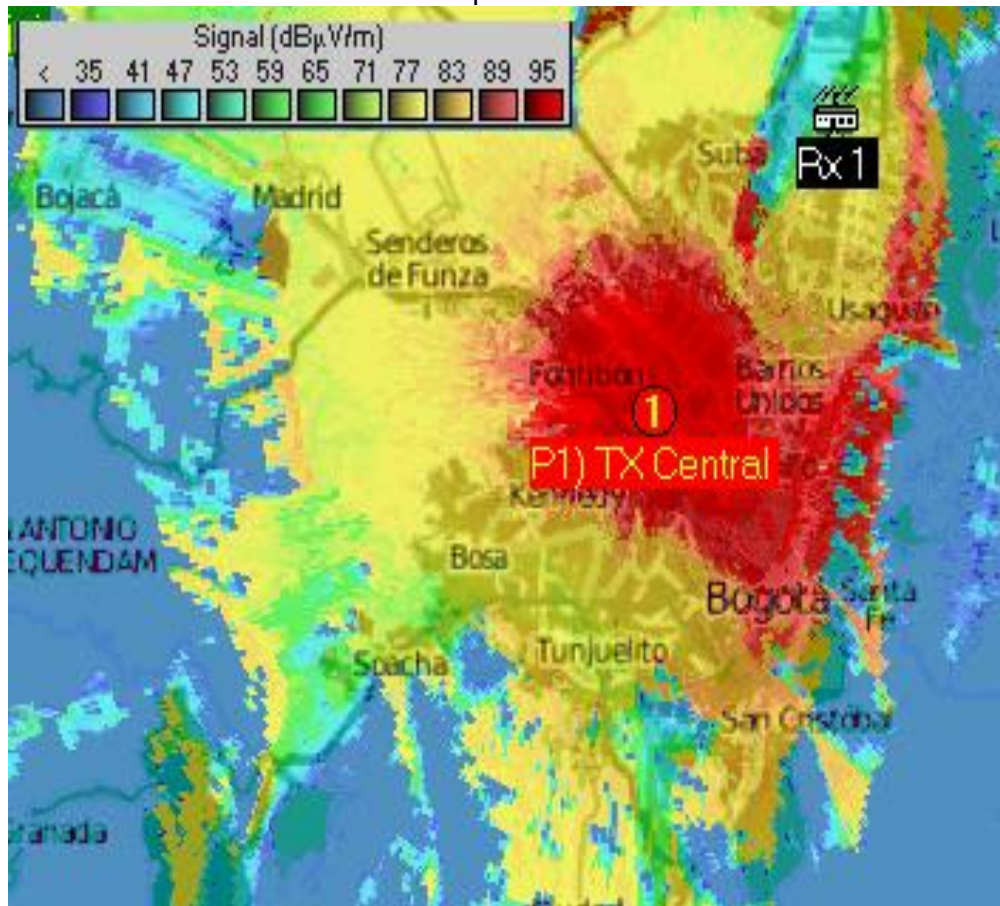


Imagen capturada de software Radio Mobile

Hasta el momento los parámetros de polarización de todas las antenas en las simulaciones anteriormente mostradas han sido de polarización horizontal con un tipo de antena omnidireccional, por lo tanto se optó por modificar el tipo de antena para cada simulación para analizar el comportamiento en el área de cobertura.

Una vez analizado el sistema en condiciones digitales vs analógicas se pasa a una segunda opción, esta expone el trabajar el sistema con un tipo de antena diferente llamado Cardio. El patrón de radiación se muestra en la figura 54.

Para analizar el funcionamiento del sistema se pone a trabajar la antena Cardio apuntando hacia un receptor en el norte de la capital. Los resultados se muestran en la figura 54.

Tabla 27. Mediciones de la prueba 1 para los receptores de Calatrava.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	70,4	-50,4	14,1
2	82,2	-36,6	12,6
3	85,6	-35,2	9,3
4	92,4	-28,3	5,6
5	98,3	-22,5	4,4
6	88,8	-32	7,8
7	83,2	-37,6	11,3
8	95,6	-25,2	5,3
9	104,2	-16,6	2,4
10	93,2	-27,6	8,7
11	94,9	-25,9	6,5
<b>PROMEDIO</b>	<b>89,89</b>	<b>-30,71</b>	<b>8</b>

Tabla 28. Mediciones de la prueba 1 para los receptores de Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	96,4	-22,5	5,2
2	95,1	-23,8	3,7
3	86	-32,9	6,9
4	73	-45,9	10,3
5	93,5	-25,4	9,9
<b>PROMEDIO</b>	<b>88,8</b>	<b>-30,1</b>	<b>7,2</b>

Una vez se tiene el resultado grafico se hacen las mediciones numéricas con la herramienta RADIO LINK. El resultado de las mediciones para los mismos puntos desde las estaciones de Calatrava, Manjuí y Boquerón de Chipaque se muestra en las tablas 27, 28 y 29. El mismo procedimiento se realizará para todas las pruebas, pues se deben comparar los resultados frente a los datos medidos desde las estaciones de televisión.

En los resultados obtenidos de cada prueba se hace la medición punto a punto con los receptores de las estaciones actuales, en el capítulo 9.3 se hace un análisis de los resultados obtenidos con las pruebas frente a los obtenidos con las simulaciones para Calatrava, Manjuí y Boquerón de Chipaque.

Tabla 29. Mediciones de la prueba 1 para los receptores de Boq.d.Chip.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	89,6	-32,3	13,1
2	61,3	-60,8	10,8
3	93,1	-33,9	11,4
4	88,5	-34,5	15,8
5	53	-68,8	16,5
6	86	-35,1	19,9
<b>PROMEDIO</b>	<b>78,58</b>	<b>-44,23</b>	<b>14,58</b>

#### 9.2.1.4 Conclusiones de la prueba

En la figura 59 se observa que el área central tiene la misma potencia pero es mayor su área de cubrimiento creando problemas de interferencia con otras estaciones, por esta razón se puede concluir la disminución en potencia para el sistema digital.

Haciendo una comparación entre la 59 inferior y la figura 60, se observa que el área de cobertura está orientada hacia el lado que apunta la antena, esto permitiría excluir una zona de interferencia en el centro de la capital cuando dos o más estaciones funcionen. Para el caso que una sola antena este trabajando para una cobertura total, se pierde gran cantidad de cobertura, haciendo que el cambiar de tipo de antena para los análisis en las pruebas 9.2.2, y 9.2.3, no sea una buena alternativa.

Además como se expuso en el capítulo 4.3.9.1, la estación quedaría ubicada dentro de zona poblacional exponiendo a las personas a campos

electromagnéticos, por lo que la cobertura desde la estación central no sería la mejor opción.

Para el desarrollo de las pruebas 2 a 7, las figuras de intensidad de campo y potencia de señal se adjuntaron en el anexo 2.

## 9.2.2 Prueba 2. Un transmisor en los cerros orientales

### 9.2.2.1 Objetivo de la prueba

Lograr una cobertura en señal de la capital, sin arriesgar que los campos electromagnéticos afecten la salud de la población. Para esto se ubica una estación transmisora en los cerros orientales.

### 9.2.2.2 Resultados esperados

Con la prueba se espera tener mayor cobertura que la prueba uno ya que el transmisor se ubicará en una zona de mayor altitud.

### 9.2.2.3 Resultados obtenidos

Para la segunda prueba, se traslado el transmisor de la prueba uno como se observa en la figura 59 donde el transmisor se ubica en el punto gris en una zona alta, desde esta nueva locación se puso a radiar la señal digital, teniendo como resultados la figura 72.

Tabla 30. Mediciones de la prueba 2 para los receptores de Calatrava.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	85,9	-34,9	20,1
2	87,7	-33	16,8
3	59,2	-61,6	13,1
4	92,3	-28,5	12
5	80,4	-30,4	14,5
6	88,3	-32,5	18,4
7	86	-34,7	21
8	94,7	-26,1	7,2
9	89,1	-31,7	13,9
10	101	-19,7	3,4
11	88,4	-32,3	14,5
<b>PROMEDIO</b>	<b>86,63</b>	<b>-33,21</b>	<b>14,08</b>

En la figura 72 en la parte superior se muestra el área de cobertura medida en dBm para el nivel de potencia de la señal y en la parte inferior se observa la señal medida en intensidad de campo en dBuV/m, donde especifica la potencia que recibe cada antena de hogar ubicada en un área de cobertura de la estación.

Tabla 31. Mediciones de la prueba 2 para los receptores de Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	88,3	-33,6	16,8
2	91,8	-27,1	12,8
3	92,1	-26,8	9,7
4	89,1	-29,8	16,8
5	91,2	-27,8	12,9
<b>PROMEDIO</b>	<b>90,5</b>	<b>-29,02</b>	<b>13,8</b>

Tabla 32. Mediciones de la prueba 2 para los receptores de Boq.d.Chip.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	91,9	-43,2	10,4
2	95,6	-36,8	6,52
3	88	-48,9	2,59
4	94	-26,8	7,85
5	45	-86,6	9,72
6	80,5	-48,9	13,45
<b>PROMEDIO</b>	<b>82,5</b>	<b>-48,53</b>	<b>8,42</b>

#### 9.2.2.4 Conclusiones de la prueba

La figura 41 permite ver que la transmisión de potencia a pesar que es buena respecto a la cobertura de la capital, tiene pérdidas en la zona norte en la localidad de Usaquén, presentándose este mismo problema en el sur en la localidad de Usme donde los niveles de intensidad de potencia están cerca de los 47 dBm frente a los 52 dBm que es la intensidad mínima de la señal dentro de las especificaciones de la CNTV.

Para esta prueba no se analiza el sistema con un tipo de antena diferente ya que en la prueba 1 se demostró que no es viable el utilizar un tipo diferente al omnidireccional.

### 9.2.3 Prueba 3. Un transmisor fuera de la ciudad

#### 9.2.3.1 Objetivo de la prueba

Lograr la cobertura de la ciudad con un solo transmisor ubicado en una zona a la misma altura de la capital.

#### 9.2.3.2 Resultados esperados

Con la última prueba realizada con un transmisor que cubra toda la ciudad haciendo el mismo trabajo de las tres instaladas en la actualidad, se espera tener la misma cobertura analógica que tiene el sistema de televisión en la actualidad. El transmisor se ubica en la zona nororiental que esta deshabitada para que no afecte la salud de las personas. Los parámetros de funcionalidad son los mismos de las dos anteriores pruebas.

#### 9.2.3.3 Resultados obtenidos

Tabla 33. Mediciones de la prueba 3 para los receptores de Calatrava.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	49,7	-71,1	18,8
2	67,8	-52,9	18,62
3	76,6	-43,1	16,32
4	80,8	-40	12,67
5	87,4	-33,4	9,38
6	84,6	-36,2	9,7
7	80,1	-40,6	13,15
8	83	-37,8	13,26
9	93,5	-27,3	5,58
10	86,6	-34,2	15,53
11	98,1	-22,7	4,94
<b>PROMEDIO</b>	<b>80,74</b>	<b>-39,93</b>	<b>12,541</b>

Para la simulación se ubicó un único transmisor en las afueras de Bogotá por la salida de fontibon en zona no poblada. En la figura 42 se observa la locación de la estación en el punto gris además de permitírnos observar en la parte superior la cobertura en dBi que está relacionada a la potencia de la señal de salida y en la parte inferior se observa la intensidad de campo radiada por el nuevo posible sistema.

Tabla 34. Mediciones de la prueba 3 para los receptores de Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	91,9	-28,9	6,44
2	82,1	-36,8	10,25
3	69,7	-49,3	14,75
4	87,1	-31,8	6,97
5	93,1	-25,8	10,61
<b>PROMEDIO</b>	<b>84,78</b>	<b>-34,52</b>	<b>9,804</b>

Con el uso de un solo transmisor se podría dejar fuera de uso dos de las estaciones que en la actualidad funcionan, para el análisis con un solo transmisor no se modifican el patrón de radiación como se hace en la prueba uno ya que no presenta buenos resultados.

Tabla 35. Mediciones de la prueba 3 para los receptores de Boq.d.Chip.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	70,6	-54,4	16,1
2	89,4	-41,7	15,61
3	89	-50	17,78
4	85,8	-34,9	20,63
5	87,9	-38,9	20,69
6	59,4	-65,1	23,27
<b>PROMEDIO</b>	<b>80,35</b>	<b>-47,5</b>	<b>19,01</b>

#### 9.2.3.4 Conclusiones de la prueba

Como resultado de la prueba 3 y en general para las pruebas 1, 2 y 3 se puede concluir que el uso de una sola estación de radiación no puede llegar a tener cobertura en todo el territorio de la capital, ya que es una zona bastante amplia y tiene deformaciones geográficas tanto en el norte como en el sur.

Más específicamente de la prueba 3 se puede observar en la figura 42 que ubicando un transmisor en zona no poblada en el occidente de la capital, la potencia de la señal no alcanza a tener cobertura en la zona norte en Usaquén, ni en la zona sur en Ciudad Bolívar y para la recepción óptima, los niveles mínimos de servicio llegan hasta Fontibon, Kennedy, Bosa y parte de Engativá, disminuyendo la calidad de servicio en las otras localidades

## 9.2.4 Prueba 4. Dos transmisores centrales

### 9.2.4.1 Objetivo de la prueba

Cubrir la capital con la señal de televisión en los niveles establecidos como niveles mínimos de servicio, eliminando una estación de transmisión.

### 9.2.4.2 Resultados esperados

Con la prueba se espera tener una mejor cobertura que la obtenida en las pruebas que solo trabajaba un transmisor, para esto se pone a trabajar el sistema desde la ubicación actual de estación en Calatrava, la estación de Manjuí se pone fuera de servicio y la estación de Boquerón de Chipaque se traslada a una zona que tenga mayor línea de vista con la ciudad. Se espera que el área de interferencia sea menor que trabajando con el sistema actual.

### 9.2.4.3 Resultados obtenidos

Primero en la figura 43 se observa la cobertura con parámetros digitales desde la locación de Calatrava. La figura 43 en la parte superior muestra los niveles en potencia de la señal en la parte superior y en la parte inferior en intensidad de campo.

Para el análisis del transmisor del sur, la figura 44 muestra la cobertura en los mismos parámetros que la estación ubicada en el norte.

Tabla 36. Mediciones de la prueba 4 para los receptores de Calatrava.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (dBm)	DISTANCIA Km
1	99,6	-21,2	5
2	99,3	-21,5	5
3	99,5	-21,3	5
4	99,8	-21,5	5
5	99,7	-21,5	5
6	98	-22,8	5
7	98,2	-22,6	5
8	91,9	-28,9	10
9	94,1	-26,7	10
10	90,3	-30,5	15
11	89,5	-31,3	15
<b>PROMEDIO</b>	<b>96,35</b>	<b>-24,52</b>	<b>7,72</b>

Como se observa en las figuras 43 y 44, la cobertura varía frente a la cobertura analógica. El análisis de interferencias se presenta en la figura 45 donde la cobertura amarilla muestra la cobertura en niveles de recepción de la señal para la estación ubicada en el cerro de Calatrava, la área azul claro muestra la cobertura desde la estación ubicada en los altos de la localidad de Ciudad Bolívar y la zona verde muestra la posible interferencia de las dos señales donde los niveles de potencia son los mismos.

Tabla 37. Mediciones de la prueba 4 para los receptores de Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	94,4	-26,4	7,52
2	97,1	-21,8	5,53
3	96,3	-22,6	7,19
4	96,6	-32,4	18,61
5	87,9	-31	19
<b>PROMEDIO</b>	<b>94,46</b>	<b>-26,84</b>	<b>11,57</b>

Tabla 38. Mediciones de la prueba 4 para los receptores de Boq.d.Chip.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	87,3	-36,3	21,8
2	77,9	-44,4	18,7
3	69,4	-51,7	17,8
4	85,2	-35,6	23,22
5	39	-32,8	24,5
6	83,2	-38,9	28,1
<b>PROMEDIO</b>	<b>73,66</b>	<b>-39,95</b>	<b>22,35</b>

#### 9.2.4.4 Conclusiones de la prueba

Esta prueba fundamentalmente permite el análisis de una estación ubicada en los altos de la localidad de Ciudad Bolívar. Desde el momento que se puso a radiar la señal se evaluaron varios escenarios donde pudiera ser más viable la radiación de la señal teniendo como resultado problemas en la cobertura cercana ya que esta localidad es bastante montañosa y de una forma u otra siempre presentaría problemas en los dos lados de la ubicación ya sea mejorando la calidad en la localidad de Usme y disminuyéndola en Soacha o el caso contrario

El resultado más importante de la prueba es que el localizar una estación dentro de los cerros de Ciudad Bolívar no es una solución de optimización ya que esta no

cubriría completamente el sur de la capital, teniendo como respuesta inmediata el posible problema que se presentaría con solo manejar un sistema de antenas para el cubrimiento sur de la capital.

## **9.2.5 Prueba 5. Dos transmisores en los cerros orientales**

### **9.2.5.1 Objetivo de la prueba**

Hacer una mejor cobertura de la señal de televisión haciendo la difusión desde locaciones altas haciendo uso de dos transmisores.

### **9.2.5.2 Resultados esperados**

Con esta segunda prueba que elimina la estación de Manjuí se espera tener una mejor cobertura de la señal ya que los transmisores se ubican en una zona alta y pueden tener mejor línea de vista con la capital. Para esta transmisión se analizará el escenario donde se cambie el tipo de antena por uno Cardio.

### **9.2.5.3 Resultados obtenidos**

Ubicando las estaciones en zonas altas dentro de la cordillera occidental, se dio inicio a la prueba ubicando un transmisor cerca al municipio de Chía para que tenga cobertura de la zona norte. Los resultados se muestran en la figura 46.

La figura 46 permite observar un área bastante aproximada de cobertura a la que el estudio pretende abarcar. Para continuar con la prueba se puso a radiar la señal para la zona norte desde una estación ubicada cerca al cerro de Guadalupe. Los resultados se muestran en la figura 47.

La figura 47 permite ver que la cobertura en potencia tiene problemas para la recepción en el municipio de Soacha, pero que la intensidad de campo mostrada en la figura 47 en la parte derecha es muy aproximada a la cobertura sur de acuerdo a los niveles de intensidad mínimos de la señal.

Como los resultados para la cobertura norte están aproximados sin mostrar mayor problema, a continuación se muestran variaciones en los parámetros de polarización de la antena correspondiente a la zona sur.

Primero se optó por modificar la potencia de la señal para ver cómo afecta la intensidad de campo en el municipio de Soacha ya que en la localidad de Usme tiene buena recepción, los resultados se muestran en la figura 48.

Haciendo una comparación entre la figura 48 y 47 se puede observar que en el momento que se da más potencia a la antena transmisora esta abarca la misma zona en potencia de señal pero mejora considerablemente los resultados en intensidad de campo. Desafortunadamente para efectos de interferencia esta condición no beneficiaría la difusión de la señal ya que el problema persiste en el municipio de Soacha y a la vez se abarca más territorio con la señal en los niveles de intensidad de campo.

Teniendo como base los escenarios de las figuras 47 y 48 se optó por modificar la altura de la antena trabajando con una potencia de transmisión recomendada en el capítulo 8. Los resultados se muestran en la figura 49.

Tabla 39. Mediciones de la prueba 5 para los receptores de Calatrava.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	83,9	-36,9	31,5
2	84,8	-36	29
3	86,3	-34,5	25,15
4	86,5	-34,3	22,32
5	84,9	-35,9	22,42
6	86,1	-34,7	25,67
7	84,8	-36	29,3
8	88,9	-31,9	17,76
9	88,7	-32,1	18,35
10	89,2	-31,6	13,69
11	88,5	-32,3	14,89
<b>PROMEDIO</b>	<b>86,6</b>	<b>-34,2</b>	<b>22,73</b>

Tabla 40. Mediciones de la prueba 5 para los receptores de Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	86,3	-34,4	29,4
2	87,6	-31,3	21,4
3	85,3	-33,7	21,6
4	91,8	-27,1	13,21
5	50,3	-68,6	9,15
<b>PROMEDIO</b>	<b>80,26</b>	<b>-39,02</b>	<b>18,952</b>

Como se puede observar en la figura 49 el aumentar la altura hace que la señal se pierda de su línea de vista y que la potencia se disipe en la atmosfera sin tener cobertura ideal en la superficie.

Tabla 41. Mediciones de la prueba 5 para los receptores de Boq.d.Chip.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	97,6	-42,6	5,2
2	92,8	-47,6	8,9
3	51,6	-89	12,22
4	94,2	-26,6	8,7
5	96,1	-44	6,16
6	97,6	-39,5	4,17
<b>PROMEDIO</b>	<b>88,31</b>	<b>-48,21</b>	<b>7,55</b>

Observando que el parámetro de altura no es aconsejable para mejorar la recepción, se optó finalmente por analizar el sistema con un tipo de antena Cardio. Los resultados se muestran en la figura 50.

En la figura 50 se ven los parámetros de recepción con una antena Cardio que apunte hacia la zona afectada, desde Soacha se hace una recepción desde una antena que apunta a la estación del cerro. Haciendo una comparación entre el sistema ideal y la figura 50 se observa que la zona de cobertura en donde no llegaba la señal disminuye pero aun así no se logra un cubrimiento del municipio de Soacha.

#### **9.2.5.4 Conclusiones de la prueba**

Con el desarrollo de la prueba 5 se puede analizar un sistema de transmisión haciendo análisis de la variación de potencia, altura y patrón de radiación teniendo cambios significativos al alterar estos parámetros.

También con la variación de los parámetros de funcionamiento de la antena se puede observar que el sistema de red SFN impide llegar plenamente a zonas donde otras antenas direccionadas puedan llegar teniendo como ejemplo la cobertura en el sur de la capital, donde el municipio de Soacha esta distante de la localidad de Usme por una montaña de una altura aproximada de 3300m.

#### **9.2.6 Prueba 6. Dos transmisores fuera de la ciudad**

##### **9.2.6.1 Objetivo de la prueba**

Analizar la transmisión haciendo la difusión de la señal de televisión desde estaciones ubicadas a la altura de la ciudad

### 9.2.6.2 Resultados esperados

Como las estaciones están a la altura de la ciudad, se espera que las pérdidas sean mayores por las edificaciones y condiciones geográficas. Además se espera cubrir un área aproximada a la que abarca la transmisión analógica. Se analizará la prueba haciendo uso de antenas Cardio.

### 9.2.6.3 Resultados obtenidos

La ubicación de la estación y los parámetros de funcionamiento se muestran en la figura 51

El cubrimiento con una estación al igual que la prueba 3 muestra problemas en la transmisión de los datos a lo largo de una montaña como es el caso de la transmisión para la localidad de Usaquén con la estación ubicada al nororiente de la capital.

Analizando los resultados obtenidos anteriormente se decide ubicar la estación para la zona sur en una parte baja de la capital. Los resultados se muestran en la figura 52.

### 9.2.6.4 Conclusiones de la prueba

Tabla 42. Mediciones de la prueba 6 para los receptores de Calatrava.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (dBm)	DISTANCIA Km
1	91,4	-29,3	10,5
2	97,3	-23,5	7
3	100,3	-20,4	4
4	96,1	-24,6	6,1
5	92,2	-28,6	9,9
6	89,8	-31	12,8
7	90,9	-29,8	13,8
8	95,4	-25,5	6,7
9	92	-28,8	13
10	57,7	-70,1	10
11	88,4	-33,4	16,7
<b>PROMEDIO</b>	<b>90,13</b>	<b>-31,36</b>	<b>10,04</b>

Esta prueba no permite hacer una buena cobertura, ya que como se puede observar en la figura 51, la cobertura no se puede hacer desde una zona baja

para el caso de la localidad de Usaquén, además, si se ubica un transmisor en la parte baja de la montaña de Ciudad Bolívar, esta puede tener cobertura para la localidad de Usme pero no alcanza a llegar el nivel mínimo de la señal a la parte alta de la montaña ni al municipio de Soacha.

Tabla 43. Mediciones de la prueba 6 para los receptores de Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	91,8	-29	13,3
2	95,4	-23,5	8,4
3	100,6	-18,4	3,7
4	85,8	-33,1	20,1
5	88,4	-30,6	18,4
<b>PROMEDIO</b>	<b>92,4</b>	<b>-26,92</b>	<b>12,78</b>

Como conclusión final de las pruebas en las zonas bajas es que no es recomendable hacer la transmisión desde puntos ubicados a la altura de la capital.

Tabla 44. Mediciones de la prueba 6 para los receptores de Boq.d.Chip.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	88	-45,8	18,8
2	86,6	-43,1	14,7
3	35,1	-90,8	12,2
4	86,9	-33,9	17,85
5	33,2	-93,2	19,55
6	48,3	-77,9	23,36
<b>PROMEDIO</b>	<b>63,016</b>	<b>-64,11</b>	<b>17,74</b>

## 9.2.7 Prueba 7. Tres transmisores

### 9.2.7.1 Objetivo de la prueba

Hacer la transmisión haciendo uso de las mismas tres estaciones que trabajan en la actualidad pero variando la potencia de la estación de red primaria y la locación de las mismas, para minimizar el área de múltiple cobertura visualizado en las figuras 34 y 35.

### 9.2.7.2 Resultados esperados

Al variar la potencia de la estación de red primaria, se espera minimizar en gran extensión las zonas de interferencia abarcadas por la potencia de la estación de Manjuí. Además se localizará la estación de Calatrava en un cerro más al norte de la capital y la estación de Boquerón de Chipaque de trasladará a una zona donde tenga mayor línea de vista con la ciudad.

### 9.2.7.3 Resultados obtenidos

Para analizar el sistema, primero se pone a radiar el sistema desde Manjuí con los parámetros de transmisión digital de una estación de red secundaria. Los resultados se observan en la figura 53.

La figura 53 en la izquierda muestra la cobertura en potencia de la señal. En la derecha se puede observar que la recepción a pesar de la potencia de la señal es baja, teniendo como resultado la no cobertura de la capital. De la figura 53 se puede concluir que el sistema radiante está muy lejos y que en Madrid existe una locación desde la cual se pudiera transmitir la señal. Los resultados se muestran en la figura 54.

Tabla 45. Mediciones de la prueba 7 para los receptores de Calatrava.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (dBm)	DISTANCIA Km
1	84,5	-36,3	22,1
2	86,2	-34,6	19,9
3	87,9	-32,9	17,3
4	88,1	-32,7	15,6
5	87,6	-33,2	17,5
6	87,7	-31,1	21,4
7	85,5	-34,2	24,4
8	91,5	-29,3	10,5
9	89,6	-31,2	15,5
10	96,9	-23,9	5,6
11	90,5	-30,3	15,4
<b>PROMEDIO</b>	<b>88,72</b>	<b>-31,79</b>	<b>16,83</b>

Desde esta nueva locación mostrada en el punto gris de la figura 54, se puede analizar que la cobertura en términos de recepción es mejor haciendo la transmisión desde Madrid Cundinamarca, pero aun así la señal se dispare pudiendo presentar problemas con otras estaciones. Para dar solución al

problema de cobertura, se hace una transmisión cambiando el modelo de propagación de antena pasando de un sistema omnidireccional a uno Cardio. Los resultados se muestran en la figura 55.

Ahora bien, una vez se concluye el dejar la estación para la transmisión de televisión dirigida al centro de la capital, se empieza el análisis de cobertura con la estación para el norte. Teniendo como base los resultados de la prueba 5, se opta por hacer la radiación desde la ubicación mostrada en la figura 55 con una potencia inferior a la inicial.

La ubicación de la antena y la potencia manejada permite que la cobertura sea poca para no hacer interferencia con otros sistemas. El análisis de la estación mostrada en la figura 56 solo se hace desde los parámetros de intensidad de campo ya que sería la recepción de las antenas de casa.

Ya para dar final a la prueba y hacer la cobertura del sur de la ciudad, se opta por trabajar desde la estación mostrada en la figura 57, donde el análisis se pudo realizar en la prueba 5 mostrando como resultados la cobertura en intensidad de campo de la figura 57.

Tabla 46. Mediciones de la prueba 7 para los receptores de Manjuí.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	88,6	-32,2	19,3
2	90,3	-28,7	15,9
3	89,2	-29,7	13,6
4	89,5	-26,2	16,1
5	92,8	-38,8	11,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>90,08</b>	<b>-31,12</b>	<b>15,34</b>

Tabla 47. Mediciones de la prueba 7 para los receptores de Boq.d.Chip.

RECEPTOR	INTENSIDAD DE CAMPO (dBuV/m)	POTENCIA DE LA SEÑAL (-dBm)	DISTANCIA Km
1	96,2	37,6	7,6
2	100	82,4	4,81
3	57,4	18,9	2,69
4	101,9	83,4	3,59
5	54,4	38,3	5,55
6	92,7	29,5	9,17
<b>PROMEDIO</b>	<b>83,76</b>	<b>48,35</b>	<b>5,56</b>

El esquema de transmisión de la figura 57 podría hacer una cobertura de la zona sur permitiendo que la señal se disperse en la localidad de Usme, Tunjuelito y gran parte de Teusaquillo. El municipio de Soacha quedaría para ser cubierto por la estación de Madrid.

Una vez analizado el comportamiento y la cobertura de cada una de las estaciones mencionadas anteriormente, se puede hacer el análisis de interferencia mostrado en la figura 58.

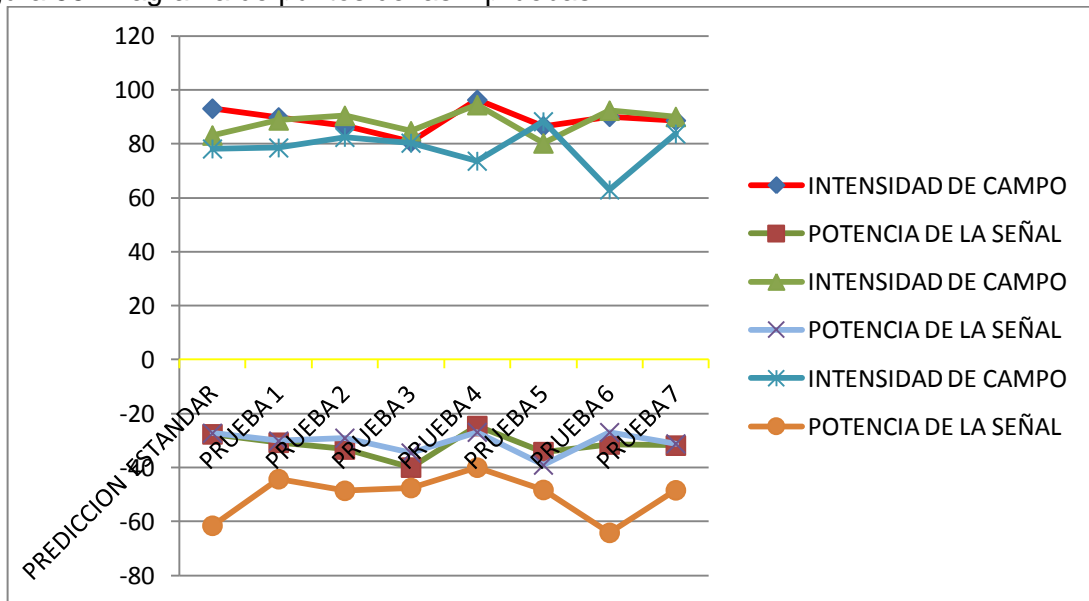
### 9.2.7.4 Conclusiones de la prueba

La última prueba realizada en este estudio de propagación, permite observar que el uso de las 3 estaciones destinadas a la cobertura de la capital crea mayor interferencia que el sistema mostrado en la prueba 5, la principal ventaja es que hace una mayor cobertura de la capital y de municipios importantes para Bogotá como son Soacha, Chía, Cota, Madrid, Funza y Mosquera.

Sumado a lo anteriormente mencionado, el sistema presentado en la prueba 7 minimiza en gran proporción la zona de múltiple interferencia mostrada en la figura 34, donde la estación de Calatrava abarcaba una gran zona y la estación de Boquerón tenía interferencia en mayor proporción con la estación de Manjuí que pasa a ser trasladada a Madrid.

## 9.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

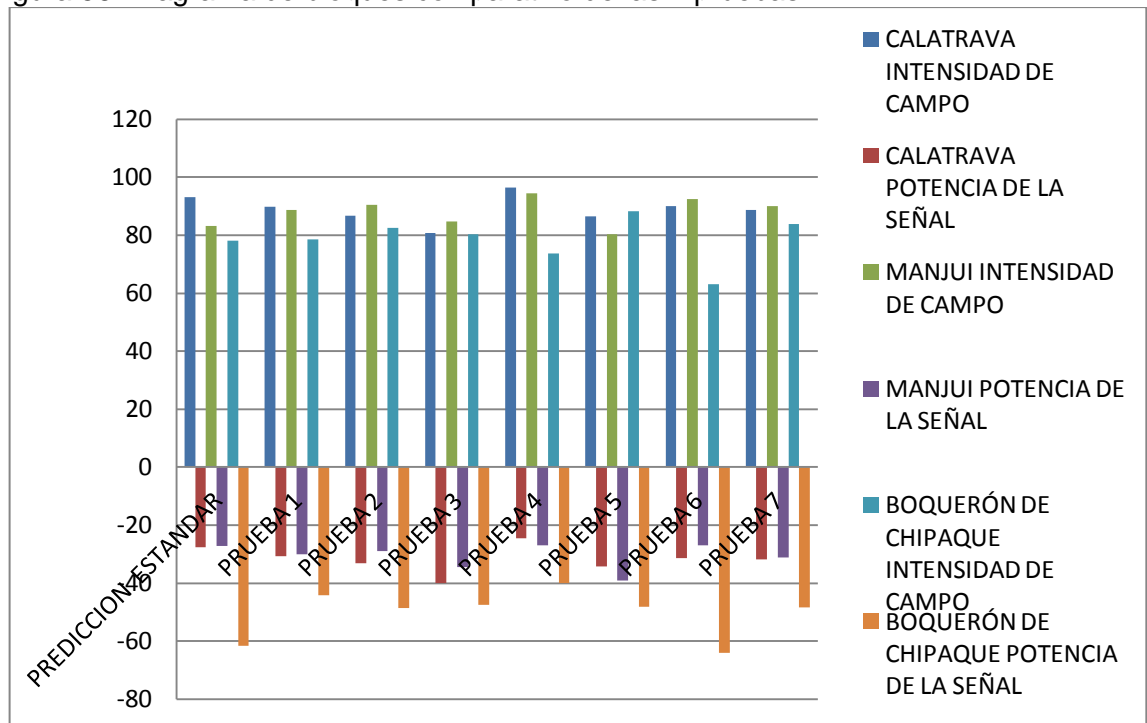
Figura 55. Diagrama de puntos de las 7 pruebas.



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

En la tabla 48 se comparan los datos numéricos resultado de las 7 pruebas y las predicciones estándar para las estaciones actuales y los diagramas de las figuras 55 y 56 muestran la comparación entre el resultado de las 7 pruebas y los resultados desde las estaciones de televisión actuales.

Figura 56. Diagrama de bloques comparativo de las 7 pruebas



La figura 55 muestra que en intensidad de campo los valores más cercanos al obtenido por la predicción estándar son los de las pruebas 5 y 7, ya que las otras disminuyen en la recepción de la señal, además en potencia de la señal se observa que las pruebas 5 y 7 están dentro de las más opcionadas a tener la misma cobertura ya que las otras se igualan a la predicción estándar o están por encima del rango de cobertura.

En la figura 56 se observa que los datos que se acercan o superan el nivel estándar de intensidad de campo son los de la prueba 2,4,5,6 y 7, también se observa que la cobertura asignada para la estación de Manjuí todas las pruebas están por encima del valor estándar pero para la cobertura de boquerón de Chipaque, solo están a su nivel o mejor la prueba 2, 3, 4,6 y 7 por lo que se podría afirmar que las que mejor resultado ofrece y que mejoran los niveles de cobertura son las pruebas 5 y 4

Figura 57. Diagrama de bloques comparativo en 3D de las 7 pruebas.

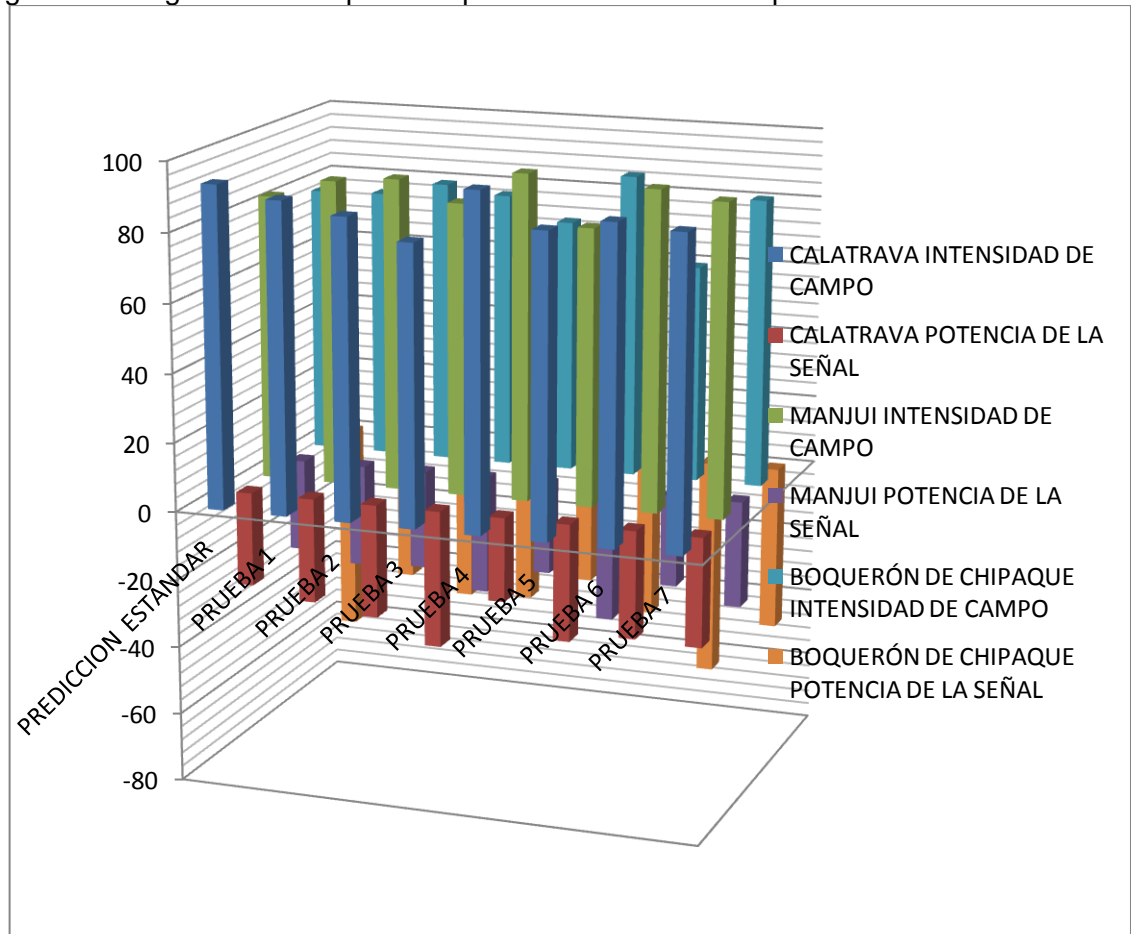


Tabla 48. Comparación entre las 7 pruebas y las estaciones actuales.

		PUNTOS DE MEDICIÓN CORRESPONDIENTES A:					
		CALATRAVA		MANJUI		BOQUERÓN DE CHIPAQUE	
		INTENSIDAD DE CAMPO	POTENCIA DE LA SEÑAL	INTENSIDAD DE CAMPO	POTENCIA DE LA SEÑAL	INTENSIDAD DE CAMPO	POTENCIA DE LA SEÑAL
RESULTADO DE LA MEDICIÓN HECHA DESDE:	CALATRAVA	93,16	-27,6	83,2	-27,2	78,2	-61,5
	PRUEBA 1	89,89	-30,71	88,8	-30,1	78,58	-44,23
	PRUEBA 2	86,63	-33,21	90,5	-29,02	82,5	-48,53
	PRUEBA 3	80,74	-39,93	84,78	-34,52	80,35	-47,5
	PRUEBA 4	96,35	-24,52	94,46	-26,84	73,66	-39,95
	PRUEBA 5	86,6	-34,2	80,26	-39,02	88,316	-48,216
	PRUEBA 6	90,13	-31,36	92,4	-26,92	63,016	-64,116
	PRUEBA 7	88,72	-31,79	90,08	-31,12	83,76	-48,35

## 10. CONCLUSIONES

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

Realizando el análisis de cobertura estándar mostrado en las 7 pruebas planteadas para el desarrollo de la investigación, se puede concluir que el análisis realizado solo se puede hacer desde una perspectiva de intensidad de señal dejando aparte una característica muy importante de la transmisión de datos de televisión digital con el estándar DVB-T llamada el intervalo de guarda. La propiedad que se hace presente en el tipo de modulación COFDM permite que en las zonas de interferencia de múltiples transmisores se haga una óptima recepción de la señal si los datos que se desplazan en la línea de tiempo están dentro del intervalo de guarda permitiendo que el decodificador o setop-box sincronice los datos recibidos y entienda las señales que lleguen con desplazamiento en el tiempo de recepción.

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

El análisis de los resultados en su gran mayoría se mostró desde dos perspectivas diferentes llamadas potencia de la señal e intensidad de campo medida en dBm y

en dBuV/m respectivamente. Esto se hace ya que el hecho de solo mostrar un parámetro de medición impedía entender el proceso de cobertura, ya que la definición de intensidad de campo está relacionada a la potencia medida en el receptor y de que intensidad recibe este mismo siendo diferente la otra opción de intensidad de potencia donde se mide hasta qué punto puede llegar la señal según los parámetros de funcionamiento de las antenas instaladas en la estación de televisión.

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

Como el estudio está orientado a la forma en la que se haga una mejor difusión de la señal de televisión para la capital colombiana, en las pruebas mencionadas en el capítulo 9 se toman locaciones y características de operación las cuales hagan una mejor cobertura para Bogotá. Lo más probable dentro de estas nuevas locaciones o parámetros de potencia y tipo de antena es que se altere la red de televisión que funciona en la actualidad con el sistema analógico, forzando a hacer un estudio mucho más detallado teniendo como base las características sugeridas para la capital y de ahí empezar a hacer un nuevo diseño de cobertura para el país entero.

## 11. RECOMENDACIONES

Para un eventual estudio que esté relacionado con el análisis del funcionamiento de televisión digital, se recomienda establecer contacto con una entidad que cuente con la licencia del programa ICS TELECOM, para que el diseño de las pruebas y el análisis de los resultados este más cercano al comportamiento real de una red de televisión.

Ya que el mundo de la tecnología está cambiando constantemente, el organismo DVB lanzo un nuevo formato diferente al elegido en Colombia llamado DVB-T2. Este nuevo formato permite mayor compresión de datos permitiendo multiplexar un mayor número de canales dentro del mismo ancho de banda, para un eventual cambio de estándar a utilizar en Colombia según las decisiones tomadas en el periodo 2010-2013 haciendo caso al nuevo plan de desarrollo, se recomienda el realizar este mismo proyecto cambiando la herramienta de simulación y los parámetros de funcionamiento que se establecen en el nuevo formato.

Como el presente estudio está orientado a la recepción IN-DOOR, que es el tipo de recepción el cual se hace desde los receptores fijos, se hace necesario un estudio similar al presente el cual involucre el tipo de recepción OUT-DOOR, el cual hace referencia a la forma en la que va a ser recibida la señal desde dispositivos móviles como celulares o módems para computador.

## GLOSARIO

**Ancho de Banda:** Cantidad de información o de datos que se puede enviar a través de una conexión en un período de tiempo dado (Merriam, 2009).

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

**Codificación:** Transformar la información en un código para poder ser transportado y posteriormente interpretado (Comisión N. d. T. 2008).

**Decodificador:** Dispositivo en la casa de un cliente que recibe las órdenes enviadas desde la oficina central y convierte las señales digitales comprimidas en video y en audio (Marcons, 2008).

**DVB (Transmisión de Video Digital):** DVB es una solución propuesta para la televisión digital y la transmisión de datos por todo el rango de medios de entrega. Todos los sistemas DVB se basan en compresión de audio y video MPEG-2. DVB agrega al flujo múltiple de transporte MPEG los elementos necesarios para llevar los servicios de transmisión digital al hogar a través del cable, el satélite y los sistemas de transmisión terrestres (DVB, 2003).

**DVB-T:** Estándar implementado para televisión digital el cual hace referencia a Digital Video Broadcasting Terrestrial (Comisión N. d. T. 2008).

**HDTV:** Televisión de alta definición.

**Modulación:** Técnica para transportar información sobre una señal portadora.

**COFDM:** (multiplexación por división de frecuencias ortogonales codificadas) es una técnica compleja de modulación de banda ancha utilizada para transmitir información digital a través de un canal de comunicaciones, que combina potentes métodos de codificación más el entrelazado para la corrección de errores en el receptor (Marcons, 2008).

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

**Radioenlaces:** Es el canal o línea de comunicación sobre la cual se envían datos (Comisión N. d. T. 2008).

## BIBLIOGRAFÍA

- Acero, P (2008). Estudio de las estaciones de la red primaria y secundaria. TESS AMERICA. Recuperado el 17 de septiembre de 2011, de [http://www.rtv.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=177%3Aanexos&catid=12%3Artvc&Itemid=1](http://www.rtv.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=177%3Aanexos&catid=12%3Artvc&Itemid=1)
- Ángel, G (Marzo de 2011). Comunicación personal. (F. García, Entrevistador).
- Arnold, J., Frater, M., & Pickering, M. (2007). Digital Televisión Technology and Standars. USA: Wiley & Sons Inc.
- ATDI (2011). Sitio oficial de ATDI. Recuperado el marzo de 2011 de [http://www.atdi.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=133&Itemid=136&lang=es](http://www.atdi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=133&Itemid=136&lang=es)
- Bogotá. (2011). Página oficial de Bogotá. Recuperado en <http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.27.html>
- CNTV. (2006). Pruebas televisión digital terrestre TDT. Recuperado en [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/tdt/documentos/pruebas.pdf](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/documentos/pruebas.pdf) [2011, 15 de marzo]
- CNTV. (2009). Plan de Desarrollo de Televisión 2010-2013 (pp. 18-21). Recuperado en [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/plan\\_2013/plan\\_desarrollo.pdf](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/plan_2013/plan_desarrollo.pdf). [2011, 14 de marzo]
- CNTV. (2010). CNTV asignó frecuencias para la televisión digital terrestre. Recuperado el marzo de 2011, de [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/noticias/2010/febrero/15\\_02\\_10.html](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/noticias/2010/febrero/15_02_10.html)
- Comisión N. d. T. (2008). Televisión Digital terrestre. Recuperado el Marzo de 2011, de [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/tdt/documentos/tdt\\_colombia.pdf](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/tdt/documentos/tdt_colombia.pdf).
- Comisión N. d. T (2009). Gran Plan de Utilización de frecuencias. Acuerdo No. 003 de 2009. Bogotá: junta directiva, administración, subdirección técnica y de operaciones. CNTV.
- Comisión Nacional de Televisión (2009). Gran Encuesta Integrada de Hogares GEIH. Bogotá: Oficina de Planeación CNTV.

- Comisión, N. d. T. (s.f). Red TV. Recuperado el marzo de 2011, de [http://www.cntv.org.co/cntv\\_bop/red\\_tv/index.html](http://www.cntv.org.co/cntv_bop/red_tv/index.html)
- DANE (2005). Sitio oficial de DANE (departamento administrativo nacional de estadística. Censo general 2005, nivel nacional. Colombia. Recuperado el marzo de 2011, de <http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf>
- DVB (2003). Sitio oficial de DBV (Digital Video Broadcasting). Recuperado el Marzo de 2011, de [http://www.dvb.org/about\\_dvb/history/#1](http://www.dvb.org/about_dvb/history/#1)
- Faughn, J., Serway, R. (2001). Física (5ª, Ed.). México.
- García, G. (2006). Manual de uso de Radio Mobile. Recuperado el Febrero de 2009, de [download.ehas.org/docs/manual\\_radiomobile.doc](http://download.ehas.org/docs/manual_radiomobile.doc)
- Gómez, F (2011). Comunicación telefónica y vía mail. (F. García, Entrevistador).
- González, R. (2011). Asesoría técnica, proceso de calificación de objetivos específicos. (F. García. Entrevistador)
- Haykin, S., & Moher, M. (2005). Modern Wireless Communications. USA: Pearson education, Inc.
- Hewitt, P. (2006). Física Conceptual, propiedades de la luz (p.p. 496-510) novena edición, México: Pearson Education.
- IGAC. (2011). Instituto Geografico Agustin Codazzi. Planchas planchas 227, 228, 246 y 247 de los planos de la cartografía oficial de Bogotá y sus alrededores. Bogotá, Colombia.
- Ley Por la cual se reglamenta el servicio de televisión, y se formulan políticas para su desarrollo, se democratiza el acceso a éste, se conforma la Comisión Nacional de Televisión, se promueven la industria y actividades de televisión. Ley N° 182 (1995). Poder legislativo de la republica de Colombia.
- Marcons, A. (2008). Implementación de Técnicas y Sincronización para Sistemas OFDM. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Merriam, W. (2009). Diccionario. Recuperado el 22 de Marzo de 2011, de <http://www.merriam-webster.com/dictionary/signal>

- Morocho, M. (2009). Planificación de radioenlaces con base en topografía digital. Recuperado el Septiembre de 2009, de sig.utpl.edu.ec/sigutpl/staftpro/sig/radioenlace.PDF
- Ospina de Fernández, C., Zapata M. (2004). Cincuenta años de la televisión en Colombia, un recorrido historiográfico. Bogotá.
- Osuna, S, Busón, C (s.f).Convergencia de medios. Barcelona, España. Recuperado en [http://books.google.com.co/books?id=6L2k\\_tj8j88C&pg=PA155&dq=FORMATO+MPEG&hl=es&ei=OwO8TobgH4OCgAfa0pGtBw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDcQ6AEwAg#v=onepage&q=FORMATO%20MPEG&f=false](http://books.google.com.co/books?id=6L2k_tj8j88C&pg=PA155&dq=FORMATO+MPEG&hl=es&ei=OwO8TobgH4OCgAfa0pGtBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDcQ6AEwAg#v=onepage&q=FORMATO%20MPEG&f=false)
- Pardo, S (2010). Estudio de algoritmos basados en DAMA para la distribución de ancho de banda en redes DVB-RCS. Tesis para optar el título de ingeniero de telecomunicaciones. Universidad de Catalunya .Catalunya, España
- Peña, L (Febrero de 2011). Comunicación telefónica y vía mail. (F. García, Entrevistador).
- Pérez, C. (2004). Modulación COFDM. España: Universidad de Cantabria. Recuperado en <http://personales.unican.es/perezvr/index.htm>. [2011, 14 de marzo].
- Pérez, C. (2005). Introducción a los sistemas transmisores de televisión. España: Universidad de Cantabria. Recuperado en <http://personales.unican.es/perezvr/index.htm> [2011, 14 de marzo].
- Pérez, C. (s.f). Transmisión de televisión digital. España: Universidad de Cantabria. Recuperado en <http://personales.unican.es/perezvr/index.htm> [2011, 14 de marzo].
- Puentes, D. (2009). Cálculo de la cobertura de un canal de televisión digital en los municipios de Choachí, Ubaque y Fómeque Cundinamarca. Tesis para optar al título de ingeniero electrónico y de telecomunicaciones. Fundación Universitaria San Martín (FUSM). Bogotá, Colombia.
- RADIO MOBILE (2011). Sitio oficial de RADIO MOBILE. Recuperado el marzo de 2011 de <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

- Schertz, A., & Weck, C. (2004). The Transmisión of two independent DVB-T multiplex on a single frequency. USA: EBU.
- Tomassi, W. (1996). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas segunda edición. México: Prentice Hall.
- UIT (2006). Recomendación UIT-R F.1093-2. Efectos de la propagación multitrayecto en el diseño y funcionamiento de los sistemas inalámbricos fijos digitales con visibilidad directa, (Cuestión UIT-R 122/9).
- UIT (2009). Recomendación UIT-R BT.2140-1. Transición de la radiodifusión (Informe UIT-R BT.2140-1)
- UIT (2011). Recomendación UIT-R BT.2035-2. Directrices y técnicas para la evaluación (Informe UIT-R BT.2035-2).
- Universidad de Murcia (s.f). Los ordenadores en la actualidad. Recuperado el marzo de 2011, de <http://www.um.es/docencia/barzana/IATS/IATS3-Ordenadores-en-la-actualidad.html>. España.

## ANEXOS

Anexo 1 Figuras de línea de vista para las nuevas estaciones

Figura 58. Línea de vista al centro para la estación de la prueba 1.



Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 59. Línea de vista al norte para la estación de la prueba 2.

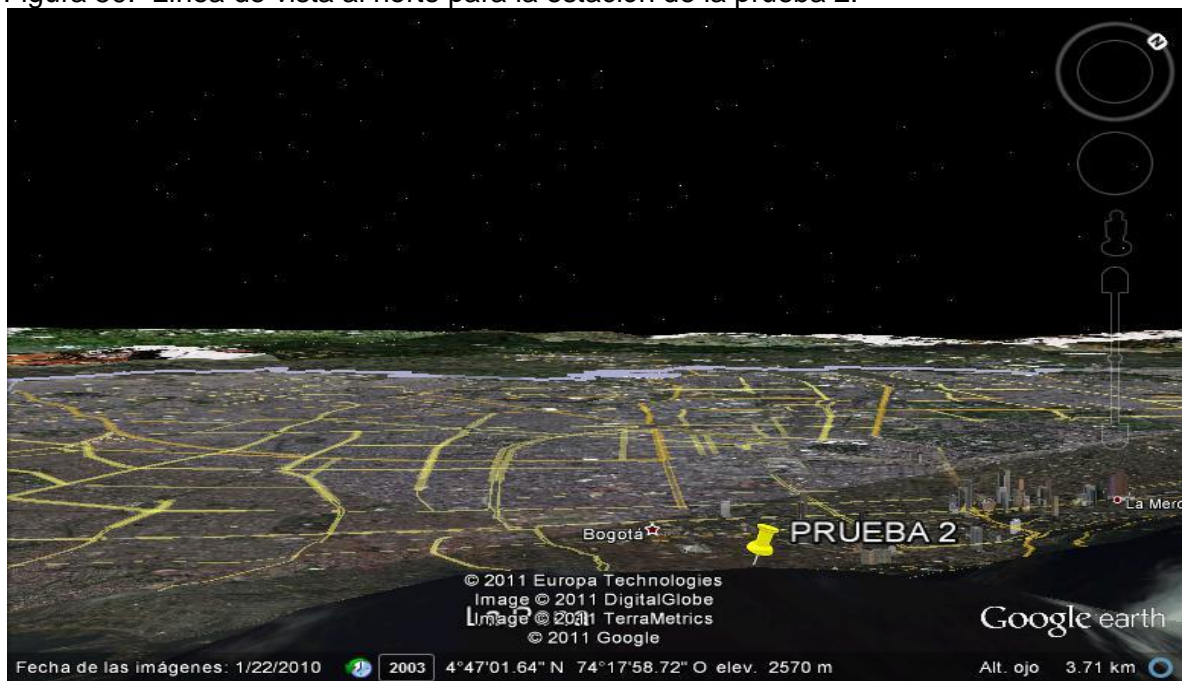


Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 60. Línea de vista al centro para la estación de la prueba 3.



Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 61. Línea de vista al norte para la estación 1 de la prueba 4.



Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 62. Línea de vista al sur para la estación 1 de la prueba 4.

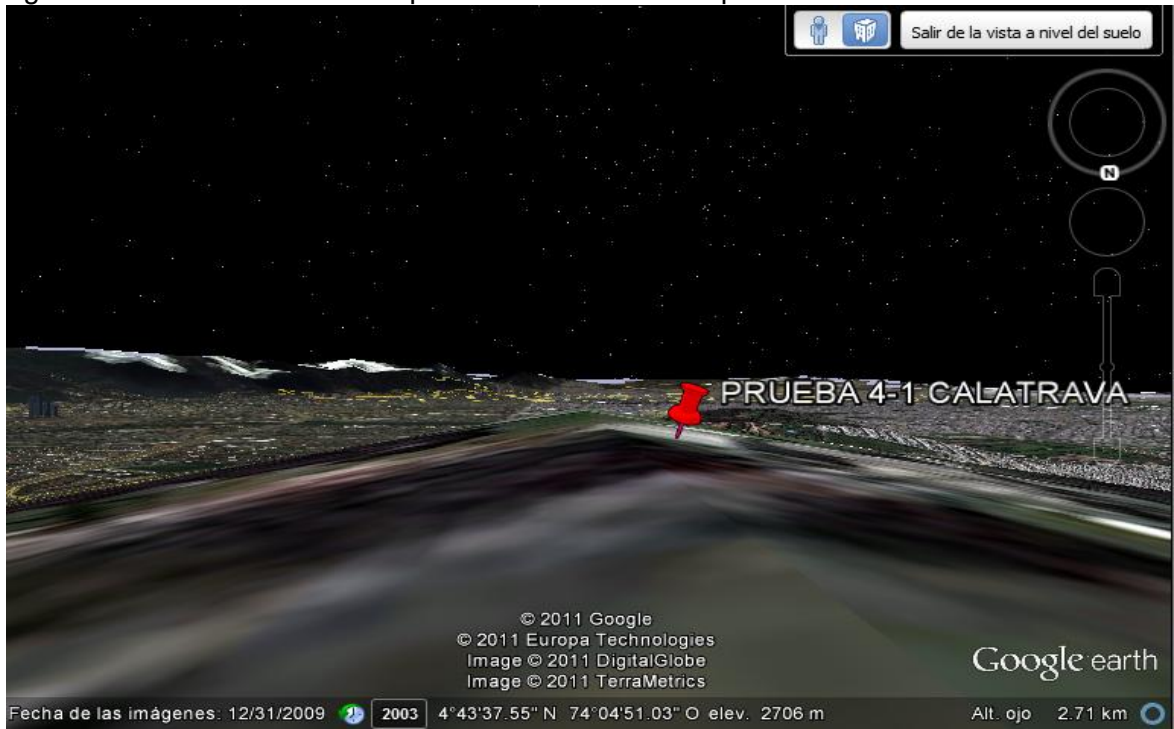


Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 63. Línea de vista al norte para la estación 2 de la prueba 4.



Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 64. Línea de vista al centro para la estación 1 de la prueba 5.



Figura 65. Línea de vista al norte para la estación 2 de la prueba 5.

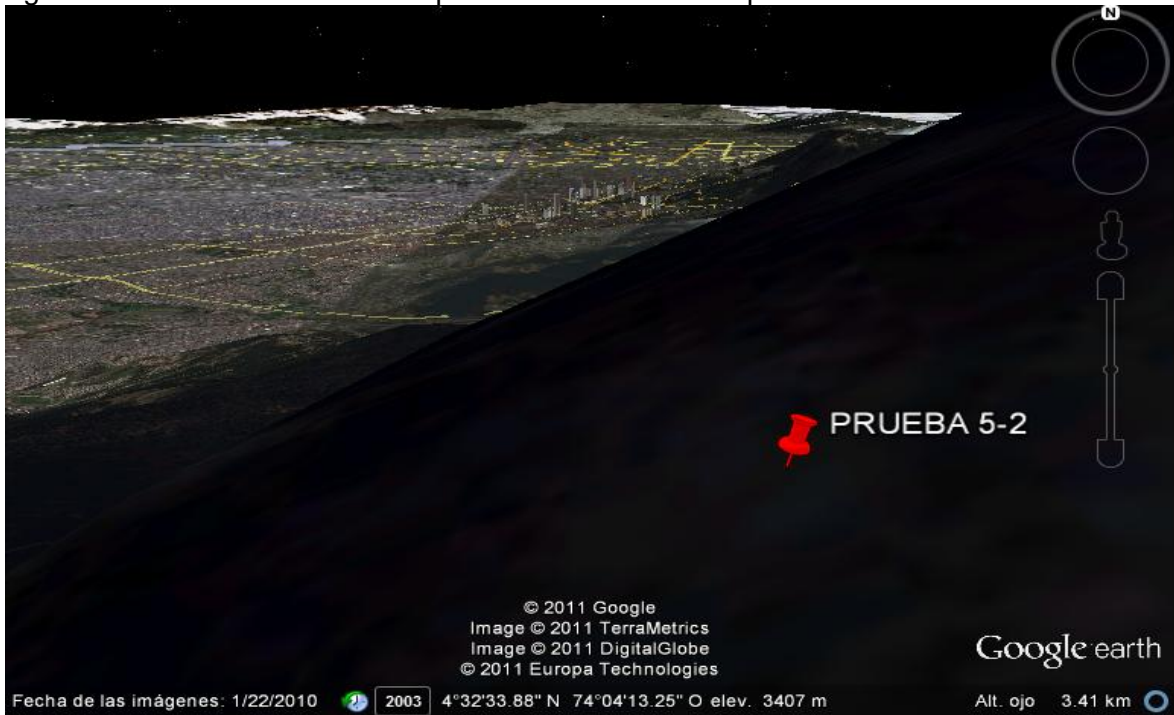


Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 66. Línea de vista al sur para la estación 2 de la prueba 5.

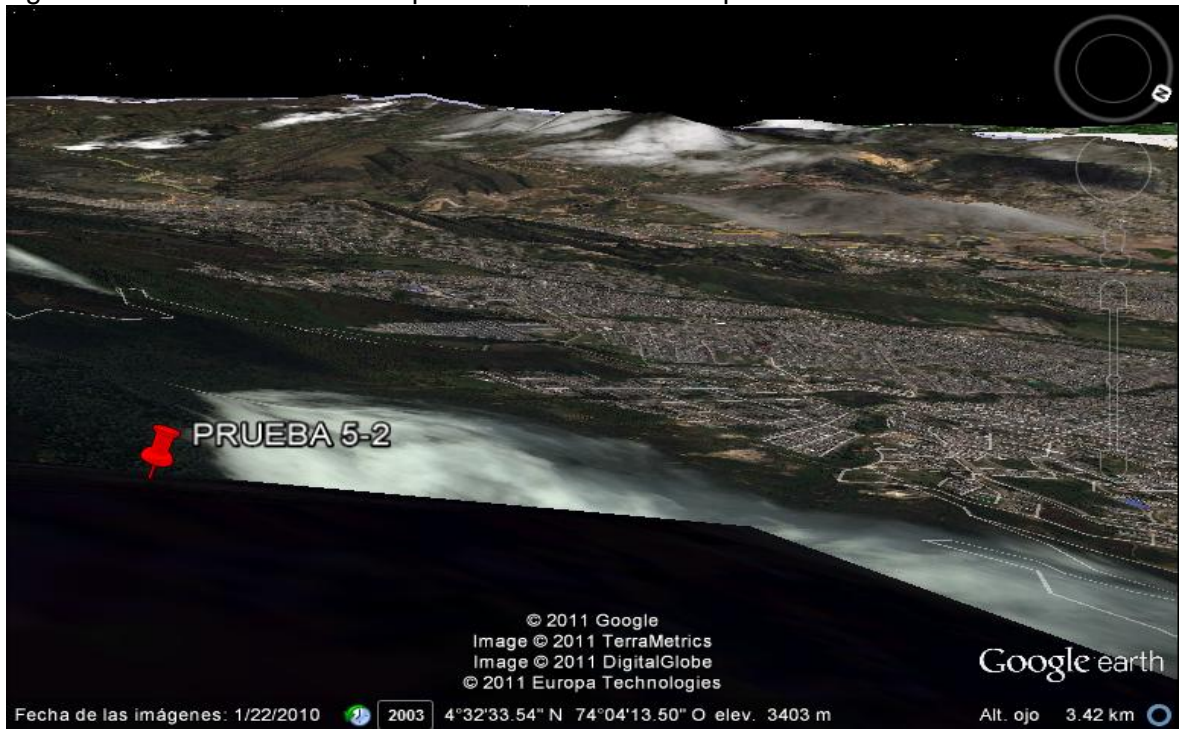


Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 67. Línea de vista al centro para la estación 1 de la prueba 6.

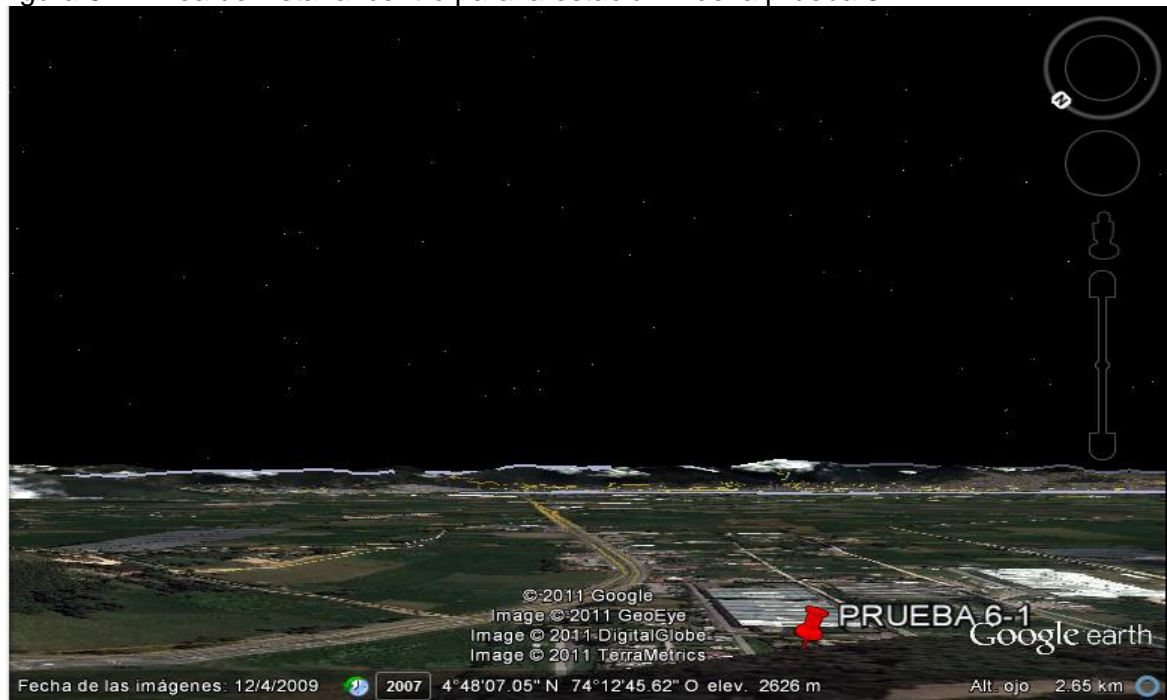


Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 68. Línea de vista al sur para la estación 2 de la prueba 6.



Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 69. Línea de vista al norte para la estación 2 de la prueba 6.

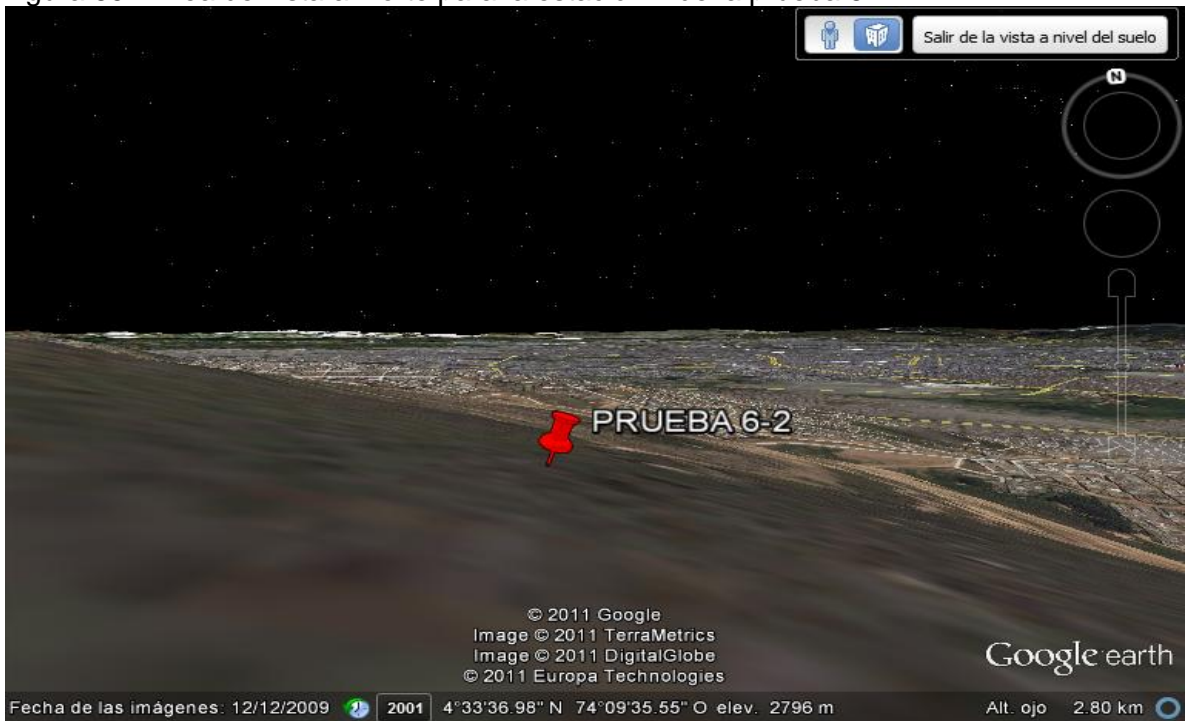


Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 70. Línea de vista al centro para la estación 1 de la prueba 7.



Imagen capturada de software Google Earth.

Figura 71. Línea de vista al centro para la estación 2 de la prueba 7.



Imagen capturada de software Google Earth.

Anexo 2. Figuras de intensidad de potencia para la cobertura de Bogotá.  
Figura 72. Intensidad de campo para la estación de la prueba 2.

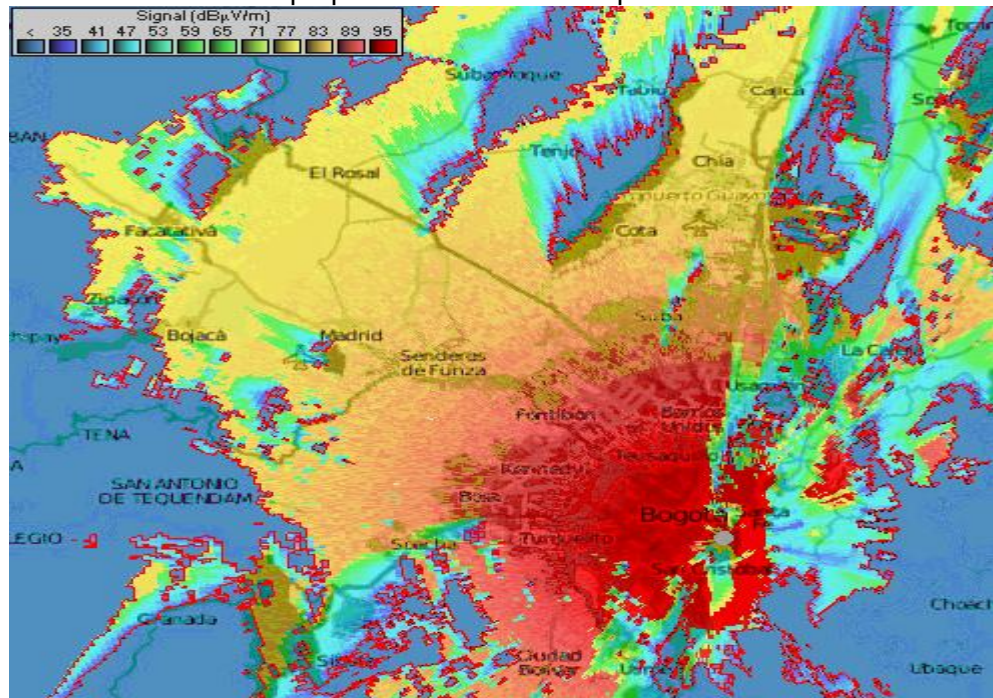


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 73. Intensidad de campo para la estación de la prueba 3.

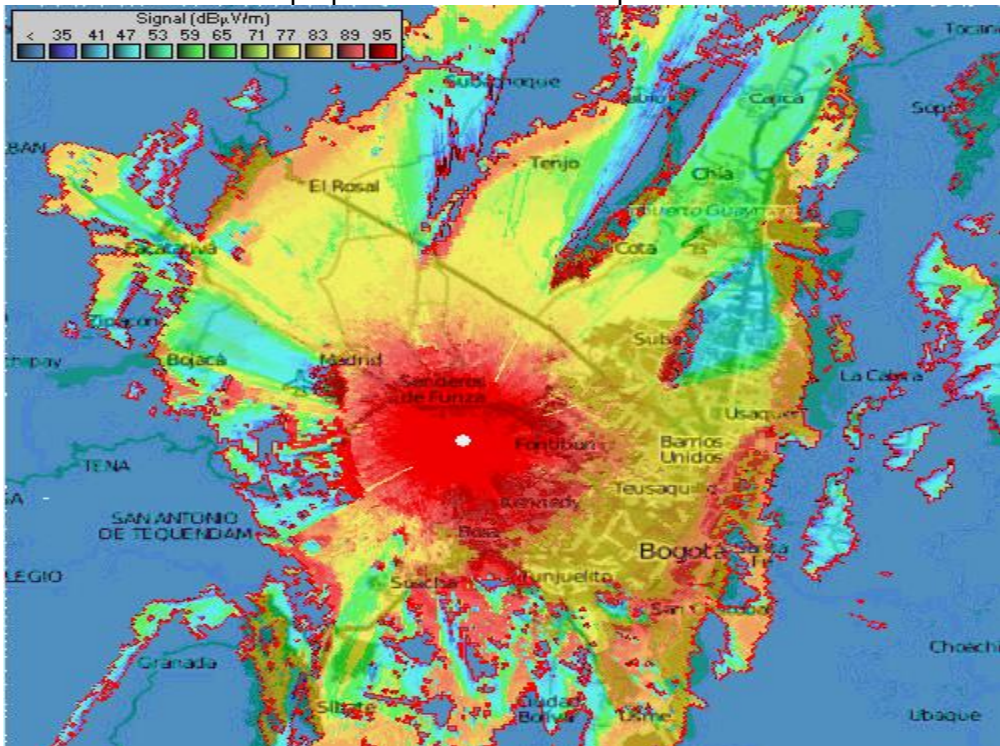


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 74. Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 4.

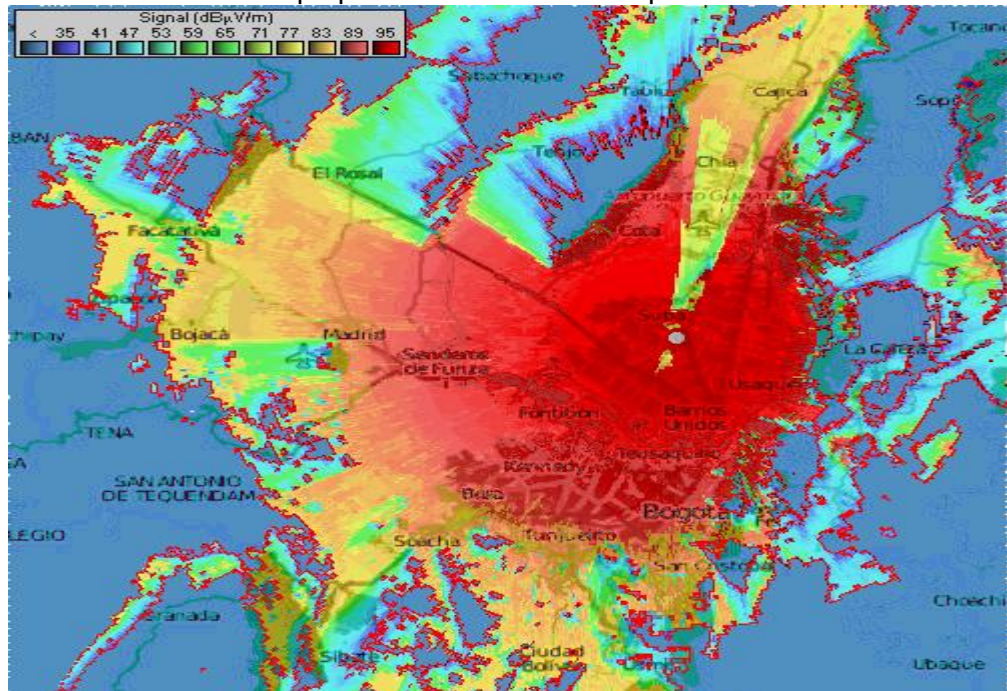


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 75. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 4.

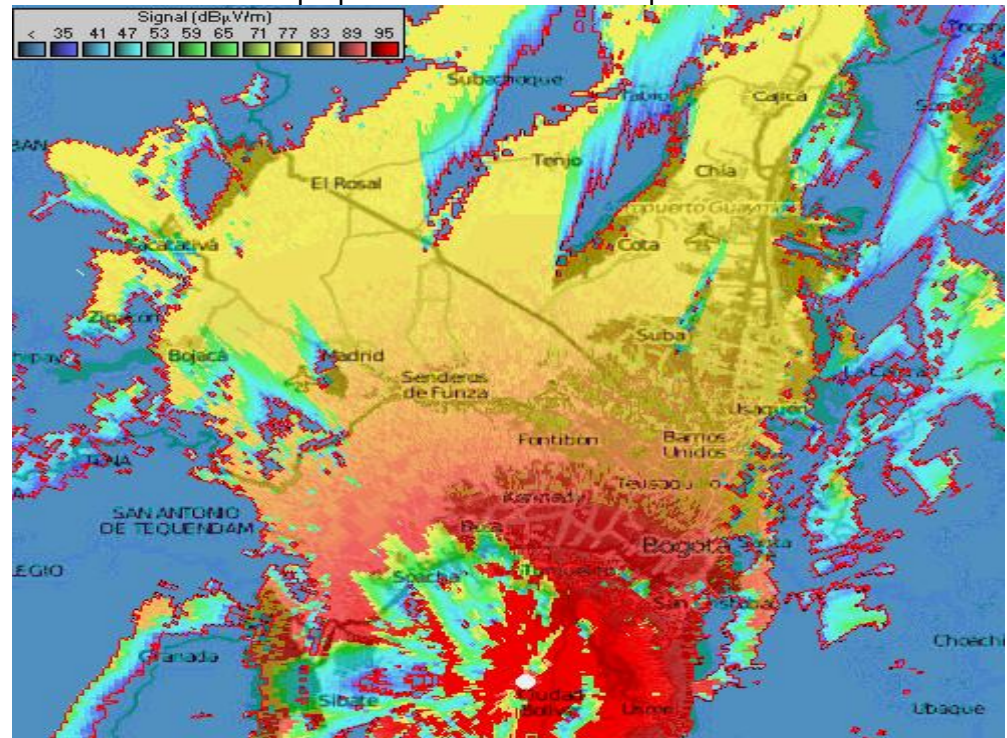


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 76 .Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 5.

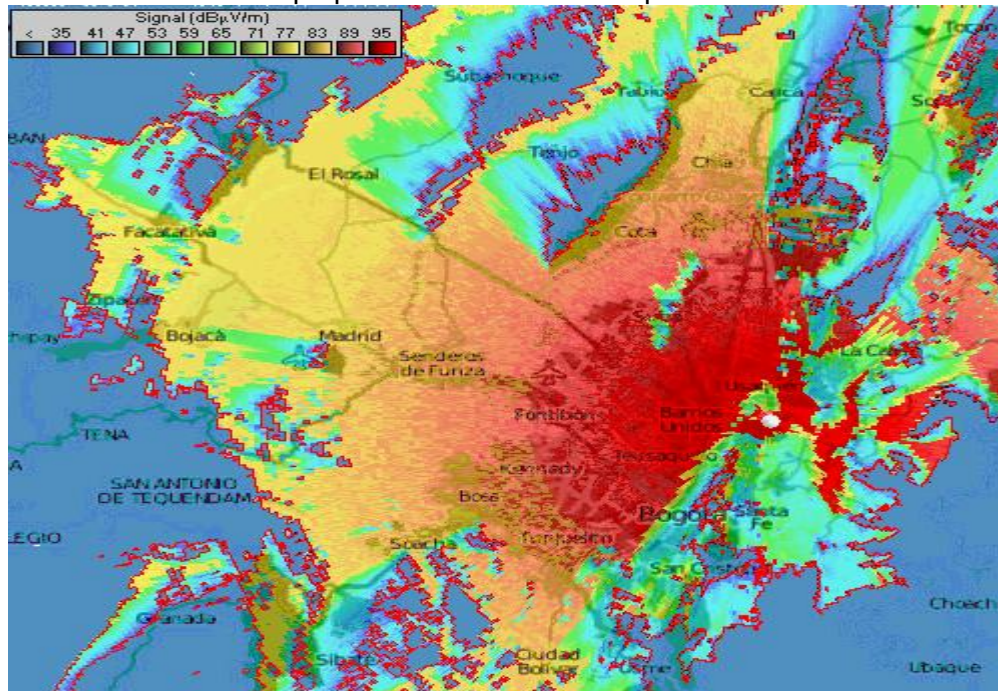


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 77. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 5.

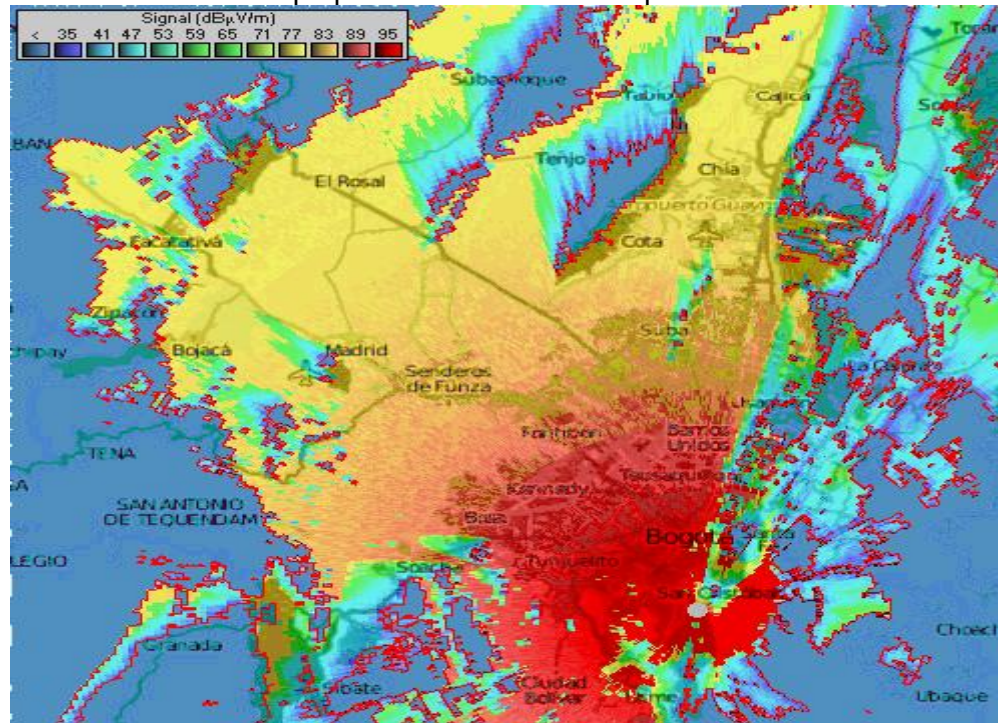


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 78. Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 6.

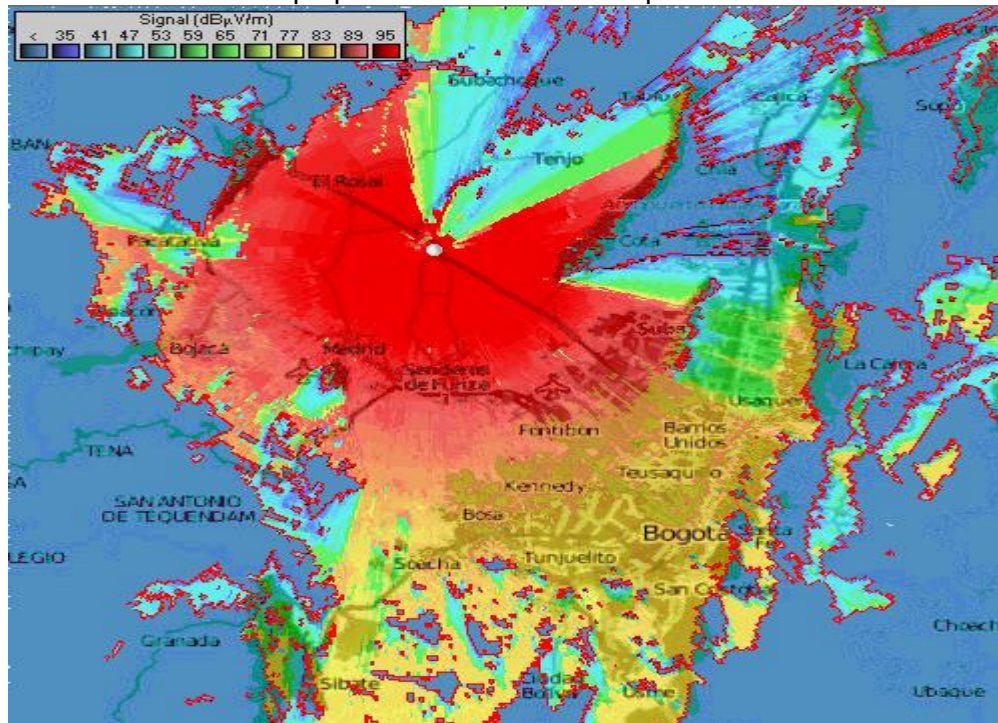


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 79. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 6.

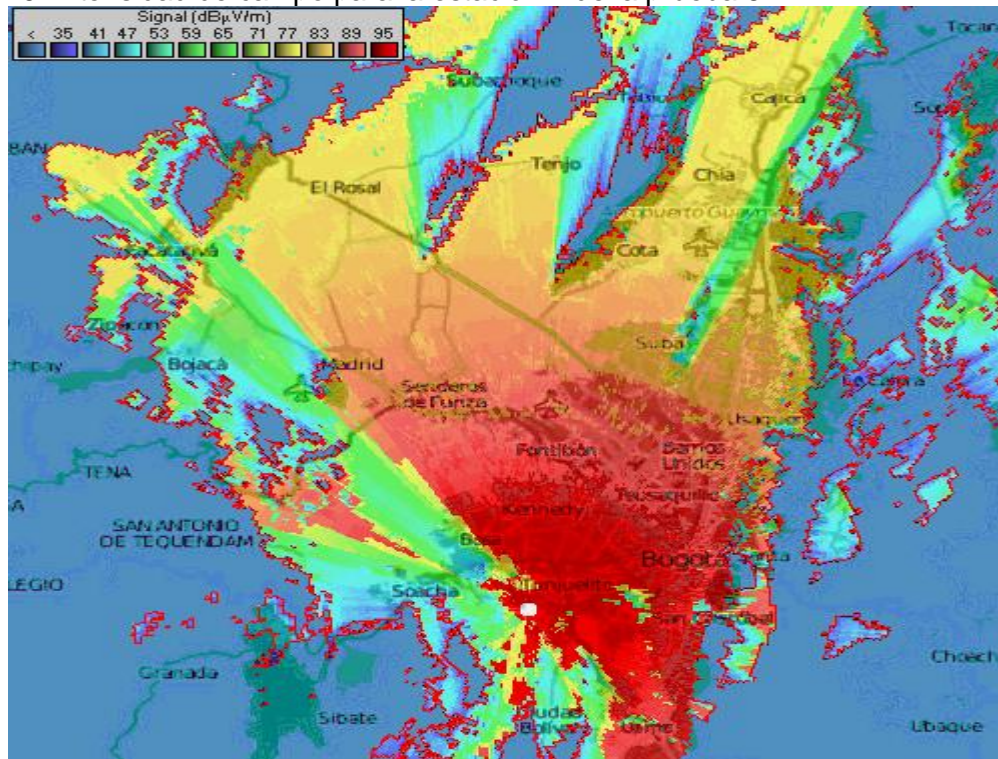


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 80. Intensidad de campo para la estación 1 de la prueba 7.

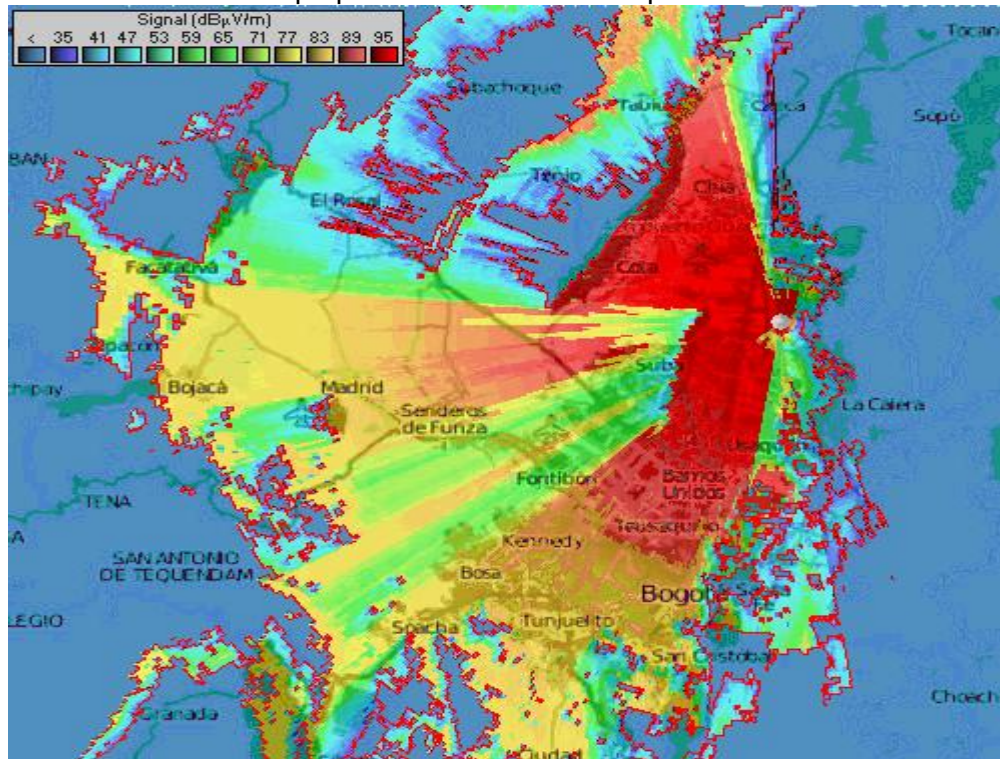


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 81. Intensidad de campo para la estación 2 de la prueba 7.

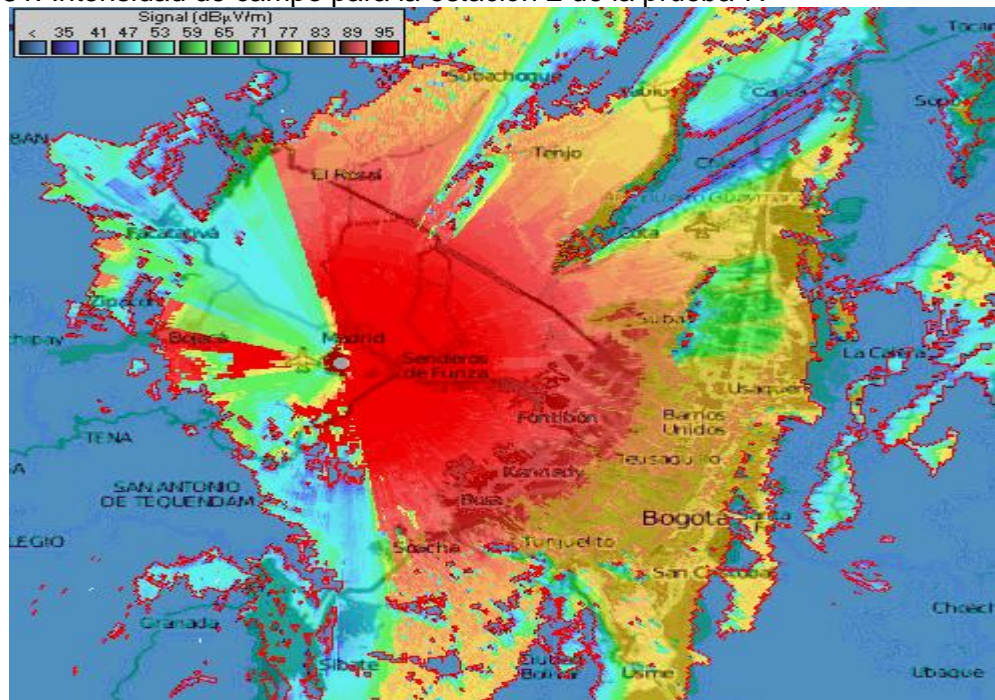


Imagen capturada de software Radio Mobile

Figura 82. Intensidad de campo para la estación 3 de la prueba 7.

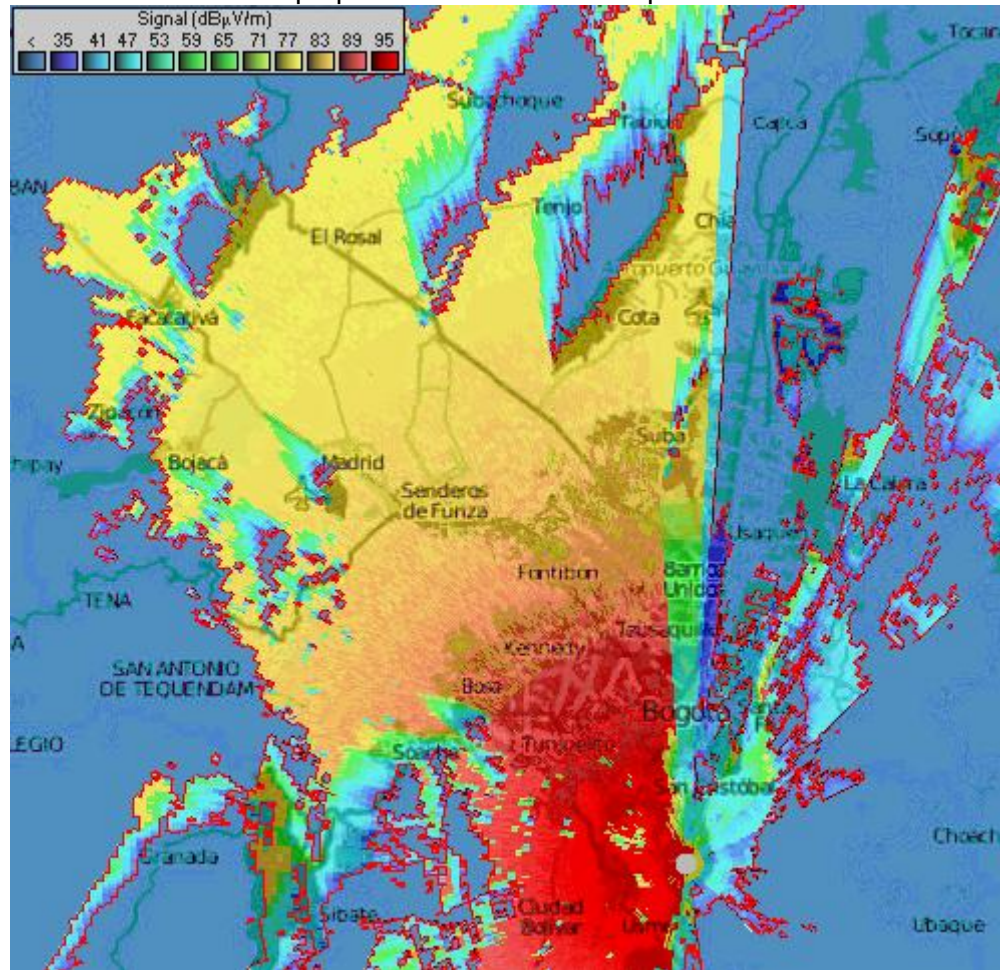


Imagen capturada de software Radio Mobile