



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DE SITIO DE
INSTALACIÓN DE UN TRANSMISOR DE TELEVISIÓN
DIGITAL EN CERRO AZUL QUE PERMITA MEJORAR
LA COBERTURA EN LA VÍA A LA COSTA”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

MANUEL DAVID SALAZAR MONCADA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

A Jehová Dios, quien me dio la vida y me brinda la oportunidad y la ayuda sublime para la obtención de éste título.

A mis padres, Webster y Zoila, quienes formaron en mí una persona de bien, y cuyo inestimable apoyo me posibilita conseguir éste logro.

A mi esposa, Liliana, quien ha estado junto a mí en todo éste proceso y ha sabido comprender mi esfuerzo.

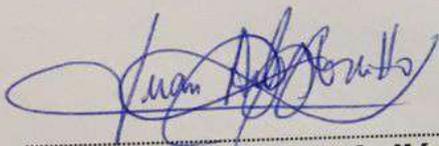
Al Msc. Juan Avilés, al Ph.D. Boris Ramos y al Msc. César Yépez, cuyas valiosas recomendaciones fueron de gran utilidad en el desarrollo de éste trabajo.

A Ecuatronic Cía. Ltda., empresa para la cual laboro, y que me brindó las facilidades para realizar éste proyecto.

DEDICATORIA

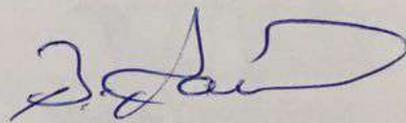
A mis hijos, Samuel y Eliana, quienes son el regalo más grande que Jehová Dios me ha dado, y cuyo bienestar es el motivo de mi esfuerzo diario.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Msc. Juan Carlos Avilés Castillo

PROFESOR EVALUADOR



Ph.D. Boris Gabriel Ramos Sánchez

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Manuel David Salazar Moncada

RESUMEN

Actualmente, la mayoría de los canales de televisión están transmitiendo su señal digital, al igual que la analógica, desde el cerro del Carmen para cobertura en la ciudad de Guayaquil, Sin embargo, debido a la topografía de ésta ciudad, se generan zonas de sombra, es decir, sectores dentro del área de cobertura en los que, debido a las obstrucciones no se recibe un nivel de señal adecuado. Entre dichas zonas, se encuentra el sector de la vía a la costa.

Por lo tanto, se propone la instalación de una estación auxiliar en el cerro Azul, pero, la ubicación exacta de dicho repetidor constituye un desafío para el diseño de cobertura, dada la irregularidad del terreno de la elevación mencionada.

El proyecto planteado consiste en la selección del sitio más adecuado en el cerro Azul, a partir del cual, una estación auxiliar pueda brindar un servicio de televisión digital de calidad a la mayor cantidad posible de ciudades ubicadas a lo largo de la vía a la costa dentro del perímetro de la ciudad de Guayaquil.

Para el efecto, se diseña e implementa un procedimiento que incluye el análisis de la recepción y transmisión de la estación auxiliar mediante mediciones de campo en cerro Azul y simulaciones de cobertura usando un software de análisis de propagación de ondas electromagnéticas denominado Radio Mobile. La señal de televisión digital que forma parte de éste estudio es la emitida por el canal Ecuavisa.

Los resultados generados nos permiten, mediante la aplicación de criterios de selección, escoger el mejor punto para la ubicación de la estación auxiliar en el cerro Azul para cobertura en el sector de la vía a la costa.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
 CAPÍTULO 1	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	1
1.1 Definición.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivo General.....	3
1.4 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Metodología.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Estándar Integrated Service Digital Broadcasting – Terrestrial.....	5
2.1.1 Modulación de Portadora.....	6
2.1.2 Modulation Error Rate.....	9
2.2 Radio Mobile.....	10
2.2.1 Algoritmo Longley-Rice.....	11
CAPÍTULO 3.....	12

3. UBICACIÓN ÓPTIMA DE LA ESTACIÓN AUXILIAR.....	12
3.1 Procedimiento para seleccionar el sitio óptimo.....	12
3.2 Preselección de sitios en Cerro Azul.....	13
3.3 Mediciones de recepción de señal.....	17
3.3.1 Parámetros de medición.....	17
3.3.2 Elementos utilizados.....	17
3.3.3 Medición en C_Azul_Alto_A.....	18
3.3.4 Medición en C_Azul_Alto_B.....	18
3.3.5 Medición en C_Azul_Bajo_A.....	19
3.3.6 Medición en C_Azul_Bajo_B.....	20
3.4 Simulaciones de cobertura.....	20
3.4.1 Canal de Operación.....	21
3.4.2 Parámetros del transmisor.....	21
3.4.3 Parámetros de los receptores.....	23
3.4.4 Simulación a partir de C_Azul_Alto_A.....	25
3.4.5 Simulación a partir de C_Azul_Alto_B.....	26
3.4.6 Simulación a partir de C_Azul_Bajo_A.....	28
3.4.7 Simulación a partir de C_Azul_Bajo_B.....	29
3.5 Selección de la ubicación óptima	30
3.5.1 Criterios de selección.....	30
3.5.2 Aplicación de los criterios de selección.....	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	40

ANEXOS..... 41

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.

Ante el surgimiento de la transmisión de las señales digitales de televisión en la ciudad de Guayaquil es preciso llevar a cabo estudios sobre los efectos y alcances de este nuevo acontecimiento, lo que implicará dar soluciones a las problemáticas encontradas.

Luego de realizar un análisis, mediante el software Radio Mobile, de la cobertura actual de la señal digital de Ecuavisa emitida desde el cerro del Carmen, queda en evidencia la necesidad de implementar una estación auxiliar en el cerro Azul que mejore la recepción de dicha señal en el sector de la vía a la costa.

Por lo tanto, se plantea un proyecto en el que se establezca y se implemente un procedimiento que permita seleccionar la mejor ubicación de la estación auxiliar en el cerro Azul, teniendo en cuenta que la irregularidad del terreno de ésta elevación influye en la calidad de recepción y cobertura alcanzada a partir de la transmisión de la señal de televisión digital.

El procedimiento a establecer considera aspectos técnicos de recepción y de transmisión de la estación auxiliar.

1.1 Definición.

El proyecto propuesto consiste en la selección del sitio más adecuado en el cerro Azul, para la instalación de una estación auxiliar que pueda retransmitir la señal digital de un canal de televisión brindando cobertura a las urbanizaciones localizadas a lo largo de la vía a la costa. Dicho sector se encuentra dentro de una zona de sombra para el alcance de la señal emitida desde el punto de transmisión principal ubicado en el cerro del Carmen de la ciudad de Guayaquil.

Se plantea realizar la elección del sitio óptimo mediante la implementación de un procedimiento diseñado, el cual se basa en criterios de selección sobre los resultados de un trabajo de medición de campo en el cerro Azul y en simulaciones computacionales de cobertura.

1.2 Justificación.

La ciudad de Guayaquil, a pesar de caracterizarse por su llanura, posee una cierta cantidad de cerros de baja elevación tales como el cerro del Carmen, cerro Azul, cerro Bellavista y el cerro Mapasingue.

Los canales de televisión abierta normalmente emiten su señal, tanto analógica como digital desde el cerro del Carmen. La altura y ubicación de ésta elevación les permite tener cobertura en prácticamente toda la ciudad, exceptuando ciertos lugares como en las urbanizaciones ubicadas a lo largo de la vía a la costa. Esto se debe a la existencia de zonas de sombra producidas por el cerro Azul, cerro San Eduardo y el cerro Bellavista.

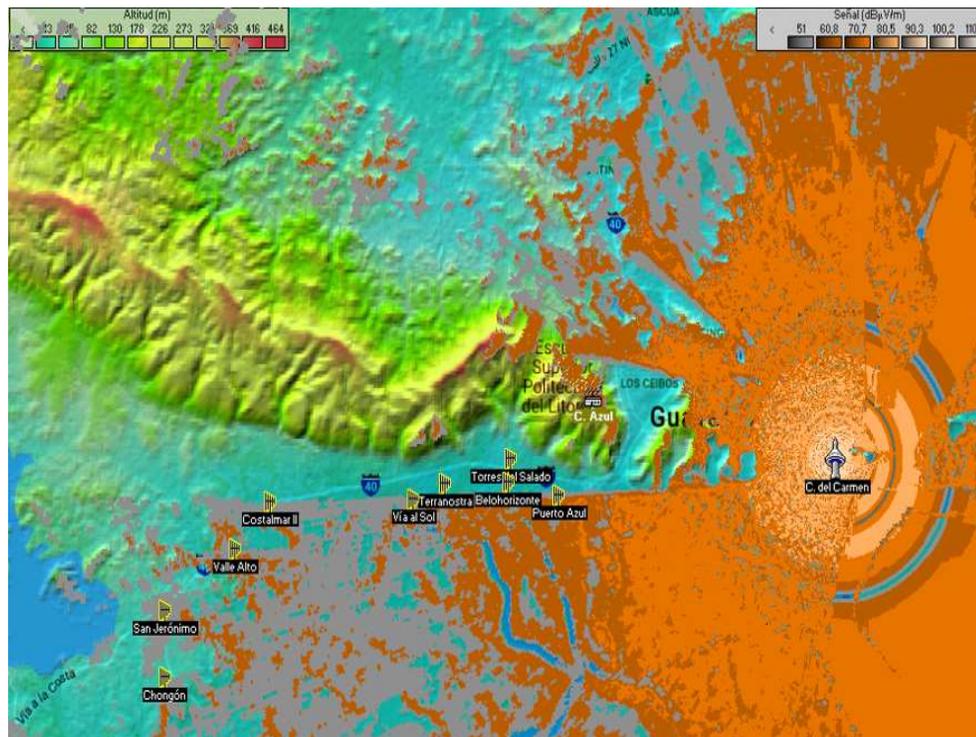


Figura 1.1: Cobertura de televisión digital desde Cerro del Carmen.

La figura 1.1 muestra el resultado de la simulación de cobertura realizado mediante el software Radio Mobile, en el que se observa el alcance de una señal de televisión digital emitida desde el cerro del Carmen, quedando en evidencia la falta de cobertura en el sector de la vía a la costa.

Debido a lo expuesto se considera necesario instalar una estación auxiliar en el cerro Azul que brinde cobertura del servicio de televisión digital abierta a las ciudadelas ubicadas en el sector de la vía a la costa.

A pesar de que el cerro Azul es la elevación más alta de Guayaquil, tiene como desventaja la irregularidad de su terreno, por lo que el diseño de cobertura de una señal transmitida a partir de éste cerro a las ciudadelas ubicadas en el sector de la vía a la costa dentro del perímetro de la ciudad, constituye un desafío técnico.

1.3 Objetivo general.

Determinar el sitio, técnicamente, más adecuado para la ubicación, en el cerro Azul, de una estación auxiliar que retransmita una señal de televisión digital, emitida desde el cerro del Carmen, para dar cobertura a las urbanizaciones ubicadas a lo largo de la vía a la costa, dentro del perímetro de la ciudad de Guayaquil.

1.4 Objetivos específicos.

Establecer un procedimiento que permita seleccionar el mejor punto de ubicación de la estación auxiliar.

Realizar un análisis de los aspectos técnicos que se deben considerar en la parte receptora de una estación auxiliar de televisión digital.

Realizar un análisis de cobertura de la transmisión desde el cerro Azul.

Definir el sitio más adecuado para la ubicación de la estación auxiliar.

1.5 Metodología.

Se establece un procedimiento mediante la consideración del análisis de los aspectos técnicos de recepción y de transmisión, estos últimos, asociados en la instalación de una estación auxiliar.

Se realizan mediciones del nivel y de la calidad de la señal digital de Ecuavisa recibida en el cerro Azul mediante el uso del analizador de espectros digital Promax, modelo HD Ranger 2 ISDB-T/Tb, proporcionado por la empresa Ecuatronix Cía. Ltda.

Se realizan simulaciones de cobertura mediante el software Radio Mobile, versión 11.6.5, tomando en cuenta elementos y aspectos técnicos que se tienen en instalaciones reales.

Sobre los resultados obtenidos se aplican criterios de selección que consideran las expectativas propuestas y los aspectos técnicos indicados en las normativas técnicas de radiodifusión de televisión digital publicadas por los entes reguladores.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO.

Luego de algunos años de estudio, en nuestro país se adoptó el estándar ISDB-Tb, que es la versión brasileña de ISDB-T desarrollado por los japoneses.

El estándar mencionado debe muchas de sus bondades al uso de la multicanalización por división de frecuencia OFDM y a la transmisión jerárquica, que permite brindar alta definición, definición estándar y recepción móvil en un mismo servicio.

2.1 Estándar Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial.

El estándar de radiodifusión digital de servicios integrados terrestre ISDB-T (por sus siglas en inglés: Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial) fue desarrollado por el grupo de expertos de radiodifusión digital de Japón DiBEG (por sus siglas en inglés: Digital Broadcasting Experts Group) [1]. Su sistema ha sido desarrollado para la radiodifusión de alta calidad confiable de video, audio y datos, tanto para receptores fijos como para receptores móviles; también fue desarrollado para proveer flexibilidad, expansibilidad, e interacción con la comunidad para radiodifusión multimedia [2].

Una de las características principales del sistema ISDB-T es la robustez, la cual es lograda debido al uso de la multicanalización por división de frecuencia ortogonal OFDM (por sus siglas en inglés: Orthogonal Frequency Division Multiplexing), al entrelazado en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo, y a la codificación concatenada de corrección de errores [2].

El sistema soporta transmisión jerárquica de hasta 3 capas (Capas A, B y C), para cada una de las cuales se puede escoger los parámetros de transmisión. También tiene 3 modos de transmisión (Modo 1, 2 y 3), mediante los cuales se establece el número de portadoras a ser usadas en la transmisión [2].

El sistema usa codificación MPEG-2 para el video y el audio (AAC). Además, adopta el sistema MPEG-2 para la encapsulación de las tramas de datos [2].

En la figura 2.1 se observa el esquema en el que se resume las características del sistema ISDB-T expuestas en ésta sección.

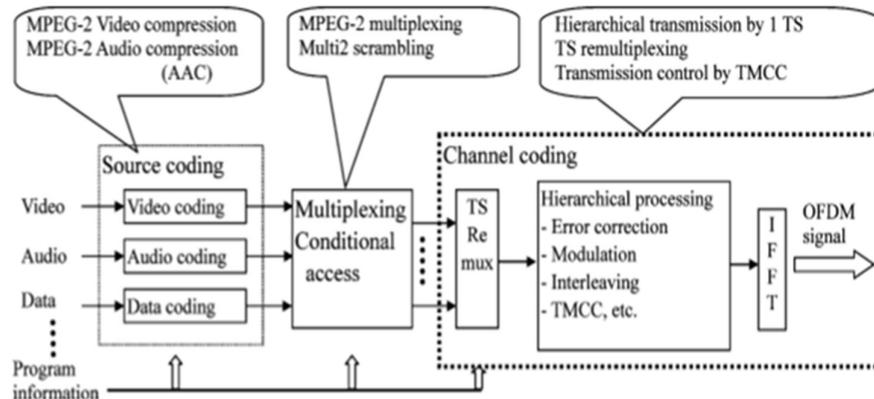


Figura 2.1: Configuración del Sistema ISDB-T [2].

2.1.1 Modulación de Portadoras.

La señal de entrada a ser modulada es una señal digital contenida en una trama de transporte TS (por sus siglas en inglés: Transport Stream) que ha sido sujeta a codificación Reed Solomon, y luego dividida en capas jerárquicas para ser sometida a codificación de canal en paralelo [2].

Luego, en el proceso de modulación de portadora, la señal de entrada es intercalada de bits y modulará una portadora de acuerdo al esquema especificado en la capa jerárquica a la que pertenezca [3]. En el sistema ISDB-T se tiene cuatro esquemas posibles de modulación: DQPSK, QPSK, 16QAM y 64 QAM [2].

DQPSK.

En el esquema de modulación por corrimiento de fase en cuadratura diferencial DQPSK (por sus siglas en inglés Differential Quadrature Phase-Shift) la señal de entrada debe ser un símbolo, de cuatro posibles, de dos bits [3], el cual modula una portadora, de tal manera que, la señal de salida tenga un desfase con respecto a la señal correspondiente al símbolo anterior. La señal de salida tendrá uno de ocho valores distintos de fase.

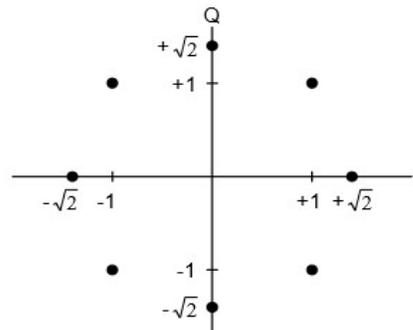


Figura 2.2: Constelación DQPSK $\pi/4$ [3].

En la figura 2.2 se puede observar los ocho posibles valores que puede tomar la salida del modulador DQPSK $\pi/4$, tanto para la magnitud en fase como para la magnitud en cuadratura.

QPSK.

En el esquema de modulación por Corrimiento de fase en cuadratura QPSK (por sus siglas en inglés Quadrature Phase-Shift Keying), cada símbolo, de cuatro posibles, de dos bits cada uno [3], modula una portadora, de tal manera que, la señal de salida toma el valor de fase correspondiente a dicho símbolo.

En el diagrama de constelación graficado en la figura 2.3 se puede observar las componentes en fase y en cuadratura de los cuatro valores posibles que puede tomar la fase de la portadora modulada mediante el esquema QPSK.

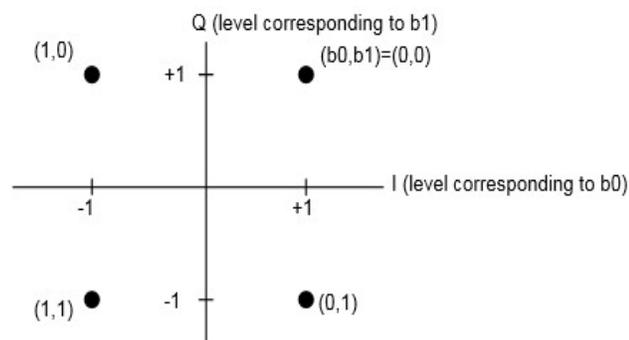


Figura 2.3: Constelación QPSK [3].

16QAM.

En el esquema de modulación por amplitud en cuadratura 16QAM (por sus siglas en inglés Quadrature Amplitude Modulation), cada símbolo, de cuatro bits cada uno [3], modula una portadora, la cual tomará uno de los dieciséis valores posibles variando su amplitud y fase.

En la figura 2.4 se observan los valores de las componentes en fase y de las componentes en cuadratura, graficados en el diagrama de constelación, que puede tomar la señal de salida de un modulador 16QAM.

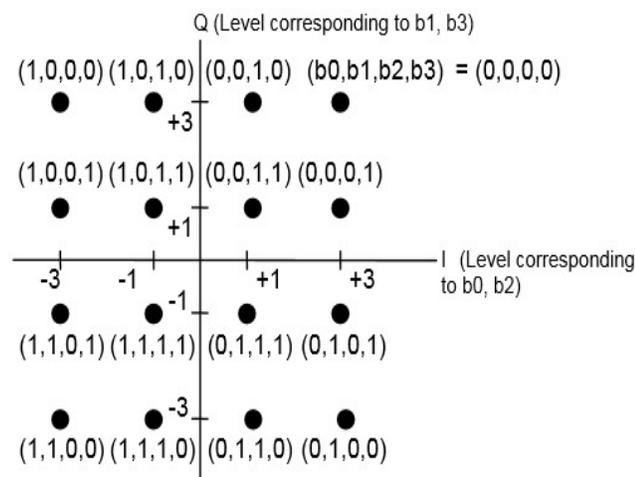


Figura 2.4: Constelación 16QAM [3].

64QAM.

En el esquema de modulación por amplitud en cuadratura 64QAM (por sus siglas en inglés Quadrature Amplitude Modulation), cada símbolo, de seis bits cada uno [3], modula una portadora, la cual tomará uno de sesenta y cuatro posibles valores variando su amplitud y fase.

En la figura 2.5 se observan los valores de las componentes en fase y de las componentes en cuadratura, graficados en el diagrama de constelación, que puede tomar la señal de salida de un modulador 64QAM.

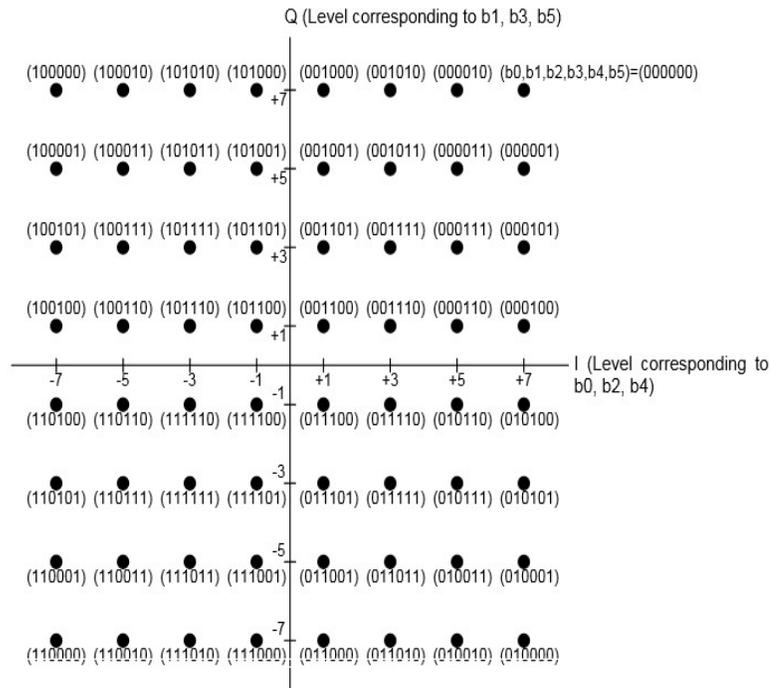


Figura 2.5: Constelación 64 QAM [3].

2.1.2 Modulation Error Rate.

La tasa de error de modulación MER (por sus siglas en inglés: Modulation Error Rate) es un parámetro que permite medir la calidad de una señal digital modulada, pues es un indicador de cuán exacta llega a un receptor la señal con respecto a la que se moduló en el transmisor.

Cuando un símbolo digital modula una portadora, la señal generada tiene una componente en fase (I) y una componente en cuadratura (Q), lo que se grafica en el diagrama de constelación como un vector, el cual se designa como el vector del símbolo objetivo, ya que representa la señal ideal del símbolo que se transmite. Cuando dicha señal llega a la entrada del receptor presenta una variación en la magnitud de la componente en fase y/o en la magnitud de la componente en cuadratura, por lo tanto, genera un vector recibido distinto al vector ideal. El error de modulación es el vector diferencia entre el vector ideal y el vector recibido [4]. En la figura 2.6 se ilustra lo mencionado.

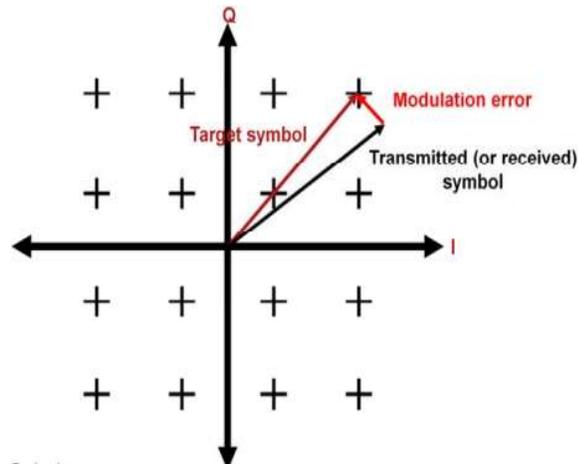


Figura 2.6: Vector de error de modulación [4].

Para una señal OFDM, el análisis de MER se lo realiza sobre el conjunto de portadoras sobre un mismo diagrama de constelación. Por lo tanto, si designamos (I_j, Q_j) como las coordenadas del vector ideal j , y $(\delta I_j, \delta Q_j)$ como las coordenadas del vector recibido j , entonces podemos expresar la MER mediante la siguiente expresión matemática [5]:

$$MER(dB) = 10 \log \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} \quad (2.1)$$

La ecuación 2.1 define la MER como la relación de la potencia promedio del símbolo sobre la potencia error promedio [4].

2.2 Radio Mobile.

Radio Mobile es un programa diseñado para realizar cálculos de propagación de ondas de radio en enlaces punto a punto y punto a zona. Fue creado en 1998 por el ingeniero y radioaficionado canadiense Roger Coudé. Una de las virtudes de éste programa es que utiliza datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor. Estos datos, junto a otros relativos al entorno y a las características técnicas de los transceptores, se utilizan para realizar los cálculos de atenuación mediante el modelo de propagación ITM (por sus siglas en inglés: Irregular Terrain Model), el cual se basa en el algoritmo de Longley-Rice [6].

Los datos digitales con los que opera el programa pueden ser obtenidos de diversas fuentes, entre ellas, la proporcionada por la misión SRTM (por sus siglas en inglés Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA, la cual se realizó en febrero del año 2000 y tuvo una duración de 11 días, durante los cuales se acoplaron dos antenas de radar especiales al transbordador espacial Endeavour. Siguiendo una trayectoria perfectamente calculada, el transbordador orbitó alrededor de la Tierra emitiendo señales con su radar de apertura sintética y recogiendo sus ecos. Mediante técnicas de interferometría, la combinación de los ecos del radar recogidos para cada punto de medición permite obtener la altitud del terreno [6].

2.2.1 Algoritmo Longley-Rice.

Como se mencionó anteriormente el algoritmo de cálculos de propagación utilizado por Radio Mobile es el de Longley-Rice. Éste algoritmo se basa en la teoría del electromagnetismo y en el análisis estadístico de las características del terreno y de los parámetros del radioenlace, prediciendo la atenuación media de una señal de radio que se propaga en un entorno troposférico sobre terreno irregular. Para ello, calcula la atenuación media de la misma, en función de la distancia y de la variabilidad de la señal en el espacio y en el tiempo. Fue diseñado para frecuencias de trabajo entre 20 MHz y 20 GHz y para longitudes de trayecto entre 1 km y 2000 km [6].

El algoritmo Longley-Rice toma en consideración algunos parámetros, entre los que podemos mencionar los siguientes:

- Polarización de las antenas.
- Refractividad de superficie.
- Permitividad del medio.
- Conductividad del medio.
- Clima.

CAPÍTULO 3

3. UBICACIÓN ÓPTIMA DE LA ESTACIÓN AUXILIAR.

El objetivo del presente capítulo es determinar el mejor sitio, dentro de cuatro posibles, para la ubicación, en el cerro Azul, de una estación auxiliar que retransmita la señal de televisión digital emitida desde el cerro del Carmen, para brindar cobertura a las urbanizaciones ubicadas a lo largo de la vía a la costa, dentro del perímetro de la ciudad de Guayaquil.

Para el efecto, en primer lugar, se establece un procedimiento que implica mediciones de campo y simulaciones, mediante software; luego de lo cual, se lo implementa en búsqueda de lograr el objetivo. La selección del mejor sitio se realiza aplicando criterios de selección sobre los resultados obtenidos.

La señal de televisión digital considerada en nuestro estudio es la emitida por el canal Ecuavisa, la cual se transmite en el canal 23, cuyo rango de frecuencias de operación es de 524 a 530 MHz.

3.1 Procedimiento para seleccionar el sitio óptimo.

A continuación se indica el procedimiento propuesto a seguir en búsqueda del sitio óptimo para la ubicación de una estación auxiliar en el cerro Azul.

- a) Determinar los puntos geográficos en los que se pretende ubicar la estación auxiliar.
- b) Realizar mediciones de nivel y calidad de señal recibida, desde el cerro del Carmen, en cada uno de los puntos geográficos predeterminados utilizando un analizador de espectros digital.
- c) Realizar simulaciones de cobertura a partir de cada uno de los puntos geográficos predeterminados, mediante el uso de un software, en éste caso, Radio Mobile.
- d) Elegir el punto de ubicación óptimo en base a la aplicación de criterios de selección sobre los resultados generados.

Durante el resto del capítulo se detalla la implementación de éste procedimiento.

3.2 Preselección de sitios en Cerro Azul.

Cerro Azul es un accidente geográfico perteneciente a la cordillera Chongón-Colonche. Se ubica en el sector de los Ceibos. Con más de 300 m de altura, es el cerro más alto de Guayaquil.

En la cima del cerro Azul se puede visualizar una zona amplia donde se han instalado las torres para dar servicio de telecomunicaciones a la ciudad de Guayaquil. Dicha zona se la ha dividido en dos partes denominadas: Cerro Azul Alto y Cerro Azul Bajo, diferenciada la una de la otra porque como su nombre lo indica, un sector tiene mayor altitud promedio que el otro.

En la figura 3.1 se muestra una vista satelital de la ubicación de los sectores Cerro Azul Alto y Cerro Azul Bajo.

A lo largo de la cima del cerro se ubicaron cuatro sitios, dos en Cerro Azul Alto y dos en Cerro Azul Bajo, los cuales serán analizados para determinar el más adecuado para la instalación de la estación auxiliar.

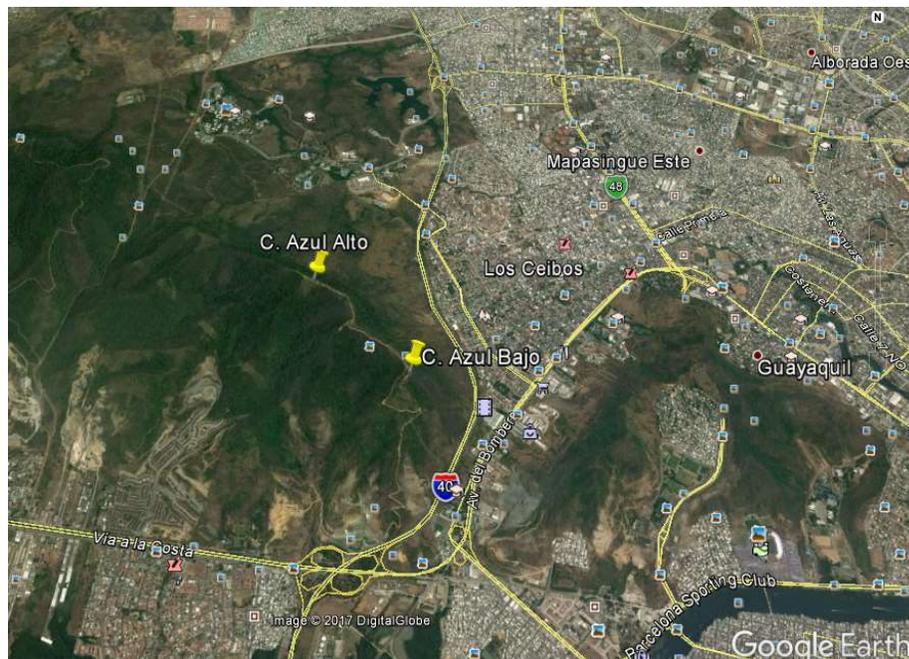


Figura 3.1: Ubicación de Cerro Azul Alto y Cerro Azul Bajo.

En la tabla 1 se indican las coordenadas geográficas y respectiva altitud de cada uno de los cuatro sitios, que se los ha denominado de acuerdo al sector en que se ubican, diferenciándose con las dos primeras letras del abecedario, aquellos pertenecientes al mismo sector.

Sitio	Denominación	Coordenadas	Altura
1	C_Azul_Alto_A	2° 9' 53.8" S; 79° 57' 31.7" O	380 m
2	C_Azul_Alto_B	2° 9' 59.87" S; 79° 57' 20.23" O	366 m
3	C_Azul_Bajo_A	2° 10' 17.42" S; 79° 57' 5.03" O	311 m
4	C_Azul_Bajo_B	2° 10' 27.1" S; 79° 57' 2.7" O	296 m

Tabla 1: Coordenadas geográficas de los sitios considerados.

En la figura 3.2 se muestra una vista satelital de la ubicación de los cuatro sitios considerados para ser analizados.

El principal factor para la elección de los cuatro sitios es la existencia de línea de vista con el cerro del Carmen.

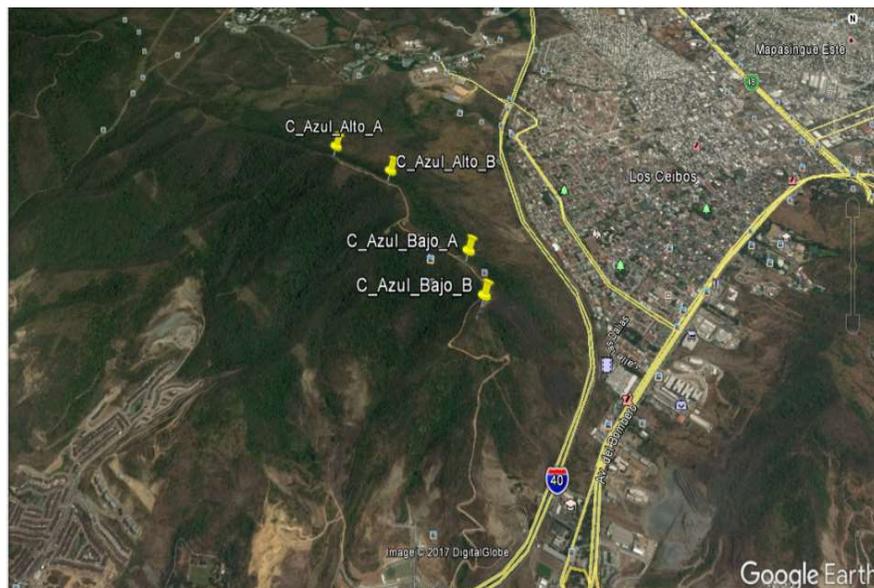


Figura 3.2: Ubicación geográfica de los sitios considerados.

En la figura 3.3 se observa, mediante el perfil de elevación de la trayectoria entre el sitio denominado C_Azul_Alto_A y Cerro del Carmen, la existencia de línea de vista entre ambos puntos.

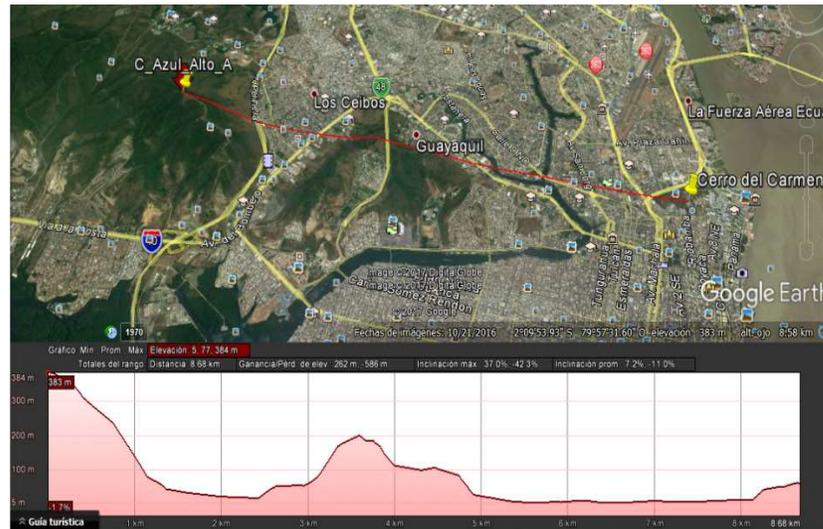


Figura 3.3: Línea de vista entre C_Azul_Alto_A y Cerro del Carmen.

En la figura 3.4 se observa, mediante el perfil de elevación de la trayectoria entre el sitio denominado C_Azul_Alto_B y Cerro del Carmen, la existencia de línea de vista entre ambos puntos.

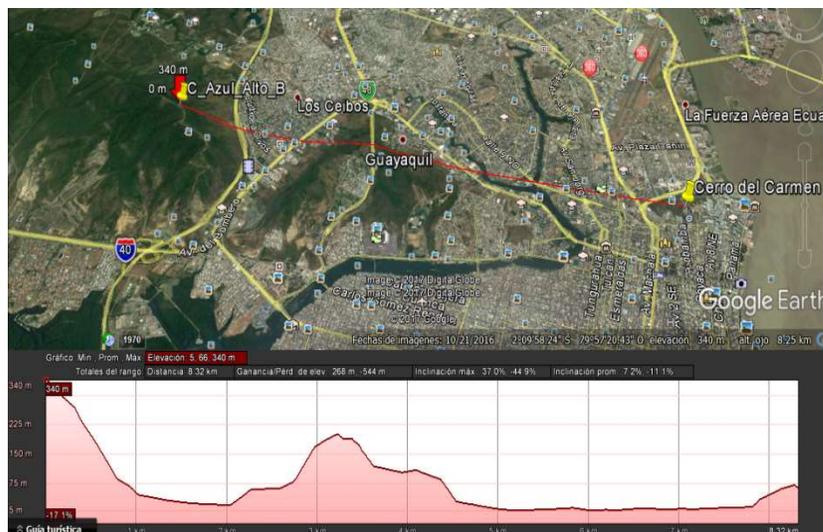


Figura 3.4: Línea de vista entre C_Azul_Alto_B y Cerro del Carmen.

En la figura 3.5 se observa, mediante el perfil de elevación de la trayectoria entre el sitio denominado C_Azul_Bajo_A y Cerro del Carmen, la existencia de línea de vista entre ambos puntos.

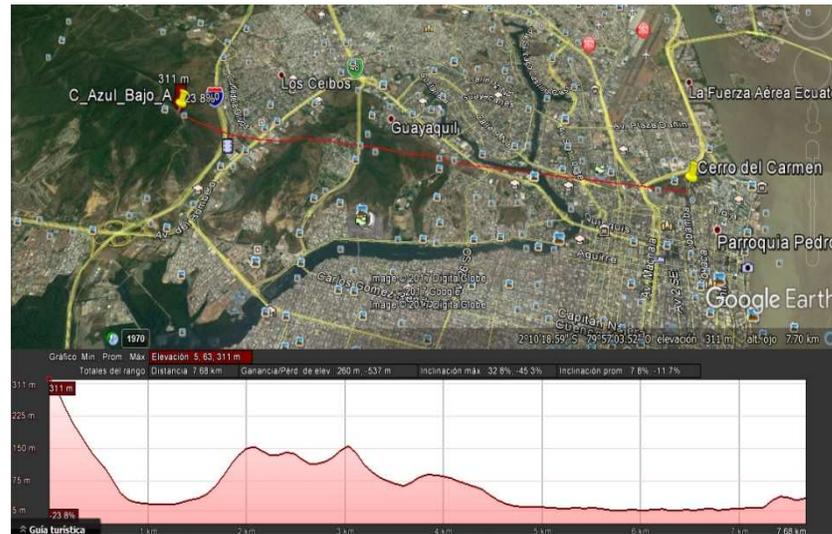


Figura 3.5: Línea de vista entre C_Azul_Bajo_A y Cerro del Carmen.

En la figura 3.6 se observa, mediante el perfil de elevación de la trayectoria entre el sitio denominado C_Azul_Bajo_B y Cerro del Carmen, la existencia de línea de vista entre ambos puntos.

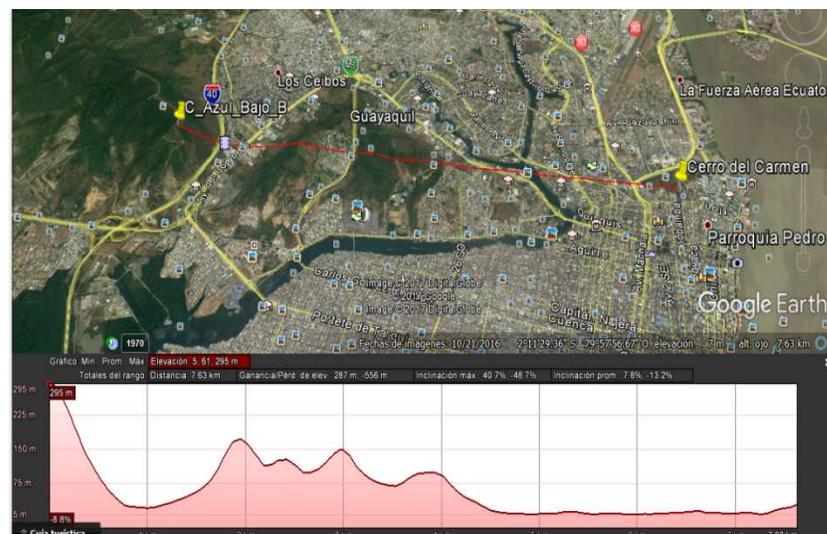


Figura 3.6: Línea de vista entre C_Azul_Bajo_B y Cerro del Carmen.

3.3 Mediciones de recepción de señal.

En ésta sección se mostrarán los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, sobre los parámetros de recepción de la señal digital del canal de televisión Ecuavisa, en cada uno de los cuatro sitios propuestos para la ubicación de la estación auxiliar.

3.3.1 Parámetros de Medición.

Debido a que el análisis se realiza sobre una señal de televisión digital, se debe garantizar, tanto un aceptable nivel de intensidad de campo eléctrico en el punto de recepción, como una excelente calidad de la misma.

El analizador de espectros nos permite obtener el nivel de potencia de señal recibida, a partir del cual se puede obtener el nivel de intensidad de campo eléctrico (FS – Field strength), mediante la ecuación 3.1 (ver anexo A).

$$FS \left(\frac{dB\mu V}{m} \right) = V(dB\mu V) + AF \left(\frac{dB}{m} \right) + C_A(dB) \quad (3.1)$$

Donde V: Valor en dBuV obtenido en el analizador.

AF: Factor de antena.

C_A : Pérdidas en el cable de interconexión.

La calidad de la señal digital se la cuantifica mediante la tasa de error de modulación (MER, por sus siglas en inglés Modulation Error Rate).

3.3.2 Elementos utilizados.

Las mediciones de campo fueron realizadas con el analizador de espectros digital, marca Promax, modelo HD Ranger 2 ISDB-T/Tb.

Se utilizó una antena UHF modelo BTY-UHF-BB, del fabricante Blonder Tongue, la cual tiene una ganancia de 12.35 dBi. A partir de éste valor se puede obtener el factor de antena, mediante el uso de la ecuación 3.2 (ver anexo A).

Teniendo en cuenta que, el canal 23, en el que Ecuavisa emite su señal digital, y sobre el cual se realizan las mediciones, tiene su frecuencia

central en 527 MHz. Podemos deducir que el factor de antena utilizada es de 12.3 dB.

$$AF(dB) = 20 \log(F[MHz]) - G[dBi] - 29.79 \quad (3.2)$$

El cable de interconexión usado es de tipo RG11, de una longitud aproximada de 3 m. La atenuación de dicho cable es de 0.1 dB/m, por lo tanto, se tiene una pérdida de 0.3 dB.

3.3.3 Medición en C_Azul_Alto_A.

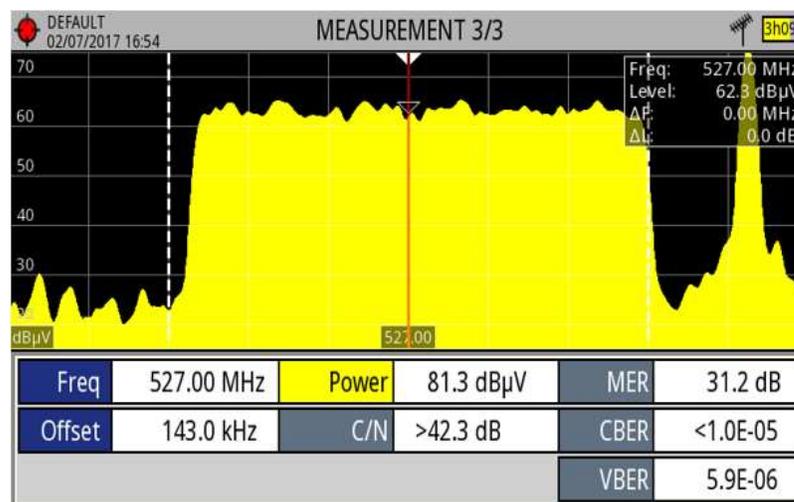


Figura 3.7: Parámetros de señal medida en C_Azul_Alto_A.

En la figura 3.7 se muestran los parámetros de la señal digital medidos con analizador de espectros en el sitio C_Azul_Alto_A. Se puede observar que el nivel de potencia recibida es de 81.3 dBμV. A partir de éste parámetro se puede calcular el nivel de intensidad de campo aplicando la ecuación 3.1, lo que nos genera un valor de FS= 93.9 dBμV/m. Así mismo se observa que el nivel de MER medido es de 31.2 dB (ver Anexo B).

3.3.4 Medición en C_Azul_Alto_B.

En la figura 3.8 se muestran los parámetros de la señal digital medidos con analizador de espectros en el sitio C_Azul_Alto_B. Se puede observar que el nivel de potencia recibida es de 83.1 dBμV. A partir de

éste parámetro se puede calcular el nivel de intensidad de campo aplicando la ecuación 3.1, lo que nos genera un valor de FS= 95.7 dBuV/m. Así mismo se observa que el nivel de MER medido es de 32.2 dB (ver anexo B).

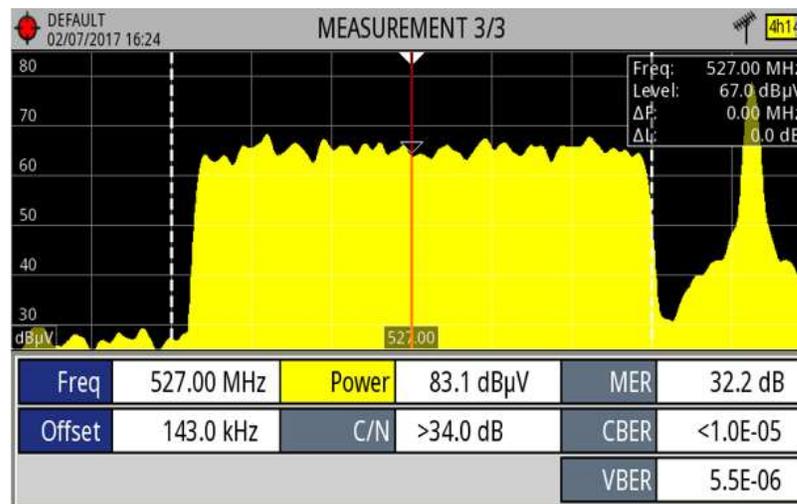


Figura 3.8: Parámetros de señal medida en C_Azul_Alto_B.

3.3.5 Medición en C_Azul_Bajo_A.

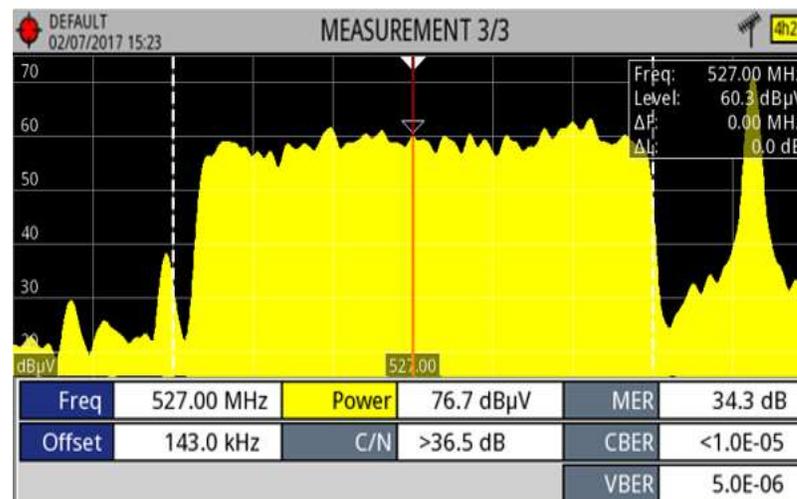


Figura 3.9: Parámetros de señal medida en C_Azul_Bajo_A.

En la figura 3.9 se muestran los parámetros de la señal digital medidos con analizador de espectros en el sitio C_Azul_Bajo_A. Se puede

observar que el nivel de potencia recibida es de 76.7 dBuV. A partir de éste parámetro se puede calcular el nivel de intensidad de campo aplicando la ecuación 3.1, lo que nos genera un valor de FS= 89.3 dBuV/m. Así mismo se observa que el nivel de MER medido es de 34.3 dB (ver anexo B).

3.3.6 Medición en C_Azul_Bajo_B.

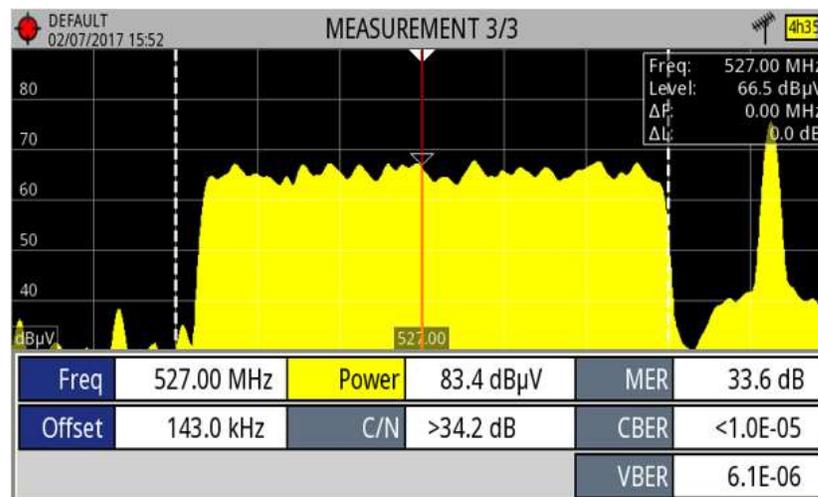


Figura 3.10: Parámetros de señal medida en C_Azul_Bajo_B.

En la figura 3.10 se muestran los parámetros de la señal digital medidos con analizador de espectros en el sitio C_Azul_Bajo_B. Se puede observar que el nivel de potencia recibida es de 83.4 dBuV. A partir de éste parámetro se puede calcular el nivel de intensidad de campo aplicando la ecuación 3.1, lo que nos genera un valor de FS= 96 dBuV/m. Así mismo se observa que el nivel de MER medido es de 33.6 dB (ver anexo B).

3.4 Simulaciones de cobertura.

En la presente sección se realizarán simulaciones de cobertura de la señal de televisión digital de Ecuavisa que actualmente se transmite desde Cerro del Carmen y que se busca retransmitir desde Cerro Azul hacia el sector de las urbanizaciones a lo largo de la Vía a la Costa, mediante la instalación de una

estación auxiliar. Las simulaciones serán realizadas utilizando el software Radio Mobile en su versión 11.6.5.

Básicamente, se realizarán cuatro simulaciones en las que se determinará la cobertura de la estación auxiliar ubicada en cada uno de los cuatro sitios, especificados en la tabla 1, en los cuales se efectuaron las mediciones del nivel de recepción en la sección anterior.

A continuación se detallan los parámetros configurados en el software Radio Mobile.

3.4.1 Canal de operación.

Para todas las simulaciones realizadas se considera un solo canal de operación. Debido a que la idea de éste proyecto se basa en la instalación de una estación auxiliar de televisión digital, es decir, un repetidor que opere en la modalidad de Red de Frecuencia Única, SFN (por sus siglas en inglés: Single Frecuencia Network); se configura en el software como canal de operación el mismo en el que se realizaron las mediciones de recepción, es decir, canal 23, cuyo rango de frecuencia es de 524 a 530 MHz.

3.4.2 Parámetros del transmisor.

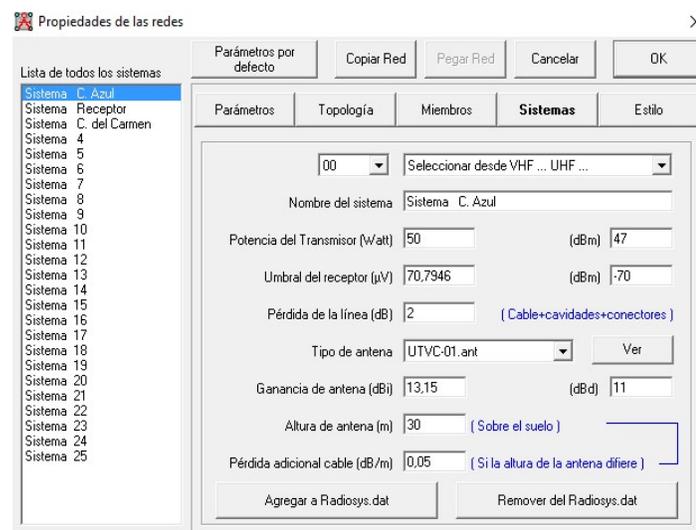


Figura 3.11: Parámetros de la estación auxiliar.

Con el objetivo de que el ejercicio de simulación nos genere resultados muy cercanos a la realidad, los parámetros de transmisión, requeridos por Radio Mobile, se configuraron en base a los que comúnmente se tendría en una instalación real de una estación auxiliar de televisión digital.

La estación auxiliar simulada está compuesta por un equipo repetidor que opera en modalidad SFN que entrega una potencia de salida máxima de 50 W rms, una antena tipo panel UHF ubicada a 30 m de altura, y 35 m de cable LDF-450 (Andrew dieléctrico de espuma de ½”).

En la figura 3.11 se muestran los parámetros de transmisión configurados en el Sistema “C. Azul” que implica a la estación auxiliar.

El equipo considerado es un repetidor PCM-UHF 50 del fabricante Syes, el cual permite entregar una potencia de salida máxima de 50 W rms, y su umbral de recepción de señal de entrada es de -70 dBm.

La antena transmisora considerada es un panel UHF del fabricante Syra, modelo UTVC-01, cuyas características técnicas se las puede obtener de la hoja de especificaciones proporcionada por el fabricante, como podemos observar en la figura 3.12, en la cual podemos observar el dato de ganancia de la antena, especificada como 11 dBd, ya que lo referencia con respecto a un dipolo de media onda.

ELECTRICAL DATA	
ANTENNA TYPE	UTVC-01
FREQUENCY RANGE	470 ÷ 558 MHz
IMPEDANCE	50 ohm
CONNECTOR	2 x 7/8" EIA
MAX POWER	2 x 2.5 kW
VSWR	≤ 1.18
POLARIZATION	Horizontal and Vertical
GAIN (referred to half wave dipole)	11 dB
HALF POWER BEAMWIDTH	Horizontal-Plane ± 31° Vertical-Plane ± 16°
ISOLATION	27 dB
LIGHTNING PROTECTION	All metal parts of the antenna are DC grounded. The inner conductor is coupled capacitively.

Figura 3.12: Características técnicas de la antena UTVC-01.

Radio Mobile tiene en su base de datos un cierto número de antenas cuyos patrones de radiación son utilizados para realizar las simulaciones según los requerimientos. Dado a que ninguno de éstos patrones se asemeja al del panel escogido, se creó un archivo con extensión .ant, en el que se ingresó la información del patrón de radiación de la antena UTVC-01, para que pueda ser usado en las simulaciones requeridas (ver anexo B).

Como se indicó anteriormente, el cable que se considera para realizar la simulación es del tipo LDF4-50A, del fabricante Andrew, cuyas especificaciones técnicas las encontramos en el catálogo "Helix. Coaxial Cables" de Andrew, en las que se indica que la atenuación del mismo expresada en dB/100m correspondiente a la frecuencia requerida es de 5.08, por lo que, dada la cantidad de cable requerida (35 m), se obtiene un valor de pérdidas por el cable de 1.78 dB. Debido a las pérdidas de las conexiones, se aproxima el valor total de pérdidas de la línea a 2 dB.

Cabe indicar que, del valor de atenuación del cable se deduce una pérdida adicional del mismo de 0.05 dB/m.

3.4.3 Parámetros de los receptores.

Para realizar la simulación de cobertura de tipo radial, el software Radio Mobile requiere que se configure los parámetros de un receptor, el cual será ubicado con respecto al transmisor utilizando un sistema de coordenadas polares (r, j). El sistema calcula radioenlaces en radiales establecidos en base a incrementos programables del azimut "j", dentro de un determinado rango de distancias "r" desde la ubicación del transmisor [6].

Con el fin de visualizar, en las gráficas generadas en las simulaciones, la posición de las urbanizaciones localizadas en la Vía a la Costa, se crearon unidades, cuyas ubicaciones en el mapa corresponde a la de cada una de las ciudadelas de interés. En la tabla 2 se indican las unidades receptoras creadas y su respectiva ubicación.

Receptor	Ubicación
Puerto Azul	2°11'26"S; 79°57'56.5"O.
Torres del Salado	2°10'53.2"S; 79°58'48.4"O.
Belohorizonte	2°11'14"S; 79°58'50.8"O.
Terranostra	2°11'14.8"S; 79°59'58.1"O.
Vía al Sol	2°11'29.1"S; 80°0'31.2"O.
Costalmar II	2°11'31.5"S; 80°3'2.7"O.
Valle Alto	2°12'12.9"S; 80°3'40"O.
San Jerónimo	2°13'7.6"S; 80°4'54.6"O.
Chongón	2°14'6.4"S; 80°4'55"O.

Tabla 2: Ubicación asignada a las unidades receptoras.

Como se mencionó anteriormente, se busca que los resultados de las simulaciones sean lo más cercano a la realidad; por lo tanto, para configurar los parámetros de recepción se consideran aspectos técnicos que usualmente posee un receptor.

En la figura 3.13 se observan los parámetros de configuración en el Sistema "Receptor", esquema bajo el cual, fueron configuradas cada una de las unidades indicadas en la tabla 2.

Radio Mobile requiere que se configure el valor de potencia de transmisión en el receptor, ya que éste software realiza cálculos para enlaces bidireccionales. Pero en nuestro caso, dado que la transmisión de la señal de televisión digital en nuestro país aún es unidireccional, se configura dicho parámetro en 0 W.

Para configurar el valor de umbral del receptor se toma en cuenta la norma ABNT NBR 15604, en la que se especifica que, para receptores ISDBT se requiere un nivel de señal de entrada mínimo de -77 dBm.

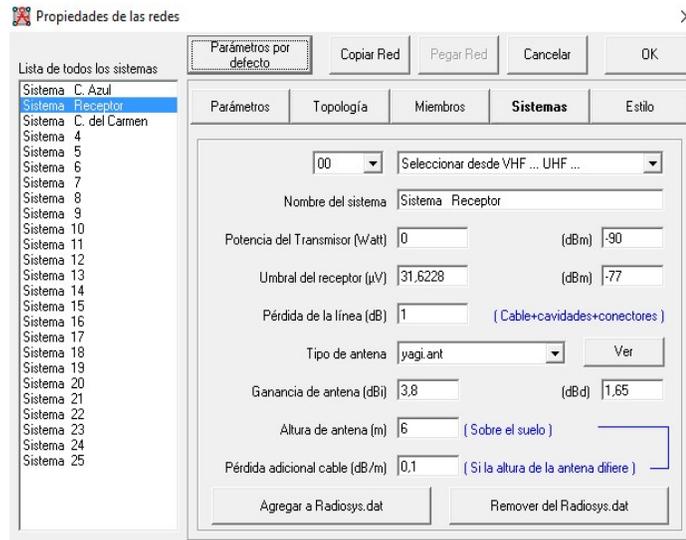


Figura 3.13: Parámetros de las unidades receptoras.

Se considera una antena yagi con una ganancia de 1.65 dBd, colocada a una altura de 6 m. Su patrón de radiación sí está dentro de la base de datos del software.

Se consideran también 7 m de cable RG11, el cual tiene una atenuación de 0.1 dB/m, por lo tanto, considerando pérdidas en conexiones, se configura un valor de pérdida en la línea de 1 dB.

3.4.4 Simulación a partir de C_Azul_Alto_A.

Se configuran, en la estación auxiliar, los parámetros de ubicación de la unidad y dirección de la antena transmisora, como se indica a continuación:

Ubicación de la estación auxiliar: 2° 9' 53.8" S: 79° 57' 31.7" O.

Azimut de la antena: 240.3°.

Ángulo de elevación de la antena: 1.39°.

La figura 3.14 muestra la gráfica de la simulación de la cobertura de la señal generada desde la estación auxiliar ubicada en el sitio C_Azul_Alto_A.

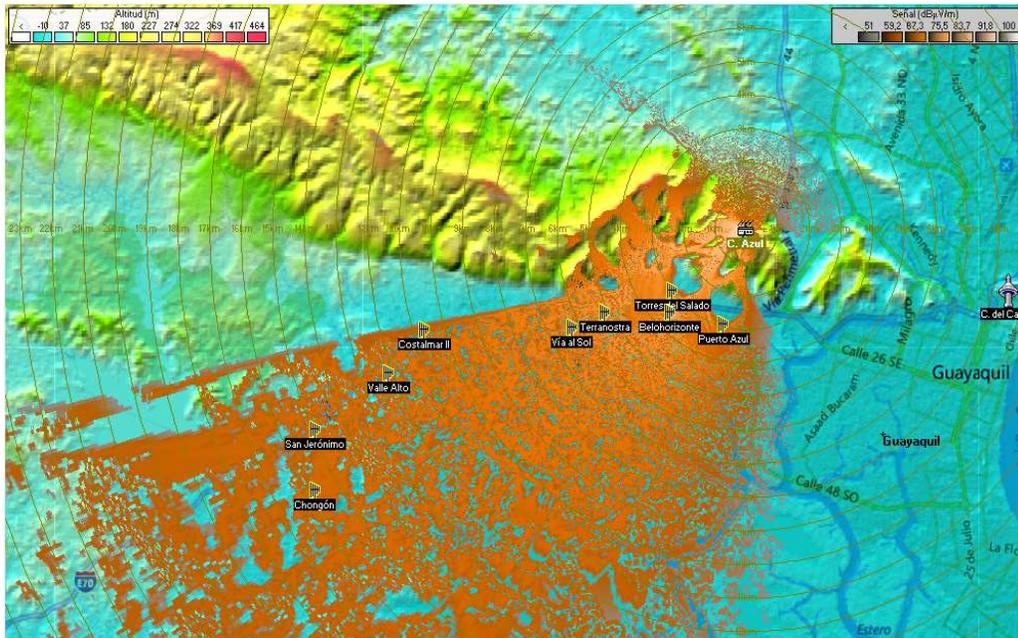


Figura 3.14: Simulación de cobertura desde C_Azul_Alto_A.

Se puede observar que el alcance de cobertura en cada uno de los sectores de recepción señalizados es bueno, a excepción de las urbanizaciones de Puerto Azul y Costalmar II, en las que por obstrucciones propias del cerro Azul, no se logra cubrir la totalidad de dichos sectores.

Se logra una cobertura aceptable sobre los 51 dBuV/m en el sector de Chongón, a partir de allí, la cobertura se torna muy irregular con bastantes espacios, en los que el valor de intensidad de campo eléctrico es inferior al mínimo aceptable.

La radiación del lóbulo trasero de la antena transmisora alcanza una distancia cercana a 3 Km en un rango aproximado de 120° a 270°, además de un haz que se extiende unos 7 Km en dirección de 275°.

3.4.5 Simulación a partir de C_Azul_Alto_B.

Se configuran, en la estación auxiliar, los parámetros de ubicación de la unidad y dirección de la antena transmisora, como se indica a continuación:

Ubicación: 2° 9' 59.87" S; 79° 57' 20.23" O.

Azimut de la antena: 241.5°.

Ángulo de elevación de la antena: 1.31°.

La figura 3.15 muestra la gráfica de cobertura de la señal generada desde la estación auxiliar ubicada en el sitio C_Azul_Alto_B.

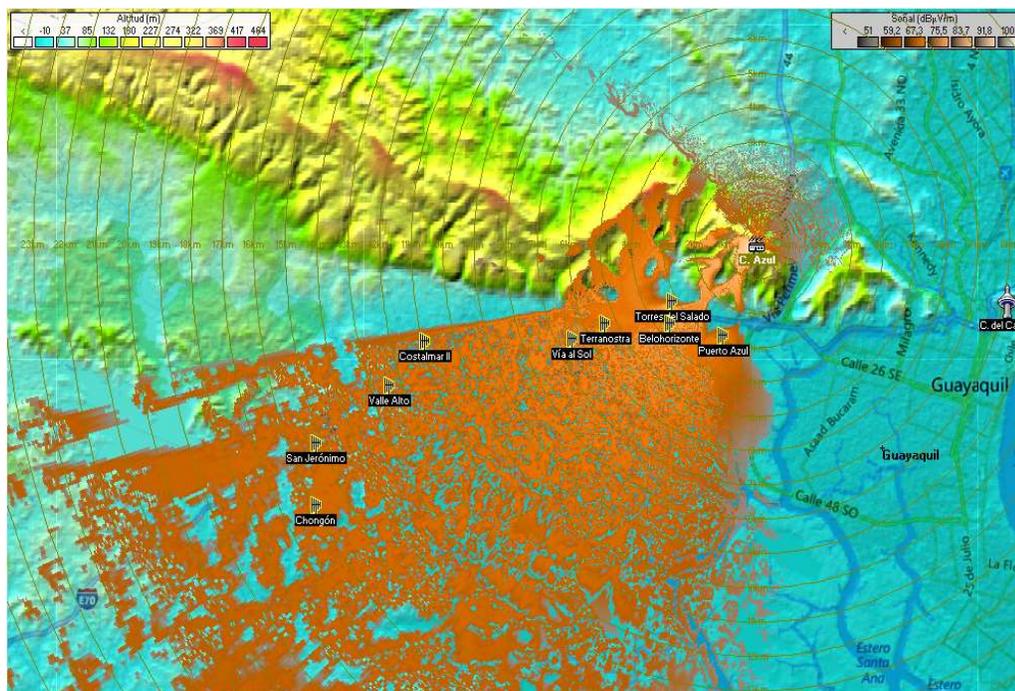


Figura 3.15: Simulación de cobertura desde C_Azul_Alto_B.

Se puede observar que la cobertura en cada uno de los sectores de recepción señalizados es buena, a excepción de las urbanizaciones de Puerto Azul, Torres del Salado y Costalmar II, en las que por obstrucciones propias de Cerro Azul, no se logra cubrir la totalidad de dichos sectores.

Se logra una cobertura aceptable sobre los 51 dBuV/m en el sector de Chongón, a partir de allí, la cobertura se torna muy irregular con bastantes espacios, en los que el valor de intensidad de campo eléctrico es inferior al mínimo aceptable.

La radiación del lóbulo trasero de la antena transmisora alcanza una distancia cercana a 3 Km en un rango aproximado de 135° a 270° , además de un haz que se extiende unos 6.5 Km en dirección de 275° .

3.4.6 Simulación a partir de C_Azul_Bajo_A.

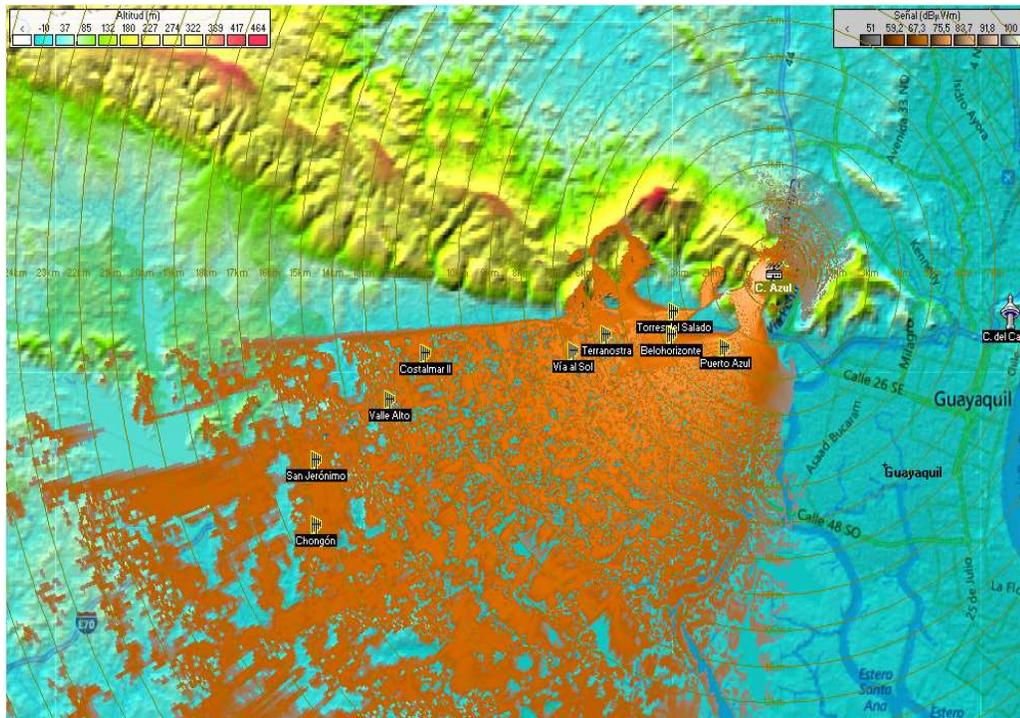


Figura 3.16: Simulación de cobertura desde C_Azul_Bajo_A.

Se configura, en la estación auxiliar, los parámetros de ubicación de la unidad y dirección de la antena transmisora, como se:

Ubicación: $2^\circ 10' 17.42''$ S; $79^\circ 57' 5.03''$ O.

Azimut de la antena: 244° .

Ángulo de elevación de la antena: 1.1° .

La figura 3.16 muestra la gráfica de cobertura de la señal generada desde la estación auxiliar ubicada en el sitio C_Azul_Bajo_A.

Se puede observar que la cobertura en cada uno de los sectores de recepción señalizados es buena, a excepción de la urbanización Torres

del Salado, en la que, por obstrucciones propias de Cerro Azul, no se logra cubrir la totalidad de dicho sector.

Se logra una cobertura aceptable sobre los 51 dBuV/m en el sector de Chongón, a partir de allí, la cobertura se torna muy irregular con bastantes espacios, en los que el valor de intensidad de campo eléctrico es inferior al mínimo aceptable.

La radiación del lóbulo trasero de la antena transmisora alcanza una distancia cercana a 2.5 Km en un rango aproximado de 90° a 240°.

3.4.7 Simulación a partir de C_Azul_Bajo_B.

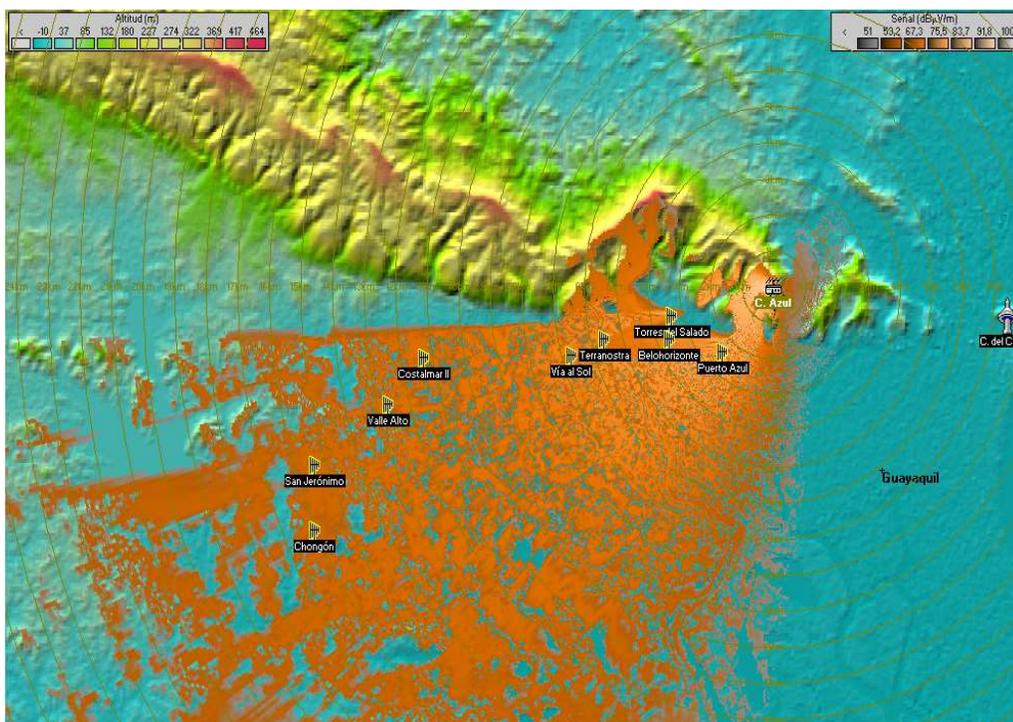


Figura 3.17: Simulación de cobertura desde C_Azul_Bajo_B.

Se configuran, en la estación auxiliar, los parámetros de ubicación de la unidad y dirección de la antena transmisora, como se indica a continuación:

Ubicación: 2° 10' 27.1" S; 79° 57' 2.7" O.

Azimut de la antena: 245.1°.

Ángulo de elevación de la antena: 1.05°.

La figura 3.17 muestra la gráfica de la simulación de la cobertura de la señal generada desde la estación auxiliar ubicada en el sitio C_Azul_Bajo_B.

Se puede observar que la cobertura en cada uno de los sectores de recepción señalizados es buena, a excepción de la urbanización Torres del Salado, en la que por obstrucciones propias de Cerro Azul, no se logra cubrir la totalidad de dicho sector.

Se logra una cobertura aceptable sobre los 51 dBuV/m en el sector de Chongón, a partir de allí, la cobertura se torna muy irregular con bastantes espacios, en los que el valor de intensidad de campo eléctrico es inferior al mínimo aceptable.

La radiación del lóbulo trasero de la antena transmisora alcanza una distancia cercana a 2.5 Km en un rango aproximado de 90° a 180°.

3.5 Selección de la ubicación óptima.

3.5.1 Criterios de selección.

La ubicación de la estación auxiliar debe permitirle cumplir a cabalidad el objetivo de su instalación, el cual es el de servir de una señal de calidad a un determinado sector.

Para que un repetidor transmita una señal de buena calidad, debe recibirla en óptimas condiciones, es decir, la calidad de la señal recibida condiciona el excelente desempeño de la estación auxiliar.

En la búsqueda por obtener una señal óptima en la recepción de la estación auxiliar, se debe considerar primordialmente que exista línea de vista entre la antena receptora de la estación auxiliar y el sistema radiante del transmisor de cobertura principal, un nivel aceptable de intensidad de campo eléctrico, y que la señal recibida supere el nivel mínimo de calidad necesario para poder ser demodulado sin ningún inconveniente.

Debido a que el servicio que se debe retransmitir es una señal de televisión digital, se debe garantizar los siguientes aspectos: un buen nivel de recepción y una buena calidad de la señal.

Para lograr un buen nivel de recepción se debe ubicar el repetidor en un sitio donde la intensidad del campo eléctrico supere el valor de 51 dBuV/m, que es el valor de intensidad de campo que será protegido en el borde del área de cobertura, tal como lo indica el literal b) del artículo 10 de la norma técnica de radiodifusión de televisión digital terrestre, expuesta en la resolución 301 del registro oficial 579 de 03-sep-2015 [7].

La calidad de la señal de televisión digital se la cuantifica mediante el valor de la tasa de error de modulación MER (por sus siglas en inglés Modulation Error Rate). El artículo c) del artículo 10 de la norma técnica mencionada en el párrafo anterior indica que el valor medido en el transmisor debe tener una tasa de error de modulación igual o mayor a 32 dB [7]. Por lo tanto, para cumplir con la norma, se requiere que el valor de MER de la señal recibida supere dicho umbral.

Luego de disponer de una buena recepción, se considera la zona de cobertura de la estación auxiliar, la cual, como se mencionó anteriormente, debe cumplir con que el valor de intensidad de campo protegido en el borde del área de cobertura sea de 51 dBuV/m. Una de las consideraciones que se debe tener en cuenta es que la zona de cobertura se verá afectada por las obstrucciones que existan en la dirección de transmisión. En éste ámbito, también se debe considerar, las zonas cubiertas no deseadas, debidas a la radiación del lóbulo posterior de la antena transmisora.

A partir de lo expuesto se indican los criterios de selección para la selección de la ubicación óptima de la estación auxiliar de televisión digital:

- 1.- Existencia de línea de vista entre la antena receptora de la estación auxiliar y el sistema radiante del transmisor de cobertura principal.

2.- El valor de intensidad de campo eléctrico debe ser mayor a 51 dBuVm/m.

3.- La señal recibida debe tener una buena calidad, es decir, el valor de MER debe ser mínimo 32 dB.

4.- La cobertura de la estación auxiliar debe alcanzar la mayor cantidad de zonas donde se desea prestar servicio de la señal repetida.

5.- Considerar el efecto de la radiación del lóbulo posterior de la antena de transmisión de la estación auxiliar.

3.5.1 Aplicación de los criterios de selección.

Se realiza el análisis, en base a los criterios de selección indicados, de los resultados obtenidos en las mediciones y simulaciones realizadas a partir de cada uno de los cuatro sitios en consideración, con el objetivo de elegir el lugar técnicamente más adecuado para colocar la estación auxiliar de señal de televisión digital en el cerro Azul.

La aplicación de los criterios de selección se muestra en los siguientes pasos:

1.- Chequear los lugares que tienen línea de vista con el cerro del Carmen, lugar en el cual se ubica el transmisor de cobertura principal, y de donde se va a recibir la señal de televisión digital.

En la figura 3.18 se muestra un cuadro de imágenes obtenidas de la sección 3.2, en las que se puede visualizar el perfil de elevación de las rutas entre el cerro del Carmen y cada uno de los puntos del cerro Azul en consideración. Se puede observar que existe línea de vista entre el cerro del Carmen y los cuatro puntos de ubicación considerados en el cerro Azul.

2.- Verificar que el nivel de intensidad de campo medido en cada uno de los cuatro puntos de ubicación sea mayor a 51 dBuV/m, que es el valor mínimo a proteger en el área de cobertura.

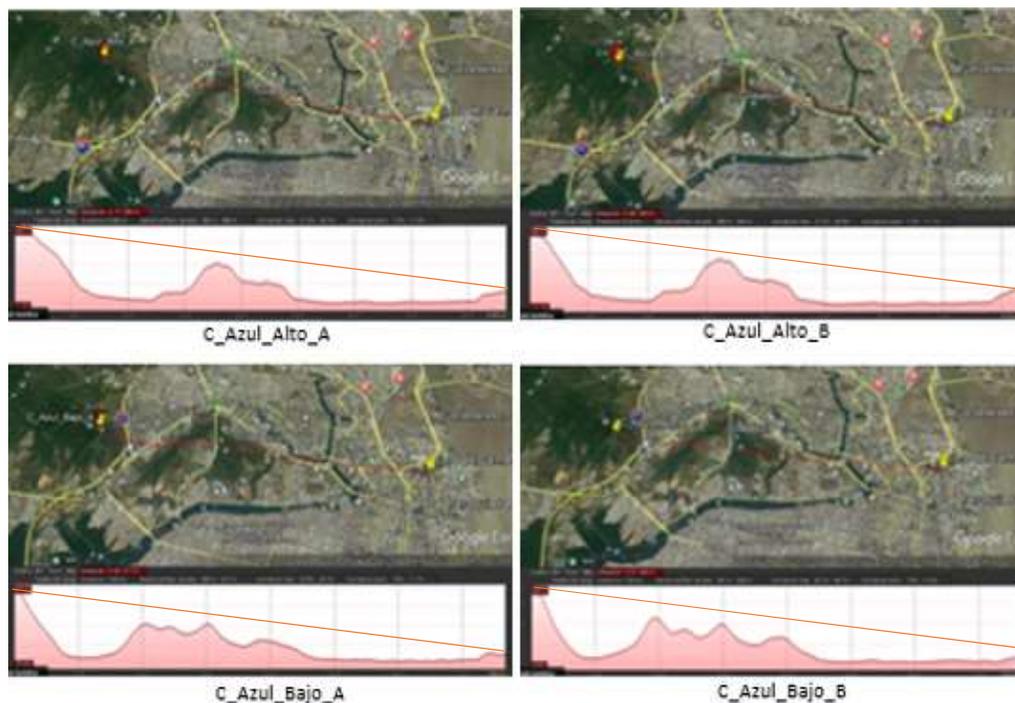


Figura 3.18: Línea de vista entre el cerro del Carmen y cada sitio.

Parte de los resultados del trabajo de campo expuesto en la sección 3.3 se resume en la tabla 3, en la que se muestran los valores de intensidad de campo eléctrico obtenidos en las mediciones realizadas en cada uno de los cuatro sitios en consideración.

Punto de Ubicación	Intensidad de Campo Eléctrico [dBuV/m]
C_Azul_Alto_A	93.9
C_Azul_Alto_B	95.7
C_Azul_Bajo_A	89.3
C_Azul_Bajo_B	96

Tabla 3: Intensidad de campo en cada sitio.

Se puede observar que en la ubicación geográfica de C_Azul_Bajo_B se obtuvo el mejor nivel de intensidad de campo eléctrico. Sin

embargo, en los cuatro puntos de medición realizados se supera el valor mínimo de intensidad de campo eléctrico a proteger en el borde de la zona de cobertura (51 dBuV/m) del transmisor que emite su señal desde el cerro del Carmen.

3.- Chequear la calidad de la señal recibida. El valor de MER medido debe ser mínimo de 32 dB.

En la tabla 4, a partir de los resultados obtenidos en la sección 3.3, se muestra el valor de MER medido en cada uno de los cuatro puntos de ubicación.

Punto de Ubicación	MER [dB]
C_Azul_Alto_A	31.2
C_Azul_Alto_B	32.2
C_Azul_Bajo_A	34.3
C_Azul_Bajo_B	33.6

Tabla 4: Valores de MER medidos en cada sitio.

El valor de MER más alto se lo obtuvo en el sector de C_Azul_Bajo_A. Se observa que de los cuatro puntos de ubicación, sólo C_Azul_Alto_A tiene un valor de MER menor a 32 dB, por lo que, de acuerdo a éste criterio, queda descartado para ser considerado como sitio viable de ubicación de la estación auxiliar.

4.- Chequear los puntos de ubicación, a partir de los cuales, la cobertura de la estación auxiliar alcance la mayor cantidad de urbanizaciones a lo largo de la Vía a la Costa hasta el sector de Chongón.

En la figura 3.19 se muestra un cuadro comparativo de imágenes en las que se puede observar el alcance de las coberturas simuladas en Radio Mobile en la sección 3.4.

Se ha marcado con un círculo amarillo las zonas donde la cobertura no es total.

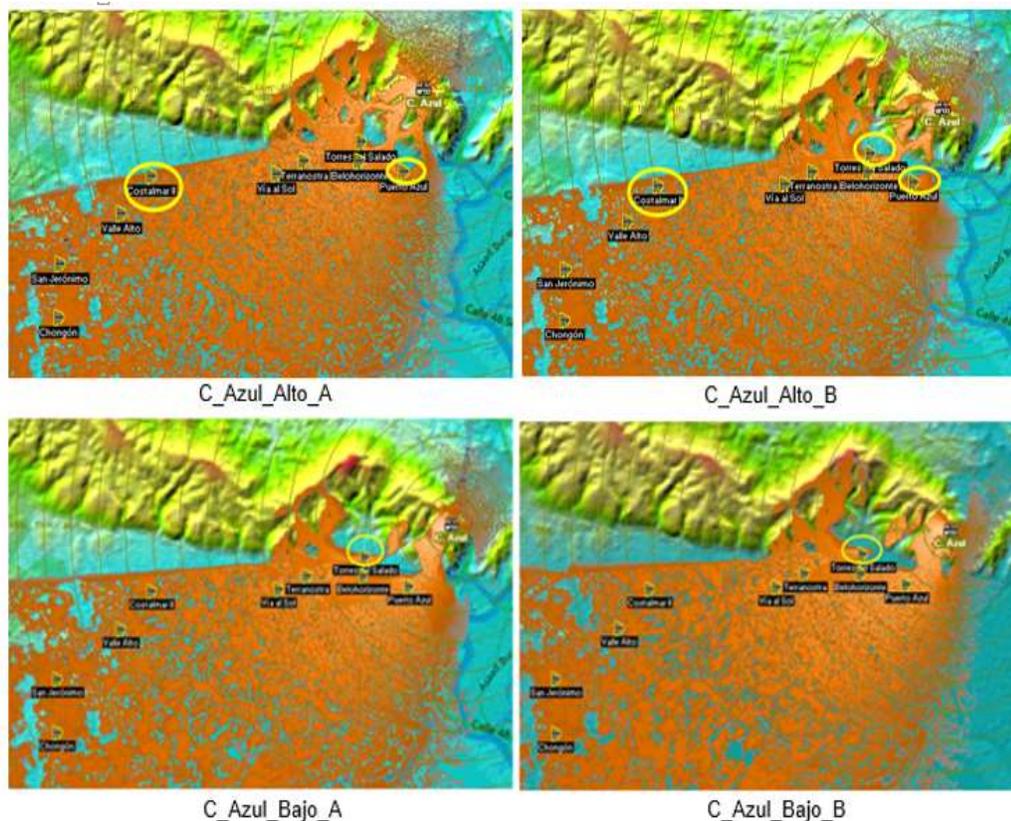


Figura 3.19: Cobertura de los cuatro sitios en consideración.

En el cuadro correspondiente a C_Azul_Alto_A de la figura 3.19 se visualiza que las zonas incompletas corresponden a Costalmar II y a Puerto Azul (ver anexo B).

En el cuadro correspondiente a C_Azul_Alto_B de la figura 3.19 se visualiza que las zonas incompletas corresponden a Costalmar II, Torres del Salado y a Puerto Azul (ver anexo B).

En el cuadro correspondiente a C_Azul_Bajo_A de la figura 3.19 se visualiza que la zona incompleta corresponde a Torres del Salado (ver anexo B).

En el cuadro correspondiente a C_Azul_Bajo_B de la figura 3.19 se visualiza que la zona incompleta corresponde a Torres del Salado. (ver anexo B).

Bajo éste criterio, se escoge los dos puntos de ubicación de Cerro Azul Bajo ya que a partir de ambos puntos se consigue la mejor cobertura.

5.- Realizar un análisis de la afectación de la cobertura del lóbulo trasero de la antena transmisora de la estación auxiliar.

En la figura 3.20 se puede comparar las gráficas de la cobertura de los dos puntos de ubicación seleccionados en base al criterio anterior.

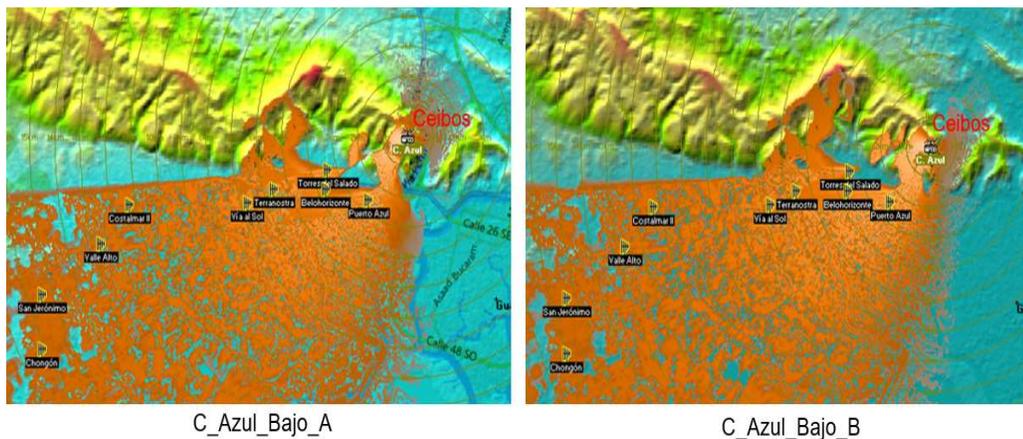


Figura 3.20: Cobertura de los dos sitios seleccionados.

Se puede observar que la cobertura a partir de ambos puntos de ubicación de Cerro Azul Bajo afecta al sector de los Ceibos, que se encuentra en otra zona de sombra de la cobertura del transmisor principal. Por lo tanto, en este caso, la radiación del lóbulo trasero de la antena transmisora de la estación auxiliar nos brinda un beneficio.

Se visualiza que la cobertura en Los Ceibos desde C_Azul_Bajo_A alcanza aproximadamente el 80 % de la ciudadela, mientras que desde C_Azul_Bajo_B alcanza aproximadamente el 30 % de la ciudadela (ver anexo B).

En base a éste criterio, se escoje el punto de ubicación C_Azul_Bajo_A, ya que a partir de éste se logra una mejor cobertura hacia Los Ceibos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la aplicación del procedimiento propuesto en éste trabajo se selecciona a C_Azul_Bajo_A con coordenadas geográficas: 2° 10' 17.42" S; 79° 57' 5.03" O y altitud aproximada de 311 msnm (metros sobre el nivel del mar) como el sitio más adecuado para la ubicación (en el cerro Azul) de una estación auxiliar de televisión digital. Esta decisión se la realizó debido a que la señal recibida en dicho sector cumple con los requerimientos de calidad, y a partir de ésta posición se genera una mejor cobertura de radio frecuencia, tanto para las urbanizaciones a lo largo de la vía a la costa, como para el sector de Los Ceibos.

El cerro Azul es en su gran parte un sector viable para colocar una estación auxiliar que complete la cobertura de un transmisor ubicado en el cerro del Carmen. De todos los puntos seleccionados, se encontró que la utilización del sitio C_Azul_Bajo_A. permitió la maximización de dicha cobertura. El punto de ubicación C_Azul_Alto_A, que fue descartado por no cumplir con el requerimiento de calidad de nivel de señal recibida y por no llenar las expectativas de cobertura, podría también llegar a lograr el objetivo buscado si se hacen modificaciones en los aspectos técnicos de la instalación propuesta, tal como variar la altura de las antenas de recepción y transmisión, o aumentar el nivel de potencia de salida en el equipo repetidor.

El procedimiento sugerido en éste proyecto para la selección de un sitio de ubicación de una estación auxiliar es de gran utilidad, porque toma en consideración los aspectos técnicos de la recepción y de la transmisión; y genera resultados en base a criterios de selección que se fundamentan en las expectativas y en la normativa emitida por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones de nuestro país

El analizador de espectros utilizado durante el trabajo de medición de campo realizado en el cerro Azul fue de gran ayuda, debido a que, permite obtener lecturas no sólo del nivel de la señal digital recibida, sino también de la calidad de la misma, incluso, mediante la gráfica de los diagramas de constelación.

La utilización del software Radio Mobile contribuyó en gran manera al estudio realizado debido a la función de sus herramientas y a la ventaja que proporciona hacer análisis de cobertura sobre mapas que incluyen datos de altitud muy cercanos a los reales.

Según los resultados de las simulaciones, la radiación del lóbulo posterior de la antena de transmisión de la estación auxiliar, ha sido beneficiosa, porque permite brindar cobertura al sector de Los Ceibos, ubicado también en una zona de sombra de emisiones desde el cerro del Carmen.

En caso de llevar a cabo la instalación de una estación auxiliar en el cerro Azul, se recomienda tomar en consideración los aspectos técnicos propuestos, más que nada, tratar de utilizar una antena de transmisión, cuyo patrón de radiación sea lo más parecido al de la antena UTV-01, que es la que se contempló en las simulaciones realizadas. Porque, si bien es cierto, la radiación del lóbulo posterior es beneficiosa, ya que, brinda cobertura al sector de Los Ceibos; también es cierto que la relación delante-atrás de la antena debe ser lo suficientemente grande para evitar problemas de realimentación, teniendo en cuenta que la estación auxiliar transmite y recibe en la misma frecuencia. Además, no es necesario tener una ganancia alta en el lóbulo posterior de la antena de transmisión para brindar cobertura a Los Ceibos, porque éste sector se encuentra muy cercano del cerro Azul.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. W. Collins, "Digital Television Transmission Standards," en Fundamentals of Digital Television Transmission. New York: John Willey & Sons, 2001, pp. 14.
- [2] M. Takada, M. Saito, "Transmission System for ISDB-T", IEEE, vol. 94, no. 1, pp. 251-256, Jan. 2006.
- [3] "Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting", ARIB Standard STD-B31 Ver. 1.6, Nov. 2005.
- [4] R. Hranac, "BER and MER fundamentals", CISCO, 2007, [Online]. Available: [http://www.gcsccte.org/presentations/2008/Ron.Hrancipresentation-Ber%20+%20MER %20Fun.pdf](http://www.gcsccte.org/presentations/2008/Ron.Hrancipresentation-Ber%20+%20MER%20Fun.pdf).
- [5] "Measurement guidelines for DVB SYSTEMS", ETSI Tech. Rep. ETR 290, May 1997.
- [6] I. Pellejero, "Manual de Cálculo de Coberturas con Radio Mobile", Remer, 2009, [Online]. Available: www.ipellejero.es/radiomobile.
- [7] "Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre", Resolución Arcotel 2015.
- [8] J. McLean et al."Antenna Factor" in Interpreting Antenna Performance for EMC Applications, TDK Rf Solutions.
- [8] J. McLean et al."Antenna Factor" in Interpreting Antenna Performance for EMC Applications, TDK Rf Solutions.
- [9] M. Botello et al. "Avances en el Desarrollo del Patrón Nacional de Factor de Antena", Centro Nacional de Metrología, México, Oct. 2008, pp. 1.
- [10] J. McLean et al."Radiation Pattern, Gain, and Directivity" in Interpreting Antenna Performance for EMC Applications, TDK Rf Solutions.
- [11] R. Richards, "EMC Related Formulae", EMC, 2003, [Online]. Available emc.topruder.com/formulas2.pdf.

ANEXOS

ANEXO A: Factor de Antena

El factor de antena (AF) refleja el uso de una antena como un instrumento de medición de campo. El factor de antena es el factor por el cual se debe multiplicar el voltaje presente en los terminales de la antena receptora para obtener el valor del campo eléctrico incidente [8, 9]. Lo mencionado anteriormente se puede expresar de la siguiente manera:

$$AF^{el\acute{e}ctrico} = \frac{E_{incidente}}{V_{recibido}} \left[\frac{1}{m} \right] \quad (A.1)$$

A.1 Factor de Antena a partir de la ganancia de la antena.

Podemos expresar el factor de antena de campo eléctrico en términos de la apertura efectiva de la antena [8]:

$$AF = \sqrt{\frac{n_0}{Z_{load}A}} \quad (A.2)$$

Donde n_0 es la impedancia de onda en el espacio libre.

Z_{load} es la impedancia de la carga.

A es la apertura efectiva de la antena.

Para derivar una expresión del factor de antena en términos de la ganancia, es necesario relacionar la apertura efectiva de la antena a su ganancia [8], como sigue:

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} G'_0 \quad (A.3)$$

Donde G'_0 es la ganancia de la antena considerando la máxima directividad y desacoples de impedancia entre la antena y la carga.

Reemplazando ecuación A.3 en A.2 se obtiene:

$$AF = \sqrt{\frac{4\pi n_0}{Z_{load} \lambda^2 G'_0}} \quad (A.4)$$

Reemplazando el valor de 377 ohm en n_0 [10], y 50 ohm en Z_{load} , se obtiene [8]:

$$AF = \frac{9,73}{\lambda \sqrt{G_0}} \quad (A.5)$$

En decibelios, se tiene [8]:

$$AF(dB) = 20 \log \left(\frac{9,73}{\lambda \sqrt{G_0}} \right) \quad (A.6)$$

Se debe tomar en cuenta las siguientes observaciones en la ecuación A.5:

- Aplica sólo para situaciones de campo lejano (excitación de onda plana).
- Expresión válida sólo para sistemas de 50 Ohm.
- Expresión válida sólo cuando la antena y el campo incidente están acoplados en polaridad.
- Los efectos de desacople de impedancia están incluidos [8].

En caso de que la ganancia esté dada en dBi, se debe aplicar el factor de conversión A.7 [11] en la ecuación A.6:

$$G_{numeric} = 10^{G[dBi]/10} \quad (A.7)$$

$$AF(dB) = 20 \log \left(\frac{9,73}{\lambda \sqrt{10^{(G[dBi]/10)}}} \right) \quad (A.8)$$

La ecuación A.8 puede ser expresada en términos de la frecuencia:

$$AF(dB) = 20 \log \left(\frac{9,73}{c \sqrt{10^{(G[dBi]/10)}}} \right) \quad (A.9)$$

Aplicando leyes de logaritmos y reemplazando el valor de la velocidad de la luz obtenemos la ecuación A.10 [11]:

$$AF(dB) = 20 \log(F[MHz]) - G[dBi] - 29.79 \quad (A.10)$$

A.2 Intensidad de campo eléctrico a partir de la potencia.

A partir de la ecuación A.1 podemos deducir la ecuación A.11:

$$E_{incidente} [V/m] = V_{recibido} [V] AF^{electrico} [1/m] \quad (A.11)$$

La ecuación A.11 no considera la pérdida debida a la línea de transmisión que une la antena con el receptor, por lo que para sea tomada en cuenta se aumenta un factor multiplicativo [8], como se muestra a continuación:

$$E_{incidente} = V_{recibido} AF^{eléctrico} C_A \quad (A.12)$$

Donde C_A es el factor de pérdida de la línea de transmisión.

Ésta relación normalmente se la expresa logarítmicamente [8]:

$$E_{incidente} [dBuV/m] = V_{recibido} [dBuV] + AF^{electrico} [dB/m] + C_A [dB] \quad (A.13)$$

Cuando se realiza un trabajo de medición de campo, se espera colocar el valor que nos entrega el equipo de medición directamente en la ecuación A.13, lo cual se puede hacer normalmente cuando se utiliza un medidor de campo, ya que su medición es el voltaje recibido en su entrada. Ahora, si se trata de un analizador de espectros, normalmente su lectura es de la potencia recibida, por lo que para deducir la expresión a usar, se inserta la expresión A.14 en la ecuación A.11:

$$P[W] = \frac{(V[V])^2}{Z[\Omega]} \quad (A.14)$$

$$E_{incidente} [V/m] = \sqrt{P[W]Z[\Omega]} AF^{electrico} [1/m] \quad (A.15)$$

Por simplificación se asume en lo siguiente que $C_A [dB]=0$.

Se introduce el factor de conversión A.16 [11] en la ecuación A.15:

$$dBuV/m = 20 \log(V/m) + 120 \quad (A.16)$$

$$E_{incidente} [dBuV/m] = 20 \log(\sqrt{P[W]Z[\Omega]} AF^{electrico} [1/m]) + 120 \quad (A.17)$$

$$E_{incidente} [dBuV/m] = 10 \log(P[W]) + 10 \log(Z[\Omega]) + 20 \log(AF [1/m]) + 120 \quad (A.18)$$

Si el equipo de medición muestra la potencia en unidades de dBm, se utiliza el factor de conversión A.19 [11] en la ecuación A.18:

$$P[W] = 10^{\left(\frac{P[dBm]-3}{10}\right)} \quad (\text{A.19})$$

$$E_{\text{incidente}}[dBuV/m] = (P[dBm]) + 10\log(Z[\Omega]) + 20\log(AF[1/m]) + 90 \quad (\text{A.20})$$

Si el analizador de espectros muestra el valor de potencia en unidades dBuV, en realidad muestra el voltaje presente en el conector de entrada, y se puede utilizar la ecuación A.13, lo que se demuestra utilizando el factor de conversión A.21 [11] en la ecuación A.20.

$$P[dBm] = V[dBuV] - 90 - 10\log(Z[\Omega]) \quad (\text{A.21})$$

$$E_{\text{incidente}}[dBuV/m] = V_{\text{recibido}}[dBuV] + AF[dB/m] \quad (\text{A.22})$$

Incrementando el factor de pérdida de la línea de transmisión, tenemos la ecuación A.13.

ANEXO B: FIGURAS.

Se muestran figuras que detallan aspectos técnicos del trabajo realizado.

B.1 Diagramas de constelación.

El analizador de espectros digital Promax, modelo HD Ranger 2 ISDB-T/Tb permite visualizar gráficamente el comportamiento del parámetro MER de la señal recibida mediante el diagrama de constelación.

En la figura B.1 se observa la constelación de la señal recibida en el sitio C_Azul_Alto_A.

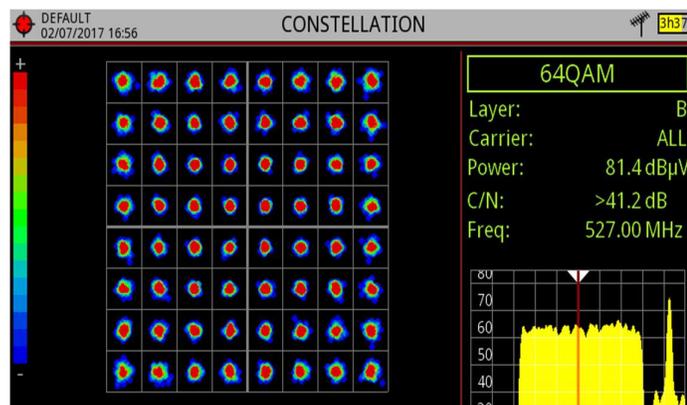


Figura B.1: Constelación de señal medida en C_Azul_Alto_A.

En la figura B.2 se observa la constelación de la señal recibida en el sitio C_Azul_Alto_B.

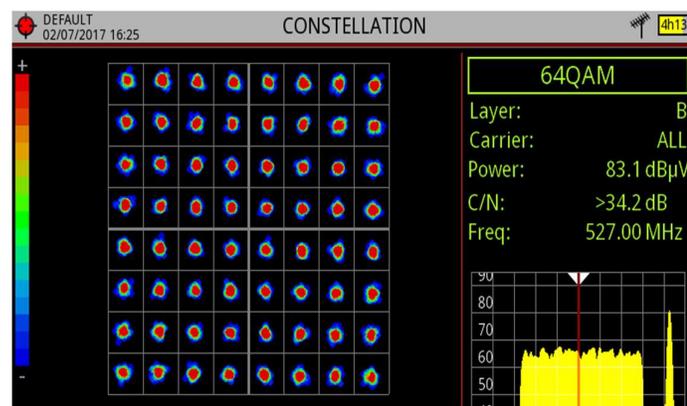


Figura B.2: Constelación de señal medida en C_Azul_Alto_B.

En la figura B.3 se observa la constelación de la señal recibida en el sitio C_Azul_Bajo_A.

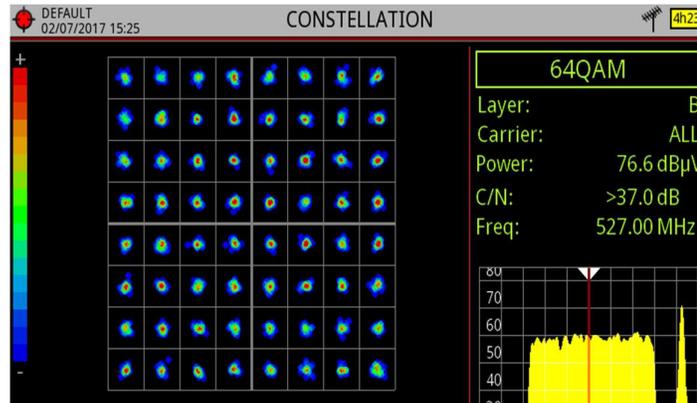


Figura B.3: Constelación de señal medida en C_Azul_Bajo_A.

En la figura B.4 se observa la constelación de la señal recibida en el sitio C_Azul_Bajo_B.

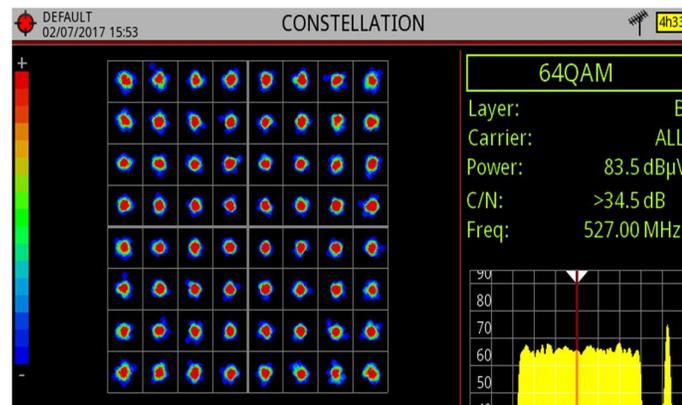


Figura B.4: Constelación de señal medida en C_Azul_Bajo_B.

B.2 Patrón de radiación de la antena UTVC-01.

En la hoja de especificaciones técnicas de la antena UTVC-01, proporcionada por el fabricante Syra, podemos observar su patrón de radiación, el cual se muestra en la figura B.5.

En las figuras B.6 y B.7 se muestran el plano horizontal y plano vertical, respectivamente, del patrón de radiación de la antena a usar, generado en

Radio Mobile, de acuerdo a los datos proporcionados en el archivo UTVC-01.ant. Cabe indicar que la escala utilizada por Radio Mobile en la generación de las curvas del patrón de radiación es lineal, mientras que la escala usada en las gráficas mostradas en la hoja de especificaciones del fabricante es logarítmica.

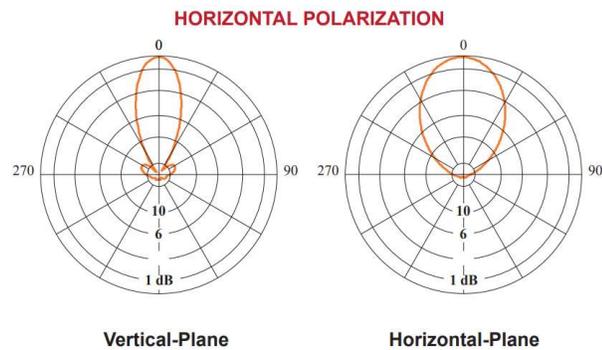


Figura B.5: Patrón de radiación de la antena UTVC-01.

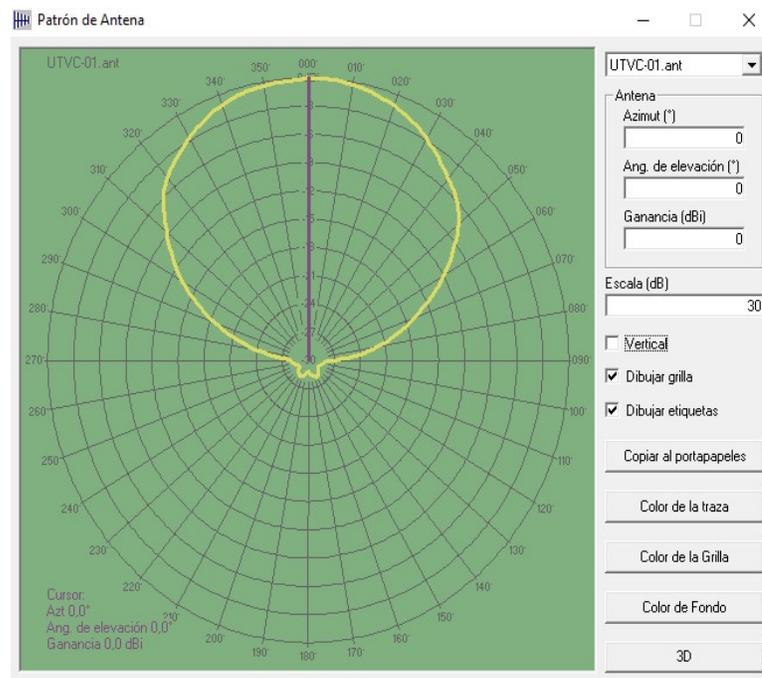


Figura B.: Plano horizontal del patrón de radiación de UTVC-01 generado en Radio Mobile.

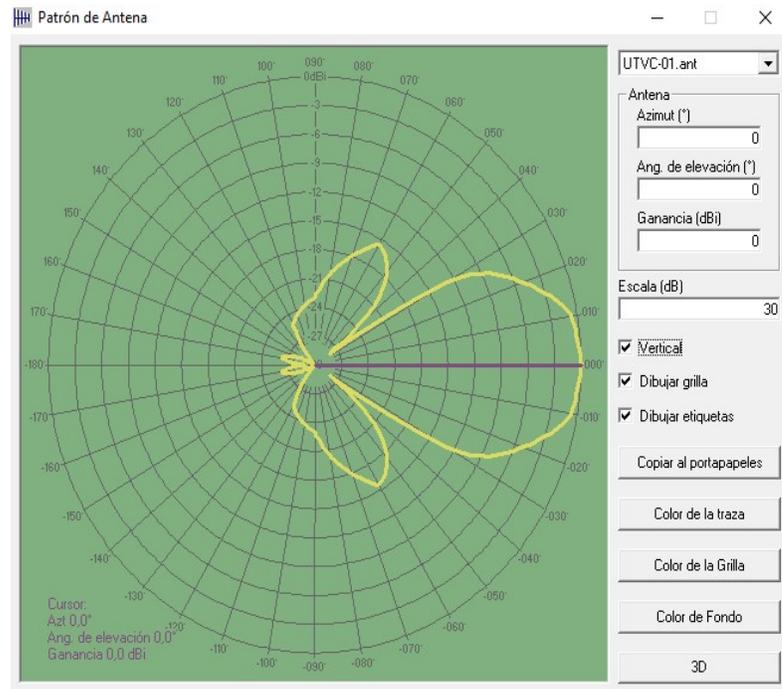


Figura B.7: Plano vertical del patrón de radiación de UTVC-01 generado en Radio Mobile.

B.3 Cobertura en ciudadelas a partir de cada sitio.

En las figuras B.8 y B.9 se muestra una visión más cercana de la cobertura alcanzada en las ciudadelas Costalmar II y Puerto Azul, respectivamente, a partir de C_Azul_Alto_A.



Figura B.8 Cobertura en Costalmar II desde C_Azul_Alto_A.



Figura B.9: Cobertura en Puerto Azul desde C_Azul_Alto_A.

En las figuras B.10, B.11 y B.12 se muestra una visión más cercana de la cobertura alcanzada en las ciudadelas Costalmar II, Torres del Salado y Puerto Azul, respectivamente, a partir de C_Azul_Alto_B.

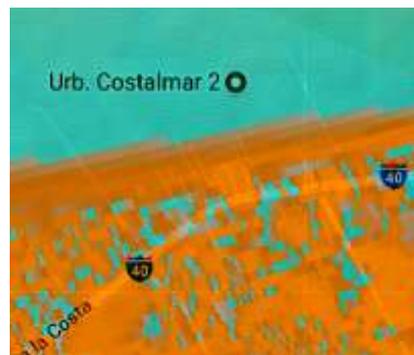


Figura B.10: Cobertura en Costalmar II desde C_Azul_Alto_B.



Figura B.11: Cobertura en Torres del Salado desde C_Azul_Alto_B.



Figura B.12: Cobertura en Puerto Azul desde C_Azul_Alto_B.

En la figura B.13 se muestra una visión más cercana de la cobertura alcanzada en la ciudadela Torres del Salado a partir de C_Azul_Bajo_A.

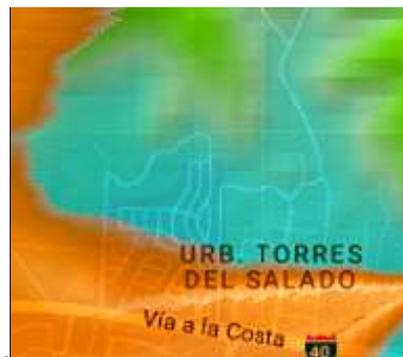


Figura B.13: Cobertura en Torres del Salado desde C_Azul_Bajo_A.

En la figura B.14 se muestra una visión más cercana de la cobertura alcanzada en la ciudadela Torres del Salado a partir de C_Azul_Bajo_B.



Figura B.14: Cobertura en Torres del Salado desde C_Azul_Bajo_B.

En la figura B.15 se observa que la cobertura en Los Ceibos desde C_Azul_Bajo_A alcanza aproximadamente el 80% de la ciudadela.

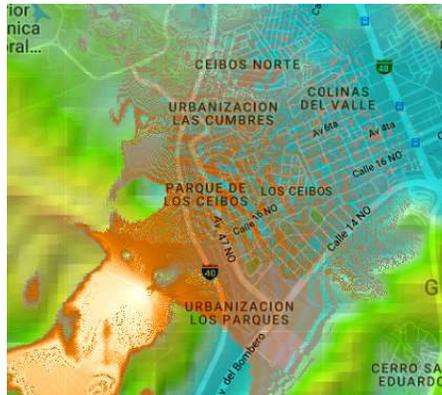


Figura B.15: Cobertura de Los Ceibos desde C_Azul_Bajo_A.

En la figura B.16 se observa que la cobertura en Los Ceibos desde C_Azul_Bajo_B alcanza aproximadamente el 30% de la ciudadela.



Figura B.16: Cobertura en Los Ceibos desde C_Azul_Bajo_B.