

Planificación de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre (TDT) en el Ecuador

Frequency Planning for Digital Terrestrial Television (DTT) in Ecuador

Felipe Valle¹, Jefferson Ribadeneira-Ramírez², Franklin Moreno², Jesús Rodríguez², Diego Veloz², Gerardo Martínez³

¹TVS canal 13, Riobamba, Ecuador

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

³Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

Email: felipesantiagovalle@gmail.com, {jefferson.ribadeneira, fmoreno, jesus.rodriguez, diego.veloz}@esPOCH.edu.ec, gemarpin@iteam.upv.es.

Resumen- La televisión digital terrestre, brinda mayor robustez a la señal frente a ruido e interferencias. Además, permite la transmisión de varios canales de televisión por un mismo canal radioeléctrico y optimiza el uso del espectro radioeléctrico mediante el uso de redes de frecuencia única. Sin embargo, en Ecuador no se está utilizando una de las principales ventajas de las redes de TDT, la posibilidad de usar redes de frecuencia única. Lo que conlleva un uso no óptimo del espectro radioeléctrico. En este artículo, en primer lugar, se presenta el modo de transmisión más adecuado para Ecuador en función de su extensión y topografía. Además, se propone una planificación de frecuencias para Ecuador utilizando redes de frecuencia única basado en algoritmos de planificación de coloreado secuencial, optimizando así el uso del espectro radioeléctrico. Finalmente, se presentan ejercicios de planificación de una red real del canal de televisión Ecuador TV, el cual cuenta con 96 transmisores en todo el país, con el cual se comprueba tanto cobertura como interferencias para la planificación propuesta.

Palabras clave: Televisión Digital Terrestre (TDT), Red de Frecuencia Única, ISDB-Tb, Radiodifusión, Planificación de Frecuencias.

Abstract- The Digital terrestrial television, provides greater signal robustness against noise and interference. In addition, it allows the transmission of several television services over the same radio channel and optimizes the use of the radio spectrum through the use of single frequency networks. However, in Ecuador one of the main advantages of DTT networks has not been used, the possibility of using single frequency networks. Which leads to a non-optimal use of the radio spectrum. In this article, in the first place, the most suitable mode of transmission for Ecuador is presented according to its extension and topography. In addition, a frequency planning for Ecuador is proposed using single frequency networks based on sequential coloring planning algorithms, thus optimizing the use of the radioelectric spectrum. Finally, planning exercises of a real network of the TV channel Ecuador TV are presented, which has 96 transmitters throughout the country, both, coverage and interference for the proposed planning was checked.

Keywords- Terrestrial Digital Television (DTT), Uniform Frequency Network, ISDB-Tb (Digital Television Standard), Radiodifusión, Frequency Planning.

I. INTRODUCCIÓN

La televisión digital terrestre (TDT) en comparación a la transmisión de televisión analógica ofrece múltiples ventajas como: mayor calidad de audio y video, mejor uso del espectro radioeléctrico, lo que permite liberar bandas de frecuencia para el uso de nuevas tecnologías [1]. Además, es posible crear redes de frecuencia única (SFN), las cuales permiten crear una red de transmisores con la misma frecuencia, sin interferirse y elevando su nivel de señal en áreas donde se superponen. Dichas redes, cubren extensas zonas con la posibilidad de implementar un gap-filler. Este dispositivo es usado para brindar cobertura en zonas de sombra o donde el nivel de señal no es satisfactorio, otra ventaja es su bajo costo y consumo de energía eléctrica.

El proceso para realizar una planificación de radiodifusión terrestre consta de dos pasos: en primer lugar, se necesita seleccionar una frecuencia o un canal apropiado, que permita brindar servicio de radiodifusión en un área geográfica determinada. La asignación de frecuencias se debe llevar a cabo de manera que los transmisores no causen interferencia entre sí. En segundo lugar, se realiza la planificación de una red de transmisores que usan la frecuencia asignada para distribuir los programas de datos, audio y video.

La planificación de frecuencias se basa en la posibilidad de realizar predicciones de coberturas adecuadas. Se requiere de métodos que permitan predecir la intensidad de campo de un transmisor, las condiciones de recepción y el método de propagación de la onda. Además, las características técnicas son fundamentales para el desarrollo de la red, ya que, permiten saber si se provocará o no interferencias a otras redes que se encuentran en la misma zona, zonas aledañas o viceversa, una de estas características es la distancia de reutilización de la frecuencia. [2].

En el Ecuador el proceso de planificación de frecuencias para la TDT ha sido simplemente asignar las frecuencias libres para los transmisores de TDT en diferentes zonas geográficas. Dichas frecuencias son generalmente un canal de 6 MHz libre entre dos canales ocupados por señales de televisión analógica.

Si bien dicha estrategia de planificación puede resultar muy cómoda desde el punto de vista de asignar rápidamente frecuencias a aquellos difusores que lo requieran. Deja de lado una de las principales ventajas de la TDT, que es utilizar redes (SFN), que permiten: por un lado, mejorar la cobertura en zonas extensas, y por otro lado optimizar el uso del espectro radioeléctrico.

El presente estudio se realiza con la finalidad de crear un planeamiento de frecuencias, que optimice el uso del espectro radioeléctrico, mediante el uso de redes SFN. Para lo cual se ha utilizado: métodos matemáticos, de predicción, y algoritmos de planificación. Además, se presenta el modo de transmisión que mejor se adapta a las condiciones de Ecuador. El análisis se realizó para el estándar de TDT ISDB-Tb, adoptado por el Ecuador en 2010. [3]

Los resultados presentados en el presente artículo son de interés tanto para empresas de difusión de Televisión como entidades reguladoras planificadoras y reguladoras del espectro radioeléctrico.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: En la Sección 2 se presenta el marco teórico. En la sección 3 se muestra la metodología seguida para la obtención de resultados. La sección 4, presenta los resultados y se concluye en la sección 5.

II. MARCO TEÓRICO

A. ISDB-Tb

El estándar ISDB-Tb es un sistema que está diseñado para la transmisión de comunicaciones móviles y fijas (en especial la móvil), fue creado con la finalidad de ofrecer flexibilidad, capacidad de transmisión y difusión de servicios multimedia, con un ancho de banda de 6MHz con una alta calidad en HD, además que le permite al usuario interactuar mediante un canal de retorno (internet) gracias al middleware Ginga.

B. Modulación OFDM

OFDM divide el total del ancho de banda haciendo que el espectro asociado a cada dato tome una porción, la cual se segmenta en N sub-canales, cada uno de estos se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia. Se utilizan técnicas como la transformada rápida de Fourier (FFT), con la finalidad que el trasmisor reduzca un gran número de filtros y moduladores. La señal de OFDM se genera bajo ciertos parámetros como: el esquema de modulación, el intervalo de guarda y el número de sub-portadoras.

Al contrario que las modulaciones tradicionales de portadora única, la modulación OFDM está formada por múltiples subportadoras, por lo que cada símbolo transporta una gran cantidad de información (bits).

C. Ortogonalidad

Para evitar interferencias entre portadoras que están dentro de cada uno de los símbolos OFDM. El dominio de la frecuencia corresponde a un pulso rectangular, mientras que cada símbolo OFDM se representa con ondas sinusoidales durante un intervalo de tiempo, para que la ortogonalidad se cumpla, la separación entre portadoras debe ser equivalente a la inversa del tiempo de duración de símbolo.

D. Off-set

En el estándar se define que la frecuencia se debe desplazar en 1/7 MHz equivalente a 142.857 KHz hacia el eje positivo, desde a la frecuencia central del canal. [4] Como podemos observar en la Fig. 1.

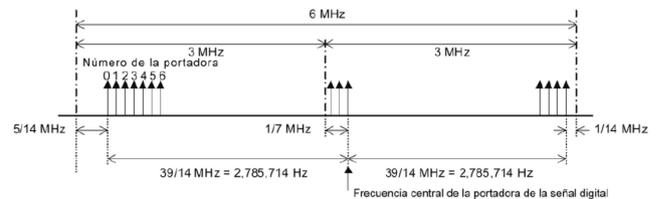


Fig. 1. Desplazamiento de 1/7, Off-set.

E. Intervalo de guarda (IG)

Es un periodo en que la señal se mantiene constante, repitiendo un símbolo. De esta forma las señales que lleguen con un retardo menor que ese IG se pueden aprovechar como señales constructivas para mejorar la recepción. Protege la señal frente a ecos al agregar un intervalo de guarda configurable: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, los cuales se dejan entre símbolos OFDM consecutivos, con la finalidad de evitar interferencias entre símbolos (ISI) e interferencias entre portadora (ICI), en canales con señales multi-trayectoria.

F. Parámetros OFDM para televisión digital

Para que un sistema de televisión digital sea óptimo, los parámetros OFDM deben ser los ideales, generalmente se dispone de algunos factores como: ancho de banda, velocidad o tasa de datos que se desea, tiempos de retardo de las señales reflejadas. El tiempo de guarda (T_G) o intervalo de guarda (IG), este debe ser mayor al tiempo de retardo, y este valor depende de la modulación que se emplee para cada portadora.

Al escoger un T_G , se puede determinar un tiempo de símbolo (T_S). Para minimizar las pérdidas en la relación señal ruido introducidas por el T_G , el tiempo útil de símbolo (T_U) debe ser mucho mayor al T_G , se debe considerar que el T_U no debe ser extremadamente grande, ya que esto obligará a tener un número grande de portadoras, lo que provocará mayor ruido de fase y al off-set.

$$T_S = T_U + T_G \tag{1}$$

El número de portadoras (L) necesarias, se calculan en base al ancho de banda disponible. [5]

$$L = BW / \Delta f \tag{2}$$

Para determinar el número de portadoras necesarias mediante la capacidad de transmisión se aplica el teorema de Shannon. El teorema requiere del valor de relación señal-ruido (S/N).

$$C(\text{bps}) = BW_T \log_2 (1 + S/N) \tag{3}$$

Considerando que se transmite portadoras de datos y portadoras piloto, se toma el valor de la relación portadora - ruido C/N en lugar de S/N .

$$C(\text{bps}) = BW_T \log_2 (1 + C/N) \tag{4}$$

Shannon establece que la relación entre L y T_S , viene determinada por:

$$R(\text{bps}) = (b_p(L)) / T_S \tag{5}$$

Una variante:

$$R(\text{bps}) = (\log_2 (M)) / T_S \tag{6}$$

Donde, M es el valor total de puntos usados en la constelación 64-QAM, entonces $b_p = \log_2 (M)$. Se usa esta modulación robusta ya que para recepción fija es importante tener una buena calidad de video en este caso sería en HD (alta definición).

G. Red de frecuencias Única (SFN)

Red de frecuencia única o SFN se desarrolló para cubrir extensas zonas empleando un solo canal a fin de transportar información por un conjunto de transmisores a la misma frecuencia y tiempo, sin interferirse y a la vez elevado el nivel de la señal en las áreas donde se superponen. Debido a que el estándar ISDB-Tb usa la técnica de multiplexación OFDM, el receptor recoge señales retrasadas tras recibir la señal principal, además, adiciona un intervalo de guarda al transmitir la información, y así, aprovechar los ecos recibidos para obtener la señal requerida, y lograr una señal más robusta y de mayor intensidad. [6] En la Fig. 2 se observa la topología de MFN y SFN.

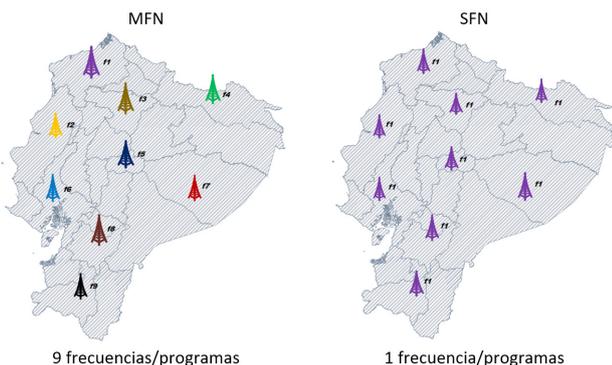


Fig. 2. Topología de una red MFN y SFN.

H. Modulación de la portadora

El estándar ISDB-Tb usa 4 esquemas de modulación: DQPSK usada para recepción móvil o portátil, QPSK, 16-QAM y 64-QAM usadas en transmisión de HDTV, lo que permite definir los niveles de calidad, además de una diversidad de servicios.

I. Trasmisión Jerárquica

Al usar la modulación OFDM con banda segmentada, se divide el ancho de banda en 13 segmentos al igual que en el estándar ISDB-T, que van del 0 al 12, donde el segmento cero, se ubica en la parte céntrica del ancho de banda y se usa para la trasmisión del servicio de "one-seg" a receptores móviles y portátiles, los segmentos que van del 1 al 11 son usados para transmitir los servicios tanto en definición SD y/o HD, el segmento restante se divide en dos partes y se ubica cada una de ellas a los laterales, para ser utilizados como bandas de guarda. [7] En la Fig. 3 observamos los 13 segmentos.

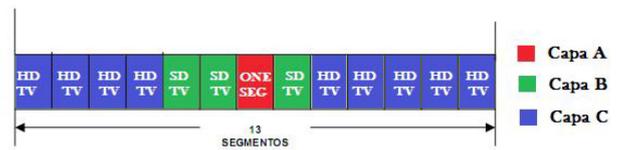


Fig. 3. Ejemplo de capas jerárquicas A, B y C.

J. Modos de Operación

Para la generación de los símbolos OFDM, es necesario disponer de L moduladores QAM en paralelo, cada uno con su mapeador, trabajando a la frecuencia exacta de la portadora que le corresponda y este perfectamente sincronizados entre sí, de manera que se pueda mantener la separación en frecuencia (ortogonalidad) y que los símbolos tengan la duración requerida T_U .

Este procedimiento teóricamente se puede llevar a cabo, pero ponerlo en práctica resulta demasiado costoso y difícil de implementar. Una manera eficiente y sencilla de construir un modulador OFDM, es empleando la Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT) y procesadores numéricos que permitan realizar las operaciones necesarias. IFFT y FFT (proceso inverso para el receptor) requieren de una frecuencia de muestreo, denotada f_{IFFT} , que debe tener un valor bien preciso y determinado.

Los procesadores numéricos que calculan la IFFT, lo hacen siempre sobre una cantidad de puntos, estos puntos se traducen en portadoras, que es igual a una potencia entera de 2, es decir 2^n . Donde, el número más cercano que permite obtener las 1386 portadoras necesarias es 2048, donde $n=11$. Las portadoras restantes simplemente se anulan.

ISDB-Tb presenta tres modos de operación para la separación entre portadoras (Δf) de acuerdo a la distancia entre estaciones de una red SFN, permitiendo que la recepción sea adecuada y no sufra variaciones del canal a consecuencia del efecto Doppler (señal recepción móvil). [4]

- Modo 1: FFT 2k
- Modo 2: FFT 4k
- Modo 3: FFT 8k

K. Planificación De Frecuencias

La planificación de frecuencias es el proceso de asignar y seleccionar frecuencias o canales disponibles a una zona geográfica. Las cuales deben cumplir varias condiciones como que: exista calidad de servicio dentro del área asignada, los transmisores no causen interferencia entre sí ni a redes aledañas.

Para realizar una transmisión de un determinado programa en un área extensa, por ejemplo, un país, se necesita un conjunto de transmisores, y cada uno de estos trasmisores necesitan de un conjunto de parámetros técnicos, como la potencia radiada efectiva (ERP), así como un diagrama de antenas que debe tener una frecuencia o un canal asignando, además se debe considerar la relación de protección para evitar interferencias entre las estaciones transmisoras, se utiliza también un método de predicción de propagación, que se elige dependiendo las condiciones climáticas y geográficas del sector (luego se las dividirá por zonas), también se debe especificar la altura de la antena, el tipo de recepción ya sea esta fija, portable o móvil, y un valor de campo eléctrico mínimo en recepción. [2]

L. Asignación y Adjudicación

La asignación, hace referencia a la autorización brindada por una entidad o autoridad, en el caso de Ecuador sería la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), para utilizar una frecuencia o canal de radio frecuencia bajo condiciones específicas, en una estación de radiodifusión.

La adjudicación por su parte es la entrada de un canal determinado para un plan de frecuencias acordado, mismo que es adoptado por una entidad competente, para ser usado por una o más administraciones bajo condiciones específicas, dando un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial a uno o varios países o zonas geográficas. [2]

M. Área de Servicio y Frecuencia Disponible

El área de servicio es el conjunto de puntos de cobertura en una zona geográfica a ser cubiertos con una intensidad de campo de mayor o igual intensidad que la de campo definida teóricamente [3], dicha área establece además la relación entre el área de cobertura y la frecuencia adjudicada. En la Fig. 4 se observa una tentativa de área de servicio.

Se dice que una frecuencia está disponible, cuando al ser usada por una estación de radiodifusión, no provoca ni recibe interferencias de otras estaciones, es decir, es totalmente compatible con las demás estaciones establecidas.



Fig. 4. Áreas de servicio tentativas para Ecuador.

N. Redes de Referencia (RN)

Son marcadores de posición que definen una interferencia sobre un área adjudicada, es decir, que al implementar una red SFN dentro del área de adjudicación se debe mantener por debajo de la envolvente de interferencias en cualquier punto. El concepto de una envoltura de interferencia es, naturalmente, un concepto bidimensional. En otras palabras, la envoltura de interferencia de una entrada del plan se puede imaginar como una superficie bidimensional sobre un área determinada. Esto es como una función matemática de dos variables independientes x y que corresponden a la latitud y longitud geográfica.

Este concepto es usado para decidir si dos o más trasmisores pueden compartir una frecuencia, para el caso de una asignación es muy sencillo, ya que las características técnicas son conocidas, como la ubicación del trasmisor, ERP, diagramas de antenas, altura de la antena, entre otros. Estos son datos que se pueden usar para definir una propagación de modelo-onda apropiado, a fin de calcular la intensidad de campo producido por el transmisor en cualquier punto del área de servicio, lo que permite evaluar el estado de cobertura de cualquier punto de recepción y compararlo con la intensidad mínima de campo requerida. Al tener una interferencia de otros transmisores esos puntos son reconocidos y se puede verificar si es necesario una relación de protección entre la señal útil y la suma de todas las interferencias. [2]

III. METODOLOGÍA

A. Configuración de referencia de planificación (RPC)

Para simplificar la tarea de la planificación de la TDT, se desarrollan los RPC. Los parámetros de los RPC son escogidos de modo que las combinaciones sean compatibles con el modo de operación y que sus variantes se asemejen a un RPC ya establecida. [2]

La recepción que prevalece en Latinoamérica es la recepción portátil en interiores, la RPC escogida para este caso representa la mayor cantidad de combinaciones posibles, mismas que son actualmente usadas en la zona de Latinoamérica. [8]

Tabla I
RPC'S USADA PARA EL PLAN DE FRECUENCIA EN EL ECUADOR.

SEÑAL DE TDT		
Estándar	ISDB-Tb	
Modulación	64-QAM	
Tasa de Codificación (CR)	3/4	
Intervalo de Guarda (GI)	1/8	
FFT	8K	
Tasa Binaria	18.25 Mbps	
Distancias SFN	60 Km	
CNR	AWGN	20.1
	RICE	21.1
	RAYLEIGH	22.8
Emin portable en interiores (dBμV/m)	79.9	
Ubicaciones %	95	
RP planificación Interna (Rayleigh)	23	
RP Fronteras (Rayleigh)	22	
Ancho de banda	6 MHz	

B. Análisis de cobertura y tipos de recepción

Existen tres tipos de recepción para la radiodifusión terrestre, estos son: portable, fijo y móvil.

Recepción Portable/Portable de bolsillo: la recepción portable se refiere a un dispositivo como un receptor de radio o televisión, que típicamente se encuentran en los hogares. La recepción portable incluye dos clases de recepción: la recepción portable en exteriores y la recepción portable en interiores, esta última puede estar entre 1,5 y 10 m de altura.

Recepción fija: este modo de recepción usa una antena direccional, que generalmente se instala en un sitio elevado de una casa o un edificio. Para medir el valor de campo de intensidad mínima, se debe proporcionar un punto de recepción, esto significa que para la recepción fija se debe tener una antena receptora de 10 m de altura, medida desde el suelo.

Recepción móvil: se refiere a antenas que se encuentra en receptores en movimiento con una altura mínima de 1,5 m, por ejemplo, automóviles, autobuses, motos, etc.

C. Re-uso de Frecuencia (Co-Canal)

Para el cálculo de interferencias y el re-uso de frecuencias en una red SFN, se necesita determinar la distancia que existen entre dos puntos (distancia de re-uso), específicamente en RPC se necesita la distancia de separación para poder reutilizar la misma frecuencia o canal.

La distancia de reutilización depende varios parámetros de RN, RPC y la frecuencia asignada. La misma se define como la distancia entre los límites de dos áreas de servicio, es decir,

que las dos áreas no se solapen y que no produzcan interferencias entre sí, Fig. 5. Todos los cálculos se basan en la recomendación de ITU-R 525/526 que se utiliza para la región de Latinoamérica, donde se señala el modelo de propagación. [2] En la Fig. 5 podemos observar un ejemplo de distancias entre transmisores y la distancia de re-uso.

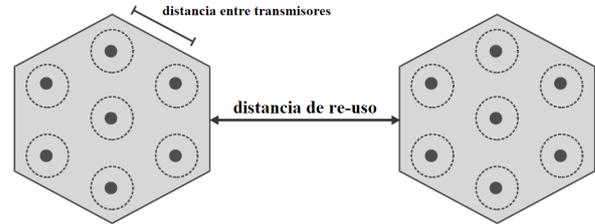


Fig. 5. Distancia de re-uso en una red se espacio abierto.

La distancia de reutilización usa geometría hexagonal simétrica para el cálculo de las distancias, donde una red de referencia se encuentra rodeada por otras seis redes de referencia. La separación entre red de referencia varía sistemáticamente para determinar la distancia entre la red central. La zona de servicio debe estar totalmente protegida al emplear una distancia de re-uso para que ningún punto dentro de la misma se vea afectado por interferencias de otras redes. [2]

D. Modelo de propagación para las redes TDT

El modelo ITU-R 525 se considera dos métodos para el cálculo de la propagación en espacio libre:

Enlace punto a zona: se presenta cuando un solo transmisor da servicio de radiodifusión a varios receptores distribuidos al azar en la zona de cobertura, la atenuación para cada receptor será distinta.

Enlace punto a punto: se presenta cuando existe atenuación en un enlace entre antenas isotrópicas, se lo conoce también como "perdida básica de transmisión en el espacio libre" [9].

$$L_{bf} = 20 \log(4\pi d/\lambda) \quad (7)$$

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (8)$$

El modelo ITU-R 526 considera la difracción de las ondas radioeléctricas sobre la superficie de la tierra y como se ve afectada por las irregularidades de la misma. Aquí se contemplan tres tipos de terrenos:

Terreno liso: considera la superficie de la tierra, si la irregularidad del terreno es inferior al orden de 0,1 R, donde R es el valor máximo que puede tomar el radio de la primera zona de Fresnel en el trayecto de la propagación. Para este caso el modelo de predicción está basado en la difracción de la tierra esférica.

Terreno ondulante: este tipo de terreno está compuesto por obstáculos pequeños como colinas, las cuales no representa un obstáculo que se deba considerar, la ITU-R526 recomienda para estos casos usar la ITU-R 1546. [10]

Obstáculos aislados: al propagar una señal esta se encuentra con varios obstáculos separados, para los cuales se deben calcular las pérdidas que estos pueden provocar a la señal. [10]

El modelo ITU-R526 se caracteriza por su precisión al calcular la intensidad de campo en la recepción considerando el terreno y los obstáculos que existen entre el transmisor y el receptor de radiofrecuencia.

Usando la ecuación de pérdida básica de transmisión en el espacio libre, se determinó la distancia de re-uso, la cual debe tener una distancia mínima de protección para re-usar la frecuencia y así determinar las áreas de adjudicación. Para este caso de estudio es de 23 Km de distancia de re-uso.

E. Ecuaciones de intensidad de campo para la recepción

Para calcular tanto la densidad de flujo de potencia como la intensidad campo equivalente (E_{min}) es necesario superar los umbrales de recepción recomendados con un cierto porcentaje, para eso se aplican las siguientes ecuaciones. [11]

$$P_n = F + 10 \log(kT_o B) \tag{10}$$

$$P_{smin} = C/N + P_n \tag{11}$$

$$A_a = G + 10 \log(1,64 \lambda^2 / 4\pi) \tag{12}$$

$$\phi_{min} = P_{smin} - A_a + L_f \tag{13}$$

$$E_{min} = \phi_{min} + 120 + 10 \log(120\pi) = \phi_{min} + 145,8 \tag{14}$$

Para recepción fija en exteriores:

$$E = E_{min} + P_{mmn} + C_l \tag{15}$$

$$C_l = \mu \cdot \sigma_t \tag{16}$$

$$\sigma_t = \sqrt{(\sigma_b^2 + \sigma_m^2)} \tag{17}$$

Para recepción portable en exteriores y móvil:

$$E_{med} = E_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h \tag{18}$$

Para recepción portable en interiores y móvil de bolsillo:

$$E_{med} = E_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h + L_b \tag{19}$$

Donde:

- P_n : Potencia recibida de ruido (dBW)
- F : Figura de ruido del receptor (dB)
- k : Constante de Boltzmann ($k=1.38 \times 10^{-23} \text{ (JK)}$)
- T_o : Temperatura de referencia ($T_o=290 \text{ (K)}$)
- B : Ancho de banda del ruido receptor (ancho de banda efectivo de la tecnología de TDT)
- P_{smin} : Potencia mínima de recepción (dBW)
- C/N : Relación portadora a ruido requerida por el sistema (dB)
- A_a : Apertura efectiva de antena (dBm2)
- G : Ganancia de la antena relativa al dipolo media onda (dBd)
- λ : Longitud de onda (m)
- ϕ_{min} : Mínima intensidad de campo equivalente en el receptor (dB(W/m2))
- L_f : Feeder loss (dB)
- E_{min} : Intensidad mínima de campo equivalente en el receptor (dB(μV/m))

- E_{med} : Mínima intensidad media de campo equivalente en el receptor (dB(μV/m))
- P_{mmn} : Ruido hecho por el hombre (dB)
- L_h : Pérdidas por altura (medida desde el piso 1,5 para la recepción) (dB)
- L_b : Pérdidas por penetración en edificios o vehículos (dB)
- C_l : Factor de corrección por localización (dB)
- σ_t : Desviación estándar total (dB)
- σ_m : Desviación estándar a macro-escala (5,5(dB))
- σ_b : Desviación estándar por penetración en edificios
- μ : Factor de distribución (0,522 para 70%, 1,28 para 90%, 1,64 para 95% y 2,33 para 99%)

F. Algoritmo de planificación

El plan de frecuencias se basa en asignar frecuencias o canales a distintas áreas geográficas, pero estas áreas deben ser independientes de las divisiones políticas del país. Por su parte la ubicación del transmisor y la topografía circundante son factores determinantes para la forma del área de servicio. Para cubrir la zona entera se usan Figuras geométricas simples como rombos o hexágonos, que pueden generar una cobertura bidimensional sin espacios vacíos entre sí, como se observa en la Fig 6.

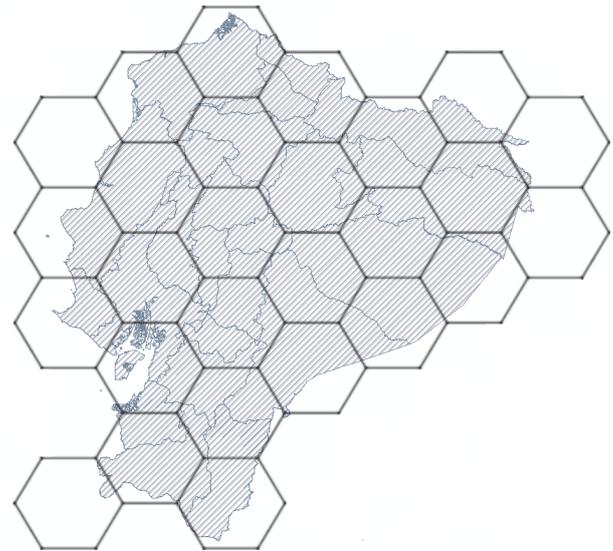


Fig. 6. Áreas de adjudicación en términos de hexágonos en el Ecuador.

G. Coloreado grafico secuencial

La coloración de un grafo K es una asignación de colores a los vértices de K, la manera más simple de colorear los vértices es estableciendo una secuencia según sus grados. La asignación secuencial se puede aplicar en un orden descendente, comenzando en vértices de mayor grado, o ascendente, comenzando en un vértice de menor grado, dando un coloreado secuencial de modo que cada asignación corresponda a las relaciones de adyacencia.

En cuanto a la asignación de color en términos de algoritmos matemáticos, el "color" de un vértice se suele representar con un número entero, por ejemplo, al primer vértice de la secuencia se le asignará el número cero, el siguiente obtiene el número entero más pequeño, y así, sucesivamente con cada vértice veci

Tabla II
COLOREADO SECUENCIAL

vértices	5	2	4	3	1
Color	0	1	2	2	1

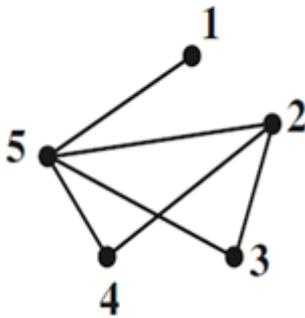


Fig. 7. Grafo de coloreado secuencial.

no [8], como podemos observar en la Tabla II y como se forma el grafo en la Fig. 7.

H. Procesos para generar un plan de frecuencias

Para realizar un plan de frecuencias se debe identificar un conjunto de requisitos como las frecuencias o canales adecuados ubicación de los transmisores, área geográfica, etc., luego se procede a evaluar el potencial de interferencia que existe, este proceso se llama análisis de compatibilidad, el cual permite decidir si se puede o no compartir una frecuencia. Obteniendo esta información se lleva a cabo una asignación de frecuencia real, a esto se lo conoce como síntesis del plan.

Para el análisis de compatibilidad se necesita de una descripción completa de todas las características técnicas y de los requisitos mínimos para determinar el nivel de interferencia que podría existir entre requisitos.

Para minimizar los cálculos es posible establecer una matriz de distancias entre cada una de las áreas de adjudicación. Donde la distancia entre cada área adjudicada, se la representa como la distancias entre los dos vértices más cercanos.

Partiendo del grafo de áreas de adjudicación se puede determinar la dimensión de una matriz $m*m$, donde su diagonal está formada por ceros, siendo F^T la matriz transpuesta de F . Donde, la distancia entre dos áreas de adjudicación se define como la distancia entre los dos vértices más cercanos, con el objetivo de minimizar los cálculos, la matriz de distancias se puede observar en la Matriz 1. Una vez determinada tanto la matriz de distancias como la matriz de adyacencias, se procede a realizar una comparativa, de forma que, si la distancia supera a la distancia de re-uso se le asigna un 1, de lo contrario se le asigna un 0, para finalizar se realiza un algoritmo basado en coloreado secuencial, para luego ser analizados. [8]

$$d = \begin{pmatrix} 0 & 1 & F \\ 1 & \ddots & 1 \\ F^T & 1 & 0 \end{pmatrix} m*m$$

Matriz 1

IV. RESULTADOS

A. Parámetros para planificación del sistema de TDT para Ecuador TV

Para la codificación y programación del canal digital se utilizaron los siguientes parámetros, ver en la tabla III.

Tabla III
PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN ECUADOR TV.

Parámetros	Valores
Número de Segmentos N_s	13
Ancho del Segmento BWs	428,57 KHz
Banda UHF BW_T	5,572 MHz
Número de Portadoras	5617
Modulación	64-QAM
Duración de Símbolo	504 μs , 1008 μs
Separación de Portadoras	$Bws/432 = 0,992$ KHz
Intervalo de Guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Tiempo útil de Símbolo	504 μs , 1008 μs
Duración de Cuadro de Transmisión	204 símbolos OFDM
Codificación de Canal	Código convolucional, tasa = 1/2 con 64 estados Punzado para las tasas 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Distancia de re-uso	23 Km

B. Elección del modo de operación apropiado para Ecuador

Para la elección del FFT idóneo para Ecuador se realizaron las simulaciones con diferentes IG, comparando el modo 2 (FFT 4K) con el modo 3 (FFT 8K). El modo 1 FFT 2K no fue considerado ya que solo se aconseja para recepción móvil. Y para el caso de Ecuador, mayoritariamente la recepción es fija o portable.

Para el modo 3 (FFT 8K) con un IG de 1/4, con 252 μs , con una distancia máxima 75.6 Km entre transmisores (máxima distancia que puede existir sin que exista interferencias de la misma red). Se obtuvo una cobertura de 91.46 % con un 8.54% de interferencias. Como se observa Fig. 8.

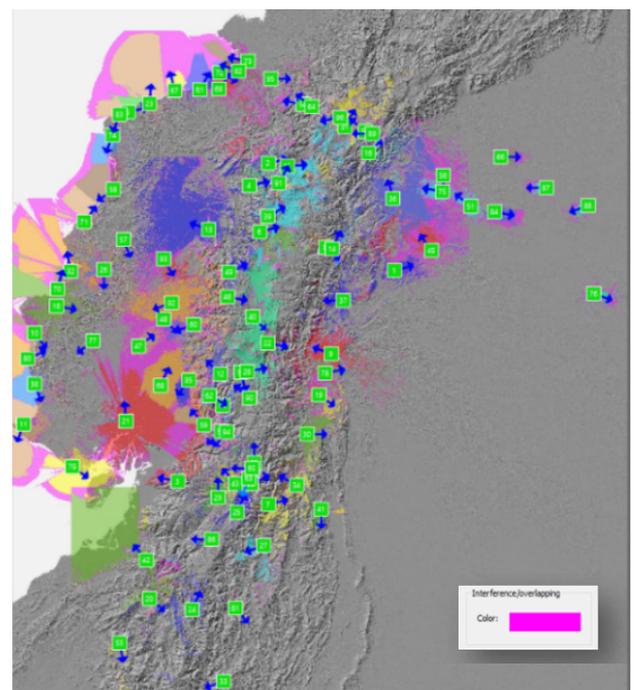


Fig. 8. Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/4.

Para un IG de 1/8 con un modo de operación FFT de 8K con un periodo de símbolo útil 1008 μ s, con un tiempo de guarda de 126 μ s, y con una distancia mínima de 37,8 Km el porcentaje de cobertura es 87.79%, con un 12.21% de interferencia, como se observa en la Fig. 9. Para este escenario se presenta un incremento de interferencias de la misma red.

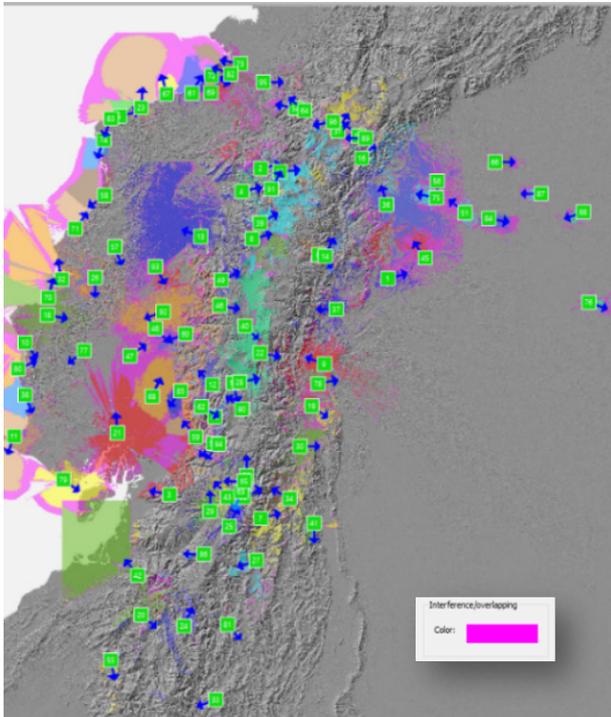


Fig. 9. Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/8.

Al realizar la simulación con un IG de 1/16, perteneciente a 8K, la distancia máxima que alcanza es de 18.9 Km, se observa que las interferencias aumentan en la región sierra y costa, dando como resultado un porcentaje de cobertura de 85.35% y un 15.65% de interferencias. Dando como resultado la Fig. 10.

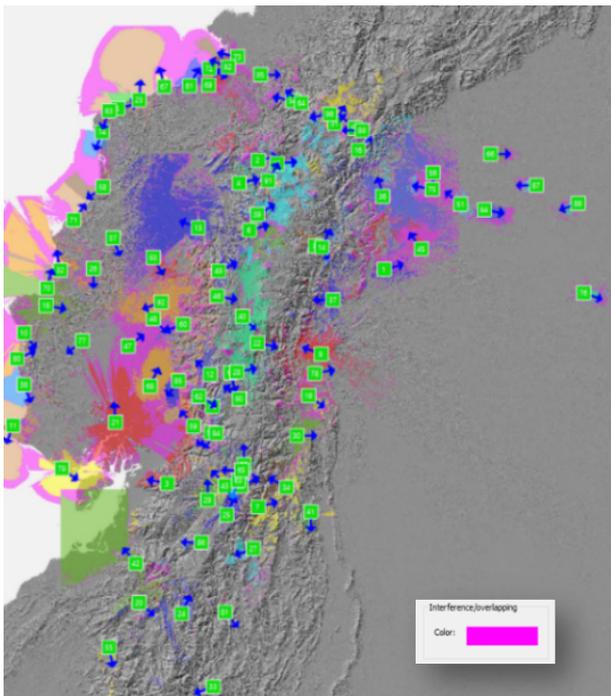


Fig. 10: Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/16

Modificando el IG a 1/32 la distancia máxima disminuye a 9,45 Km para un FFT 8K. En este caso existe un incremento notable en sectores que presentaban un porcentaje 18.34 % interferencia en comparación con los IG anteriores. Dando como resultado la Fig. 11.

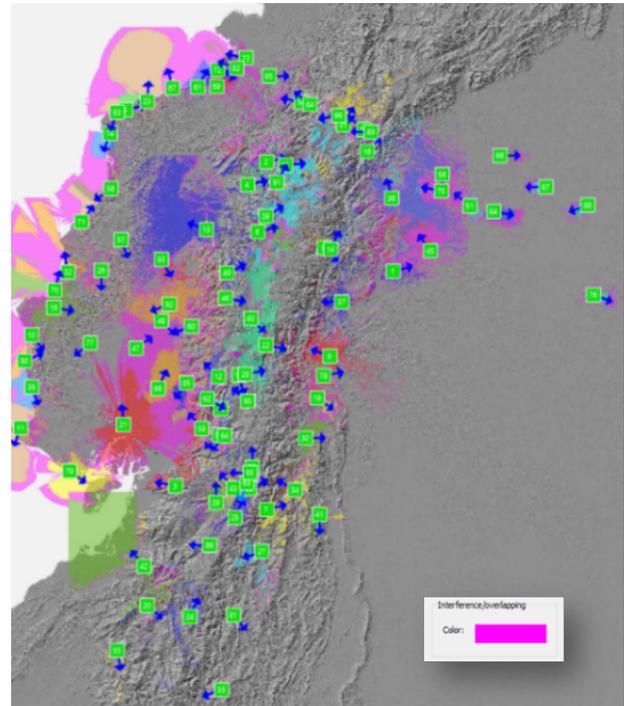


Fig. 11. Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/32

Las siguientes simulaciones se realizaron con el modo 2 (FFT 4K) la primera diferencia que se observa a comparación del modo 3 es en el tiempo de guarda menor, por ende, su distancia máxima disminuye. Para un IG 1/4, con un tiempo útil de símbolo de 126 μ s con modo FFT 4K y una distancia de 37,8 Km, lo que resulta en un aumento de interferencias en la red, como se observa en la Fig. 12. El aumento de interferencias para este IG es notable a comparación a su igual del modo 3, con un incremento 15.5 % de interferencia en comparación al 8.54 % del modo 3, con el mismo IG.

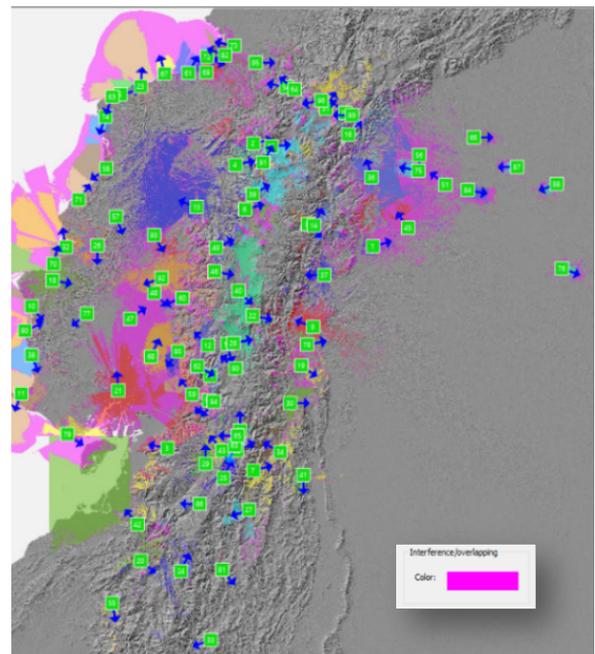


Fig. 12. Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/4.

Modificando el IG a 1/8 para el modo 2, se tiene un tiempo de útil de símbolo de 63 μ s, y una distancia 18,9 Km en sectores como la región sierra aumenta las interferencias lo cual no ocurre para IG con distancias más grandes. Como se puede observar en la Fig. 13, el porcentaje de cobertura para esta simulación es de 80.83 %, con un 19.17% de interferencias.

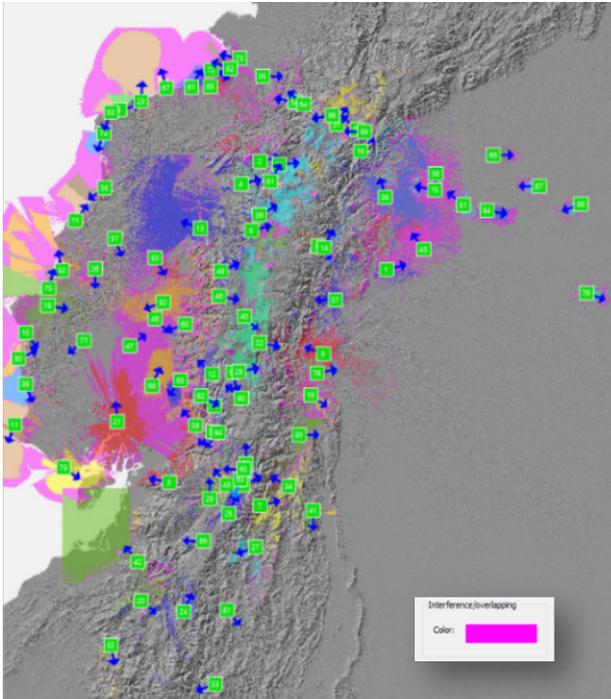


Fig. 13. Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/8.

Para un intervalo de guarda de 1/16 de FFT 4k el con un tiempo útil de símbolo se reduce hasta los 31,5 μ s al igual que la distancia se reduce a 9,45 Km, se realizó la simulación con estos datos. El resultado no es muy óptimo con relación al IG de 1/4 de FFT 8K, el porcentaje de cobertura es de 77.39 % y un porcentaje de 22.39% de interferencia. Como se puede observar en la Fig. 14.

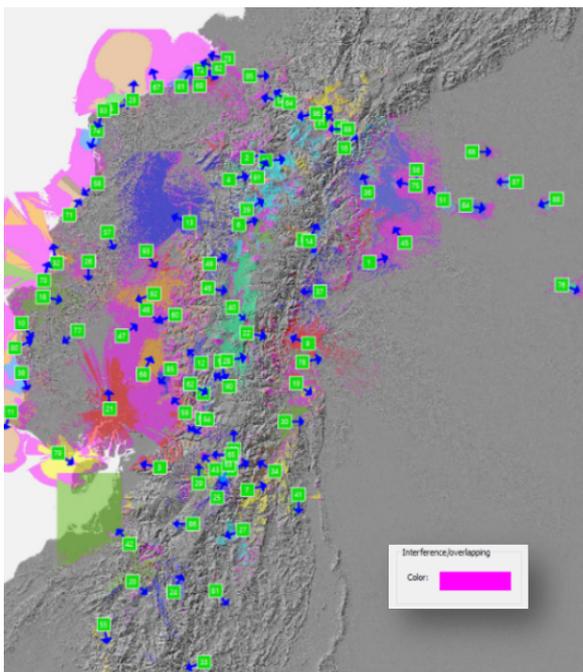


Fig. 14. Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/16

Para el IG de 1/32 del modo 2 con un tiempo útil de símbolo de 15,7 μ s y una distancia de 4,72 Km, los resultados no fueron los mejores, es decir el incremento de interferencia es de un 24.42 % con respecto al 18.34 % del IG 1/32 del modo 3. El incremento es notorio y se puede observar en la Fig. 15.

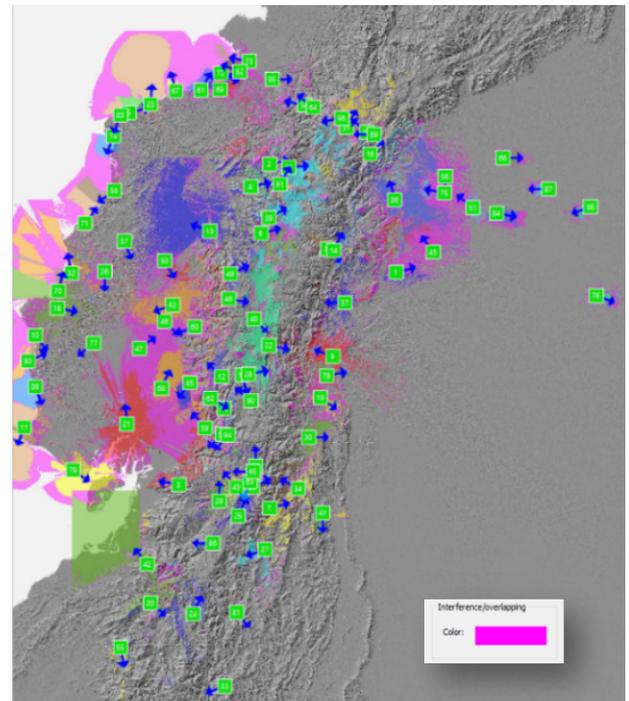


Fig. 15. Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/32

Como se puede observar con IG más pequeños se reduce la distancia lo que para este caso en particular las interferencias aumentan, para lo cual se escogió la IG de 1/4 con menos interferencias, con un 91.46% de cobertura y un 8.54% de interferencias, ver Tabla VI.

Además, se puede incrementar la capacidad usando modulaciones de mayor orden a 64 QAM. El uso de altos FFT permite usar intervalos de guarda con una duración menor. Varios modos fueron evaluados, para este caso se utilizaron modos que tienen las mismas distancias SFN de 37,8 Km. Los resultados se pueden observar en la Tabla IV.

Tabla IV:
MODOS DE ISDB-TB PARA MAXIMIZAR LA COBERTURA.

Parámetros	ISDB-Tb	
	Modo 2	Modo 3
Tamaño de FFT	4 K	8 K
Modulación	64-QAM	64-QAM
Tasa de codificación	5/6	3/4
Intervalo de guarda	1/4	1/8
Capacidad	46.28 Mbps	42.58 Mbps
CNR Rice	22.6 dB	21.06 dB
CRN Rayleigh	25.65 dB	22.82 dB

El modo 3 usa un FFT de mayor tamaño, lo que se traduce en un intervalo de guarda más pequeño manteniendo la distancia entre transmisores, al reducir el intervalo de guarda permite una codificación más robusta sin reducir la capacidad de transmisión, en comparación al modo 2 con una diferencia de 1,54 dB y 2,83 dB para recepción fija y portable respectivamente,

sin embargo, el uso de FFT altos implica un menor desempeño en la recepción móvil. En capacidad se observa una diferencia entre los modos 3, 7 Mbps una pequeña diferencia transferencia de datos.

El análisis en ganancia en tamaño de la red SFN se puede analizar comparando y manteniendo la CNR, permitiendo incrementar la capacidad usando modulaciones de orden mayor como 64-QAM, y utilizar las distancias máximas usando FFT elevados con intervalos de guarda de menor duración. Esta comparativa se puede observar en la Tabla V.

Tabla V

MODOS ISDB-TB PARA MAXIMIZAR LA CAPACIDAD Y MODULACIÓN.

Parámetros	ISDB-Tb	
	Modo 2	Modo 3
Tamaño FFT	4 K	8 K
Modulación	64-QAM	64-QAM
Tasa de codificación	5/6	3/4
Intervalo de guarda	1/4	1/4
CNR	22.82 dB	22.82 dB
Distancias SFN	37,8 Km	75,6 Km
Capacidad	40,74 Mbps	42,58 Mbps

Al usar el modo 3, el cual implica distancias más grandes entre los transmisores en comparación con el modo 2, esto afecta a la recepción móvil, sin embargo, el estudio está dedicado a recepción fija en azoteas, lo que permite usar el máximo de FFT del modo 3 con la finalidad de maximizar la capacidad de operación. Los parámetros seleccionados para la optimización de la red se pueden observar en la Tabla VI.

Tabla VI:

MODO ISDB-TB, SELECCIONADO PARA MAXIMIZAR LA COBERTURA

Parámetros	Modo 3
Tamaño FFT	8k
Modulación	64 QAM
Tasa de codificación	3/4
Intervalo de guarda	1/4
Capacidad	42.58 Mbps
CNR Rayleig	22.8 dB
Tiempo de guarda	252 μs
Tiempo útil de símbolo	1008 μs
Tiempo total de símbolo	1260 μs

C. Simulación del Número mínimo de redes SFN para el Ecuador

Para la planificación se ha elegido dividir al Ecuador en tres zonas, para poder obtener el rango de cobertura e interferencias, implementando una, dos y tres redes, a fin de observar si es posible cubrir todo el territorio y revisar cuál es el más óptimo para la región usando los parámetros antes vistos. En primer lugar, se analiza las interferencias producidas con la configuración previa a la optimización de los retardos.

La configuración de una sola red SFN para el Ecuador presenta varias zonas con interferencia en la zona norte Imbabura y Carchi se encuentra con una interferencia de 15%, en la zona centros sur en las provincias de Cañar, Manabí, un 10% y Guayas, es una zona de alta interferencia con 26 %, se configuro los retardos sin embargo no se logró reducir en gran medida las interferencias.

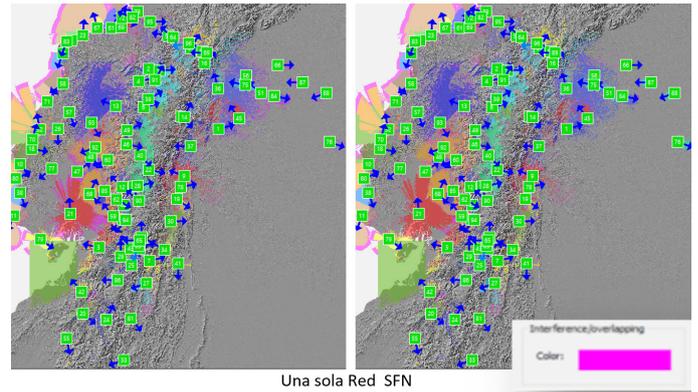


Fig. 16. Cobertura, interferencias y optimización en una sola red SFN.

La geografía del Ecuador también ayuda que no existan interferencias sin embargo existe varias zonas que se solapan y producen interferencias en la red SFN. Como se observa en la Fig.16 es posible cubrir todo el Ecuador con una sola red SFN, con un porcentaje aproximado del 10 % de interferencias.

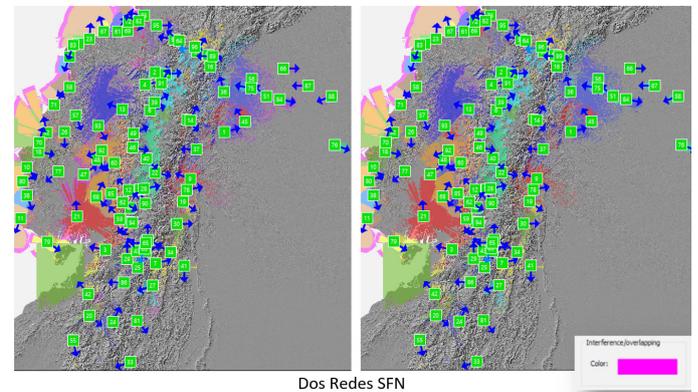


Fig. 17. Cobertura, interferencias y optimización con dos redes SFN.

En la Fig 17 se implementó dos redes SFN una para la región costa y otra para la región sierra y oriente, en esta simulación no fue necesario realizar en todas las zonas una optimización de retardos, lo que dio como resultado un porcentaje aproximado del 91 %.

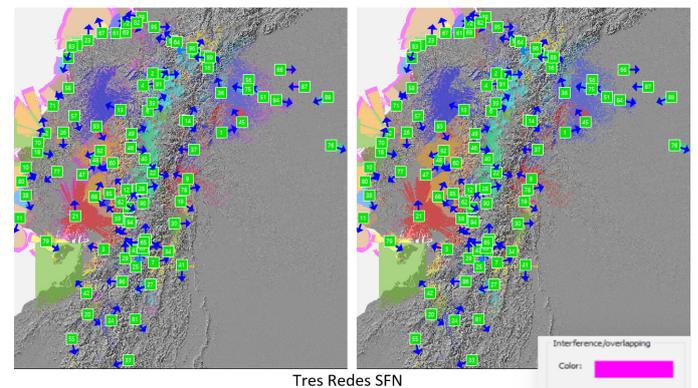


Fig. 18. Cobertura, interferencias y optimización de tres redes SFN

Para la tercera simulación Fig. 18 se dividió al país en tres zonas costa, sierra y oriente, cada una con su respectiva red SFN, se realizó pequeños ajustes en los retardos para optimizar las interferencias propias de cada red. Al usar tres redes SFN, las interferencias se reducen a un 92 %

Como se puede observar en las tres distintas simulaciones usando el modo de operación 8k y los retardos optimizados para la trasmisión y cobertura se llega a cubrir en su totalidad a los cantones principales de las provincias del Ecuador, la geografía también ayuda, ya que en el sector de la región sierra por ser una zona montañosa minimiza las interferencias de la red.

D. Plan de frecuencias para TDT en el Ecuador

Al determinar las condiciones del plan de frecuencias se realiza una síntesis para la misma, donde se usó grafos para la adyacencia de cada una de las áreas de adjudicación. Para ello se usó una distancia de reutilización de frecuencias de 23 km. Usando un algoritmo de coloreado secuencial se realizó la asignación de frecuencias a cada provincia, donde se necesitó de 5 frecuencias para cubrir todo el país, cumpliendo con la distancia antes mencionada para que no existan interferencias en la red. Fig 19.

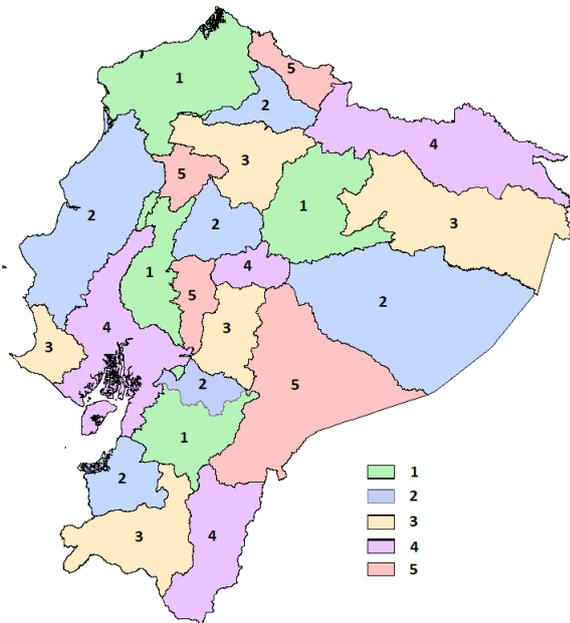


Fig. 19.: Tentativa para adjudicación de frecuencias en las provincias.

En la tabla VII se especifica la asignación del área de adjudicación:

Tabla VII
COLOREADO PARA EL SERVICIO PROVINCIAL.

Área de adjudicación	1	7	11	19	14	3	6	9	2	13	24	12
Color	1	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	1
Área de adjudicación	5	18	23	15	16	22	21	17	10	8	4	20
Color	2	4	5	1	2	3	4	3	2	1	5	x

E. Asignación de frecuencias por áreas de adjudicación para Ecuador

Para realizar la planeación de frecuencias se tomó en cuenta los resultados el modelo de propagación, la red de referencia, y la configuración obtenida con el algoritmo de coloreado secuencial.

Las 5 frecuencias usadas para la simulación se especifican en la Tabla VIII.

Tabla VIII
ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA CADA ZONA ADJUDICADA.

Provincia	Color	Frecuencia	Transmisor
Costa			
Esmeraldas	1	545	5, 67, 69, 72, 73, 74, 83, 82, 23, 61
Manabi	2	551	10, 18, 32, 57, 58, 70, 71, 77, 80, 26
Guayas	4	563	21, 79
Santa Elena	3	557	11, 38
Los Ríos	1	545	47, 48, 68, 85, 92, 93
El Oro	2	551	42
Sierra			
Carchi	5	569	31, 53, 64, 95, 96, 54
Imbabura	2	551	2, 8, 15
Pichincha	3	557	4, 6, 39, 91
Santo Domingo	5	569	13
Cotopaxi	2	551	46, 49
Tungurahua	4	563	22, 40
Bolívar	5	569	12, 60, 62
Chimborazo	3	557	17, 28, 44, 50, 59, 90, 94
Cañar	2	551	43, 52, 65
Azuay	1	545	3, 25, 29, 35, 63, 86
Loja	3	557	24, 20, 55
Oriente			
Sucumbios	4	563	16, 36, 51, 56, 66, 84, 87, 88, 89, 75
Napo	1	545	14, 37
Orellana	3	557	1, 45, 76
Pastaza	2	551	9
Morona Santiago	5	569	7, 19, 27, 30, 34, 41, 78
Zamora Chinchipe	4	563	33, 81

En la Fig. 20 se observa la simulación de para las áreas adjudicadas con el modo 3, con tres redes SFN, el cual se encuentra con una cobertura aproximada del 96 % con una interferencia de 4%.

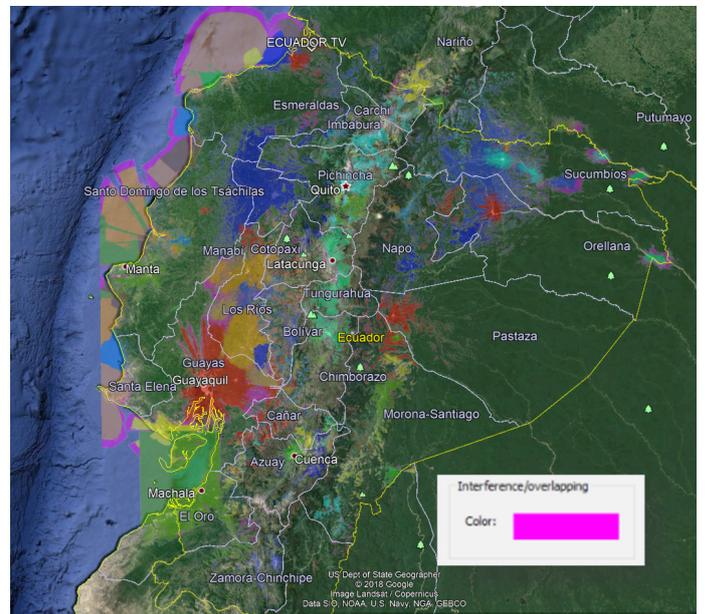


Fig. 20. Asignación de las 5 frecuencias en 3 redes SFN.

V. CONCLUSIONES

El modo apropiado para la transmisión en el Ecuador es el modo 3, al realizar simulaciones con sus diferentes intervalos de guarda y una comparación con el modo 2, se determinó que un IG de 1/4, con un FFT 8K y un tiempo útil de símbolo de 252 μs es el más óptimo para las condiciones de Ecuador. La

simulación dio como resultado una cobertura de 91,46% con un 8,54 % de interferencias, este porcentaje se logró reducir a un aproximado del 4,6% de interferencias, el sector con mayor interferencia (transmisor 47, 48 correspondiente a la provincia de Los Ríos), se logró reducir un 10% de interferencias optimizando sus retardos.

El estándar ISDB-Tb tiene la capacidad de transmitir tres capas con diferentes características, permitiendo la transmisión de una o varias programaciones simultáneas con diversas calidades, para este caso en particular se eligió una modulación robusta 64-QAM, con una capacidad de 42,58 Mbps usando una FEC de $\frac{3}{4}$ que corresponde a una relación de potencias de 20.1 dB, que permitirá una transmisión de alta calidad.

La planificación de frecuencias a nivel nacional en Ecuador, según los datos recogidos han sido analizados en escenarios reales, se han llevado a cabo simulaciones de cobertura con un simulador profesional, se analizó el estado actual del despliegue de la televisión digital terrestre (TDT) del canal Ecuador TV. Se analizó las interferencias en tres casos de 1, 2 y 3 redes SFN, esta última dio como resultado que las interferencias se reducen a un aproximado del 4 %, por lo tanto, el país puede dividirse en tres áreas de adjudicación, y cubrir a todo el país con solo tres redes (frecuencias) para el caso de servicios.

Para el caso de servicios nacionales, dependiendo del tamaño de país, y la tecnología que use para la TDT, se puede cubrir todo el territorio con una sola red SFN, lo que implica una sola área de servicio para toda la nación, pero también involucra una disminución de capacidad, ya que se usa intervalos de guarda más grandes, sin embargo, para minimizar al máximo las interferencias y permitir desconexiones regionales es preferible tener más de un área de servicio. Para el caso de Ecuador y en especial para el canal público analizado, es preferible que exista una red por cada región de cobertura e decir tres redes SFN. En las simulaciones se usó un FFT 8K con IG de $\frac{1}{4}$ lo que permitió una buena cobertura con un aproximado del 92% de alcance, realizando una optimización de retardos en diferentes transmisores y se llegó a un porcentaje aproximado del 96 % de cobertura y un aproximado del 4 % de interferencias.

Para la planificación de redes locales, las áreas son mucho más pequeñas. Sin embargo, esto se puede solucionar agrupando canales con la misma cobertura y así optimizar el espectro radioeléctrico, los canales con coberturas adyacentes pueden ser unidos a una red SFN, siempre y cuando la cobertura mejore. Para este caso son necesarias 5 frecuencias en todo el territorio ecuatoriano.

REFERENCIAS

[1] MINTEL, «TDT - Televisión Digital Terrestre - Ecuador,» 2009. [En línea]. Available: <https://tdtecuador.mintel.gob.ec/>. [Último acceso: 20 noviembre 2017].

[2] MINTEL, «TDT - Televisión Digital Terrestre - Ecuador,» 2009. [En línea]. Available: <https://tdtecuador.mintel.gob.ec/>. [Último acceso: 20 noviembre 2017].

[3] R. BEUTLER, *Digital terrestrial broadcasting networks*, Stuttgart-Alemania: Springer, 2009.

[6] N. PISCIOTTA, *Sistema ISDB-Tb (Primera Parte)*, Córdoba, Argentina: Universidad Blas Pascal, 2010.

[7] R. JARRÍN y C. MOREJÓN, «Diseño de una red de frecuencia única para un canal de televisión en la banda UHF con la norma ISDB-Tb para la zona geográfica P,» 2012. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4580>. [Último acceso: 16 Diciembre 2017].

[8] T. MONCAYO y M. POZO, «Generación del flujo único de paquetes de transporte TS de acuerdo a la norma ISDB-Tb y desarrollo de una aplicación para su análisis,» 2014. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7304>. [Último acceso: 4 mayo 2018].

[9] J. RIBADENEIRA, «Planificación de frecuencias para televisión digital terrestre (TDT) en Sudamérica,» 2016. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/2569>. [Último acceso: 15 Febrero 2018].

[10] UIT-R P.525-3, «Cálculo de la atenuación en el espacio libre,» 2016.

[11] ITU-R P.526-14, «Propagation by diffraction,» 2018.

[12] U. I. d. T. ITU-R BT 1368-13, «Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands,» 2017.

[13] V. E. GARCÍA, «Propuesta de guías para el laboratorio de investigación del DETRI, enfocadas al estudio del estándar de televisión digital ISDB-Tb,» 2017. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17037>. [Último acceso: 15 enero 2018].

[14] N. B. ABNT NBR 15603 2, «Multiplexación y servicios de información (SI), Parte 2: Estructura de los datos y definiciones información básica de SI,» 2009.

[15] N. B. ABNT NBR 15604, «Televisión digital terrestre-receptores,» 2008.

[16] N. B. ABNT NBR 15608-1, «Televisión digital terrestre - Guía de funcionamiento Parte 1: sistema de transmisión - Guía para implementación de la ABNT NBR 15601: 2007,» 2008.

[17] S. ASHQUI, «Implementación de un Sistema OFDM de Transmisión y Recepción Inalámbrica de Imagen a Través de Modulación QPSK y 8PSK,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/37219>. [Último acceso: 3 12 2017].

[18] R. BRUGGER y D. HEMINGWAY, «OFDM receivers impact on coverage of inter-symbol interference and fft window positioning,» 2003.

[19] H. ERAZO, «Estudio y análisis de la tecnología de redes de frecuencia única (Isocrecuencia), y su aplicación en la radiodifusión en las bandas de AM y FM para la optimización del espectro electromagnético en la ciudad de Quito,» 2009. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1451>. [Último acceso: 29 Enero 2018].

[20] W. FISCHER, *Tecnologías para la Radiodifusión Digital de Video y Audio*, Múnich-Alemania: Rohde&Schwarz, 2009.

P. T. Galabay y F. R. Vivar, «MANEJO DEL SOFTWARE GINGA PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES INTERACTIVAS PARA TELEVISIÓN DIGITAL, BASADO EN EL ESTÁNDAR BRASILEÑO ISDB-Tb,» Cuenca, 2012.

[21] C. GARCÍA, «Planteamiento de una metodología para la determinación de posibles zonas de sombra mediante algoritmos de interpolación en la banda de frecuencias UHF de

- TDT (Televisión Digital Terrestre),» 2016. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13743>. [Último acceso: 20 diciembre 2017].
- [22] N. GRANJA, «Análisis del transport stream para el estándar de televisión digital ISDB-Tb,» 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4553>. [Último acceso: 3 Marzo 2018].
- [23] L. GUERRA, «Televisión digital en el Ecuador; Un enfoque técnico-social,» 2017. [En línea]. Available: <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/310>. [Último acceso: 10 febrero 2018].
- [24] I. HERNAEZ, *Procesado de señal en comunicaciones*, Bilbao-España: Gráficas Zubi, 2008.
- [25] J. HERNANDO, J. RIERA y L. MENDO, *Transmisión por Radio*, Madrid-España: Editorial Univeritaria Ramón Areces, 2013.
- [26] M. ILLESCAS y D. VILLAMARÍN, «Implementación de un transmisor de pruebas de TV Digital terrestre ISDB-Tb para la emisión de aplicaciones interactivas,» 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4289>. [Último acceso: 4 febrero 2018].
- [27] L. JADÁN y E. PASPUCEL, «Estudio comparativo entre los estándares de televisión digital terrena: ATSC (Advanced Television Systems Committee), DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) e ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial),» 2003. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11353>. [Último acceso: 2 mayo 2018].
- [28] X. LÓPEZ y C. MORA, «Análisis de técnicas de modulación adaptiva en redes inalámbricas de banda ancha (IEEE 802.16, Wimax),» 2006. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwid-Hd1_rcAhUKyFkKHVSzDjYQF-jAAegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fprofesores.fi-b.unam.mx%2Fvictor%2FLTesis_Ximema_Christian.pdf&usg=AOvVaw0Dyx3mhP9BBjUyUB8TeEEV. [Último acceso: 8 mayo 2018].
- [29] G. MEDINA, «Estudio de cobertura en el canal Ecuador TV para brindar el servicio de televisión digital terrestre (TDT) para el sector sur de la ciudad de Quito,» 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7395>. [Último acceso: 22 abril 2018].
- [30] D. MIRANDA, O. FUENTES y S. URBINA, «Análisis del estándar ISDB-T para ser utilizado en una posible implementación de la televisión digital terrestre en Nicaragua,» 2015. [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiLh_b-2_rcAhXwzVkkKHABGC-flQFjAAegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fribuni.uni.edu.ni%2F1245%2F1%2F80670.pdf&usg=AOvVaw2hQmP9cq-vPooPzofueMNE5. [Último acceso: 4 abril 2018].
- [31] J. MUÑOZ, «Estudio de factibilidad para la implementación de un laboratorio de televisión digital terrestre (TDT) para el laboratorio de networking en la facultad de ingeniería industrial de la universidad de Guayaquil,» 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20233>. [Último acceso: 18 Febrero 2018].
- [32] J. PARREÑO y S. PONCE, «Creación de nuevos servicios de televisión digital terrestre bajo el estándar ISDB-Tb para la plataforma Villageflow mediante el análisis de su estructura,» 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8094>. [Último acceso: 9 mayo 2018].
- [33] S. d. T. SUPERTEL, «Estadísticas de radiodifusión y televisión,» 2011.
- [34] C. Vargas, W. Lopez y C. Da Rocha, «SISTEMAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA MIMO - OFDM,» 2007.