

IMPLEMENTACIÓN DE LAS REDES DE FRECUENCIA ÚNICA: PROPUESTA PARA LA PROVINCIA MAYABEQUE.

IMPLEMENTATION OF THE SINGLE FREQUENCY NETWORKS: PROPOSAL FOR THE MAYABEQUE PROVINCE.

Nelson Paz García¹, Alejandro David Cabrera Valdes², Dayan Pérez Quintana³

¹ Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba, npazg1994@gmail.com

² Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba, acabrera@tele.cujae.edu.cu

³ Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba, dayan.pg@tele.cujae.edu.cu

RESUMEN

En esta investigación se abordan temas que servirán como base para la introducción y desarrollo de la televisión digital en nuestro país y su incursión en aristas que permitan hacer de esta una tecnología más eficiente. Temas como Redes de Frecuencia Múltiple y Redes de Frecuencia Única son de gran interés en la actualidad dado que brindan muchas facilidades para la transmisión de señales digitales. Dada su importancia se realiza un estudio sobre las Redes de Frecuencia Única y las ventajas que estas proporcionarían, para una posible implementación en Cuba; en cuanto a potencia de los transmisores, áreas de cobertura, interferencia, utilización del espectro radioeléctrico y sincronismo. También se desarrolla una implementación virtual de una Red de Frecuencia Única, utilizando el software EMLAB para la simulación, en la provincia de Mayabeque, comprobando la superioridad de esta red con la de frecuencia múltiple.

PALABRAS CLAVES: Cobertura, espectro de frecuencia, Red de Frecuencia Única, Televisión Digital Terrestre.

ABSTRACT

This research addresses issues that will serve as a basis for the introduction and development of digital television in our country and its incursion into edges that make this technology more efficient. Topics such as Multiple Frequency Network and Single Frequency Network are very interesting today, due to they provide many facilities for the transmission of digital signals. A study is based on Single Frequency Networks and their advantages for a possible implementation in Cuba; in terms of power of the transmitters, coverage areas, interference, use of the radio spectrum and synchronism. A virtual implementation of a Single Frequency Network is also developed, using the EMLAB software for simulation, in the province of Mayabeque, verifying the superiority of this network with the Multiple Frequency Networks.

KEY WORDS: Coverage, frequency spectrum, Single Frequency Network, Digital Terrestrial Television.

1. INTRODUCCIÓN

Las Redes de Frecuencia Única, por sus siglas en inglés SFN, son redes de difusión caracterizadas por estar compuestas por un conjunto de transmisores que emiten de forma simultánea la misma señal a la misma frecuencia. Frente a las Redes de Frecuencia Múltiple (MFN) convencionales, las SFN hacen un uso más eficiente del espectro, permiten aumentar la cobertura y trabajar con potencias menores de acuerdo con la ganancia de la red. En la actualidad, este tipo de redes son objeto de investigación y desarrollo, en este artículo se hace un estudio para un futuro despliegue en nuestro país, con un óptimo empleo de los recursos y costos. [1]

Mediante la configuración SFN es posible cubrir áreas completas mediante el uso de un canal radioeléctrico con la multiplexación de varios programas a una frecuencia central determinada. Esto supone una eficiencia de

espectro considerable con respecto a las MFN, donde eran necesarios varios canales para cubrir un área en común. Por otro lado, cuando sea necesario extender el área de cobertura, con el empleo de retransmisores es posible lograrlo, sin la necesidad de utilizar frecuencias adicionales [2].

2. CONTENIDO

Una ventaja importante del sistema de Televisión Digital Terrestre (TDT), es la posibilidad de operar varios transmisores en una misma frecuencia. En una SFN, todos los transmisores están sincrónicamente modulados con la misma señal e irradian en la misma frecuencia. El efecto limitador de la técnica de SFN es la llamada interferencia mutua entre transmisores de la misma red o exteriores. Si las señales provenientes de transmisores lejanos poseen un retardo superior al intervalo de guarda, estas contribuirán a la señal interferente como ruido en vez de formar parte de la señal deseada. La intensidad de estas dependerá de las condiciones de propagación, que varían con el tiempo. La interferencia mutua en una SFN se evita al seleccionar un intervalo de guarda largo.

Eficiencia de una SFN

Las redes SFN no sólo son eficientes en frecuencia sino también en potencia. En redes convencionales y en el caso específico de un solo transmisor, una manera común para alcanzar cobertura con un alto porcentaje de ubicaciones es incluir un margen de desvanecimiento alto en el presupuesto de enlace y en consecuencia aumentar de manera significativa la potencia del transmisor. No obstante, con la recepción omnidireccional en redes SFN, donde la señal deseada consiste de varias componentes de señal de diversos transmisores cuyas variaciones están débilmente correlacionadas, el desvanecimiento en la intensidad de campo de un transmisor puede ser compensado con la señal de otro transmisor. Este efecto de superposición reduce las variaciones locales de intensidad de campo lo cual permite que los transmisores en una SFN trabajen con una potencia inferior. Esta eficiencia en potencia en una SFN es importante en el borde del área de cobertura de un transmisor, llamado ganancia de la red. El beneficio puede ser más apreciable en el caso de ganancia de antenas de poca altura, antenas omnidireccionales como ocurre con receptores portátiles.

Funcionamiento en sincronía

Un precio a pagar por la eficiencia de espectro y potencia es la necesidad de la operación en sincronía de todos los transmisores en una red. El requisito de la operación sincrónica del transmisor tiene un impacto significativo en la distribución de la señal multiplexada a los transmisores. En redes espaciadas de forma irregular, la interferencia mutua se minimiza al establecer unos tiempos de espera en los transmisores de manera que todos emitan la señal al mismo tiempo. De no cumplirse esta condición algún transmisor podría emitir la señal antes de tiempo, y provocar que las demás señales de diversos transmisores sirvan de interferencia a la señal original, debido al retardo impuesto artificialmente.

En las redes SFN para minimizar las señales interferentes es aplicado el retardo estático a cada transmisor. Normalmente los transmisores utilizan una referencia GPS (Sistema de Posicionamiento Global), para transmitir de forma sincronizada el mismo símbolo OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales). Sin embargo, introduciendo retardos en los transmisores pueden alterarse los ecos en cada punto receptor, debilitando de esta forma las contribuciones interferentes. Este retardo modifica la configuración del eco en el receptor y de esta forma, es posible maximizar la potencia dentro del intervalo de guarda. Se debe tener en consideración que el intervalo de guarda, si bien favorece la sincronización en el receptor, contribuye a reducir el nivel de ISI (interferencia entre símbolos). Un tiempo de guarda mayor se traduce en un aumento de la ganancia de la red SFN, con lo que se obtiene una alta probabilidad de cobertura. [1]

Análisis de la cobertura

Es necesario conocer los siguientes conceptos para lograr el análisis de estas redes:

Zona de servicio: Área en la que el servicio de radio está destinado a ser conocido. Normalmente es un parámetro de entrada a la planificación de cobertura[2].

Área de cobertura: Corresponde a la superficie geográfica a servir con una intensidad de campo igual o mayor a la intensidad de campo mínima a proteger, sin rebasar los límites de la correspondiente área de operación independiente[3].

Zona de sombra: Superficie terrestre dentro del área de cobertura principal, autorizada para una estación matriz o repetidora, la cual, debido a su condición geográfica recibe una señal que no cumple con el nivel de intensidad de campo en el borde del área de cobertura principal[3].

Intensidad de campo mínima a proteger: El valor de intensidad de campo, que será protegido en el borde del área de cobertura es de 51 dB μ V/m, para por lo menos el 90% del tiempo y el 50% de los sitios de recepción[3].

Es interés de toda compañía de radiodifusión que sus señales lleguen al mayor número de receptores, por lo que buscan la localización más adecuada de los radiotransmisores para cubrir la mayor área posible. No obstante, existen lugares con relieve muy irregular o áreas muy extensas que provocan la aparición de zonas de sombra.

Para solucionar esto, durante la operación de los sistemas de radiodifusión análogos, se colocaban transmisores de menor potencia (transmisores complementarios) con antenas cuyo patrón de radiación cubriría las zonas de sombra. Los canales de transmisión venían en frecuencias distintas a las que inicialmente tenían asignadas y no había ninguna interferencia.

Los usuarios que estaba dentro de las zonas de sombra simplemente sintonizaba el contenido del radiodifusor en un canal diferente a la que la mayoría lo hacía y todo funcionaba sin mayor contratiempo.

El problema con esta solución, es que, un radiodifusor tenía varios canales asignados para dar servicio solo a una población, en aras de cubrir su zona de servicio con una señal de calidad, lo cual hacía poco eficiente la repartición del espectro radioeléctrico.

Las redes SFN, permiten brindar cobertura a áreas de servicio en donde existen zonas de sombra usando solo un canal de radiofrecuencia [4]. Por lo que, se busca la forma de insertar esta tecnología en sus transmisores para lograr una menor cantidad de canales, asegurando mayor espacio libre en el espectro radioeléctrico en las bandas VHF y UHF para otro tipo de servicios, como las redes de banda ancha móvil.

Dependiendo de las posiciones geográficas de los sitios de transmisión, las potencias de los transmisores y los patrones de radiación de las antenas transmisoras, es muy común que aparezcan zonas de sombra en algunas regiones, las cuales, usando redes SFN se pueden cubrir; dando servicio a cada una con el mismo canal de RF usado para el resto de la zona de cobertura.

Si un receptor se encuentra dentro de la zona de cobertura de una red SFN, ve las señales que provienen de los diferentes transmisores como ecos de la señal original. La interferencia producida por dicho efecto se puede mantener dentro de unos márgenes suficientemente pequeños como para no perturbar demasiado la señal. Debido a esto la potencia total recibida puede incrementar en las localizaciones que están a medio camino entre transmisores.

Usando esta característica de las redes SFN, se colocan transmisores complementarios en las zonas de sombras que transmiten la información con la misma frecuencia, sincronizado con el transmisor principal del área, de forma tal que la interferencia que se pueda producir entre ambas señales sea constructiva y, la señal resultante que llegue al receptor tenga altos niveles de potencia, y muy buena calidad.

Otra solución sería, usar en lugar de transmisores complementarios, reemisores TDT o gap filler, cuya función es, principalmente, cubrir los huecos en la cobertura de una red TDT de tipo SFN (redes de frecuencia única o isofrecuenciales).

Un gap filler o reemisor TDT es un dispositivo que recibe la señal de TDT, la desmodula, regenera, amplifica y vuelve a transmitir por el mismo canal en que la ha recibido. Es decir, los canales utilizados para la recepción y emisión son los mismos.

Estos dispositivos se utilizan para dar cobertura en zonas de sombra donde no llega la señal de la TDT, por lo que deben situarse en una ubicación donde se reciba la señal de TDT y desde la que se pueda iluminar la zona

requerida, por ejemplo, el límite entre la zona de sombra y el área de cobertura. Estas zonas pueden ser extensas (un municipio o población), o reducidas (una zona dentro de una ciudad).

Uno de los problemas principales de los reemisores es el acoplamiento, o sea, que la salida del mismo puede afectar de manera recursiva a la entrada; por lo que la señal de salida vuelve a entrar como si fuese una señal débil y es nuevamente amplificada[5].

Para eliminar gran parte de la influencia de este efecto indeseado se utiliza un circuito integrado conocido como “cancelador” de eco, el cual se encarga de suprimir e identificar gran parte del efecto de acoplamiento [5].

La amplitud, diferencia de fase y dispersión en el tiempo de estos ecos son las variables que determinan una buena o mala recepción. Por tanto, para asegurar un funcionamiento adecuado, además de un cuidadoso diseño de la red (distancia entre los transmisores e instantes de transmisión de cada uno de ellos), es necesario usar técnicas de modulación que faciliten el manejo de estos ecos en el receptor, llevando al uso de tecnologías avanzadas para la estimación de canal en los receptores[4].

Las áreas de cobertura, dependen, entre otros factores, de los canales de propagación empleados, los cuales dependen, a su vez, del relieve de la zona, así como de la existencia de elevaciones debido a edificaciones construidas por el hombre.

Un canal de propagación es el espacio en el cual las ondas electromagnéticas se desplazan desde el transmisor hasta el receptor, tomando en cuenta los efectos que cambian la naturaleza de la señal conforme ésta se propaga en el espacio[4].

Diversos estudios han demostrado que la calidad de un receptor es directamente proporcional a la complejidad de los canales de propagación en los que es capaz de funcionar adecuadamente[4]. Por lo que, entre mayor sea la variedad de canales de propagación que permitan representar condiciones reales, las posibilidades de evaluar el desempeño de los receptores ante diversas condiciones crecen, logrando identificar mejoras potenciales en los receptores y brindándole información muy valiosa a los diseñadores de las redes SFN que permite reconocer los entornos de propagación que deben evitarse dentro del área de cobertura de sus redes[4].

Las zonas de servicios es la distancia máxima entre los transmisores principales de la red. Estas zonas están básicamente definidas por la combinación de FFT (espectro), intervalo de guarda y el patrón de portadoras piloto[6].

La estimación de un área de cobertura se realiza mediante métodos prácticos. Uno de estos métodos es el cálculo de probabilidad de cobertura total usando testpoint.

Estudiando las áreas de servicios, o sea, donde se va a aplicar la tecnología; colocando los transmisores de forma tal que sus antenas cubran la mayor área posible y colocando transmisores complementarios en las zonas de sombra que se puedan producir, se puede brindar servicio al 100% de la población del área sin importar la orografía o relieve de dicha zona.

Consideraciones del diseño

Para realizar el diseño de la red de frecuencia única, se debe definir la función de cada uno de los elementos que conforman el sistema de TDT, de acuerdo al estándar DTMB. En la Figura 1 se presenta el diagrama de bloques del sistema de transmisión en su totalidad.

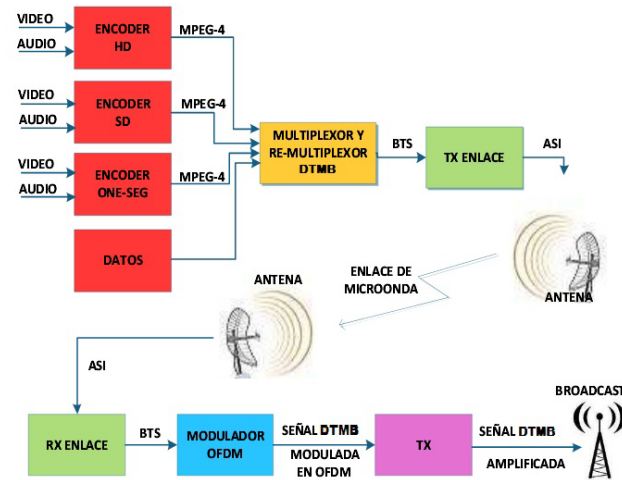


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema de transmisión.

En primer lugar, se comprimen las señales de audio y video por medio del uso de encoders MPEG-4; posteriormente, se colocan estas señales con los datos en el multiplexor DTMB, para formar el BTS. La información se debe transportar desde el estudio hasta el lugar donde se realiza la difusión de la señal; para lo cual se ha optado por emplear enlaces de microondas, porque son los que actualmente se usan para la transmisión de televisión analógica. Se ha decidido que lo más conveniente es transportar el BTS en el enlace de microondas, debido a que se desea evitar la instalación de un multiplexor DTMB junto a cada transmisor, ya que esto implicaría un mayor costo para el sistema de televisión; además, la tasa de datos del BTS es fija y por ende no depende del número ni de la calidad de la imagen que se desea transmitir.

Una vez recibido el BTS en el receptor del enlace, esta señal pasa al modulador OFDM, obteniendo los miles de portadoras moduladas y multiplexadas que conforman la señal OFDM. Finalmente, se realiza la conversión de frecuencia y se amplifica la señal, para que a través de la antena transmisora se realice la difusión de la señal DTMB a los diferentes receptores ubicados dentro del área de cobertura, ya sean estos: un televisor conectado a un set top box o un televisor con receptor DTMB incorporado [7].

Utilizar un transmisor principal de alta potencia más gap filler podría resultar más conveniente, ya que no es necesario sincronizar transmisores evitando enlaces dedicados de fibra, microondas o satélite [8].

Características de transmisión

Para poder instalar una red de frecuencia única se deben cumplir tres condiciones básicas. Bajo cualquier estándar que soporte SFN, los transmisores de una celda deben irradiar: bajo la misma frecuencia, al mismo tiempo, los mismos símbolos OFDM.

La primera condición es fácil de satisfacer, pues los transmisores pueden ser configurados para operar en la misma frecuencia de difusión. Esto al nivel del modulador. Para las otras dos condiciones se necesita información adicional. Es necesario saber acerca de: Sincronización y Parámetros de Transmisión

Para la configuración de estas características se debe tomar en cuenta el adaptador SFN (SFN Adapter). Que será el encargado de incluir al TS (Transport Stream) toda la información necesaria para la sincronización y opciones adicionales.

Las opciones adicionales pueden ser enviadas a los transmisores de manera individual. Información como Retraso de Transmisión (Delay Transmission), deslazamiento de frecuencia (Frequency Offset), etc. Dependiendo del estándar que se esté manejando las opciones adicionales pueden variar. Sin embargo, información adicional como las ID de los transmisores (tx_cell_id) es necesaria para los moduladores en cada estación de difusión.

La información de sincronización y transmisión enviada a los transmisores están almacenadas dentro del Transport Stream, a este se lo denomina MIP Packet. El contenido de este paquete puede ser visto de la siguiente manera: Parámetros de Transmisión, Información de Sincronización y Funciones Opcionales.

Parámetros de Transmisión

Los parámetros de transmisión están también referidos a los bits de TPS (Transmission Parameter Signalling). Estos bits de TPS representan la configuración de modulación como el Intervalo de guarda, Ancho de Banda y FFT Mode (modulación).

Información de Sincronización

Para la información de sincronización son importantes dos datos:
TimeStamp (STS: Synchronization TimeStamp)
Time Budget (Maximum Network Delay)

Funciones Opcionales

Las funciones opcionales están apuntadas a la dirección individual de cada transmisor por medio de su ID de transmisor. Habilita ciertas características en un transmisor entre varios de su misma radiofrecuencia. Estas funciones se las puede utilizar en casos especiales como la posibilidad de ampliar la cobertura en el caso de fallas en otros transmisores.

MIP (Insertion and Megaframe). La norma que especifica la introducción de un MIP en un nuevo grupo de paquetes se denomina Megaframe. El tamaño del megaframe depende de la relación de código y la constelación (independiente del modo FFT), la duración es determinada en base al intervalo de guarda y el ancho de banda del canal. EL adaptador SFN insertará exactamente un paquete MIP por megaframe. La posición del MIP dentro del megaframe está determinada por el campo "pointer".

Es importante mencionar en esta parte que el adaptador SFN tendrá en la salida un bit rate de modulación exacto. Es por eso, que el MIP insertado no debe afectar al bit rate de modulación. Para solucionar este problema, la entrada de datos antes de ser incluido el MIP debe ser menor a la del bit rate de modulación. De otra forma, se produciría un error de sobrecarga. Asumiendo que la carga de entrada es siempre menor que el bit rate de modulación, el MIP es insertado por medio del adaptador.

Al contrario de las Redes de Frecuencias Múltiples, donde los transmisores tienen que desarrollar esta tarea en SFN los transmisores extraen del paquete MIP la información de los parámetros de transmisión y se configuran acorde a los mismos. La única tarea restante es la sincronización, ya que el bit rate de salida es estrictamente igual al bit rate de entrada.

Redes SFN centralizadas

En este tipo de red SFN con modulación centralizada solo existe un modulador OFDM para toda la red de transmisores, los servicios de audio y datos son enviados por la red de transporte hasta el lugar donde se realiza el multiplexado de la red y la trama de transmisión es modulada en OFDM, la señal enviada a los transmisores por la red de transporte es la señal modulada. Cada estación transmisora recibe la señal digital modulada y la sitúa en el canal de radiofrecuencia asignado [9].

Es necesario un modulador OFDM para toda la red, independientemente del número de transmisores que constituyan la red SFN como se muestra en la figura 2.

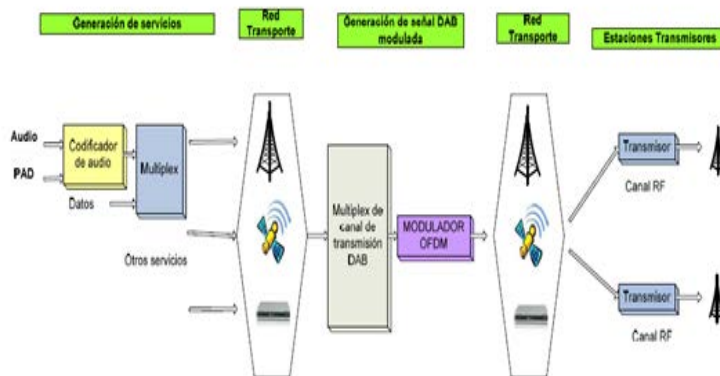


Figura 2: Redes SFN centralizadas

Desventaja: Se dificulta la implementación de la red, donde no se puede realizar desconexiones de la red SFN debido a que el contenido de los multiplex es el mismo para toda la red (la red no puede dividirse); en caso de radiodifusión regional sería necesaria la creación de una red por zonas.

Redes SFN descentralizadas

En redes con modulación descentralizadas cada centro transmisor debe disponer de un modulador OFDM, los servicios de audio y datos se envían por la red de transporte hasta el punto donde se realiza el multiplexado, formando la trama de transmisión, la misma que es enviada a la red de transporte y se distribuye a información a todos los transmisores que constituyen la red [9].

En cada uno de los transmisores se recibe la misma trama de la señal digital y se modula utilizando OFDM, para ser radiada en el canal de radiofrecuencia asignado se tiene un equipo modulador OFDM en cada estación transmisora de la red como se muestra en la figura 3.

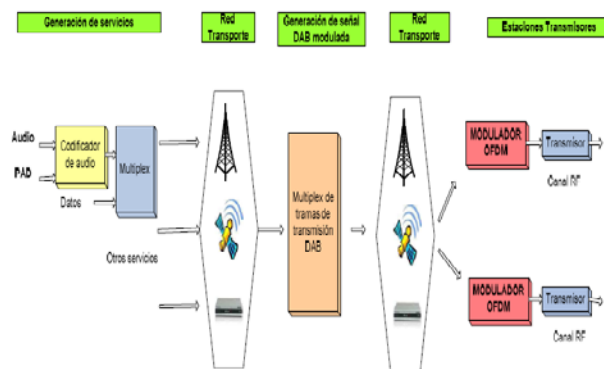


Figura 3: Redes SFN descentralizadas.

3. IMPLEMENTACIÓN EN LA PROVINCIA DE MAYABEQUE

Teniendo como base los centros que actualmente transmiten el servicio de TVD en la provincia de Mayabeque, como se muestra en la Tabla 1, se desea diseñar un sistema potencial de SFN que cumpla con las siguientes premisas: emplear un canal en la banda de UHF para garantizar el servicio digital en toda la provincia y garantizar la cobertura provincial a Mayabeque con la señal provincial (señal nacional + inserción del telecentro).

Tabla 1: Centros de transmisión TVD en Mayabeque

Provincia	Centros de Transmisión TVD	Canal Actual	Potencia (W)	Rx de la Señal	Marca
MAYABEQUE	Com. TV-FM Madruga (Cultura)	16	300	DTMB	SYES-DMT
	Com. TV-FM San José de las Lajas (ICRT)	34	150	FO	SYES
	Com. TV Jaruco (UEB)	26	100	DTMB	DMT
	CT TV-FM Loma de Candela	50	100	DTMB	BBEF
	CT TV-FM Loma Colorada	35	100	FO	BBEF
	CT TV Loma Machado (ETECSA)	39	150	DTMB	SYES
	CT TV Menocal (Minint)	44	150	DTMB	SYES

Para la elección del canal digital se tuvo en cuenta la posible influencia de los transmisores, tanto analógicos como digitales, ubicados en las provincias cercanas (La Habana, Artemisa, Matanzas y Pinar de Río) y los centros de transmisión analógicos ubicados en la propia provincia de Mayabeque. Estos cálculos se basan en la nueva recomendación BT.1368-12 para medir tanto valores de razones de protección de interferencia (Tabla 2) como las distancias mínimas entre transmisores (Figura 4).

Tabla 2: Razones de Protección

Interferencia	Análisis de Managua (dB)(BT.1368-12)	GY/T 237 --2008 (dB)	Rec. BT.655-7
Cocanal DTMB-DTMB	18	18	-
Canal Adyacente DTMB-DTMB	-29	-23	-
Cocanal DTMB<-NTSC	5	5	-
Cocanal NTSC<-DTMB	35	34	-
Canal Adyacente DTMB<-NTSC	N-1(-37) y N+1(-43 según Managua y -40 según UIT BT.1368-12)	N-1(-42) y N+1(-43)	-
Canal Adyacente NTSC<-DTMB	N-1(-8) y N+1(-8)	N-1(-5) y N+1(-5)	
Cocanal NTSC<-NTSC	-	-	Igual
Canal Adyacente NTSC<-NTSC	-	-	Igual

Análogo Interferido por un Digital				Distancias mínimas analógica-analógica				Digital Interferido por un Digital				Digital Interferido por un Analógico			
N (35dB)	N-1 (-8dB)	N+1 (-8dB)	Imagen (-15dB)	N (45dB)	N (Offset) [2N-1 (-13dB) N+1 (-10dB)]	Imagen (5dB)		N (18dB)	N-1 (-29dB)	N+1 (-29dB)		N (5dB)	N-1 (-37dB)	N+1 (-43dB)	
A-A	360	142	142	129	A-A	433	251	129	134	171	A-A	239	107	107	
A-B	335	117	117	104	A-B	408	266	104	109	146	A-B	214	82	82	
A-C	310	92	92	79	A-C	383	241	79	84	121	A-C	189	57	57	
A-D	291	73	73	60	A-D	364	222	60	65	102	A-D	170	38	38	
B-A	291	117	117	107	B-A	357	316	107	112	138	B-A	146	91	91	
B-B	266	92	92	82	B-B	332	207	82	87	113	B-B	121	66	66	
B-C	241	67	67	57	B-C	307	182	57	62	88	B-C	96	41	41	
B-D	222	48	48	38	B-D	288	163	38	43	69	B-D	77	22	22	
C-A	201	94	94	88	C-A	260	161	89	91	108	C-A	133	81	81	
C-B	176	69	69	63	C-B	235	136	64	66	83	C-B	108	56	56	
C-C	151	44	44	38	C-C	210	111	39	41	58	C-C	83	31	31	
C-D	132	25	25	19	C-D	191	92	20	22	39	C-D	64	12	12	
D-A	118	80	80	78	D-A	138	101	79	79	84	D-A	94	77	77	
D-B	93	55	55	53	D-B	113	76	54	54	59	D-B	69	52	52	
D-C	68	30	30	28	D-C	88	51	29	29	34	D-C	44	27	27	
D-D	49	11	11	9	D-D	69	32	10	10	15	D-D	25	8	8	

Figura 4: Distancias mínimas entre transmisores.

Teniendo en cuenta las condiciones antes expuestas se procedió a la elección del canal número 46 para el despliegue de la red, apoyándose en el Software EMLAB para los cálculos de distancias y rangos de protección. Las zonas de cobertura de la Televisión Digital en la provincia, actualmente (utilizando MFN), se muestran en la Figura 5, donde se puede apreciar la falta de cobertura en las regiones Este de Nueva Paz y Madruga.

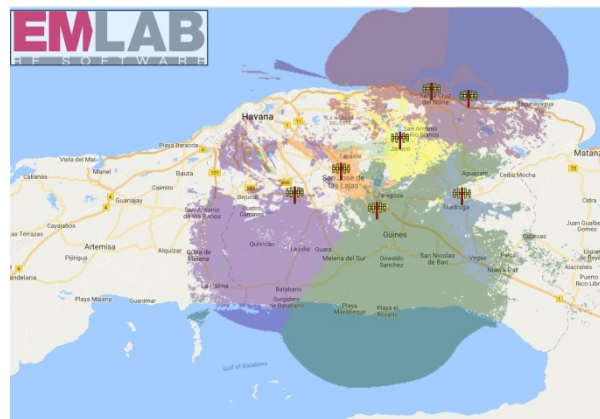


Figura 5: Cobertura MFN.

A partir de estos mismos transmisores se simuló con el Software EMLAB las zonas de cobertura utilizando solo el canal 46 y empleando dos Gap-Fillers (150W) en las regiones Este de Madruga y Nueva Paz (Figura 6) donde se puede apreciar un aumento de dicha cobertura a causa de la interferencia constructiva.

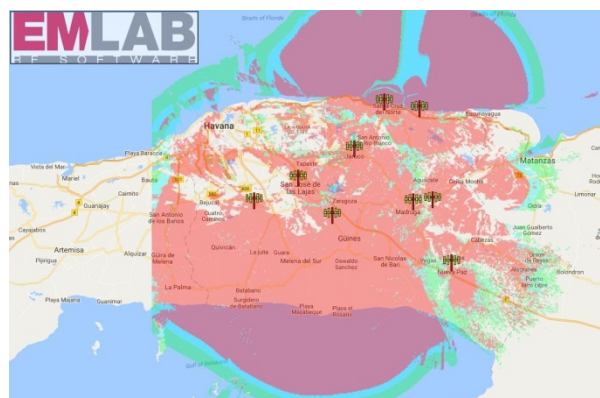


Figura 6: Cobertura SFN y Gap-Fillers.

4. CONCLUSIONES

La implementación de las Redes de Frecuencia Única en la Televisión Digital Terrestre en Cuba permitiría un ahorro en potencia en los transmisores y una mejor utilización del espectro, que, aunque esto último no constituye actualmente una prioridad de nuestro país, se espera que, con el desarrollo de determinados servicios, esta eficiencia en el espectro se considere un punto de gran importancia.

La realización de estas redes en Cuba se llevaría a cabo en convergencia con las MFN y en lugares no muy extensos como los municipios. Se considera utilizar los transmisores que ya están ubicados (siempre que permitan establecer la sincronía que se requiere) e incorporar nuevos o utilizar gap fillers para extender el área de cobertura y eliminar las zonas de sombra.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los ingenieros de RadioCuba Luis Enrique Sardiñas y Rafael Yoel Chávez Ravelo, por su incondicional apoyo e invaluable ayuda en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

1. **Martínez, H.M.**, Propuesta de una SFN para TDT en la Provincia Villa Clara, in DEpartamento de Telecomunicaciones y Electrónica. 2015, Universidad Marta Abreu de Las Villas. p. pág 22, 23, 24.
2. **Ligeti, A.**, Single Frequency Network Planning. 1999, Royal Institute of Technology: Suecia.
3. ARCTEL, Proyecto Resolución de Norma técnica TDT, A.d.R.y.C.d.l. Telecomunicaciones, Editor. 2015: Ecuador.
4. **Trujillo, D.E.**, Canales de propagación para redes SFN, in Facultad de Ingeniería. 2016, Universidad Nacional Autónoma de México.
5. **Calderón, G.B.R., G.K.R. Ruiz, and D.M.C. Maldonado**, SFN (Simple Frequency Network). La Paz, Bolivia.
6. **Pinzón, G.M.**, Optimización de la Red de Televisión Digital Terrestre en Colombia con el Nuevo Estándar DVB-T2, in Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Valencia: España, Valencia. p. 73.
7. **Rodrigo Arturo Jarrín Arboleda, C.S.M.G.**, Diseño de una SFN para un canal de televisión en la banda UHF con la norma ISDB-Tb para la zona geográfica P, in Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 2012, Escuela Politécnica Nacional: Quito. p. pág 102, 103.
8. Guidobono, J.C., Equipos de Estudio y Transmisión de SFN. Universidad Abierta Latinoamericana. p. pág 9, 10, 11, 12.
9. **Chulde, H.J.E.**, Estudio y análisis de la tecnología de Redes de Frecuencia Única (Isot frecuencia), y su aplicación en la radiodifusión en las bandas de AM y FM para la optimización del espectro electromagnético en la Ciudad de Quito., in Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 2009, Escuela Politécnica Nacional.

SOBRE LOS AUTORES

Nelson Paz García, estudiante de quinto año de la carrera Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de La Habana "CUJAE". npazg1994@gmail.com

Alejandro David Cabrera Valdés, estudiante de quinto año de la carrera Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de La Habana "CUJAE". acabrerav@tele.cujae.edu.cu

Dayan Pérez Quintana, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica por la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Graduado en el año 2015. dayan.pq@tele.cujae.edu.cu