



TELECOMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Propuesta de diseño de una Red de Frecuencia Única empleando el software Radio Mobile.

Design proposal for a Single Frequency Network employing Radio Mobile software.

Dalila Garrido Mirabal¹, Alejandro Sánchez Domínguez², Leandro Boucourt Ferrer³, Reinier Díaz Hernández⁴

- 1- Dalila Garrido Mirabal. LACETEL, Cuba. E-mail: dalila@lacetel.cu
- 2- Alejandro Sánchez Domínguez. ETECSA, Cuba. E-mail: alejandro.sanchez@cubacel.cu
- 3- Leandro Boucourt Ferrer. ICRT, Cuba. E-mail: leandro@lacetel.cu
- 4- Reinier Díaz Hernández. LACETEL, Cuba. E-mail: reinier@lacetel.cu

Resumen:

Actualmente en Cuba los servicios de Televisión Analógica y Digital se encuentran en etapa de simultaneidad. Durante este período la disponibilidad de canales de radiofrecuencia para continuar el despliegue de la Televisión Digital se encuentra limitada. Además, los canales de televisión analógica que están operando en la banda de 700MHz, demoran el despliegue de la tecnología LTE 4G en esta banda. Este trabajo presenta una propuesta de diseño de una red de frecuencia única (SFN) en La Habana como alternativa para un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, manteniendo una cobertura similar a la brindada por la red de múltiples frecuencias (MFN) actual. La estrategia de diseño empleada se basa en la selección de los retardos para cada transmisor de la (SFN), buscando limitar los efectos de auto-interferencia. Se empleó el software de simulación de cobertura *Radio Mobile* para el análisis de la interferencia co-canal entre dos transmisores, y un software desarrollado en MatLab para el análisis entre múltiples trasmisores. El diseño propuesto logra mantener la cobertura actual con un margen de



protección de $5 \mu\text{s}$ para el intervalo de guarda teórico de $70 \mu\text{s}$ y de 4 dB respecto a los 15 dB de señal/interferencia (S/I) necesarios para la demodulación en DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*, por sus siglas en inglés) modo 6. Se corrobora que la utilización de la (SFN) contribuye al uso más eficiente del espectro radioeléctrico liberando cuatro de las cinco frecuencias de Televisión Digital empleadas en el área bajo análisis.

Palabras Clave: Redes de Frecuencia Única; Señal/Interferencia; Televisión Digital; Radio Mobile.

Abstract:

Currently, in Cuba, the services of Analog and Digital Television are in the simultaneity stage. During this period the availability of radio frequency channels to continue the deployment of Digital Television is limited. In addition, analogue television channels, which are operating in the 700MHz band, delay the deployment of 4G LTE technology in this band. This paper presents a proposal for the design of a single frequency network SFN in Havana, as an alternative for more efficient use of the radioelectric spectrum, maintaining similar coverage to that provided by the current multi-frequency network (MFN). The design strategy is based on the selection of delays for each transmitter of the SFN, limiting the self-interference effects. Radio Mobile simulation software and a software developed in MatLab were employed for the analysis of co-channel interference between the transmitters. The proposed design maintains the current coverage with a protection margin of $5 \mu\text{s}$ for the theoretical guard interval of $70 \mu\text{s}$ and 4 dB with respect to the 15 dB of signal/interference (S/I) required for demodulation in DTMB mode 6. In addition, it is verified that the use of (SFN) contributes to the more efficient use of the radio spectrum by releasing four of the five Digital Television frequencies used in the area under analysis.

Keywords: Signal Frequency Network; Signal/Interference; Digital Television; Radio Mobile.



1. Introducción

El servicio de Televisión Digital en Cuba no alcanza aún los niveles de cobertura del servicio de Televisión Analógica, Sin embargo, no se dispone de canales libres para continuar el despliegue del servicio digital. La alternativa de un apagón parcial, entendido como el apagón de uno de los canales analógicos "el Educativo", requiere de la disponibilidad de receptores digitales en las escuelas y la población, lo que se extiende en el tiempo y no es la solución definitiva. Por otra parte, canales de televisión analógica, que están operando en la banda de 700MHz, demoran el despliegue de la tecnología LTE 4G en esta banda.

La optimización y empleo eficiente del espectro radioeléctrico es un problema actual de investigación para el campo de las telecomunicaciones. Una de las tecnologías disponibles para ello en los sistemas de radiodifusión digital es el empleo de Redes de Frecuencia Única[1]. En esta configuración varios transmisores, desde los que se difunde la misma información y cuyas áreas de cobertura se solapan, pueden operar en el mismo canal de frecuencia. La SFN ha sido ampliamente empleada y documentada en la literatura para las normas DVB-T y DVB-T2[2-7]. Para DTMB en 6MHz de ancho de banda y específicamente para las condiciones geográficas de Cuba no se encontraron referencias.

Incluso para los casos ampliamente cubiertos en la literatura, el empleo de la SFN se encuentra en evolución, como se evidencia por la variedad de artículos recientes que abordan esta temática, [2, 5, 7]

En el caso particular de Cuba, además de la norma DTMB con ancho de banda 6MHz y la coexistencia con sistemas analógicos NTSC[8-10], el hecho de encontrarse en una etapa avanzada de despliegue con esquema de Red de Frecuencia Múltiple complejiza la migración a SFN sin interrumpir el servicio.

Por lo anterior, resulta necesario diseñar una Red de Frecuencia Única (SFN) para La Habana, que permita un uso más eficiente del espectro radioeléctrico y que sea aplicable al sistema de Televisión Digital empleado en Cuba.



1.1 Interferencia

El medio radioeléctrico utilizado como canal de propagación por los sistemas de televisión, es considerado como uno de los medios más susceptibles a interferencias, debido a que puede ser perturbado por señales externas [11].

En una red de frecuencia única SFN, además de las interferencias producidas por parte de otros servicios, hay que considerar las posibles interferencias ocasionadas por la propia red, denominada auto interferencia. Estas se producen cuando a un determinado punto llegan dos o más señales en la misma frecuencia, transportando el mismo servicio, pero con una diferencia de tiempos de propagación superior al intervalo de guarda[11]. Este efecto no ocurre solo entre los rayos directos de cada transmisor en modo SFN, sino también debido a los efectos de los mecanismos físicos de la propagación tales como la reflexión, refracción, difracción, y dispersión, provocando réplicas de la señal que recorren una distancia mayor, ocasionando un retardo con respecto a la señal principal. Este fenómeno es conocido como multitrayecto [12]. La modulación TDS-OFDM (*Time-domain synchronous orthogonal frequency division multiplexing*, por sus siglas en inglés) empleada en DTMB con canalización de 6MHz define el empleo de un intervalo de guarda con las respectivas duraciones de 74 μ s, 105 μ s y 167 μ s para el tratamiento de los efectos provocados por los multitrayectos, es decir, si las señales retardadas llegan con una diferencia de tiempo menor que el intervalo de guarda pueden ser demoduladas sin problema.

1.2 Sincronismo

Se habla de sincronismo cuando se determina que los fenómenos ocurran en un orden predefinido o a la vez. Es fundamental este concepto para garantizar la llegada de la señal dentro del intervalo de guarda. Es posible que una red pueda operar inicialmente sin sincronismo, siempre y cuando la naturaleza de la red permita recibir distintas señales por debajo del nivel de relación señal/interferencia (S/I) [13]. En caso contrario es necesario que todos los transmisores estén totalmente sincronizados para transmitir el mismo dato exactamente en el tiempo en que se le indique y a la misma frecuencia. Para ello se necesita de un equipamiento adicional (Adaptador SFN) que controle este proceso y que inserte en la trama de transporte (TS) la información de tiempo en las que los transmisores deben comenzar la transmisión. Para lograr esta simultaneidad se necesita que todos los dispositivos tomen la misma referencia tanto de tiempo como de frecuencia de 1 pulso



por segundo y 10 MHz. Esta señal de referencia puede ser tomada mediante receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) [14].

1.3 Ganancia de la Red o ganancia SFN

Cuando la red está correctamente sincronizada y las señales llegan con un retardo menor que el intervalo de guarda es posible que exista un aumento en la calidad de recepción, denominada "ganancia de la red o ganancia SFN". En la bibliografía científica referente al tema aparece diversidad de criterios en cuanto a su definición. Según [4, 13] las superposiciones de las señales recibidas, provenientes de los transmisores, siempre generan una contribución a la recepción. En estudios más recientes se toma en consideración que las demoras entre señales constituye un factor importante en la degradación de la señal recibida, proponiendo métodos para el cálculo de la ganancia con respecto a este parámetro [14]. Este criterio fue tenido en cuenta en posteriores investigaciones [6] agregando que si estas diferencias de tiempo entre las señales están controladas y se encuentran dentro del intervalo de guarda se obtendrá siempre una contribución en la intensidad de la señal. Otros artículos rechazan esta afirmación y sugieren que no siempre existen contribuciones aun dentro de dicho intervalo teniendo en cuenta parámetros de medición como la razón de error de modulación (MER) y la relación señal-ruido (SNR) [15, 16]. En esta investigación se tomó como definición el último de los criterios analizados, el cual es referido a la ganancia SFN como una mejora en el MER con respecto a una MFN equivalente[16].

1.4 Modelos de Planeación

El modelo de planeación se basa en tres de los parámetros de ajuste más utilizados para el diseño de las SFNs, como son: las ubicaciones de los transmisores, la potencia y los retardos de transmisión. Algunos métodos parten de cero con un modelo teórico hexagonal[7, 15-17], en donde todos los transmisores están a la misma distancia y con la misma potencia, garantizando que todos estén dentro del intervalo de guarda definido, luego se va ajustando la red y posicionando los transmisores en dependencia de las condiciones geográficas de la zona de servicio. Los valores de retardos y potencia se van configurando en dependencia de las condiciones específicas de cada red.

En [18], el diseño parte de una red existente MFN como es el caso de esta investigación, es decir, se utilizan los mismos emplazamientos de los transmisores de la red antigua para la creación de una nueva red, esto permite que el usuario no tenga que reorientar su antena



hacia un nuevo emplazamiento, a pesar del cambio de tecnología. Tomando como referencia el transmisor principal (el de mayor potencia), y el más distante con respecto a este, es posible calcular el tamaño del intervalo de guarda necesario para evitar la auto-interferencia de la SFN y luego se escoge la secuencia PN que más se ajuste a este valor. Una vez seleccionado el intervalo de guarda se procede a realizar los ajustes de retardo y potencia de los transmisores para que en todos los puntos del área de servicio las señales lleguen con una diferencia de tiempo menor que la del intervalo de guarda. De igual manera para los casos en los que no sea posible por la naturaleza de la red, se mantenga una relación entre la señal útil y la interferente, mayor que el mínimo necesario para la demodulación. En el diseño propuesto no se realizan ajustes a la potencia de transmisión [19].

1.5 Software de Simulación

Una parte importante para el proceso de planeación de cualquier tipo de red es la etapa de simulación. La selección del software adecuado para acometer este proceso es de vital importancia pues define el grado de exactitud de los resultados de simulación con respecto a los que se obtienen luego de la implementación de la red. Radio Mobile es una de las herramientas disponibles para el cálculo de radio enlaces que, tiene entre sus puntos a favor que es un software libre. A los efectos de esta investigación, por problemas de accesibilidad, es necesaria la utilización de un programa libre de pago por lo que se seleccionó Radio Mobile como herramienta de simulación para la planeación de SFNs.

2. Metodología

Para llevar a cabo esta investigación se emplearon los siguientes métodos de trabajo:

Métodos teóricos:

- Análisis bibliográfico. Familiarización con el “estado del arte” sobre la planeación de sistemas similares, así como las técnicas y herramientas de diseño empleadas.
- Modelación. Empleo de un modelo que pueda simular las condiciones de propagación de las señales sobre el terreno y los efectos de interferencia que se producen.
- Simulación. Empleo de herramientas de software para la identificación de problemas de cobertura y evaluar su solución en el diseño planteado.
- Criterio de Expertos. Auxiliarse de la experiencia acumulada en el colectivo de trabajo.



Métodos empíricos: Resultado inmediato de la experiencia, basado en la observación de los hechos.

- Observación Científica. Identificar y solucionar retos surgidos en el proceso de diseño.

3. Resultados y discusión

Una vez descritas las herramientas que se utilizaron en esta investigación se pasa a la etapa de diseño y simulación de la red. Se propone el diseño de una Red de Frecuencia Única, tomando como caso de estudio La Habana cuya red actual cuenta con 5 transmisores (Tx) de televisión digital trabajando en modo MFN.

El diseño debe comenzar por la definición del transmisor principal, se escoge el que representa la principal fuente interferente de la red, es decir el de mayor potencia radiada. Televilla es el transmisor de mayor potencia radiada (5kW) en la Habana por lo que fue tomado como principal para las simulaciones de interferencias. Para la SFN se escoge entonces el canal 38, el cual ocupa desde los 614 MHz hasta los 620 MHz con frecuencia central en 617 MHz, correspondiente al transmisor de Televilla.

Se utilizan como intervalo de guarda los 74 μ s correspondientes al modo 6 de DTMB que se emplea actualmente para la transmisión de televisión digital en Cuba. El umbral de recepción que se emplea es de -74 dBm dejando un margen de protección de 10 dB con respecto al estandarizado para la recepción de la señal en definición estándar en la banda de Ultra Alta Frecuencia (UHF)[20].

Utilizando la herramienta Radio Mobile se realiza la simulación de cada uno de los transmisores para analizar el área actual de cobertura en modo MFN y tomarlo como referencia para garantizar igual cobertura al diseñar la SFN.

Posteriormente se simula la interferencia entre cada par de transmisores para buscar los retardos permisibles en cada caso, dependiendo de los parámetros de modulación y el correspondiente intervalo de guarda (I.G), garantizando el correcto funcionamiento de la red. Este mismo análisis se realiza (teniendo en cuenta la contribución de todos los transmisores de la red) utilizando un script desarrollado en MatLab. Entonces se procede a realizar un análisis del mínimo intervalo de guarda que soportaría la red sin que se afecte la cobertura.

3.1 Simulación de cobertura empleando el software Radio Mobile



Para realizar la simulación de cobertura se utiliza la herramienta de Radio Mobile, Cobertura de Radio Cartesiana Combinada ajustada con una precisión de 5 píxeles y un radio de 300 Km. Se cargó el mapa de La Habana con las siguientes dimensiones: 1000 píxeles de alto, 1000 píxeles de ancho, 100 km de alto y 100 Km de ancho y se le superpuso el mapa de Carreteras (Roads) para tener mejor claridad y referencia del espacio en la simulación.

A partir de la cobertura de cada uno de los transmisores por separado, se simula la cobertura total (MFN) atendiendo a la contribución colectiva de todos los transmisores, sin tener en cuenta las interferencias que ocurren en las zonas de solapamiento de las señales de cada transmisor, (Figura 1). Esta simulación de cobertura para la (MFN) actual se realiza con el objetivo de poder comparar con el diseño propuesto para (SFN) luego de realizar la investigación.



Figura 1: Cobertura total MFN

3.2 Simulación de Interferencia utilizando Radio Mobile y el script de MatLab.

Para analizar el efecto de la interferencia entre los transmisores de la (SFN) se utilizó la herramienta Cobertura de Radio Interferencia (Interference Radio Coverage) de Radio Mobile que permitió realizar el análisis por pares de transmisores y colocar los retardos para cada transmisor de forma tal que se encontraran correctamente ajustados y se pudieran erradicar las zonas de interferencia.

Como se había definido anteriormente el umbral de recepción de la señal es de -74dBm y se definen para la relación S/I y el intervalo de guarda 15dB y 70us respectivamente [19]. Además, se desarrolló un script en MatLab que permitiera realizar el análisis de interferencia entre más de dos transmisores, que es una limitante en Radio Mobile.



A partir de la fórmula Haversine [21] se calcularon las distancias entre los centros transmisores (Tabla 1). De esta forma se define a Guanabo como el transmisor más alejado de Televilla.

Tabla 1: Distancia entre Transmisores(km).

Distancia entre Transmisores (km)	Televilla	Habana Libre	Lawton	Alamar	Guanabo
Televilla	0	12.25	11.53	20.43	32.88
Habana Libre	12.25	0	6.69	10.00	23.37
Lawton	11.53	6.69	0	9.65	21.38
Alamar	20.43	10.00	9.65	0	13.37
Guanabo	32.88	21.38	21.38	13.37	0

Analizando cada una de las combinaciones de pares transmisores de la red, se constata que en las áreas cercanas al transmisor de Guanabo aparecen zonas rojas correspondientes a áreas de interferencias. Estas zonas aparecen por encontrarse dicho transmisor a una distancia mayor que el equivalente al intervalo de guarda con respecto a Televilla, y por el nivel de potencia radiada por este, la señal transmitida alcanza esta zona con una intensidad comparable al de Guanabo, no cumpliéndose la relación S/I requerida.

En el análisis de interferencia entre el resto de los transmisores no se evidenciaron zonas interferentes ya que estos se encuentran a una distancia menor que la equivalente al intervalo de guarda. Luego de analizar el comportamiento de las señales y las posibles áreas de interferencia, se determina que solamente existen puntos interferentes entre los transmisores de Televilla y Guanabo.

Para erradicar las áreas de interferencia fue necesario realizar un retardo en la simulación del transmisor de Guanabo para lograr que la señal llegase a las zonas de solapamiento con Televilla, con una demora menor que el intervalo de guarda. Luego de realizar una serie de simulaciones se pudo concluir que el retardo necesario para garantizar que no existan puntos interferentes entre ambos transmisores es de 40 μ s (Figura 2).

Luego de retardar el transmisor de Guanabo aparecen nuevos puntos donde no se recibe la señal, ya que no cumplen con la relación S/I y los retardos entre las señales no son menores que el intervalo de guarda.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS



Figura 2: Interferencia entre Televilla y Guanabo retardado 40 μ s

Se necesita conocer la influencia del retardo aplicado al transmisor de Guanabo con respecto al resto de los transmisores, aunque antes no presentaba problemas ahora se pudieran estar afectados. Como se esperaba fue necesario realizar ajustes en el resto de los transmisores de la red acorde al análisis de los transmisores por pares: Televilla (0 μ s), Habana Libre (28 μ s), Lawton (42 μ s), Alamar (15 μ s) y Guanabo (40 μ s).

Esta forma de análisis, si bien es efectiva, se hace más compleja cuando el número de transmisores aumenta, pues aumentan también las combinaciones de pares de transmisores. Además, se corre el riesgo de retardar algún transmisor que quizás por la influencia de un tercero no tuviese que ser retardado. Para ello se utilizó un script desarrollado sobre el asistente matemático MatLab que permite el análisis de todos los transmisores al mismo tiempo.

Para realizar el análisis del cálculo de interferencia entre múltiples transmisores empleando el script de MatLab, se asignó un color al punto del mapa en dependencia de las condiciones de interferencia.

Los colores serán:

- Amarillo: Si la diferencia entre todos los tiempos de propagación es menor que el intervalo de guarda.
- Verde: Si la diferencia entre todos los tiempos de propagación no es menor que el intervalo de guarda, pero la relación S/I es mayor o igual que el valor definido.
- Rojo: Si no cumple con ninguna de las condiciones anteriores.
- Los puntos donde las intensidades no alcanzan el valor umbral definido no se les asigna ningún color.

3.3 Búsqueda del mínimo intervalo de guarda posible sin afectar la cobertura existente.

Para encontrar el mínimo intervalo de guarda posible se realiza la simulación reduciendo a la mitad el intervalo de guarda. En caso de que se encontrara una combinación que permitiera eliminar las zonas de interferencia, se procedería a disminuirlo nuevamente.



Figura 3: Interferencia atendiendo a la contribución de todos los transmisores con intervalo de guarda de $35 \mu s$

Se puede apreciar en la Figura 3 que no se obtuvo combinación posible para eliminar las zonas de interferencia con la mitad del intervalo de guarda empleado. El primer resultado aceptable obtenido fue para un intervalo de guarda de $55 \mu s$ como se muestra en la Figura 4 y los retardos para cada transmisor según la simulación de interferencias colectiva queda de la siguiente manera: Televilla ($0 \mu s$), Habana Libre ($10 \mu s$), Lawton ($25 \mu s$), Alamar ($29 \mu s$), Guanabo ($55 \mu s$).



Figura 4: Interferencia entre todos los Txs. con $I.G=55 \mu s$

En la simulación aparecen algunas zonas de interferencia dentro de la provincia de La Habana, pero se logra cubrir la mayor parte del área de interés. Se aumenta el intervalo de guarda a $60 \mu s$, para concluir cual es el que mejor responde a las características de la red. Los nuevos retardos quedan de la siguiente manera: Televilla ($0 \mu s$), Habana Libre ($15 \mu s$), Lawton ($20 \mu s$), Alamar ($27 \mu s$), Guanabo ($49 \mu s$).



Figura 5: Interferencia entre todos los Tx. con I.G=60 μ s

Con este resultado se puede apreciar que se obtuvo un margen de protección de 10 μ s garantizando que en la provincia La Habana no existan zonas de interferencia, aunque en las zonas aledañas a la provincia si se encuentran zonas críticas.

3.5 Análisis para una Relación S/I de 19db

Se realiza el análisis teniendo en cuenta un margen de 4 dB en la relación señal-interferencia y 65 μ s de intervalo de guarda (Figura 6), respecto a los parámetros definidos para la comprobación del diseño.



Figura 6: Interferencia entre todos los Tx. con I.G=65 μ s y S/I=19 dB

Se obtuvo un resultado favorable, pues se logró dejar a la provincia La Habana sin zonas de interferencia, aún con los márgenes de protección de 4 dB de relación S/I y 5 μ s de intervalo de guarda. Los retardos ajustados a las nuevas condiciones son: Televilla (0 μ s), Habana Libre (15 μ s), Lawton (20 μ s), Alamar (30 μ s), Guanabo (44 μ s).

3.4 Valoración de los resultados de las simulaciones y análisis comparativo con la MFN actual.

El diseño propuesto (Figura 6), logra un área de cobertura similar a la cubierta por la MFN existente (Figura 1), permitiendo un ahorro de frecuencias, liberando 4 de las 5 frecuencias empleadas para la transmisión de la TVD de definición estándar. Estas frecuencias pueden ser destinadas a continuar el despliegue de la televisión digital y la



incorporación de nuevos servicios, contribuyendo así a un uso más eficiente del espectro radioeléctrico.

Los resultados de las simulaciones arrojaron que la SFN diseñada tiene similar área de cobertura a la brindada por la MFN existente, con márgenes de protección de 5 μ s con respecto al límite teórico de Intervalo de Guarda de 70 μ s, así como un margen de 4 dB con respecto a la mínima S/I de 15 dB necesaria para la recepción. Estos márgenes de protección permiten mejorar la respuesta de la red, ante factores que el modelo de propagación no tiene en cuenta en su algoritmo, y que influyen en la correcta demodulación de la señal.

4. Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación y cumpliendo con los objetivos trazados se concluye que:

- Se obtuvieron los retardos necesarios en los transmisores para desplegar una SFN en la provincia de La Habana, teniendo en cuenta los límites teóricos de la norma DTMB para intervalo de guarda y relación señal-interferencia.
- Se obtuvo un margen de protección de 15 μ s manteniendo una cobertura similar para el intervalo de guarda teórico de 70 μ s, para una S/I de 15 dB.
- Se obtuvo un margen de protección de 5 μ s manteniendo una cobertura similar para el intervalo de guarda teórico de 70 μ s, para una S/I de 19 dB.
- Se logró una cobertura similar a la MFN existente, liberando 4 de las 5 frecuencias empleadas en la zona seleccionada como caso de estudio. Esto evidencia un uso más eficiente del espectro radioeléctrico.
- El artículo constituye una propuesta concreta de implementación de una SFN en la Habana, manteniendo las características de la red MFN actual (potencia, posición de los transmisores y altura de las antenas) empleada en la ciudad.

Se recomienda como líneas futuras de trabajo:

- Evaluar si la implementación de la SFN en La Habana, afecta la cobertura en provincias cercanas que antes recibían servicio de estos transmisores.
- Analizar los niveles de interferencia que pudieran causar los transmisores de las provincias próximas a La Habana, que se encuentren operando en el mismo canal o canales adyacentes con respecto a la SFN diseñada.



- Validar los resultados obtenidos con pruebas de campo, haciendo énfasis en lugares críticos y en los bordes de cobertura.

5. Referencias bibliográficas

1. ITU-R, *Report ITU-R Digital terrestrial broadcasting: Design and implementation of single frequency networks (SFN)*, in *BT Series Broadcasting service (television)*. 2015. p. 176.
2. Iliev, T.B., et al. *Experimental study of the basic parameters and the field strength of a television transmitter in the single frequency network (SFN)*. in *2017 27th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*. 2017.
3. David Plets, W.J., *SFN Gain in Broadcast Network*. Wireless and Cable-IBBT, 2008.
4. Boveda, J., et al. *MER degradation in a broadcast mobile network*. in *2009 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. 2009.
5. Ruckveratham, B. and S. Promwong. *Evaluation of SFN gain for DVB-T2*. in *2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*. 2017.
6. Plets, D., et al., *On the Methodology for Calculating SFN Gain in Digital Broadcast Systems*. IEEE Transactions on Broadcasting, 2010. **56**(3): p. 331-339.
7. Li, C., et al., *Planning Large Single Frequency Networks for DVB-T2*. IEEE Transactions on Broadcasting, 2015. **61**(3): p. 376-387.
8. Alonso, A.M., R.M. Alonso, and G.G.n. Nieto. *Parámetros de calidad de recepción del estándar DTMB en 6MHz*. in *2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*. 2014.
9. Pupo, E.F., et al. *Direct to RF Up-converter for DTMB modulator*. in *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2016 IEEE International Symposium on*. 2016. IEEE.
10. Martínez Alonso, A., R. Martínez Alonso, and G.A. Guillén Nieto, *Evaluación de parámetros de calidad seleccionados de Cajas Decodificadoras para el estándar DTMB*. Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 2015. **36**(2): p. 62-82.
11. GONZÁLEZ, I.D.F.A. and I.J.A.B. ENRÍQUEZ, *DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA (R.F.U.) PARA OPERACIÓN DE UN CANAL DE TELEVISIÓN UHF EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL*, in *Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación*. 2016, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL GUAYAQUIL – ECUADOR.
12. CÁRDENAS, A.E.J., *MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA (COFDM)*, in *FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, ESCUELA DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA 2005*, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.
13. KUSUNOKI, M., *RETRANSMISSÃO DO SINAL DE TV DIGITAL NO PADRÃO BRASILEIRO COM REDES SFN E GAP FILLER* in *DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA 2013*, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CURITIBA – PR
14. Chinese Radio, F.a.T.I.S., *Implementation guidelines for transmission system of digital terrestrial television broadcasting*. 2008, The State Administration of Radio, Film and Television: China.
15. Sato, T., et al. *A comparison between theoretical and practical planning approaches for DVB-T2 single frequency networks*. in *2015 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. 2015.
16. Caiwei, L., et al. *Optimal DVB-T2 network planning using theoretical SFNs*. in *2014 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. 2014.
17. Mattsson, A., *Single frequency networks in DTV*. IEEE Transactions on Broadcasting, 2005. **51**(4): p. 413-422.
18. Bregni, S., et al. *Synchronization of Single-Frequency Simulcast Networks Using Network Time Protocol*. in *2007 IEEE International Conference on Communications*. 2007.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

19. Ing. Flavia Alvarez Cesar, I.D.P.A., Ing. Dariel Pereira Ruisánchez, Ing. Ernesto Fontes Pupo, Msc. Reinier Díaz Hernández *Cálculo de la ganancia en redes SFN. TOV en redes SFN. INFORME MEDICIONES DE LABORATORIO*; 2017.
20. Comunicaciones, M.d., *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DE OPERACIÓN MÍNIMAS QUE TIENEN QUE CUMPLIMENTAR LAS CAJAS DECODIFICADORAS EMPLEADAS PARA LA RECEPCIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL*. 2014: La Habana, Cuba.
21. Database, M.G.P.C. *Distancia entre dos puntos / coordenadas*. 2016; Available from: <http://www.mapanet.eu/resources/Script-Distance.htm>.