

## VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA EN COMPARACIÓN CON LAS REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE

Jorge Luis Blanco Orta<sup>1</sup>, María del Carmen Guerra Martínez<sup>2</sup>, Reinier Martínez Gómez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Astillero Astimar, Cayo Lenin Ave 71, Mariel; <sup>2</sup>Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Calle 114 #11901/Ciclovía y Rotonda CP 19390; <sup>3</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas, UCI, Carretera a San Antonio, Km 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, La Habana, Cuba.

<sup>1</sup>e-mail: jorgeluisbo@nauta.cu

<sup>2</sup>e-mail: mariagm@tele.cujae.edu.cu

<sup>3</sup>e-mail: reiniermg13@gmail.com

### RESUMEN

En el presente artículo se hace un estudio sobre las redes de Frecuencia Única (SFN) y su influencia en los sistemas de televisión que existen en la actualidad. Se establece una comparación con la tecnología que se utiliza en los sistemas de televisión analógico y digital, como es el caso de las redes de Frecuencia Múltiple (MFN). Definiendo las SFN como un conjunto de dispositivos transmisores encargados de propagar una misma información de forma simultánea y sincronizada utilizando el mismo canal de comunicaciones. Esto será posible gracias a la inserción del intervalo de guarda en la señal de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM), la cual permitirá tratar los ecos o multitrayectos que provienen de los distintos transmisores de manera tal que se pueda reconstruir la señal en el receptor. Se tratan además, algunas de las implementaciones más reportadas en diversas publicaciones empleando las SFN, como es el caso del estándar de Integración de Servicios Digitales de transmisión – Territorial de Brasil (ISDB-Tb) y la Televisión digital terrestre (TDT). El estudio se realiza con el propósito de mejorar la transmisión en algunas zonas, donde no hay una buena recepción de la señal transmitida, para que se realice un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, manteniendo una cobertura similar a la brindada por las MFN.

**PALABRAS CLAVES:** SFN, MFN, OFDM, ISDB-Tb, TDT.

## ADVANTAGES OF A SINGLE FREQUENCY NETWORK COMPARED TO MULTIPLE FREQUENCY NETWORKS

### ABSTRACT

In this article, a study is made of Single Frequency Networks (SFN) and their influence on the television systems that exist today. A comparison is made with the technology used in analog and digital television systems, such as Multiple Frequency Networks (MFN). SFNs are defined as a set of transmitting devices in charge of propagating the same information simultaneously and synchronously using the same communication channel. This will be possible thanks to the insertion of the guard interval in the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) signal, which will allow to treat the echoes or multipaths coming from the different transmitters in such a way that the signal can be reconstructed in the receiver. Some of the most reported implementations using SFNs are also discussed, such as the case of the standard for the Integration of Digital Transmission Services - Territorial in Brazil (ISDB-Tb) and Digital Terrestrial Television (DTT). The study is carried out with the purpose of improving transmission in some areas, where there is not a good reception of the transmitted signal, so that a more efficient use of the radioelectric spectrum is made, maintaining a coverage similar to that provided by the SFNs.

**INDEX TERMS:** SFN, MFN, OFDM, ISDB-Tb, TDT.

## 1. INTRODUCCIÓN

La televisión analógica cada día que pasa pierde más vigencia, entre otras razones por la poca eficiencia en el empleo del espectro radioeléctrico. En el país los servicios de televisión digital terrestre no han alcanzado los niveles de

## VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA EN COMPARACIÓN CON LAS REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE

cobertura que si ha alcanzado la televisión analógica por encontrarse en una etapa avanzada el despliegue de la Red de Frecuencia Múltiple, dificultando aún más la migración hacia nuevas tecnologías. Esto ha generado un problema en la investigación referida a la televisión digital. Para darle solución a estos problemas se pueden encontrar algunas variantes de tecnologías disponibles.

Tal es el caso de los sistemas de radiodifusión digital con el empleo de las SFN, mediante la utilización de estándares como el ISDB-Tb Servicios Integrados de difusión digital Terrestre con mejoras brasileñas conocida por sus siglas en inglés como (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial Brazilian). Este estándar, que es utilizado en Brasil, permite trabajar transmitiendo múltiples propuestas de programación en diferentes señales, pero utilizando el mismo canal de difusión.

El estándar DVB-T2, por sus siglas en inglés Digital Video Broadcasting – Terrestre 2, utilizando la modulación OFDM, permite aumentar la protección y la solidez del sistema, y aún más importante, puede usar diferentes modulaciones para cada servicio. Cada PLP por sus siglas en inglés (Physical layer pipe) se puede multiplexar por división en tiempo o frecuencia. Los diferentes PLPs se transmiten en paralelo hasta que se juntan en el bloque OFDM, transmitidos, y separados de nuevo al demodulador la señal OFDM para ser decodificado de nuevo en paralelo. Ofrece una mayor transmisión de bits con respecto a su predecesor DVB-T, lo que hace que sea un sistema adecuado para llevar las señales de televisión de alta definición para los canales de televisión terrestre.

Esto se logra gracias a la utilización de la OFDM, permitiendo con esta técnica una transmisión que consiste en la multiplexación de un conjunto de ondas portadoras, la cual es modulada en QAM o en PSK. Esta técnica también se utiliza para la tecnología de multiacceso y modulación para la 5G New Radio (NR) de comunicaciones móviles. Aunque se mantiene la OFDM básica de LTE-4G, dotándola de gran flexibilidad. Para esto el multiacceso se utiliza el prefijo cíclico (CP-OFDM) en el enlace descendente y DFT-S-OFDM en el ascendente, con las consideraciones de las modulaciones para 256 QAM en el enlace ascendente y descendente, e introduciendo  $\pi/2$  BPSK para la señalización de control en el enlace ascendente. Estas consideraciones implican buscar otras redes más densas para soportar mayores velocidades. Tal es el caso de la C-RAN, que puede soportar un gran número de cell sites y sustituir los BBUs tradicionales de cada sitio permitiendo su centralización, con un mayor aprovechamiento del espacio. En esta configuración, las transmisiones serán sincrónicas y programadas, permitiendo al menos una transmisión ascendente sin programación para la aplicación de eMBB, trabajando con esta en el espectro de frecuencia, en el rango de onda centimétrica y milimétrica para obtener más asignaciones de banda ancha.

En el caso del Estándar ATSC 3.0 (Advanced Television Systems Committee, por sus siglas en inglés), se establece un nuevo método de detección TxID que mejora la calidad de la imagen permitiendo la transmisión en 4K UHD. Se incluye el alto rango dinámico (HDR), amplia gama de colores (WCD) y alta velocidad de cuadros (HFR), con lo cual alcanza una mayor recepción. Esta configuración permite recibir más canales de mejor calidad sin la necesidad de contar con antenas mas grandes, y poder ver los canales televisión en dispositivos móviles. La tecnología de las SFN permite un mayor alcance de la señal de televisión digital, eliminando de esta forma las zonas de sombra que se pueden generar con los sistemas de televisión analógico.

Con la propuesta de solución mediante la instalación de una SFN se puede lograr una mayor calidad y alcance de la señal, para que sea empleada en algunas zonas urbanas y de difícil acceso con una geografía irregular. El empleo de la SFN se encuentra en evolución, como lo evidencia por la variedad de artículos que abordan esta temática [1,2,3,4,5,6,7].

### REDES DE FRECUENCIA ÚNICA

Las SFN se define como un conjunto de dispositivos transmisores encargados de propagar una misma información de forma simultánea y sincronizada utilizando el mismo canal, es decir la frecuencia que ha sido concesionada. Con este modelo de red se desea cubrir un área determinada optimizando un recurso limitado como es el espectro radioeléctrico. Todo esto será posible gracias a la inserción del intervalo de guarda en la señal OFDM, el cual permitirá tratar los ecos o multirrayectos que provienen de los distintos transmisores de tal manera que se pueda reconstruir la señal en el receptor. La importancia de este parámetro es vital para la planificación de este tipo de redes debido a que delimita la distancia necesaria entre los transmisores [6].

#### Sincronización

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. Para lograr esto se debe emitir una misma señal para los receptores en la misma frecuencia, y conociendo la posibilidad de que dicho tipo

de transmisión es susceptible a “auto-interferencias” causadas por la presencia de la interferencia propia de la red. Esto se convierte en una limitante para una SFN y se origina debido a que las señales multitrayectoria llegan al receptor fuera del tiempo de símbolo. Siendo consideradas estas señales como ruido al comportarse como señales interferentes, es de vital importancia introducir los conceptos de sincronización de tiempo (1 pulso x segundo), de frecuencia (10 MHz) y de bit, comunes e idénticos para todos los transmisores. La forma más fácil y menos costosa para obtener estas referencias se basa en la recepción de la señal de la red por satélites (GPS). A continuación, se expondrán los diferentes tipos de sincronización que se deben establecer en una red SFN [6]:

#### Sincronismo en frecuencia:

El sincronismo en frecuencia se basa en el esquema que utiliza para la modulación, de tipo 2K (modo 1 con 1404 portadoras), 4K (modo 2 con 2808 portadoras) o 8K (modo 3 con 5616 portadoras). Según lo estipulado cada portadora debe ser transmitida con una frecuencia igual a  $f_k \pm \left(\frac{f}{100}\right)$ , donde K se establece mediante la portadora en particular y  $f_k$  la posición de dicha portadora en relación a la frecuencia.

#### Sincronismo en el tiempo:

Este tipo de sincronismo, el cual es independiente en relación con el intervalo de guarda de varios transmisores, resulta un beneficio a obtener mediante la modulación OFDM. Esta modulación multiportadora realiza la transmisión del símbolo de cada usuario en el mismo intervalo de tiempo, manteniendo un intervalo de tiempo de  $T_n \pm 1\mu s$ , donde  $T_n$  se toma como un período de muestreo ideal para el símbolo enésimo. Este sincronismo puede ser más tolerante en términos de precisión para el intervalo de guarda, ya que en ese período de duración puede alcanzar valores diferentes del intervalo total del símbolo. Mientras más grande sea el intervalo de guarda, menor va a ser la interferencia causada por los efectos del multitrayecto. La implementación de la sincronía radica en que puede ser compensada una mala sincronización de la red, utilizando una señal de referencia temporal o un pulso por segundo.

#### Sincronismo de bit:

En este esquema es necesaria la existencia de una portadora K-ésima modulada conjuntamente con los bits para cada uno de los dispositivos transmisores de la red. Con esto se logra la generación de un mismo símbolo en un mismo instante de tiempo de dicha red.

#### Sincronismo de la red:

Una de las estrategias utilizadas para lograr el sincronismo en las redes SFN consiste en la división del flujo en segmentos que van a ser transmitidos en múltiples tramas llamadas Multiplex Frame (MF). Dichas tramas se etiquetan en el encabezado dentro del paquete MPEG-TS de manera que puedan ser identificadas por cada transmisor de la red y así iniciarse con exactitud la transmisión (lograr la sincronización).

La información referente al sincronismo que se encuentra en los datos que se transmiten en la red SFN son:

- Señal de GPS = 10 MHz;
- Marca del tiempo de sincronización (número de conteos que debe esperar de 100 ns hasta que comiencen las siguientes MF);
- TTL= 1 pulso por segundo
- Retardo máximo de red (intervalo de tiempo que transcurre desde que sale un paquete del transmisor hasta que llega al retransmisor más lejano de la red).

Esta información se introduce dentro de un paquete MIP (Paquete de inicialización de mega trama) mediante los adaptadores de SFN, permitiendo la indicación de cada estación el tiempo exacto de la siguiente MF de forma síncrona. Por otra parte, se encuentra el transmisor principal utilizando un conteo de 100 ns en el momento en que se presenta el pulso TTL o un pulso por segundo.

## VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA EN COMPARACIÓN CON LAS REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE

Con la información obtenida del paquete anterior, la red SFN determina el momento en que se transmite la MF desde el transmisor principal. En dicho tiempo, el sincronismo inicializa el contador que durará hasta el retardo máximo de la red. Si aún no se ha desbordado el contador antes mencionado, el paquete se mantendrá en cola para que sea transmitido cuando lo hagan los demás retransmisores.

### Implementación del estándar ISDB-Tb

El estándar ISDB-Tb se establece a petición expresa de la presidencia de Brasil, para mejorar las transmisiones de las señales digitales. Este consiste básicamente en mejorar el sistema de compresión de video a MPEG-4, el cual permite cargar mayor cantidad de información, mejorando la calidad de la imagen [6]. Con este estándar también se mejora la interactividad brindada por esta tecnología, incursionando el Middleware GINGA de código abierto. Este tipo de código se divide en tres módulos, Ginga-NCL, Ginga-J y Ginga-CC. Con ello se establece la capa de software intermedio ubicada entre el código de las aplicaciones y la infraestructura de ejecución. Esto permite el desarrollo de aplicaciones interactivas para TDT independiente de la plataforma del hardware de los fabricantes y terminales de acceso.

Mediante el estándar ISDB-Tb se puede trabajar transmitiendo múltiples propuestas de programación de diferentes señales, mediante el mismo canal de difusión. Para que esto ocurra, se necesita que el Flujo de Transporte, en inglés (Transport Stream), de cada programación, esté bien organizado para ser transmitido con la codificación y modulación más adecuada. Lo cual es permitido por el concepto que manejar la norma de transmisión en capas.

Las múltiples programaciones que poseen un Transport Stream específico, debe combinar en un multiplexor, el cual será el responsable de formar un Flujo de Transporte de Radiodifusión (BTS, por sus siglas en inglés de Broadcasting Transport Stream). Cada programación podrá ser codificada y modulada de forma independiente, mediante lo establecido en el estándar ISDB-Tb. Para esto se necesita un MUX ISDB-Tb, mediante la combinación de los BTS de diferentes programaciones en un solo BTS, manteniendo la función de señalar la capa que será procesada a cada uno de los Transport Stream con sus respectivas condiciones de codificación y modulación. A esta información de transmisión, control y codificación de multiplexación, se le denomina Transmission and Multiplexing Configuration Control (TMCC), como se muestra en la Fig.1.

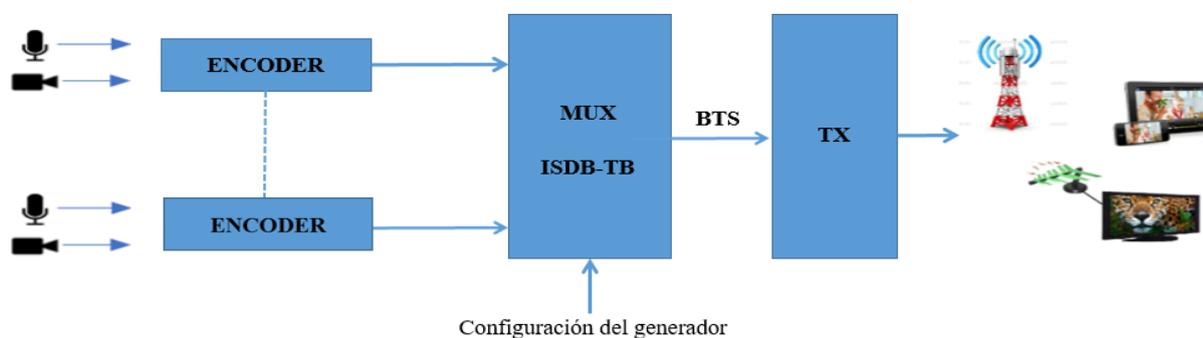


Figura 1: Multiplex de varias programaciones para la creación de una BTS.

### Tipos de redes de Frecuencia Única

Las SFN se clasifican en diferentes tipos de redes, las cuales son determinadas por la extensión del territorio donde van a ser instaladas estas redes. De esta forma se logra un mayor alcance y una mayor robustez de la señal, para su mejor comprensión se hace una explicación a continuación de cada una de estas redes [7]:

Red de ámbito extenso:

Este tipo de redes se emplean para dar cobertura a una gran extensión de territorio, por ejemplo, un país, una región, etc. Su funcionamiento se basa en la colocación de transmisores idénticos, cada uno destinado a cubrir un área determinada, para que en conjunto puedan cubrir el área total deseada. Es necesario que los transmisores estén sincronizados, y para evitar que se interfieran entre sí, se añaden retardos en caso de requerirlo.

Redes de ámbito reducido:

Estas redes se utilizan para brindar cobertura a territorios que tienen un radio entre 10 y 20 km, siendo posible implementarlas para cubrir una provincia en su totalidad. Un factor a considerar en este tipo de redes es la interferencia, debido a que pueden existir otras redes en los territorios colindantes, presentándose un escenario de redes que se interfieran entre sí.

Redes de frecuencia única centralizadas:

Consiste en un conjunto de transmisores y un modulador OFDM, que operan ingresando las señales de audio y video provenientes del decodificador y los datos, por separado, en el multiplexor y a continuación del modulador OFDM. Finalmente, la trama a transmitir se envía hacia diferentes transmisores.

Cabe señalar que el modulador OFDM se encuentra en el mismo sitio donde se originan los diferentes servicios. Como redes de transporte se utilizan: satélites, microonda, fibra óptica, etc, como se establece en la Fig.2.

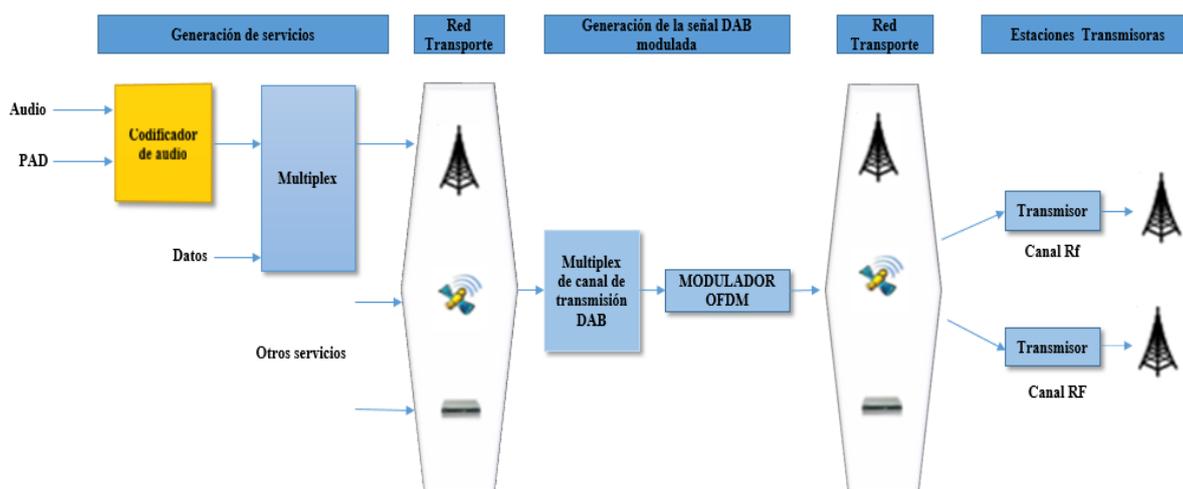


Figura 2: Diagrama de bloques de una SFN con modulación centralizada.

Redes de frecuencia única descentralizadas:

En este tipo de red, a diferencia de las redes centralizadas, cada transmisor dispone de un modulador OFDM; se ingresan las señales de audio y video codificados junto con los datos al multiplexor. A continuación la trama de transmisión se envía hacia los diferentes transmisores, a través de una red de transporte. Al llegar la trama a cada transmisor, se modula en el modulador OFDM para posteriormente situarla en el canal de frecuencia en la que se va a transmitir, como se muestra en la Fig.3.

## Características de una Red de Frecuencia Única

Las características que determinan una red SFN se ven reflejadas en una serie de condiciones que en su conjunto garantizan una mayor eficiencia en la red, dándole a esta un mayor alcance, seguridad y ahorro de energía, estas son:

Una cobertura robusta:

Utiliza la técnica de transmisión OFDM, que permite a las señales que llegan al receptor y que tienen un retardo menor al tiempo de guarda, puedan ser combinadas constructivamente en el mismo, y así obtener una señal más robusta y de mayor intensidad. Para que esto sea posible, es necesario escoger una técnica de estimación de canal adecuada para poder compensar los retrasos de las señales y ecualizar los ecos con dispersión temporal [7].

## VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA EN COMPARACIÓN CON LAS REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE

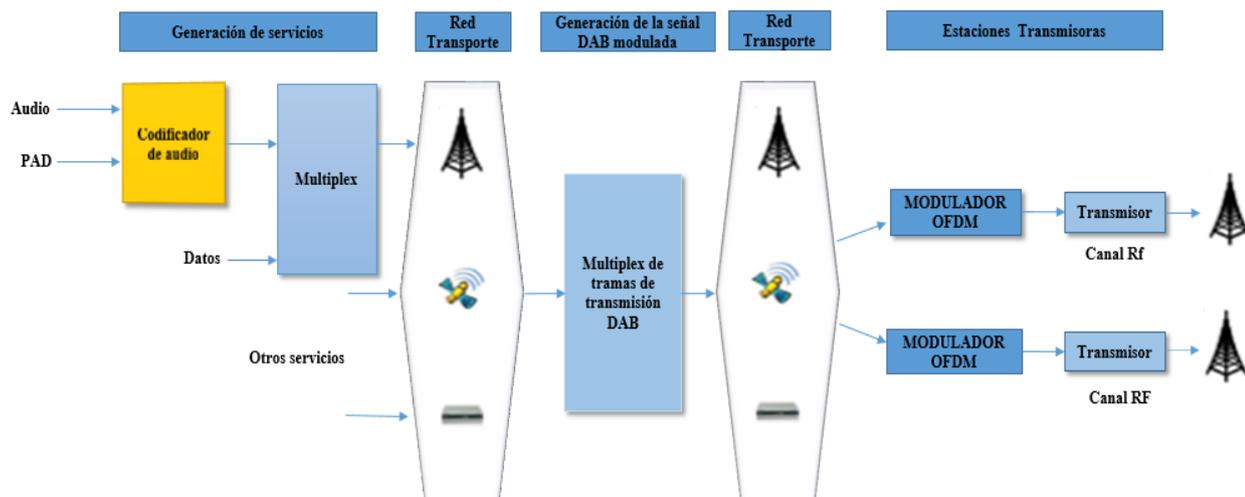


Figura 3: Diagrama de bloques de una SFN con modulación descentralizada.

### Empleo de Gap-Filler:

Una de las características que permiten un mayor alcance de la señal es la utilización de repetidores co-canal de baja potencia ubicados dentro del área de cobertura que cubre una pequeña “zona de sombra” del transmisor principal. El gap-filler, es un dispositivo utilizado en las redes digitales para brindar cobertura a los lugares donde no llega la señal o donde los niveles recepción no son satisfactorios. Su función consiste en captar la señal, filtrarla y amplificarla, permitiendo incrementar el área de cobertura sin necesidad de aumentar la potencia del transmisor principal. Además tiene como ventajas su bajo costo y consumo de energía eléctrica, y no requiere de una red de transporte para llevar la señal hasta el gap-filler. Basta con ubicar la antena receptora de este gap-filler en un lugar donde haya recepción de la señal proveniente del o los transmisores[7]. Para la utilización de los diferentes tipos de gap-fillers se debe tener en cuenta el aislamiento entre las diferentes antenas transmisoras y receptores, para un aumento de la potencia del gap-filler; ver las figuras 4 y 5.

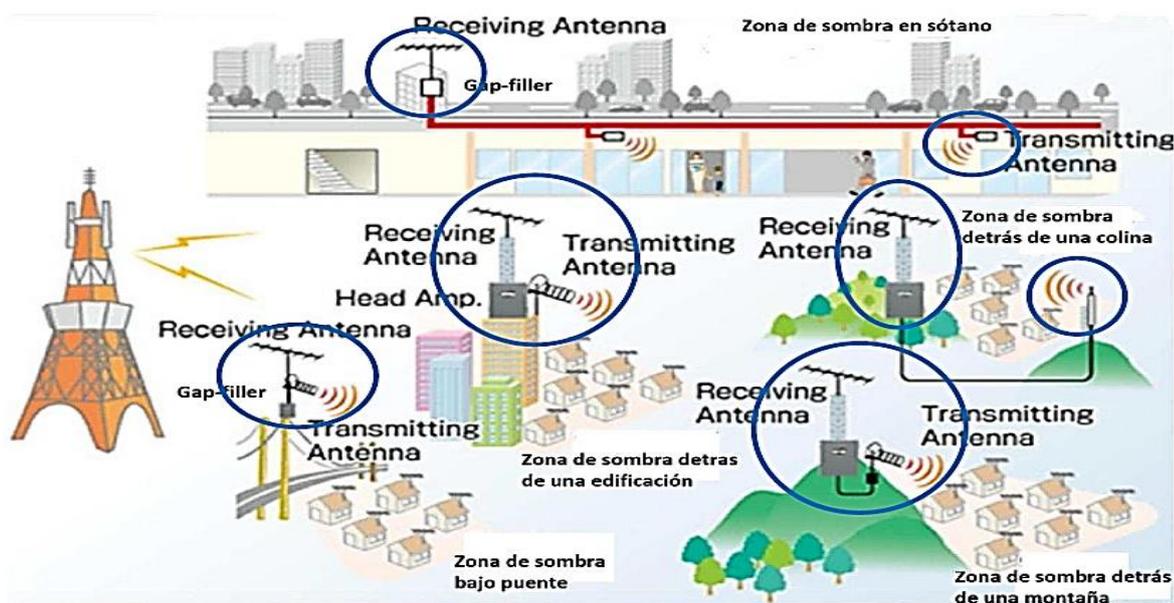


Figura 4: Zonas en las que se debe utilizar los gap-fillers.

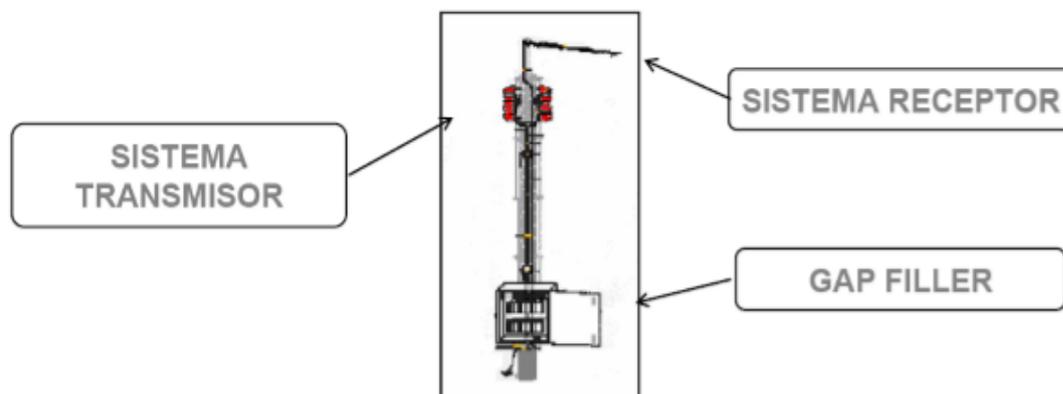


Figura 5: Aislamiento entre elementos de un gap-filler.

### Ventajas de las Redes de frecuencia única:

Las SFN es una tecnología que ha marcado un antes y un después en la TDT, ya que ha permitido alcanzar nuevos niveles de difusión. Logrando de esta forma un mayor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, alcanzando una mayor eficiencia espectral y un menor consumo de potencia, características que han permitido que la señal sea más robusta.

Algunas de estas ventajas son explicadas a continuación [8]:

Aumento de la eficiencia espectral:

Debido al uso de una única frecuencia en la red, la eficiencia espectral de las SFN es apreciablemente mayor. Incluso estas redes superan cuatro veces la de las redes de televisión analógica y de televisión digital MFN, las cuales retransmiten la señal usando diferentes canales de frecuencia para evitar la interferencia co-canal.

Aumento de la eficiencia de la potencia:

Gracias a la interferencia constructiva de los distintos componentes de la señal proveniente de diversos transmisores, resulta posible reducir la potencia de transmisión. Esto en relación a la potencia que sería necesario transmitir en las redes MFN, para asegurar un nivel de señal determinado en el receptor.

### Desventajas de las Redes de Frecuencia Única.

En las SFN existen desventajas que ocasionan problemas en la señal que se quiere transmitir. De esta forma se limita la posibilidad de que esta red pueda llegar a algunos territorios, permitiendo pérdidas considerables de la señal de televisión.

Algunas de estas desventajas serán explicadas a continuación [8,9]:

- Las sincronizaciones de tiempo requieren que los transmisores emitan las señales al mismo tiempo o con retardos controlados con precisión, en uno o varios transmisores; caso contrario, sucederá la presencia de interferencia propia de la red.
- Se debe respetar una distancia mínima entre los transmisores que usen la misma frecuencia o incluso canales adyacentes. De esta forma poder evitar la interferencia en aquellas zonas en la que se solapen las áreas de cobertura de los transmisores.
- En una SFN, además de las interferencias producidas por parte de otros servicios, hay que considerar las producidas por la propia red, denominadas auto interferencias. Estas se producen cuando a un determinado punto llegan dos o más señales en la misma frecuencia, transportando el mismo servicio, pero con una

## VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA EN COMPARACIÓN CON LAS REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE

diferencia de tiempo de propagación superior al intervalo de guarda. 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.

### **REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE.**

Este tipo de redes permite trabajar con distintas frecuencias (canales de RF o radiofrecuencia), utilizados mayormente para los sistemas de televisión analógica. El área de cobertura se establece para un contorno definido por la intensidad de campo eléctrico necesaria para lograr una adecuada recepción. De esta forma se garantiza que no exista interferencia desde y hacia otras estaciones en las mismas frecuencias, en canales adyacentes o en frecuencias relacionadas armónicamente entre sí. Las señales transmitidas se hacen en canales de radiodifusión distintos y en áreas diferentes, permitiendo así emitir contenidos diferentes logrando un servicio personalizado a cada usuario o proveer un servicio a un gran número de terminales.

### **Tipos de Redes de Frecuencia Múltiples.**

En algunos países de Europa como es el caso de España aún utilizan las MFN. Esto es debido a que permite la implementación de diferentes canales de televisión de manera independiente, sin necesidad de afectar la transmisión de estos canales al emplearse distintas frecuencias. Para esto se utilizan diferentes tipos de MFN, los cuales son expuestos a continuación [8,9,10]. Las MFN son un tipo de red donde las distintas frecuencias (canales de RF) son utilizados para transmitir contenidos audiovisuales. Hay dos tipos destacados de redes de frecuencia múltiple, las horizontales y las verticales.

Las Redes de Frecuencia Múltiple horizontales:

Son aquellas donde la distribución de las señales transmitidas se hace en canales de radiofrecuencia distintos y en áreas diferentes. El contenido de la señal puede ser el mismo o diferente para los distintos canales de RF. Por ejemplo, en televisión de Cataluña (TVC) puede usar distintos canales de RF a las distintas provincias catalanas para así tener la posibilidad de hacer desconexiones y emitir contenidos distintos.

Las Redes de Frecuencia Múltiple verticales:

Son las que en cada canal de radiofrecuencia utilizan las distintas áreas para transmitir contenido diferente con el propósito de incrementar la capacidad de la red (para ofrecer más contenidos al usuario o destinatario final). Por ejemplo, en el área de Barcelona, cada canal de RF transmitirá contenidos distintos.

### **Característica de una Red de Frecuencia Múltiple.**

En las MFN existen algunos elementos que permitieron en su momento un uso potencial de estas redes, logrando de esta forma una gran aceptación. Para esto se establecieron algunas características que permitieron lograr esa calidad en los servicios de televisión. Algunas de estas características son relacionadas a continuación [9,12]:

Ausencia de sincronismo: La principal de ellas consiste en que no se requiere ningún tipo de sincronismo entre los distintos transmisores de la red, evitándose los problemas de ello derivados.

Posibilidad de realizar desconexiones: Cada transmisor tiene la posibilidad de transmitir un programa diferente, lo que hace posible realizar desconexiones.

### **Desventajas de las Redes de Frecuencia Múltiple.**

En las MFN existen diferentes problemas que repercuten en la señal y su alcance, lo cual no ha permitido un uso eficiente de las mismas. Debido a ello se detiene la cobertura de la señal de televisión, provocando algunas limitaciones de las MFN en comparación con una red SFN. Algunas de estas desventajas son las siguientes [9]:

Excesivos recursos espectrales:

Para garantizar una determinada robustez en el servicio de televisión digital terrenal haciendo uso de una Red de Frecuencia Múltiple, se necesita un número de canales de radiofrecuencia bastante similar al servicio de distribución analógico tradicional.

Excesiva potencia de transmisión:

Debido a los efectos de propagación terrestre, el nivel de potencia con que la señal digital alcanza un determinado emplazamiento varía fuertemente tanto con la localización del mismo como con el tiempo (modelo de canal variante). En las Redes de Frecuencia Múltiple, la particularidad reside en que estos aumentos de frecuencia deberán realizarse cuidadosamente para asegurar que no se interfiere en exceso a los transmisores que reutilizan la misma frecuencia.

Los micro ecos, aunque son más frecuentes en las redes SFN, podrían llegar a encontrarse también en las MFN. Se trata de ecos muy cortos, tan próximos entre ellos que el sistema receptor no es capaz de determinar cuál debe considerarse señal principal y cuál eco.

En redes MFN, la particularidad reside en que estos aumentos de frecuencia deberán realizarse cuidadosamente para asegurar que no se interfiere en exceso a los transmisores que reutilizan la misma frecuencia.

### COMPARACIÓN ENTRE LAS REDES SFN Y LAS MFN

Ante el existente desarrollo de los sistemas de televisión digital, las redes MFN están siendo reemplazadas por las redes SFN, debido a la creciente demanda de los medios de comunicación que existe hoy en día. De esta forma se logra una migración casi completa de todos los sistemas de televisión hacia nuevas tecnologías más eficientes y con mayor alcance. Las redes SFN han logrado un mayor alcance y robustez de la señal, permitiendo de esta forma que casi se triplique la cantidad de canales que se transmiten simultáneamente en comparación con una red MFN.

Ante el creciente aumento de los canales de frecuencia en los sistemas de televisión, la señal analógica no ha podido alcanzar los niveles requeridos para poder satisfacer la creciente demanda. Además deja pocos canales para poder transmitir una nueva programación. Como se puede apreciar en la Fig.6, para cubrir un territorio determinado con señal analógica (barra verde), con 3 sistemas de televisión, se necesitan 12 canales, 6 de guarda y 2 para cada sistema de televisión. Pero operando con sistemas digitales en MFN (barra azul), pueden operar 6 sistemas de televisión, cada uno con 4 programaciones simultáneas de 4 canales SD. Con esto se logra transmitir con esta señal 24 programaciones al mismo tiempo, ya que en los sistemas digitales se pueden usar los canales adyacentes. Ahora, operando con SFN (barra roja), el número de programaciones simultáneas se triplica respecto a la MFN analógico. Es decir, pueden operar 12 sistemas de televisión y brindar 48 programaciones simultáneas, alcanzando una mayor eficiencia del espectro radioeléctrico debido al uso de una única frecuencia en la red. La definición de estos últimos criterios de análisis parte de la mezcla de varios conceptos extraídos de diferentes fuentes, las cuales se refieren a la eficiencia de la SFN como mejora en la transmisión de canales con respecto a una MFN [13,14].

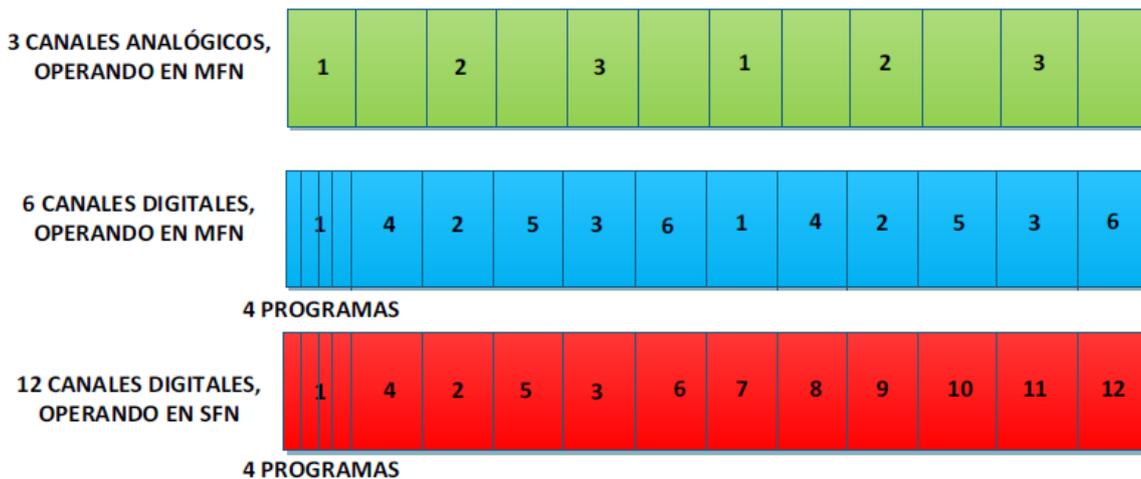


Figura 6: Eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico.

## VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA EN COMPARACIÓN CON LAS REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE

Dentro de las redes SFN se encuentra algunas características que permitieron que estas redes tuvieran un mayor alcance con relación las redes MFN. Para esto se realizaron mejoras en las redes SFN que permitieron obtener una señal de mayor calidad y con una mayor tolerancia ante relación señal/ruido. Esto debido a que la señal que se transmite se difracta y refleja al ser transmitida, lo que ha provocado cierto grado de interferencia en la señal original, siendo esto una de los mayores problemas que tienen las redes MFN. Para poder controlar esto se ha establecido un intervalo de guarda en las SFN, logrando la disminución de estas interferencias, permitiendo de esta forma una mejora circunstancial de la señal con las redes SFN en comparación con una red MFN. Esta característica se explica mejor a continuación, la cual se corresponde con la ganancia interna de la red de frecuencia única que se divide en dos factores, el aditivo y el estadístico.

Cuando la señal proveniente de diferentes transmisores en una SFN llega a un mismo receptor, en lugar de interferirse, se genera una ganancia interna de la red. Es necesario aclarar que más que la amplitud de la señal hay que tomar en cuenta la fase, porque puede haber componente que se cancelen. Para evitar esto se inserta retardos en los transmisores, de tal manera que este efecto ocurra sobre áreas no pobladas [15].

El factor aditivo, ver (Fig.7), establece que la señal recibida en el receptor es la superposición de señales procedentes de diferentes transmisores. Esto se debe a que existe más de una señal útil y que ésta aporta de manera constructiva a la señal deseada en el receptor. El factor estadístico estipula que la desviación estándar de la suma de todas las señales es siempre menor que la suma de las desviaciones de cada señal. Siendo así más fácil conseguir un mayor porcentaje de probabilidad de cobertura. Es por ello que se utiliza para determinar los porcentajes de probabilidad de cobertura en los estudios de propagación.



Figura 7: Ganancia aditiva de una SFN.

En la Fig.7 se ve reflejada como es que las señales que se difracta y reflejan ayudan de manera constructiva a la señal transmitida, logrando una señal de mejor calidad que llega al receptor. Estas mejoras considerables que han sido establecidas en las SFN han posibilitado que estas redes superen en gran medida una red MFN. Esto permite que se puedan transmitir una mayor cantidad de canales con un menor consumo de potencia. Al establecer el sincronismo entre varios transmisores se ha permitido que estos, establecidos en diferentes zonas, trabajen como un solo transmisor logrando cubrir un mayor territorio. De esta forma la señal llegua a zonas que puedan tener una geografía irregular o altas edificaciones para una mayor difusión de la TDT.

### CONCLUSIONES

La comparación realizada con una red MFN y las diferentes aplicaciones de las SFN para algunos estándares utilizados en la actualidad ha permitido alcanzar una mayor apreciación de la importancia de la implementación de las SFN en nuestro país, para lograr un mayor alcance en las señales de televisión digital, con un mayor aprovechamiento del espectro radioeléctrico. Resulta interesante la propuesta de las redes de frecuencia única con los elementos planteados en este artículo. Con esta configuración se pueden cubrir las mismas áreas que con los sistemas de televisión analógicos, y permite una disminución de las zonas de sombras, no obstante, podrían diseñarse otras estructuras similares.

### RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este artículo, a los especialistas del centro de trabajo astillero "ASTIMAR", como la ingeniera Maria Antonia Horta García y el ingeniero Carlos Manuel Alvarez Hernández, que trabajan en el departamento de investigación y desarrollo. Ellos permitieron aclarar todas las preguntas y por el apoyo que brindaron al realizarse este estudio.

### REFERENCIAS

- [1] V. Mignone, A. Bertella, D. Milanese, B. Sacco, S. Ripamonti, and M. Visintin, «Regional Contents in a National DVB-T2 SFN: A Novel Approach Based on DVB-SIS», SMPTE Motion Imaging Journal, vol. 129, no. 4, pp. 51–59, May 2020, doi: 10.5594/JMI.2020.2979621.
- [2] S. Kwon, S.-I. Park, J.-Y. Lee, B.-M. Lim, S. Ahn, and J. Kang, «Detection Schemes for ATSC 3.0 Transmitter Identification in Single Frequency Network », IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 66, no. 2, pp. 229–240, Jun. 2020, doi: 10.1109/TBC.2019.2941074.
- [3] Y. Turk, E. Zeydan, and C. A. Akbulut, « On Performance Analysis of Single Frequency Network With C-RAN», IEEE Access, vol. 7, pp. 1502–1519, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2887005.
- [4] A. A. Zaidi, R. Baldemair, V. Moles-Cases, N. He, K. Werner, and A. Cedergren, «OFDM Numerology Design for 5G New Radio to Support IoT, eMBB, and MBSFN», IEEE Communications Standards Magazine, vol. 2, no. 2, pp. 78–83, Jun. 2018, doi: 10.1109/MCOMSTD.2018.1700021.
- [5] B. I. Teodor, Y. M. Grigor, P. I. Elena, S. S. Ivaylo y I. R. Dimitar « Experimental study of the basic parameters and the field strength of a television transmitter in the single frequency network (SFN)», en 2017 27th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 19-20 April 2017, doi: 10.1109/RADIOELEK.2017.7936640.
- [6] D. Aguirre, « Red de Frecuencia Única en el estándar ISDB-Tb », Revista Espacios, vol. 39, n.º 32, pp. 29, año 2018, ISSN 0798 1015.
- [7] J. A. Rodrigo Arturo, M. G. Carlo Santiago, «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», Ph. D Iván Bernal, Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2012.
- [8] A. G. Diego Francisco, B. E. Jaime Alfredo, «Diseño de una Red de Frecuencia Única (R.F.U) para operación de un canal de televisión UHF en la ciudad de guayaquil», Ph. D Carlos Motta Marins, Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica del litoral ESPOL, 2016.
- [9] «5.7. Tipología de redes SFN, MFN y MPE », oct. 8, 2018. <http://robertocallos2.wordpress.com/2018/10/04/5-7-tipologias-de-redes-sfn-mfn-y-mpe>(accedido oct. 8, 2018).
- [10] «Redes Múltiples y Monolíticas», jun, 2018. <http://sistemasexpertosse.blogspot.com>(accedido jun.2018).
- [11] «Red de frecuencia múltiple», febr.14, 2019. <http://loquetuquieras02.blogspot.com>(accedido febr.14, 2019).
- [12] G. M. Dalila, S. D. Alejandro, B. F. Leandro y D. H. Reinier « Propuesta de diseño de una Red de Frecuencia Única empleando el software Radio Mobile», en 2019 II Convención Científica Internacional. Ciencia, tecnología y sociedad. Perspectivas y retos, 2019, pp. 1-5.
- [13] Z. V. Ricardo Abraham, «Planificación de pruebas de campo sobre Redes de Frecuencia Única de televisión digital ATSC», Ph. D José María Matías Maruri, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2015.
- [14] A. C. Flavia, P. R. Dariel, F. P. Ernesto, D. H. Reinier « Cálculo de la ganancia en redes SFN.TOV en redes SFN. Informe mediciones de laboratorio», año 2017.
- [15] R. Jarrín, S. Morejón, I. Bernal «Diseño de una Red de Frecuencia Única para un canal de televisión digital con la norma ISDB-Tb», Revista Politécnica, vol. 31(2), pp. 11-25, año 2010, 285260702.

## SOBRE LOS AUTORES

**Jorge Luis Blanco Orta.** Ingeniero en telecomunicaciones y electrónica, trabaja en el Astillero “ASTIMAR”, se desempeña como ingeniero en investigación y desarrollo, ORCID:0000-0001-9592-7818.

**María del Carmen Guerra Martínez.** Ingeniera en telecomunicaciones y electrónica, M.Sc, trabaja en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, se desempeña como Profesora, es Asistente, y pertenece al Grupo de Comunicaciones Inalámbricas, ORCID:0000-0003-1989-4414.

**Reinier Martínez Gómez.** Ingeniero en telecomunicaciones y electrónica, trabaja en la Universidad de las Ciencias Informáticas, como Profesor Instructor, ORCID:0000-0001-7543-5971.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que el trabajo no ha sido publicado con anterioridad ni ha sido enviado simultáneamente a otra revista. Asimismo, se indicará que todos están de acuerdo con el contenido del manuscrito, que ceden los derechos de

## VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA EN COMPARACIÓN CON LAS REDES DE FRECUENCIA MÚLTIPLE

publicación a la revista y que no existen conflictos de intereses con la investigación realizada u otros aspectos relevantes referentes al conflicto de interés.

### CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Jorge Luis Blanco Orta, realizó la recopilación de la información, la preparación y desarrollo del artículo, haciendo una investigación exhaustiva de cada una de las características de las redes que se explican en este artículo.
- MSc. María del Carmen Guerra Martínez, realizó la revisión crítica de cada una de las versiones de los borradores, recopilando parte de la información y ayudó a la aprobación de la versión final del artículo a publicar.
- Ing. Reinier Martínez Gómez, contribuyó con la idea y organización del artículo, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

