

# Análisis del comportamiento de la ganancia de SFN para DTMB

*Dariel Pereira Ruisánchez, Flavia Alvarez Cesar, Darian Pérez Adán, Ernesto Fontes Pupo, Reinier Díaz Hernández*

## RESUMEN / ABSTRACT

En los últimos años se ha venido desplegando en Cuba el servicio de Televisión Digital Terrestre (TDT) de acuerdo con el estándar DTMB en su esquema para redes de múltiples frecuencias (MFN). Sin embargo, como parte de la evolución de esta tecnología, algunos países han migrado hacia el despliegue de redes de una sola frecuencia (SFN), pues este esquema provee un uso más eficiente del espectro radioeléctrico. Estudios sobre SFN muestran que es posible con este esquema conseguir una distribución más homogénea de la calidad de la señal recibida y, además, las señales provenientes de transmisores diferentes pueden ser combinadas de forma constructiva para obtener una ganancia en la recepción. No obstante, algunos autores consideran que un aumento de la intensidad total de la señal recibida, no siempre se corresponde con una mejor recepción. Es por esto que se han considerado parámetros propios de la recepción como: relación señal a ruido (SNR) y razón de modulación errónea (MER), en lugar de la intensidad de la señal recibida para evaluar la ganancia. En este artículo se presenta un análisis, a partir de los resultados de mediciones de laboratorio, que permite caracterizar la ganancia de SFN (SFNG) para DTMB, considerando el parámetro MER como medida de la calidad de la señal recibida. Además, se presentan los resultados obtenidos de evaluar la capacidad de recepción de un receptor comercial en SFN con presencia de multirayectos con valores de retardo cercanos a la duración del intervalo de guarda.

**Palabras claves:** SFN, DTMB, MER.

*During the last years, Cuba has been deploying the Digital Terrestrial Television service in accordance with the DTMB standard on its Multiple Frequency Network (MFN) mode. However, as part of the evolution of this technology, some countries had evolved toward the deployment of Single Frequency Networks (SFN). Studies on SFN show that it is possible to get a more homogeneous distribution of the received signal quality and, besides, the different transmitter's incoming signals might be combined in a constructive way to get a reception gain. However, a group of authors considers that an increasing on the received signal total intensity is not always in correspondence with a better reception quality. That's why reception parameters like signal to noise ratio (SNR) and modulation error ratio (MER), have been considered to evaluate the gain, instead of signal strength. In this paper, it is presented an analysis, based on laboratory test results, that allow characterizing the SFN gain for DTMB standard where the MER parameter has been considered like a received signal quality indicator. Furthermore, the results of evaluating the reception capacity of a commercial receiver on SFN in the presence of multipath with near to guard interval length are presented.*

**Key words:** SFN, DTMB, MER.

**“Analysis of SFN gain behavior for DTMB”**

## 1. –INTRODUCCIÓN.

DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) fue el estándar seleccionado como norma para el despliegue de la Televisión Digital Terrestre en Cuba. Las características que definen a DTMB permiten aprovechar las propiedades tanto de

MFN (*Multiple Frequency Network*) como de SFN (*Single Frequency Network*) de acuerdo a las situaciones reales de cada zona de estudio. El hecho de usar un esquema de SFN, en lugar de uno MFN, propone la posibilidad de conseguir una serie de ventajas como pudieran ser: mayor eficiencia espectral, ahorro en potencia de transmisión, así como mayor la probabilidad de cubrir zonas de silencio. Sin embargo, a diferencia de MFN, en SFN debe ser garantizada gran precisión en la sincronía de los transmisores para asegurar una interferencia no destructiva en las zonas de solapamiento [1, 2].

Para el diseño de un esquema SFN, es necesario entender el comportamiento de la calidad de la señal en zonas de interferencia de acuerdo a un grupo de parámetros que definen la relación entre los transmisores y los receptores [3, 4]. Para ello, se evalúan en condiciones similares un esquema de SFN y uno de MFN, a fin de tener un punto de comparación a la hora de entender el impacto de estos. Además del nivel de intensidad de campo del rayo principal en el punto de recepción, se deben tener en cuenta las diferencias entre los valores de retardo y entre los niveles de señal en los múltiples trayectos. En SFN todos los transmisores están configurados sincrónicamente con la misma señal y frecuencia de transmisión. El efecto limitador del esquema de SFN es la llamada interferencia mutua entre transmisores de la misma red. Por las características del esquema TDS-OFDM (*Time Domain Synchronous-Orthogonal Frequency Division Multiplex*) empleado en DTMB para la estimación de canal, este esquema es incapaz de estimar y corregir multitrayectos fuera del intervalo de guarda que se emplee ( $74 \mu s$  para PN 420,  $105 \mu s$  para PN 595,  $167 \mu s$  para PN 945) [5, 6]. Por tanto, si las señales provenientes de diferentes transmisores poseen un retardo superior al intervalo de guarda seleccionado, la interferencia mutua de las señales no podrá ser utilizada de forma constructiva. Al contrario, puede resultar en un deterioro de la señal que imposibilite la recepción.

La diferencia en los valores de retardo entre las señales que llegan al receptor depende de la longitud de los trayectos de propagación desde cada uno de los transmisores SFN hacia el receptor [7]. Este parámetro permite definir cómo la ubicación de las estaciones bases respecto a los receptores mejora o deteriora la calidad de la señal [8]. El nivel del rayo principal y su relación con la SFNG validan la tendencia a conseguir mayor homogeneidad en la calidad de la recepción.

Muchos autores coinciden en que un aumento de la intensidad total de la señal recibida no se corresponde siempre con un aumento en la calidad de la recepción. En [9] se ha considerado el parámetro SNR (*Signal to Noise Ratio*) como un elemento del cual depende el valor de SFNG. En [10] se hace un estudio donde se evidencia que para un aumento del nivel de señal, parámetros propios de la recepción como el MER (*Modulation Error Ratio*) y la SNR se degradan. En ese artículo se propone el parámetro MER como una medida de la calidad de la señal recibida, que permite definir el comportamiento de la ganancia de SFN respecto a MFN. La razón de modulación errónea se define como la razón entre la potencia promedio de los vectores correspondientes a una constelación ideal ( $P_{signal}$ ) y la potencia promedio relativa a los vectores de error en la recepción real ( $P_{error}$ ), como se define en la expresión (1). De este modo, mientras mayores sean los valores de MER, mayor es la coincidencia entre las constelaciones ideal y real y, por tanto, menor es la afectación del ruido o interferencia [11, 12].

$$MER(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{signal}}{P_{error}} \right). \quad (1)$$

SFNG, según [11] está definida por la expresión (2), considerando un parámetro propio de la recepción como lo es el parámetro MER.

$$SFNG = MER_{SFN} - MER_{MFN}, \quad (2)$$

donde  $MER_{MFN}$  es el valor de MER obtenido en MFN y  $MER_{SFN}$  es el valor de MER en condiciones similares de SFN. Las condiciones de simulación varían evaluando los parámetros *Atenuación* (diferencia de niveles de intensidad de señal en dB), *Retardo* (retardo entre señales en  $\mu s$ ) y nivel de intensidad de la señal principal (en dBm), simulando un amplio rango de condiciones de comunicación.

Las restantes secciones de este trabajo están organizadas del siguiente modo: En la Sección 2 se hace una breve descripción de los equipos y señales utilizados para las mediciones; en la Sección 3 se presenta un análisis de las simulaciones y los resultados de las mediciones; por último, en la Sección 4 se resumen las principales conclusiones de este artículo.

## 2.- PRESENTACIÓN DE LAS MEDICIONES.

En este trabajo se propone la realización de dos grupos de mediciones orientadas a cubrir un amplio rango de parámetros de entrada que permitan definir el comportamiento de SFN en variedad de escenarios de propagación. El primer grupo de mediciones está encaminado a determinar el comportamiento de la SFNG basándose en el cálculo del MER. Mientras, el segundo grupo se basa en la identificación del umbral de visibilidad TOV (*Threshold of Visibility*), para evaluar el impacto de los multitrayectos con valores de retardo cercanos a la duración del intervalo de guarda.

Para el cálculo de la SFNG se hace un barrido uniforme de los parámetros *Atenuación*, *Retardo* y *Nivel de intensidad de señal* principal. El parámetro *Retardo* es evaluado entre 0 y 20  $\mu\text{s}$ , de modo tal que todos los multitrayectos introducidos están insertados dentro de la duración del intervalo de guarda. En cuanto al parámetro *Atenuación*, el rango de evaluación va desde 0 hasta 20 dB. Este incluye señales de nivel de intensidad similar, hasta señales cuya diferencia de nivel es superior al valor de SNR mínimo necesario para la correcta recepción de DTMB en el modo 6 (15 dB) [4]. Los niveles de señal del rayo principal seleccionados permiten hacer un barrido uniforme de este parámetro, pero están limitados por las características funcionales de los equipos empleados. No obstante, estos niveles constituyen una muestra representativa para el estudio que se realiza, pues se considera que van desde un nivel aceptable de señal (-64 dBm) hasta un nivel bajo de señal (-76 dBm).

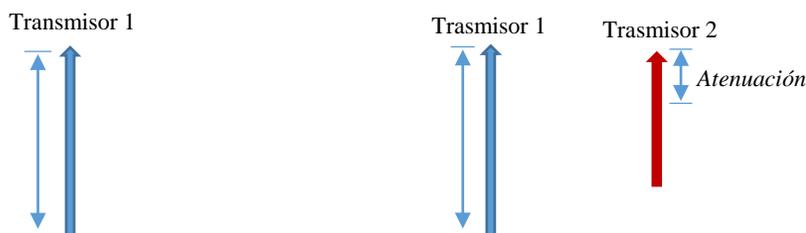
Para valores cercanos a los límites de funcionamiento de los equipos, la fiabilidad de las mediciones realizadas disminuye. Por ello se propone este segundo grupo de mediciones basado en la determinación del TOV, según se define en [13], para el análisis de parámetros límites como *Nivel de intensidad de señal* de -85 dB y multitrayectos con valores de retardo entre 70  $\mu\text{s}$  y 80  $\mu\text{s}$ . Se considera -85 dB un valor crítico, pues es este el nivel de sensibilidad del receptor empleado. Se considera que se alcanza el TOV cuando un observador entrenado puede detectar algún tipo de perturbación en la imagen tras un minuto de observación. El objetivo de este experimento es determinar los valores umbrales de *Atenuación* y *Retardo* a partir de los cuales se consigue la correcta visualización de la señal en cada caso. A diferencia del primer grupo de mediciones, en este solo se evalúa en condiciones de SFN, pues el interés radica en comprender la influencia de estos multitrayectos con valores críticos de retardo en la correcta recepción de la señal.

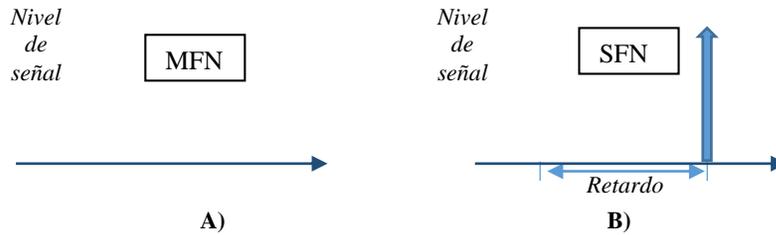
Los instrumentos empleados en las pruebas que fueron realizadas son: *Broadcast Test Center (BTC)* y el *S7000 TV Analyzer*. La señal de televisión digital, según se transmite en Cuba, fue replicada utilizando el BTC en la siguiente configuración inicial:

- Estándar: DTMB.
- Frecuencia de portadora  $f_c = 611 \text{ MHz}$  correspondiente al canal 37.
- Ancho de banda del canal de 6.0 MHz .
- Modulación OFDM con 3780 subportadoras moduladas a: 64QAM.
- Razón de código: 0.60.
- Intervalo de Guarda: PN420.

Con vista a obtener los valores de SFNG, se genera la señal de RF a través del BTC y esta constituye la entrada del dispositivo *TV Analyzer*, el cual permite no solo visualizar la señal recibida, sino que ofrece características de la recepción como el parámetro MER. Se empleó el *Transport Stream (TS) MPEG2-720X480i-2997.ts*, el cual es utilizado para la evaluación nacional de los equipos receptores que se introducen en el país.

Para la comparación entre condiciones de MFN y SFN, se emplean dos configuraciones diferentes de salida en el BTC para simular ambos escenarios. Estas configuraciones se han denominado **ConfigMFN** y **ConfigSFN**. En las figuras 1-A) y 1-B) se observan las dos configuraciones empleadas. La configuración **ConfigMFN** consiste en un rayo directo único. El nivel de intensidad de la señal principal es el empleado para definir el valor del parámetro en las mediciones. Como se muestra en la Figura 1-B), la configuración **ConfigSFN** consiste en dos rayos provenientes de dos transmisores diferentes, en la misma frecuencia, con valores de *Atenuación* y *Retardo* definidos para cada evaluación. El *Nivel de intensidad de señal* del rayo principal en SFN coincide con el asignado al transmisor de MFN utilizado para la comparación en cada caso.





**Figura 1**  
 Configuraciones empleadas.

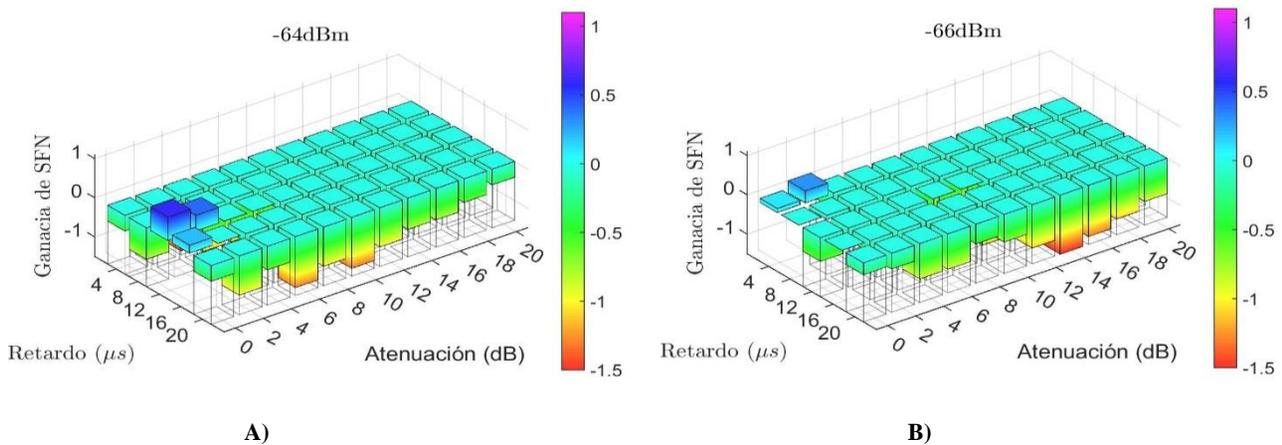
### 3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

En esta sección del artículo se discuten los resultados obtenidos en las mediciones realizadas mediante la configuración de los parámetros descrita en la sección anterior. Primeramente, en la subsección 3.1, se realiza un análisis cualitativo de los resultados obtenidos en relación a SFNG, con vista a la interpretación de los mismos en una situación real de despliegue de SFN. Posteriormente en la subsección 3.2, se presenta un análisis acerca del TOV para el escenario en que una de las dos señales arriba al receptor con valor de retardo semejante a la duración de la cabecera de trama, pues esto permite evaluar cuánto afecta esta señal a la capacidad de demodulación en un receptor comercial.

#### 3.1- SFNG.

Los resultados obtenidos en las mediciones orientadas al cálculo de la SFNG son los presentados en las figuras 2, 3 y 4. Estas muestran el comportamiento para valores de *Nivel de intensidad de señal* en el rayo principal de -64 dBm, -66 dBm, -68 dBm, -70 dBm, -72 dBm, -74 dBm y -76 dBm. Los niveles de señal seleccionados permiten hacer un barrido uniforme de este parámetro, pero están limitados por las características funcionales de los equipos empleados. Sin embargo, constituyen una muestra representativa para el estudio que se realiza, pues se considera que van desde un nivel aceptable de señal (-64 dBm) hasta un nivel bajo de señal (-76 dBm).

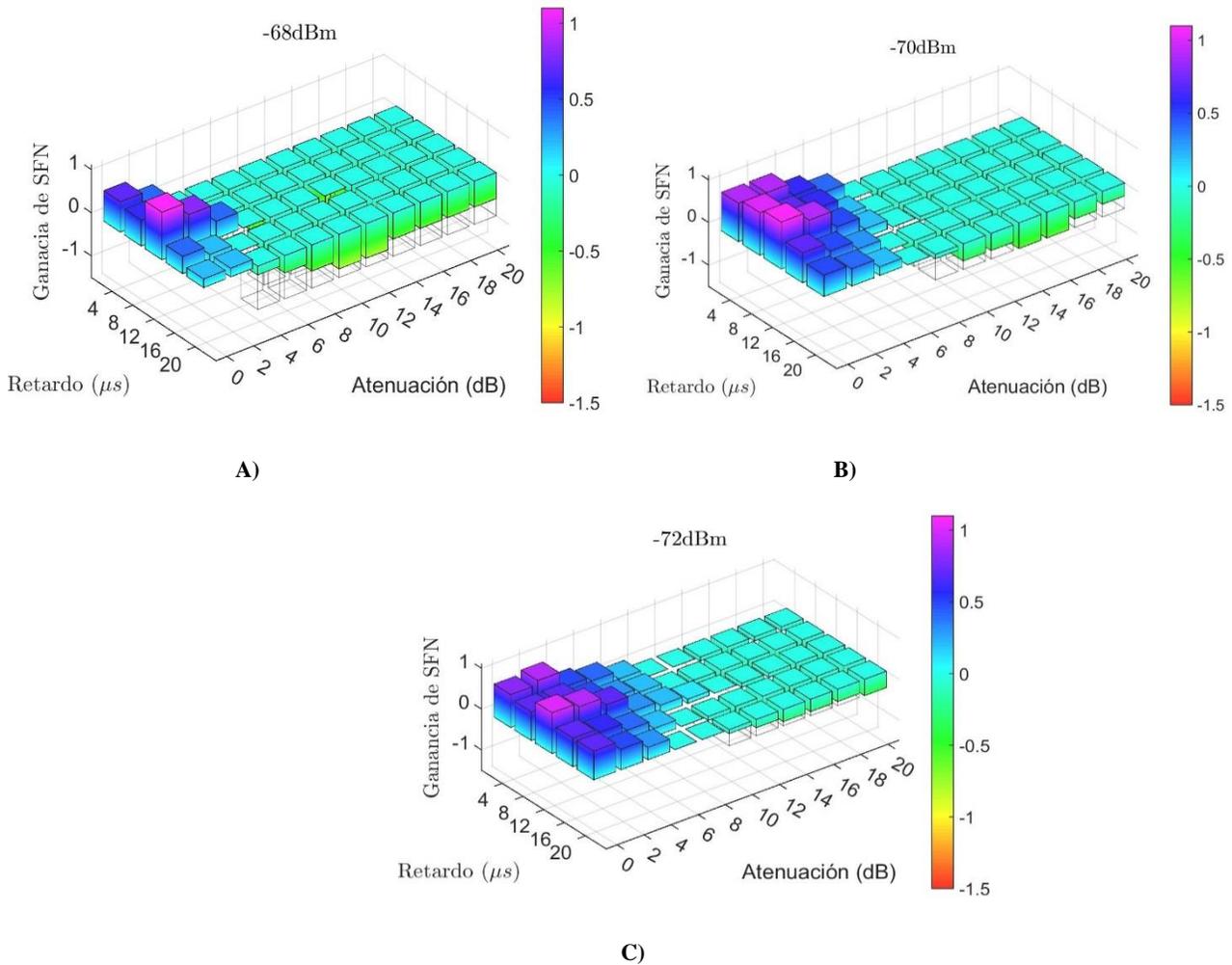
Como se muestran en las figuras 2-A) y 2-B), los resultados obtenidos indican que para valores aceptables de nivel de intensidad de la señal (-64 dBm y -66 dBm) las SFNGs calculadas son en su mayoría valores negativos. Solo para valores puntuales de *Retardo* y *Atenuación* las SFNG calculadas son positivas. Esto significa que, en estas condiciones de nivel de señal del rayo principal, la presencia de un multirrayecto proveniente de otro transmisor en la misma frecuencia, afecta la calidad de la recepción en la mayoría de los casos, aunque esto no necesariamente tiene que representar un empeoramiento en la visualización.



**Figura 2**  
 SFNG para señal principal de -64 dBm y de -66 dBm en función de los parámetros *Atenuación* y *Retardo*.

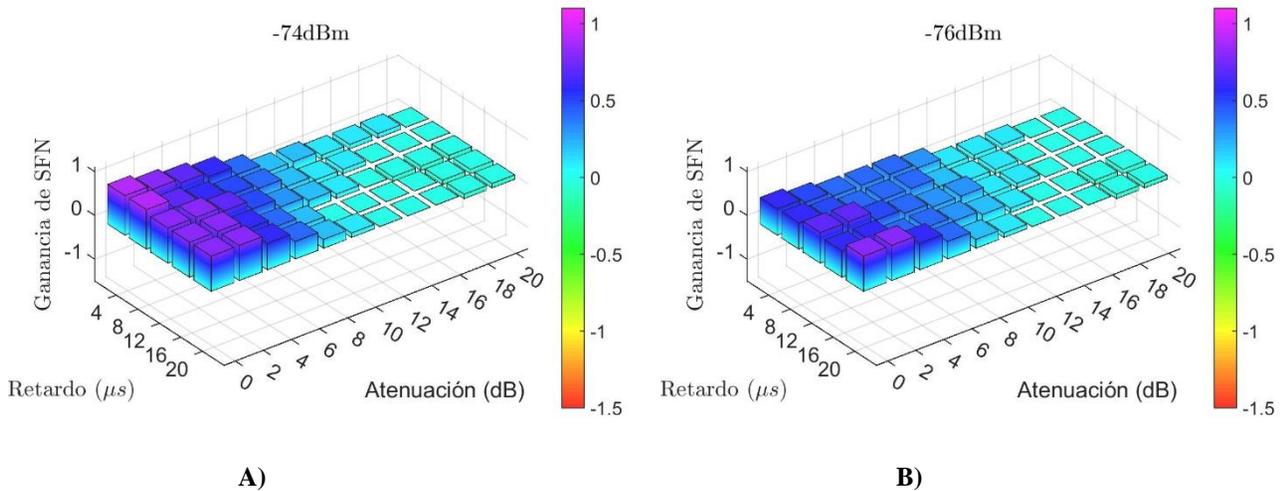
En las figuras 3-A), 3-B) y 3-C) se muestra el comportamiento de la SFNG para los niveles de intensidad de señal de -68 dBm, -70 dBm y -72 dBm. Según los valores calculados, a medida que disminuye el nivel de señal, los valores de

SFNG tienden a ser positivos. En estos casos, se obtienen valores de SFNG entre 0 y 1 dB cuando los valores de *Atenuación* están entre 0 y 5 dB, es decir, el nivel de señal proveniente de ambos transmisores es similar. Para -72 dBm, incluso cuando la atenuación está cercana a los 10 dB, se obtienen ganancias positivas.



**Figura 3**  
SFNG para señal principal de -68 dBm, de -70 dBm y de -72 dBm en función de los parámetros *Atenuación* y *Retardo*.

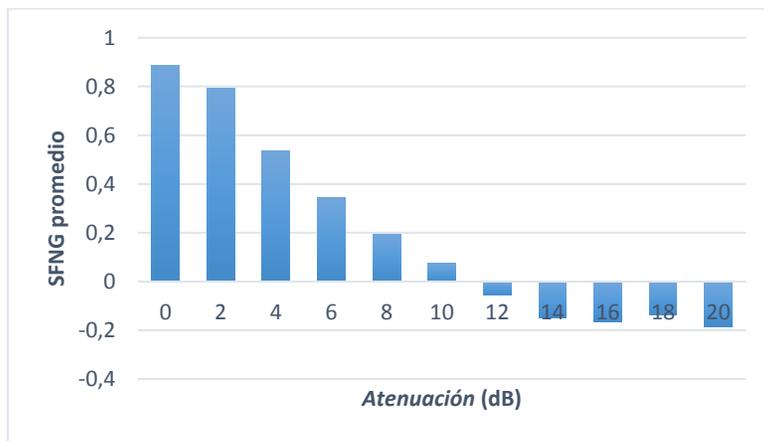
En las figuras 4-A) y 4-B) se observa como para valores bajos de *Nivel de intensidad de señal* de -74 dBm y -76 dBm los valores de SFNG son en su mayoría positivos. Estos varían entre 0 y 1 dB, disminuyendo gradualmente a medida que aumentan los valores de *Atenuación*. Se observa que, a la vez que han disminuido los valores de nivel de señal, han mejorado las prestaciones de la configuración SFN respecto a MFN.



**Figura 4**  
**SFNG para señal principal de -74 dBm y de -76 dBm en función de los parámetros Atenuación y Retardo.**

Para valores bajos de nivel de señal (-76 dBm a -70dBm), los valores promedios de SFNG son superiores a los conseguidos con niveles más altos (-68 dBm a -64dBm). Aun cuando los límites de las pruebas de laboratorio no permiten evaluar en niveles extremos, se puede identificar una tendencia al aumento en los valores de SFNG a medida que disminuye el nivel de señal, efecto que se mantiene para una relación de niveles del rayo directo y la señal secundaria menor a 12 dB.

Según se muestra en la Figura 5 los valores de SFNG promedio en función de la atenuación del rayo secundario varían desde -0.3 dB hasta cerca de 1 dB. Para niveles de *Atenuación* entre 0 y 10 dB, los niveles promedios de SFNG, considerando todos los niveles de señal (-76 dBm a -64 dBm), son positivos, es decir, se mejora la calidad de la señal recibida. Esta condición es comparable a zonas reales donde los niveles de señal provenientes de diferentes transmisores son similares. Esto puede suceder por encontrarse el receptor en un punto medio o suficientemente alejado de ambos. Cuando los niveles de *Atenuación* superan los 10 dB, los valores promedio de SFNG resultan ser negativos, lo que evidencia que en condiciones de transmisor dominante las SFNGs son menores, llegando incluso a deteriorarse la calidad de la recepción de la señal respecto a una red MFN.



**Figura 5**  
**SFNG promedio para varios niveles de Atenuación.**

Una vez definido el comportamiento de la SFNG, es necesario identificar en cada *Nivel de intensidad de señal*, la relación entre el valor absoluto del MER calculado y el valor del MER umbral necesario para la recepción. De esta forma, se comprueba si la presencia de valores negativos de SFNG constituye una afectación de la cobertura en estos puntos. Para las

condiciones de evaluación y los equipos empleados este valor umbral fue determinado, siendo igual a 17.6 dB. En la Tabla 1 se exponen los resultados obtenidos.

**Tabla 1**  
**SFNG promedio para los niveles de potencia de señal considerados**

	<i>Nivel de Intensidad de Señal (dBm)</i>						
	<b>-64</b>	<b>-66</b>	<b>-68</b>	<b>-70</b>	<b>-72</b>	<b>-74</b>	<b>-76</b>
<b><math>MER_{SFN\text{mín}}</math> (dB)</b>	27.3	26.7	25.1	22.4	20.4	19.1	18.1
<b>Diferencia respecto al umbral 17.6 dB (dB)</b>	9.7	9.1	7.5	4.8	2.8	1.5	0.5
<b>SFNG promedio</b>	-0.6	-0.4	0.1	0.5	0.5	0.5	0.4

Como se muestra en la Tabla 1, los valores negativos de SFNG no afectan la cobertura, pues en estas condiciones de *Nivel de intensidad de señal* aceptable, los valores de  $MER_{SFN\text{mín}}$  son lo suficientemente altos como para permitirlo. Mientras, en los niveles bajos de señal, los valores positivos de SFNG pueden favorecer la recepción en este punto crítico. De esta forma es posible mejorar la calidad de la señal en zonas críticas, pues, aunque se produce una afectación leve en zonas que reciben un nivel elevado de señal, el deterioro no es significativo para la correcta recepción.

### 3.2- UMBRAL DE VISIBILIDAD.

Las mediciones relativas a este parámetro fueron realizadas para niveles de intensidad de señal del rayo principal de -53 dBm y -85 dBm. En el caso de -53 dBm, que constituye un buen nivel de señal, los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 2, donde 'SÍ' identifica los casos en que se consigue la adecuada visualización de la señal. Aun cuando el receptor debiera ser capaz de estimar y ecualizar correctamente canales cuyos valores de retardo se encuentren dentro del intervalo de guarda, los experimentos muestran un resultado diferente. Los multitrajectos con valores de retardo superiores a 71  $\mu s$  constituyen una notable afectación a la capacidad de recepción de la señal. Solo cuando los valores de *Atenuación* superan los 15 dB es posible la visualización correcta. Esto coincide con los resultados presentados en [4], pues el modo 6 de DTMB requiere de un SNR cercano a los 15 dB para la correcta demodulación de la señal. En este caso la señal proveniente del segundo transmisor es percibida como ruido en el receptor, y siempre que cumpla con este margen no afecta a la recepción.

**Tabla 2**  
**Umbral de visibilidad para un nivel de señal de -53 dBm**

Intensidad de señal = -53 dBm								
<i>Atenuación (dB)/ Retardo (<math>\mu s</math>)</i>	70	71	72	73	74	76	78	80
0	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
14	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
15	SÍ							
16	SÍ							
17	SÍ							
18	SÍ							
19	SÍ							
20	SÍ							

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos al realizar la prueba para un nivel de intensidad del rayo principal de -85 dBm, nivel de sensibilidad del equipo receptor empleado para las mediciones (esto quiere decir que para un rayo directo único de

-86 dBm, este equipo no es capaz de visualizar correctamente la señal). Los resultados muestran que, en estas condiciones, la presencia de cualquier multitrayecto con valor de *Atenuación* inferior a los 15 dB imposibilita la recepción. Para un nivel de señal tan bajo, la presencia de cualquier multitrayecto representa ruido adicional para la etapa de estimación de canal e impide la adecuada ecualización. Cuando los valores de retardo del multitrayecto superan los 71  $\mu$ s, no es suficiente con una *Atenuación* de 15 dB. En este caso, el nivel de la señal secundaria es comparable al piso de ruido del sistema (alrededor de -105 dBm), por lo tanto, este valor deja de ser despreciable [14]. De aquí que, según el experimento, para la correcta visualización de la señal haya que asegurar un margen de al menos 21 dB entre el rayo principal y el secundario.

**Tabla 3**  
**Umbral de visibilidad para un nivel de señal de -85 dBm**

Intensidad de señal = -85 dBm								
<i>Atenuación (dB)/ Retardo (<math>\mu</math>s)</i>	70	71	72	73	74	76	78	80
0	NO							
7	NO							
14	NO							
15	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
16	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
17	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
18	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
19	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
20	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
21	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
22	SÍ							
23	SÍ							
24	SÍ							
25	SÍ							

## 4.- CONCLUSIONES

Aun cuando SFN pudiera ser la solución a la escasa disponibilidad de bandas de frecuencias, es indispensable conocer el comportamiento de los parámetros de la recepción en las zonas de interferencia mutua que en este esquema aparecen, siendo el MER solo uno de ellos. A diferencia de MFN, en SFN es considerable la influencia que produce un transmisor sobre otro en las zonas de solapamiento, por esto, en una etapa previa al despliegue, las mediciones realizadas aportan claridad sobre el efecto de las múltiples señales dentro y fuera del tiempo de duración del intervalo de guarda.

Para el primer grupo de experimentos, orientado al cálculo de la SFNG según el parámetro MER, el nivel de intensidad de la señal principal es evaluado desde -64 dBm hasta -76dBm. En este rango de valores se identifica una tendencia en el comportamiento de la SFNG, pues a medida que disminuyen los niveles de intensidad de la señal principal, las SFNGs obtenidas aumentan. De manera general esto favorece las condiciones de recepción, pues para los niveles de intensidad de la señal principal en que la SFNG es negativa (-64 dBm, -66 dBm), el margen del MER sobre el MER mínimo para la recepción es suficiente para que no se vea afectada la calidad de la visualización. Mientras, en los casos donde el nivel de intensidad de la señal es bajo (-74 dBm, -76 dBm), las SFNGs positivas mejoran las condiciones de recepción. Por otra parte, evaluando el parámetro *Atenuación*, para niveles entre 0 y 10 dB, los niveles promedios de SFNG se encuentran entre 0 dB y 0.9 dB, por tanto, se mejora la calidad de la señal recibida. Esta condición es comparable a zonas reales donde los niveles de señal provenientes de diferentes transmisores son similares. Esto puede suceder por encontrarse el receptor en un punto medio o suficientemente alejado de ambos. Cuando los niveles de *Atenuación* superan los 10 dB, los valores promedio de SFNG empiezan a ser negativos, lo que evidencia que en condiciones de transmisor dominante las SFNGs son menores, llegando incluso a deteriorarse la calidad de la señal respecto a una red MFN. En cuanto a la diferencia de retardos

entre las señales, los mejores resultados de SFNG se obtienen para el caso casi ideal de que ambas señales llegan al receptor en el mismo instante de tiempo. Para el resto de los posibles valores de retardo, la SFNG promedio decae a medida que estos aumentan.

Los resultados obtenidos en el segundo grupo de experimentos muestran cómo las señales con valores de retardo cercano a la duración de la cabecera de trama afectan la recepción de la señal. Cuando el nivel de intensidad de la señal principal es bueno (-53 dBm) basta con asegurar una diferencia, entre los niveles de señal, superior al valor de SNR mínimo necesario para la recepción en ese modo de transmisión. Cuando el nivel de intensidad de la señal principal se acerca al umbral de recepción, la diferencia de nivel entre las señales debe ser mayor, pues el nivel del rayo secundario se acerca al piso de ruido de la medición y este valor deja de ser despreciable.

Estos experimentos muestran la necesidad de realizar un diseño inteligente en SFN, pues parámetros de la transmisión como la distancia entre los transmisores y los receptores, la potencia de transmisión y el nivel de señal relativo en el punto de recepción, tienen importante impacto en la calidad de la recepción.

## REFERENCIAS

1. Iliiev TB, Mihaylov GY, Ivanova EP, Stoyanov IS, Radev DI. 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). 2017. p. 1-4.
2. Gillespie AFR, Trinder SE. Analysis of multiple frequency HF networks versus single frequency token ring networks. En: 2006 10th IET International Conference on Ionospheric Radio Systems and Techniques (IRST 2006). 2006. p. 157-61.
3. Vasileiou PN, Kakoyannis CG, Moraitis N, Marousis A, Kanatas AG, Constantinou P. Planning single frequency networks for broadcasting digital TV. En: 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). 2013. p. 3488-92.
4. Alonso AM, Alonso RM, Nieto GG. Parámetros de calidad de recepción del estándar DTMB en 6MHz. En: 2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON). 2014. p. 381-6.
5. Chinese National Standard\_GB20600-2006\_Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System. Standardization Administration of the People's Republic of China;
6. Santana YH, Betancourt DM, Valdes AIM, Sanchez YH, Nieto GAG, Alonso RM. DTMB monitoring tool based on a commercial set-top box. En: 2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). 2017. p. 1-6.
7. Plets D, Joseph W, Verloock L, Martens L, Angueira P, Arenas JA. Influence of handover mechanisms and transmission delay difference on SFN gain. En: IEEE international Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2012. p. 1-5.
8. Prasad KNRSV, Rath HK, Simha A. Path loss modeling for Indian cities #x2014; Some observations. En: 2014 Twentieth National Conference on Communications (NCC). 2014. p. 1-6.
9. Sato T, Roland B, Ivan P, Pablo A. A comparison between theoretical and practical planning approaches for DVB-T2 single frequency networks. En: 2015 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2015. p. 1-6.
10. Jeon S, Kim J, Han JS, Seo JS. Formulating the Net Gain of SISO-SFN in the Presence of Erasure Effect. IEEE Trans Broadcast. junio de 2015;61(2):323-6.
11. Plets D, Joseph W, Angueira P, Arenas JAJA, Verloock L, Martens L. On the Methodology for Calculating SFN Gain in Digital Broadcast Systems. IEEE Trans Broadcast. septiembre de 2010;56(3):331-9.
12. Plets D, Joseph W, Verloock L, Martens L, Angueira P, Arenas JA. SFN gain in broadcast networks. En: 2011 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). 2011. p. 1-6.
13. Informe UIT-R BT.2035-2. Directrices y técnicas para la evaluación de sistemas de radiodifusión de televisión terrenal incluida la determinación de sus zonas de cobertura. 2009.
14. Keysight Technologies-Spectrum Analysis Basics. Application Note 150. Keysight Technologies; 2016.

## AUTORES

**Dariel Pereira Ruisánchez**, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2017 en la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Desde septiembre de 2017 se desempeña como investigador en **LACETEL**, radicado en La Habana, Cuba. Las principales temáticas de investigación que desarrolla están relacionadas con las comunicaciones digitales y el procesamiento digital de señales en sistemas de radiodifusión. **Email:** [dariel@lacetel.cu](mailto:dariel@lacetel.cu).

**Flavia Alvarez Cesar**: Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2017 en la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Desde septiembre de 2017 se desempeña como investigador en **LACETEL**, radicado en La Habana, Cuba. Las principales temáticas de investigación que desarrolla están relacionadas con las comunicaciones digitales y el procesamiento digital de señales en sistemas de radiodifusión. **Email:** [flavia@lacetel.cu](mailto:flavia@lacetel.cu).

**Darian Pérez Adán**: Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2017 en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Actualmente cursa estudios de Doctorado en la Universidad de La Coruña, España. Las principales temáticas de investigación que desarrolla están relacionadas con las comunicaciones digitales y el procesamiento digital de señales en comunicaciones inalámbricas. **Email:** [d.adan@udc.es](mailto:d.adan@udc.es).

**Ernesto Fontes Pupo**, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2014 en la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Desde septiembre 2014 se desempeña como investigador en el Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones, **LACETEL**, radicado en La Habana, Cuba. Actualmente cursa la X edición de la Maestría en Sistemas Digitales. Las principales temáticas de investigación que desarrolla están relacionadas con las comunicaciones digitales y el procesamiento digital de señales en sistemas de radiodifusión. **Email:** [fontes@lacetel.cu](mailto:fontes@lacetel.cu).

**Reinier Díaz Hernández**, MsC, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2007 en la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Se desempeña como investigador en **LACETEL**, La Habana, Cuba, desde octubre 2009; en agosto de 2016 obtiene la categoría de “Investigador Agregado”. En febrero de 2017 concluye su tesis de Maestría y obtiene la categoría que lo acredita como Máster en Ciencias (MsC). Las principales temáticas de investigación que desarrolla están relacionadas con las comunicaciones digitales y el procesamiento digital de señales en sistemas de radiodifusión. **Email:** [reinier@lacetel.cu](mailto:reinier@lacetel.cu).



Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License