



# Estudio de la interferencia mutua en SFN para DTMB

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

## RESUMEN / ABSTRACT

Este artículo presenta un estudio de la interferencia mutua que se produce en redes de tipo SFN en el estándar DTMB, teniendo en cuenta los resultados de pruebas de laboratorio con receptores tanto comerciales como profesionales. La ineficiencia espectral que impone el actual despliegue de una red MFN representa una limitación a la evolución de las tecnologías de las comunicaciones en Cuba; pero es necesario conocer las capacidades reales de SFN en DTMB antes de planificar una posible transición. La principal restricción para el diseño en SFN es la incapacidad de los receptores comerciales de estimar y ecualizar correctamente los efectos de las señales cuyos retardos son superiores a la duración de la cabecera de la trama. Sin embargo, las señales con retardos inferiores a esta pueden representar ya sea interferencia destructiva o constructiva, y es a ellas a las cuales está orientada esta investigación. En este artículo, son presentadas dos formas de determinar la influencia de esta interferencia mutua en la calidad de las señales de DTMB. En una primera parte, los valores de ganancia SFN son analizados empleando al parámetro MER como medida. Los parámetros *Retardo*, *Atenuación* y *Nivel de Intensidad de la Señal* son variados para emular condiciones de comunicación reales con dos transmisores. En una segunda parte, un grupo de receptores comerciales es evaluado usando la condición de TOV para determinar la necesaria atenuación entre dos señales SFN para mantener la correcta visualización.

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

*This paper presents a study of the self-interference on SFN for DTMB based on the results of laboratory tests with professional and commercial receivers. The spectral inefficiency of the actual MFN represents a constraint for the evolution of the telecommunication technologies on Cuba, but it is necessary to know the real capabilities of SFN on DTMB before a possible transition. The principal restriction for the design of SFN is the incapability of the receivers to estimate and equalize correctly the signals with delays bigger than frame header length. However, signals within this interval could represent either constructive or destructive interference. For that reason, in this paper, two ways to determinate the influence of the auto-interference on the DTMB signal quality are presented. First, the SFN gain values are analyzed using the MER as the measuring parameter. The signal strength and the delay and attenuation between signals are varied to emulate real conditions of a two-transmitter SFN. Second, a group of commercial receivers is evaluated using the TOV condition to determine the necessary attenuation between two SFN signals for keeping the correct visualization.*

**Key words:** DTMB, SFN, MER, Self-Interference.

**“Study of Self-Interference on SFN for DTMB”**

## 1. -INTRODUCCIÓN

DESDE finales de 2013 comienza en Cuba el proceso de despliegue de la Televisión Digital Terrestre (TDT) sobre la base del empleo de la norma DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) en su modo de canalización de 6 MHz. En esta etapa inicial, se definió a MFN (*Multiple Frequency Network*) como configuración para la asignación espectral de las frecuencias de transmisión [1].

Durante esta etapa de transición hacia la transmisión de televisión digital, unida a la ineficiencia espectral que representa el uso de diferentes frecuencias para la TDT en MFN, existe como problemática la ocupación de los canales asignados a las transmisiones analógicas de televisión aún en funcionamiento. El empleo de MFN implica que, tan solo en La Habana, se empleen hasta siete canales de frecuencia para la transmisión de un único canal de televisión digital en formato estándar y uno en alta definición. Teniendo en cuenta que la evolución de las telecomunicaciones avanza hacia el despliegue de nuevos servicios de telefonía móvil y un mayor número de canales de televisión, surge la necesidad creciente de hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico. SFN (*Single Frequency Network*) representa, como principal ventaja, una solución basada en el empleo de la misma frecuencia de transmisión en todos los transmisores de la red [2]. No obstante, el correcto funcionamiento de este modo depende significativamente de un adecuado sincronismo entre los transmisores cuyas áreas de cobertura se solapan. Para la operación en SFN, las señales transmitidas deben estar sincronizadas en tiempo (o con valores de retardo precisamente controlados) y emplear la misma frecuencia y esquema de modulación [1, 3–5].

Aun cuando el paso de MFN a SFN en Cuba pueda ser o no una necesidad inmediata, previo a cualquier etapa de planificación o despliegue de esta red, es necesario comprender cómo influyen en la señal resultante los parámetros que definen a las señales que llegan al receptor. El área de interés para el estudio de SFN es aquella donde se solapan las zonas de cobertura, pues fuera de estas el comportamiento de la señal es similar al de MFN. En estas áreas se produce interferencia mutua entre los transmisores que utilizan la misma frecuencia de transmisión. Interferencia que puede ser tanto constructiva (mejora la calidad de la recepción) como destructiva (empeora o imposibilita la recepción).

La principal limitante de diseño para SFN en DTMB está dada por la incapacidad de los receptores de estimar y ecualizar señales cuya diferencia de retardos es superior a la duración de la PN (*Pseudo-noise sequence*) que compone a la cabecera de trama en sus diferentes formatos: 74  $\mu$ s para PN 420, 105  $\mu$ s para PN 595 y 167  $\mu$ s para PN 945. Por lo tanto, el solapamiento de estas señales constituye directamente interferencia destructiva y debe ser evitado [6–8]. Se encuentran numerosos artículos, incluso para los estándares de TDT más recientes, presentando estrategias de diseño de la red que satisfagan esta necesidad, ya sea redefiniendo las distancias entre los transmisores, los retardos de transmisión relativos entre ellos o la combinación de varios de estos parámetros a través de algoritmos de optimización de múltiples variables [1, 8–17].

La condición de que las señales provenientes de los transmisores en SFN arriben con un retardo inferior a la duración del intervalo de la cabecera de trama, no implica que la interferencia resultante sea constructiva [16]. Es en estos casos donde se analiza el comportamiento de la Ganancia SFN (*SFNG*), y es a ellos a los cuales está orientado la investigación que aquí se presenta. En este trabajo se propone un estudio de la interferencia mutua entre transmisores en configuración SFN mediante el análisis de la propia SFNG y la evaluación del TOV (*Threshold Of Visibility*) en una muestra de receptores comerciales de la norma DTMB.

La SFNG se define como la diferencia de calidad de la señal presente en un punto como resultado del solapamiento de señales en SFN, respecto a la que se recibiese en caso de que solo uno de los transmisores se encontrase activo. La SFNG puede ser positiva cuando se favorece la recepción de la señal o negativa, cuando se perjudica. Sin embargo, no existe un consenso en cuanto a la forma de cuantificar la SFNG. Por ejemplo, en [18] se proponen tres métodos diferentes para el cálculo de la SFNG basados en la suma de los niveles de potencia de las señales provenientes de cada transmisor, en la estimación de la respuesta al impulso del canal y en los valores de SNR respectivamente, sin embargo, se expone que cada uno de los valores de SFNG determinados es diferente. En [19] la SFNG se define como la diferencia entre la ERP (*Effective Radiated Power*) en MFN y la suma de los valores de ERP en los transmisores SFN. En [20] se analiza el comportamiento de las pérdidas de transmisión en ambos escenarios, MFN y SFN, para el estándar ISDB-T. En este se concluye que los valores de estas son inferiores para SFN. En [21] la SFNG es determinada teniendo en cuenta dos parámetros: los niveles resultantes de intensidad de campo eléctrico en el receptor y los valores de CINR (*carrier-to-interference-plus-noise ratio*). En este caso la ganancia en intensidad de campo eléctrico es cerca de 2.3 dB, pero la ganancia en CINR es solo de 0.3 dB. Los autores plantean que estos resultados están basados en el hecho de que la operación en SFN no solo causa un aumento de potencia de la portadora recibida sino también del nivel de interferencia en el receptor. Por tanto, es necesario tener en cuenta que un incremento de la intensidad de campo eléctrico no resulta necesariamente en un valor superior de CINR.

En [22, 23] se plantea que el cálculo de la SFNG basándose en mediciones de intensidad de campo eléctrico no constituye una medida fiable. Estos trabajos presentan al parámetro MER (*Modulation Error Ratio*) como un valor representativo para la SFNG. Debido a que estos dos trabajos solo están orientados a la evaluación en DVB-H, constituye una propuesta interesante el análisis del comportamiento de este parámetro en el estándar DTMB. Aunque los valores de MER están estrechamente relacionados con los niveles de intensidad de señal y con los valores de BER y CNR (*Carrier to Noise Ratio*), es mediante el parámetro MER que mejor se refleja la calidad de la recepción [22–26]. Teniendo en cuenta esto, se

propone, como primera parte de este estudio, un análisis del comportamiento de la SFNG tomando el parámetro MER como medida de la calidad de la señal.

De manera similar a [27], se presenta un segundo grupo de mediciones cuyo objetivo es determinar la influencia directa que tiene la interferencia mutua que se produce en SFN sobre el TOV evaluado en receptores comerciales. Según aparece en [28], 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. En [29–31] se emplea el TOV como criterio subjetivo de fallo. Según [32] la transición entre el TOV y la completa pérdida de la visualización de la señal es de aproximadamente 1 dB.

Tomando como base el análisis de la bibliografía referente al tema, se considera que la combinación de ambos grupos de mediciones constituye una buena aproximación a la interferencia mutua producida en SFN. En el primer grupo de pruebas, con receptores profesionales y el empleo del parámetro MER como medida, se obtiene una amplia visión de la influencia de una señal interferente en la calidad de la señal recibida. En muchos de los casos, estos cambios en la calidad de la señal no serían percibidos por el televidente, sin embargo es necesario tenerlos en cuenta ante un posible despliegue de la red. Por otra parte, el análisis de la interferencia usando receptores comerciales y la condición de TOV como medida, constituye un acercamiento más práctico y cuyos resultados son más cercanos a la percepción del televidente.

Las restantes secciones del trabajo se organizan de la siguiente forma: en la Sección II se presenta un análisis del comportamiento de la SFNG, tomando al parámetro MER como medida de la calidad de la señal. Además, en esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos en este primer grupo de mediciones. En la Sección III se muestran las mediciones de interferencia entre dos transmisores a lo largo de toda la duración del intervalo de guarda y se exponen los resultados obtenidos. Por último, en la Sección IV se presentan las conclusiones del trabajo.

## 2.- GANANCIA SFN BASADA EN MER

El parámetro MER 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 por ruido o interferencia.

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

Según la metodología propuesta en [23] la SFNG se define según aparece en la expresión (2); donde  $MER_{MFN}$  es el valor de MER obtenido en un punto de evaluación cuando solo se encuentra activo el transmisor con el que mayor valor de MER se obtiene, mientras que  $MER_{SFN}$  es el valor de MER que se obtiene bajo la influencia de todos los transmisores sincronizados.

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

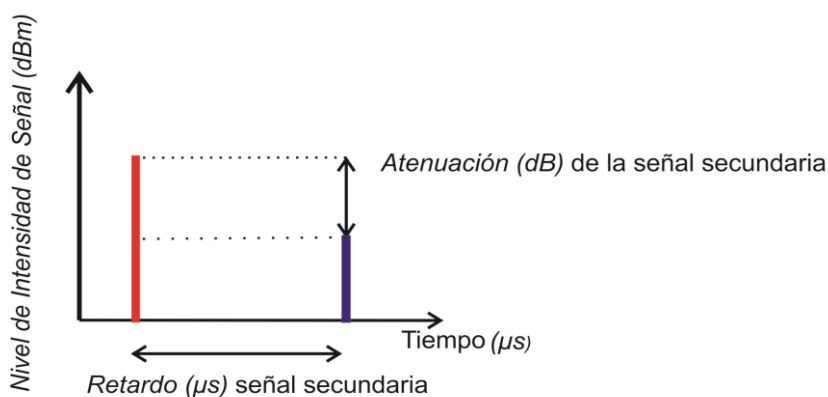
### 2.1- SET DE MEDICIONES Y PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Las mediciones realizadas se basan en la simulación, en condiciones de laboratorio, de las configuraciones MFN y SFN de una red de dos transmisores de DTMB. El objetivo de estas mediciones es determinar la relación entre la SFNG y los parámetros *Retardo*, *Atenuación* y *Nivel de Intensidad de la Señal* que definen a las señales interferentes en SFN. De acuerdo con lo expuesto en [13, 18, 24, 27, 33–35], la calidad de la señal recibida en SFN está determinada por el número de transmisores, los niveles de intensidad de las señales que llegan al receptor y los valores de retardo entre ellas.



**Figura 1**  
**Set de mediciones.**

Los instrumentos que fueron empleados, los cuales se muestran en la Fig. 1, son el BTC (*Broadcast Test Center*) de Rohde & Schwarz y el S7000 TV Analyzer, reproduciendo con el primero la señal de TDT que se transmite en Cuba. La señal se genera de acuerdo a como define el modo 6 de DTMB, donde se usa modulación 64-QAM, 0.6 de razón de código y entrelazado de bits con  $M = 720$  [36]. El segundo equipo es un analizador de señal de televisión digital, capaz de demodular y mostrar parámetros propios de la señal demodulada como el MER. Para el modo MFN se genera una señal única, definida por el parámetro *Nivel de Intensidad de la Señal*. En el caso de SFN, representado en la Fig. 2, se generan dos señales sincronizadas en frecuencia: un rayo principal, cuyo nivel de intensidad define el parámetro *Nivel de Intensidad de la Señal* en la medición, y un rayo secundario, al cual se varían los valores de *Atenuación* y *Retardo* respecto al rayo principal. La simulación de estas señales sin multitrayectos cumple con los objetivos propuestos, pues permite identificar la influencia directa de las señales interferentes sin presencia de afectaciones externas como pudieran ser los multitrayectos o el ruido del canal de comunicación.



**Figura 2**  
**Escenario SFN con dos transmisores sin ecos.**

Aun cuando en [23, 22], se expone que la relación de atenuación entre las señales es el parámetro más influyente en la SFNG, en el presente trabajo se propone evaluar esta ganancia haciendo un barrido uniforme de los parámetros *Atenuación*, *Retardo* y *Nivel de Intensidad de la Señal*. En cuanto al parámetro *Atenuación*, el rango de evaluación es de 0 a 20 dB. Este incluye pares de señales con nivel de intensidad similar, hasta señales cuya diferencia de nivel es superior al valor de SNR mínimo necesario para la correcta recepción en el modo 6 de DTMB: 15 dB según [6, 31, 37]. El parámetro *Retardo* es evaluado para el rango de 0  $\mu s$  a 68  $\mu s$ , de modo tal que el retardo correspondiente a la señal secundaria se encuentra siempre dentro de la duración de la cabecera de trama de la señal principal. El límite de 68  $\mu s$  está determinado por el equipo receptor empleado, pues para valores superiores a este, el mismo es incapaz de realizar la demodulación de la señal.

Los valores de *Nivel de Intensidad de la Señal* también están limitados por las características funcionales de los equipos empleados. No obstante, estos niveles constituyen una muestra representativa para el estudio que se realiza, ya que abarcan desde un nivel aceptable de señal (-64 dBm) hasta un nivel bajo de señal (-78 dBm).

## 2.2- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA SFNG

Cumpliendo con los parámetros anteriormente definidos fueron evaluadas 1584 configuraciones diferentes de estos, las cuales permiten emular un grupo de situaciones reales tales como: transmisor dominante (altos valores de *Atenuación*), punto intermedio entre transmisores (valores bajos de *Atenuación* y valores bajos de *Retardo*), punto cerca del borde de la zona cobertura (bajo *Nivel de Intensidad de la Señal*). En todos los casos se emulan condiciones que representan puntos dentro de la zona de solapamiento de dos transmisores.

En la Fig.3 se muestra el comportamiento de la SFNG en función del parámetro *Atenuación*. Esta gráfica presenta los resultados de promediar, para cada uno de los valores de *Atenuación*, los valores de SFNG que se obtienen variando el *Retardo* de 0  $\mu$ s a 68  $\mu$ s y el *Nivel de Intensidad de la Señal* de -64 dBm a -78 dBm. A medida que aumenta la diferencia entre los niveles de intensidad de las dos señales, disminuye la SFNG promedio conseguida. Se obtienen ganancias positivas solo cuando la diferencia entre los niveles de las señales se encuentra entre 0 y 6 dB. Como se muestra en la Tabla I, a pesar de que los valores mínimos de ganancia son similares en todos los casos (de -1.5 a -1.9 dB), la diferencia está representada en los valores máximos que van desde 1.2 dB, para 20 dB de *Atenuación*, hasta 4.6 dB cuando la *Atenuación* es de 0 dB.

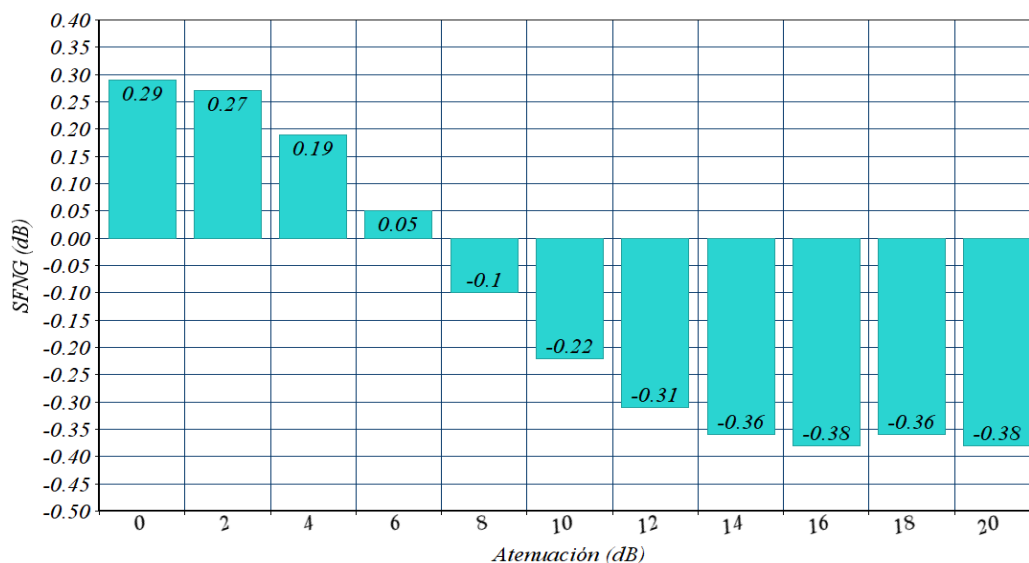


Figura 3

SFNG promedio en función de la *Atenuación*.

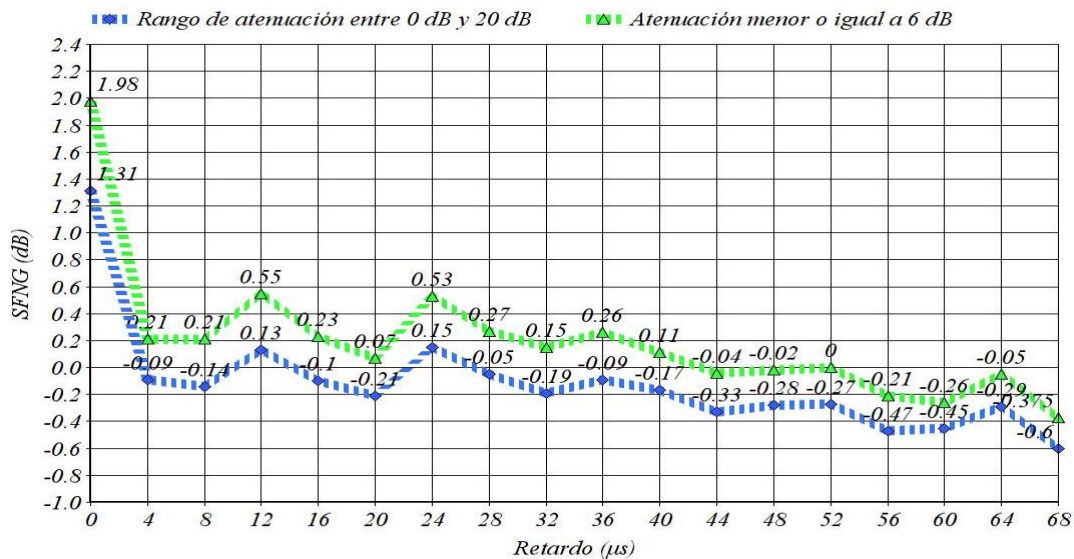
Tabla 1  
 Valores máximos y mínimos de SFNG en función de la *Atenuación*

<i>Atenuación</i> (dB)	Máx SFNG (dB)	Mín SFNG (dB)	<i>Atenuación</i> (dB)	Máx SFNG (dB)	Mín SFNG (dB)
<b>0</b>	4.6	-1.8	<b>12</b>	2.8	-1.9
<b>2</b>	4.6	-1.6	<b>14</b>	2.3	-1.8
<b>4</b>	4.2	-1.6	<b>16</b>	1.9	-1.7
<b>6</b>	3.9	-1.8	<b>18</b>	1.4	-1.6
<b>8</b>	3.7	-1.8	<b>20</b>	1.2	-1.5
<b>10</b>	3.3	-1.8			

Estos resultados coinciden con el comportamiento presentado en [18, 23, 35], donde las mejores posibilidades de SFNG se consiguen para zonas donde los niveles de señal de ambos transmisores son similares. En [23] se plantea que el efecto de la SFNG solo es significativo en las zonas donde los valores de intensidad de campo recibidos son cercanos; los puntos donde uno de los transmisores es dominante no son considerados como puntos con SFNG. En ese caso, para sus condiciones de evaluación, se definen como significantes los puntos donde los valores de *Atenuación* son inferiores a 9 dB, y es para puntos con menos de 3 dB donde se consiguen los valores de SFNG más relevantes. Incluso en [18], donde los métodos para la estimación de la SFNG son diferentes, se expresa que se consiguen mayores valores de ganancia en los bordes de la zona de solapamiento, donde no existe transmisor dominante. En este trabajo se plantea que si los niveles de señal de los transmisores son considerablemente diferentes la SFNG es insignificante [35].

Considerando estos resultados, más allá de perseguir elevados valores de SFNG con el diseño de una red de este tipo, la configuración debe estar orientada a evitar que la diferencia de nivel entre las señales sea elevada en las zonas de solapamiento. De esta forma, se consiguen, como promedio, valores de SFNG positivos y, por tanto, un mejoramiento en la calidad de la señal recibida. Teniendo en cuenta esto, al analizar la SFNG en función del *Nivel de Intensidad de la Señal* así como en función del *Retardo*, se presta especial atención a los puntos donde la *Atenuación* es inferior a los 6 dB, pues a ellos se debe orientar el diseño de la red.

En la Fig. 4 se muestra el comportamiento de la SFNG promedio en función de los valores de *Retardo*. Analizando los resultados, no se define una correspondencia entre los valores de SFNG promedio conseguidos y el *Retardo*, más allá de la existencia de ganancia para el caso casi ideal en el cual ambas señales arriban simultáneamente. Sin embargo, si se analiza la gráfica para los casos en que la *Atenuación* no supera los 6 dB, se observa cómo la SFNG promedio se ve favorecida cuando los valores de *Retardo* son inferiores a los 44  $\mu$ s. Se define que la tendencia de la SFNG es a disminuir a medida que aumenta el valor de *Retardo*, aunque esto no ocurre de forma lineal. El comportamiento representado en la Fig. 2 coincide con lo expuesto en [22], donde se expresa que la diferencia de niveles constituye un mejor predictor de la existencia de SFNG que la diferencia entre los valores de los retardos.



**Figura 4**  
**SFNG promedio en función del Retardo.**

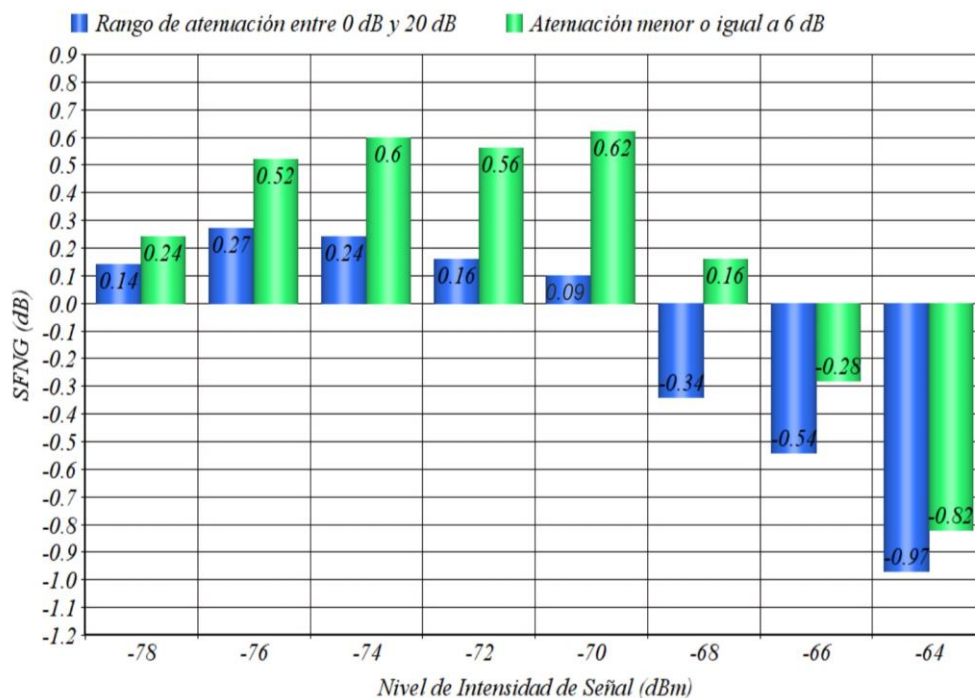
La Tabla II muestra la diferencia en cuanto a SFNG entre los dos grupos de casos analizados. Para todos los valores de *Retardo*, si se restringe a los casos donde la *Atenuación* no supera los 6 dB, se obtiene una mejora en la SFNG. Esta mejora es de 0.32 dB como promedio, y excepto cuando el retardo es de 0  $\mu$ s, oscila  $\pm$  0.1 dB alrededor de este valor. Los resultados muestran que, incluso si solo se tienen en cuenta señales cuyo retardo es inferior a los 74  $\mu$ s de duración de la cabecera de trama, se obtienen valores de SFNG promedio negativos para los casos en que el retardo es superior a los 44  $\mu$ s. Por lo tanto, en el diseño de una red se propone favorecer la no existencia de retardos superiores a media duración de la

cabecera de trama. Esto, más allá de asegurar la existencia de ganancia positiva, favorece la no ocurrencia de ganancia negativa.

**Tabla 2**  
**Diferencia de SFNG promedio en función del Retardo**

Retardo (μs)	Diferencia SFNG (dB)	Retardo (μs)	Diferencia SFNG (dB)
0	0.67	36	0.35
4	0.31	40	0.28
8	0.34	44	0.28
12	0.42	48	0.26
16	0.34	52	0.26
20	0.29	56	0.25
24	0.39	60	0.19
28	0.32	64	0.24
32	0.34	68	0.22

En la Fig. 5 se muestran los valores promedios de SFNG para los diferentes valores de *Nivel de Intensidad de la Señal*. Ya sea teniendo en cuenta todos los casos evaluados, o solo los casos donde la *Atenuación* no es superior a 6 dB, se aprecia un comportamiento similar. Con la configuración SFN se ve favorecida la recepción en los casos donde el nivel de la señal es más bajo. Como se presenta en [23, 34], una de las ventajas de SFN es que se consigue una distribución más homogénea de la calidad de la señal en las zonas de cobertura.



**Figura 5**  
**SFNG promedio en función del Nivel de Intensidad de la Señal.**

Considerando todos los casos analizados, se obtienen valores promedios positivos para aquellos donde el nivel de señal se encuentra próximo al umbral de recepción del equipo de medición (de -78 dBm a -70 dBm). El mayor valor de SFNG promedio es de 0.27 dB, y se obtiene para -76 dBm de *Nivel de Intensidad de la Señal*, superior incluso a los 0.14 dB obtenidos para -78 dBm. Aun cuando la tendencia de la ganancia de SFN es a aumentar a medida que disminuye el *Nivel de*

*Intensidad de la Señal*, cuando los niveles de ambas señales son muy bajos, los valores de SFNG también disminuyen. Es una muestra de esto que el valor de ganancia máxima, 4.6 dB, se consigue para un *Nivel de Intensidad de la Señal* de -70 dBm, donde la ganancia promedio es de apenas 0.1 dB. Por otra parte, cuando los niveles de señal aumentan, la SFNG promedio tiende a ser negativa. Siendo -0.34 dB el valor de SFNG para -68 dBm de *Nivel de Intensidad de la Señal*, este valor continúa disminuyendo hasta -0.97 dB para -64 dBm de nivel de señal.

La Tabla 3, muestra la diferencia entre los valores SFNG promedio que se obtienen cuando se tienen en cuenta solo los casos para los cuales el valor de *Atenuación* no supera los 6 dB, respecto a los valores de SFNG promedio obtenidos al considerar todo el rango de valores de *Atenuación*. Como se comprueba, los valores de SFNG son superiores para cada uno de los valores de *Nivel de Intensidad de la Señal*. Asegurando la condición de no existencia de transmisor dominante, se consigue como promedio una mejora de 0.32 dB en cuanto a SFNG. Los casos más llamativos son para -70 dBm de nivel de señal, donde la SFNG promedio aumenta en 0.52 dB, y -68 dBm, para el cual el aumento es de 0.49 dB, pasando de una ganancia negativa de -0.34 dB a una positiva de 0.15 dB.

**Tabla 3**  
**Diferencia de SFNG promedio en función del Nivel de Intensidad de la Señal**

<i>Nivel de Intensidad de Señal (dBm)</i>	-78	-76	-74	-72	-70	-68	-66	-64
<b>Diferencia SFNG (dB)</b>	0.21	0.26	0.37	0.40	0.52	0.49	0.26	0.15

## 2.3- CONCLUSIONES PARCIALES DEL CÁLCULO DE LA SFNG

El estudio por separado de cada uno de los parámetros de transmisión demuestra que la implementación de SFN favorece solo en un por ciento de los casos la mejoría en la calidad de la recepción de la señal. Sin embargo, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por estos parámetros, se puede diseñar la red de forma tal que sea beneficiosa la interferencia producida en las zonas de solapamiento.

Con el objetivo de hacer un análisis general de los casos evaluados, se dividen de acuerdo a cuatro categorías de valores de MER. Categorías cuyos rangos fueron definidos segmentando el espectro de valores obtenidos durante las mediciones de la siguiente manera: “malo” ( $17.6 \text{ dB} \leq \text{MER} < 20 \text{ dB}$ ), “aceptable” ( $20 \text{ dB} \leq \text{MER} < 23 \text{ dB}$ ), “bueno” ( $23 \leq \text{MER} < 26$ ) y “excelente” ( $26 \text{ dB} \leq \text{MER} \leq 29.4 \text{ dB}$ ). Teniendo en cuenta el comportamiento de la televisión digital donde la señal “se visualiza perfectamente” o “no se visualiza”, estos rangos representan una medida solo de la diferencia respecto al umbral de recepción y no de la propia calidad de la visualización.

La Tabla 4 lista la cantidad de casos de evaluación ubicados en cada una de las categorías para la configuración MFN y luego del paso a SFN, así como la diferencia entre ellas. Se analizan dos grupos, separando el estudio del total de los casos evaluados, del estudio de los casos donde la *Atenuación* no supera los 6 dB. Esto permite definir dos comportamientos diferentes: en el primer grupo se simula una red donde solo se tiene como condición restrictiva que los retardos entre las señales que llegan al receptor sean inferiores a la duración de la cabecera de trama, y en el segundo, una red además diseñada para que los niveles de señal de los transmisores sean similares en las zonas de solapamiento.

Analizando todos los casos evaluados, con la aplicación de SFN la tendencia es hacia la ubicación en las categorías intermedias. La cantidad de casos clasificados como “aceptable” o “bueno” aumentan en un 8.2% y un 13.6% respectivamente; mientras que, la cantidad de clasificados como “malo” o “excelente” disminuyen en cerca de un 5%. Esto comprueba el carácter homogeneizador de SFN favoreciendo la cobertura, pues los valores de MER en estas categorías intermedias son suficientes para asegurar la correcta recepción de la señal. Mientras que los casos que pasan de “excelente” a “bueno” o “aceptable” mantienen una perfecta visualización, el cambio de “malo” a cualquiera de estas categorías puede representar, en condiciones reales, la diferencia entre la visualización o no. En cuanto a ganancia promedio, estos valores son positivos para las dos categorías inferiores, aunque debido a la diversidad de casos evaluados resultan en valores pequeños.



**Tabla 4**  
**Comportamiento de la SFNG por intervalos**

SFNG (dB)	CATEG.	MFN		SFN		DIFERENCIA	
		Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%
<b>Todos los casos</b>							
0.21	<b>Malo</b>	594	37.5	563	35.5	-31	-5.2*
0.05	<b>Aceptable</b>	330	20.8	357	22.5	27	8.2
-0.19	<b>Bueno</b>	198	12.5	225	14.2	27	13.6
-0.39	<b>Excelente</b>	462	29.2	439	27.2	-23	-5.0
<b>Atenuación ≤ 6 dB</b>							
0.46	<b>Malo</b>	216	37.5	190	33.0	-26	-12.0*
0.47	<b>Aceptable</b>	120	20.	111	19.3	-9	-7.5*
0.33	<b>Bueno</b>	72	12.5	98	17.0	26	36.1
-0.38	<b>Excelente</b>	168	29.2	177	30.7	9	5.4

\*Valores negativos identifican una disminución en la cantidad de casos que caen dentro de esta categoría.

Si se analiza el grupo de casos cuyo valor de *Atenuación* no supera los 6 dB, la tendencia es hacia la ubicación en las dos categorías superiores. Siendo notable el aumento en un 36% de la cantidad de casos clasificados como “bueno” y la disminución en un 12% de los clasificados como “malo”. Resultando lo más relevante en este sentido que, de los 31 del total de casos que abandonan la categoría de “malo”, 26 de ellos lo hacen cuando el valor de la *Atenuación* no supera los 6 dB. Los valores de ganancia promedio obtenidos bajo esta condición son superiores, incluso en los casos clasificados como “excelente”, donde la ganancia promedio es negativa.

De manera general, los resultados muestran cómo la implementación de SFN favorece la recepción en los casos donde MFN presenta peores condiciones. En los casos donde la calidad de la señal es suficientemente elevada puede empeorar la calidad de la recepción, sin que esto llegue a perjudicar la correcta visualización.

### 3.- INTERFERENCIA Y TOV

Como complemento al grupo de mediciones anterior, donde se emplea un receptor profesional para la recepción y demodulación de la señal, se propone esta segunda prueba con equipos receptores comerciales. Se utilizan en este caso cinco STB (Set-top Box) evaluados y aprobados para su venta en Cuba según [36]. Estos receptores, de ahora en adelante: R1, R2, R3, R4 y R5.

La utilización del TOV como criterio subjetivo de fallo permite analizar la influencia que tiene la auto-interferencia en SFN en receptores no profesionales. A diferencia del grupo de mediciones anteriores, este segundo grupo se basa en la determinación de un punto crítico de *Atenuación*, a partir del cual la interferencia de la señal secundaria no afecta la correcta visualización. A pesar de que los resultados de estas mediciones puedan constituir una muestra menos informativa, es necesario el estudio de la capacidad real de los receptores que actualmente se comercializan para procesar señales auto-interferentes en un posible escenario SFN.

### 3.1.- SET DE MEDICIONES Y PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Para la generación de la señales de prueba se emplea el BTC con la configuración previamente definida. De igual modo se emula una SFN de dos transmisores, generando una señal principal con determinado *Nivel de Intensidad de la Señal*, y una señal secundaria que está definida por sus valores de *Atenuación* y *Retardo* respecto a la primera. Esta señal secundaria es considerada como señal interferente, y el objetivo de las mediciones es definir los valores mínimos de atenuación respecto a la señal principal (*Atenuación<sub>mín</sub>*), necesarios para mantener la perfecta visualización en cada uno de los receptores. Para determinar el valor de *Atenuación<sub>mín</sub>* en cada caso, se disminuye el valor de *Atenuación* entre las señales hasta alcanzar la condición de TOV. Se evalúan valores de *Nivel de Intensidad de la Señal* que permiten simular dos condiciones de recepción muy diferentes: -53 dBm y -85 dBm. El primer valor constituye un nivel de señal moderado según aparece en [28], y es el definido en [36] para la evaluación de los equipos receptores comerciales de TVD. El segundo valor se encuentra cercano a los valores umbrales de recepción de los equipos, y por tanto se considera un nivel de señal muy débil

[36]. Los valores de *Retardo* evaluados van desde  $-92 \mu\text{s}$  hasta  $92 \mu\text{s}$ . Los valores positivos de *Retardo* representan escenarios de post-eco y los negativos de pre-eco, en los cuales la señal principal se encuentra retardada respecto a la secundaria. Según [27], los receptores comerciales para ATSC evaluados se ven más afectados por la presencia de señales interferentes en condiciones de pre-eco. Este rango de valores de *Retardo* también incluye señales interferentes fuera del intervalo de duración de la cabecera de trama ( $74 \mu\text{s}$  para la PN 420 utilizada), lo cual permite extender el análisis anteriormente presentado.

### 3.2.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DE ATENUACIÓN MÍNIMA

La Fig. 6 muestra los resultados obtenidos para un *Nivel de Intensidad de la Señal* principal de  $-53 \text{ dBm}$ . Para este nivel de señal alejado del umbral de recepción, todos los equipos receptores evaluados son capaces de mantener la correcta visualización, para una  $Atenuación_{min}$  de  $0 \text{ dB}$ , en toda la longitud de la cabecera de trama. Es decir, tanto para escenarios de post-eco como escenarios de pre-eco, se logra la correcta demodulación incluso cuando el nivel de la señal interferente es igual al de la señal principal.

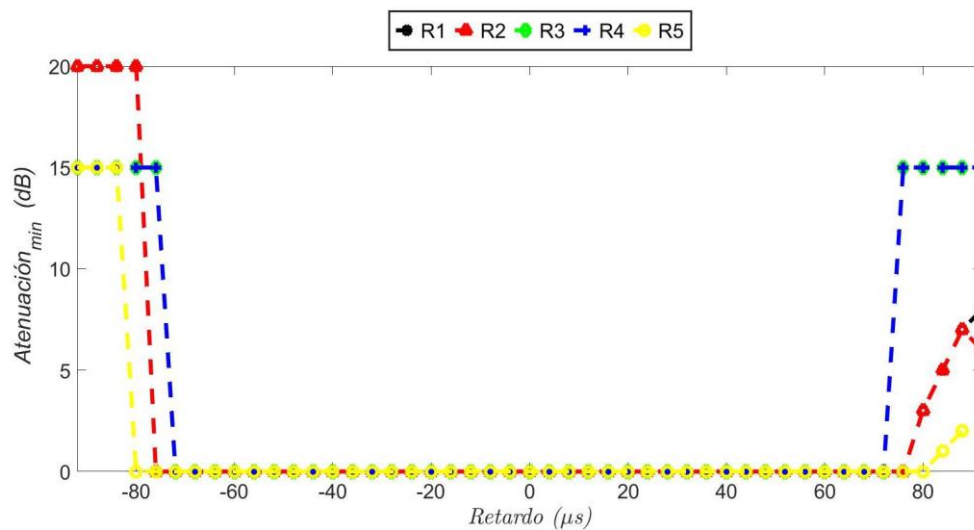


Figura 6

Valores de  $Atenuación_{min}$  para  $-53 \text{ dBm}$  de *Nivel de Intensidad de Señal*.

Para los valores de *Retardo* superiores al intervalo de duración de la cabecera de trama, el comportamiento de los STB es diferente. R5 es el receptor que mejor desempeño presenta, pues hasta los  $80 \mu\text{s}$  de *Retardo* el valor de  $Atenuación_{min}$  es igual a  $0 \text{ dB}$ , y hasta los  $92 \mu\text{s}$  que se evalúan, este valor solo aumenta hasta los  $2 \text{ dB}$ . Por otra parte, R3 y R4 son los receptores con peor desempeño pues, tanto en condiciones de pre-eco como de post-eco, cuando el valor de *Retardo* es superior a los  $76 \mu\text{s}$  requieren una  $Atenuación_{min}$  de  $15 \text{ dB}$ . En R1 y R2,  $Atenuación_{min}$  tiene valor de  $0 \text{ dB}$  hasta los  $80 \mu\text{s}$  de retardo. Aunque estos dos receptores presentan mejor desempeño que R3 y R4 en condiciones de post-eco, en condiciones de pre-eco requieren una atenuación de la señal secundaria de hasta  $20 \text{ dB}$ , siendo un valor superior incluso al valor de SNR mínimo necesario para la correcta recepción en el modo 6 de DTMB [29, 31].

Como muestra la Fig. 7, para  $-85 \text{ dBm}$  de *Nivel de Intensidad de la Señal* principal el comportamiento de los receptores es completamente diferente. Cuando el nivel de la señal se encuentra cerca del umbral de recepción de los equipos, cualquier interferencia constituye un ruido adicional para la etapa de estimación de canal que impide la correcta ecualización de la señal. En todos los casos, solo se alcanza  $Atenuación_{min}$  de  $0 \text{ dB}$  cuando el valor de *Retardo* entre las señales es de  $0 \mu\text{s}$ .

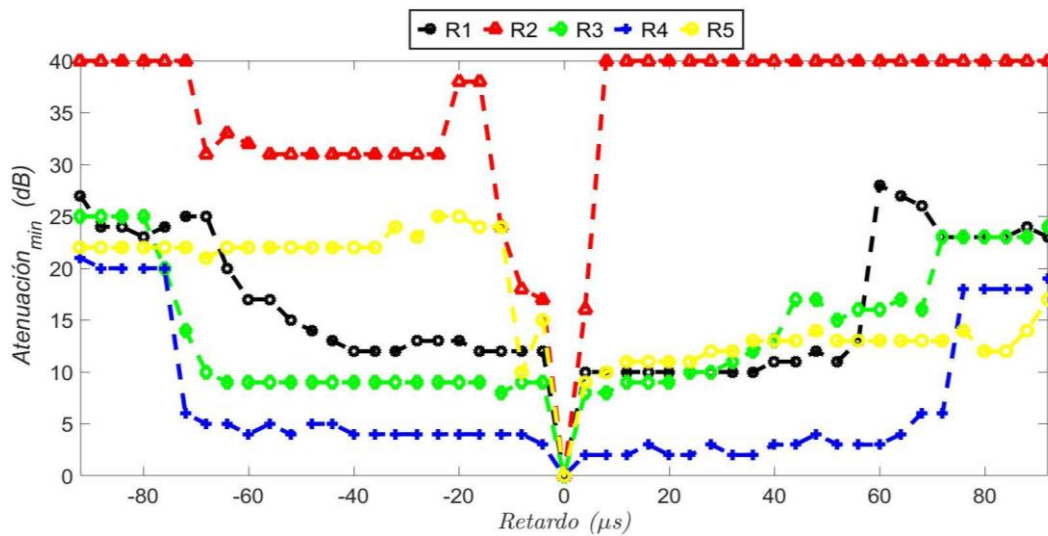


Figura 7

Valores de  $Atenuación_{min}$  para  $-85$  dBm de Nivel de Intensidad de Señal.

Con este nivel de señal, R4 es el receptor que mejor desempeño presenta, pues para valores de *Retardo* inferiores a la duración de la cabecera de trama, el máximo de  $Atenuación_{min}$  que se obtiene es de 6 dB. Para retardos fuera de la cabecera de trama, los valores de  $Atenuación_{min}$  en R4 aumentan hasta cerca de los 20 dB. El receptor con peor desempeño en estas condiciones es R2, pues en la mayor parte de la evaluación sus valores de  $Atenuación_{min}$  superan los 30 dB. El resto de los receptores presenta un desempeño intermedio entre estos dos casos.

Aun cuando se observan diferencias entre los comportamientos para condiciones de pre-eco y post-eco, estas no son tan marcadas como las que presentan los receptores para ATSC en [27]. En los receptores para DTMB evaluados, la influencia de la señal interferente en condiciones de pre-eco es menos agresiva para la recepción de la señal. Para este análisis, se define al parámetro  $\Delta Atenuación_{min}$  como la diferencia entre los valores de  $Atenuación_{min}$  en pre-eco y post-eco respectivamente. Los valores obtenidos evaluando este parámetro para todos los valores modulares de *Retardo* se muestra en las figuras 8 y 9.

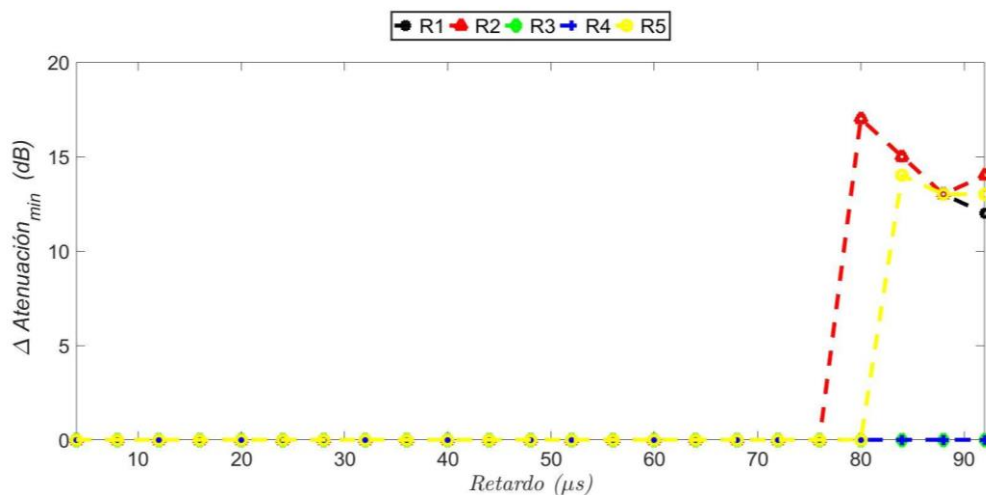


Figura 8

Valores de  $\Delta Atenuación_{min}$  para  $-53$  dBm de Nivel de Intensidad de Señal.

Para -53 dBm de *Nivel de Intensidad de la Señal*, los valores de  $\Delta Atenuación_{mín}$  solo difieren de 0 dB cuando el *Retardo* es superior a la duración de la cabecera de trama. Tanto para condiciones de pre-eco como de post-eco el desempeño de los receptores es similar mientras las señales interferentes no lleguen con más 74  $\mu s$  (para PN 420) de diferencia entre ellas.

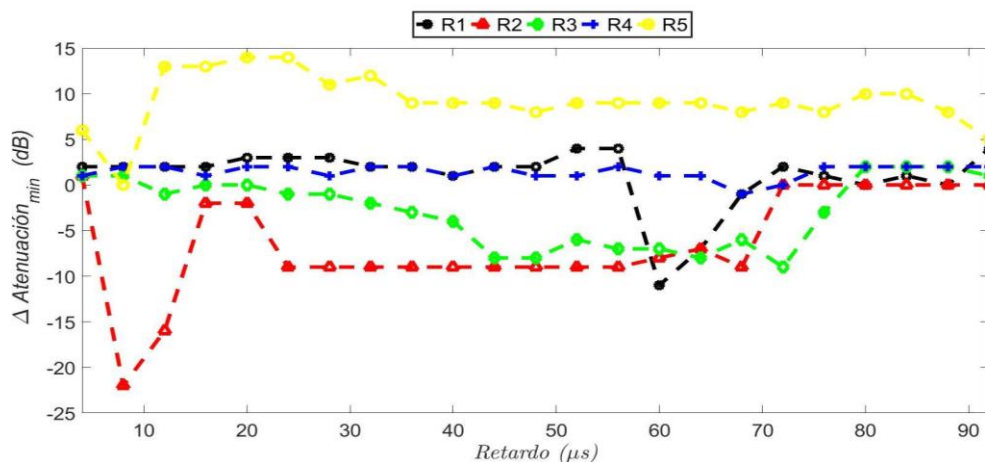


Figura 9

Valores de  $\Delta Atenuación_{mín}$  para -85 dBm de *Nivel de Intensidad de Señal*.

Para -85 dBm de *Nivel de Intensidad de la Señal*, el comportamiento del parámetro  $\Delta Atenuación_{mín}$  es diferente en cada receptor evaluado. Los casos extremos son R2, donde la *Atenuación\_{mín}* en condiciones de post-eco llega a ser hasta 22 dB superior, y R5, donde la *Atenuación\_{mín}* en condiciones de pre-eco es superior para la mayoría de los valores de *Retardo* evaluados.

## 4.- CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un análisis del comportamiento de la auto-interferencia en SFN para DTMB basado en los resultados de pruebas de laboratorio con equipos receptores profesionales y comerciales. La primera parte de este estudio está orientada al cálculo de la SFNG, tomando al parámetro MER como medida de la calidad de la señal recibida. Los resultados obtenidos muestran que a medida que aumenta la diferencia entre los niveles de intensidad de las dos señales, disminuye la SFNG promedio conseguida. En las condiciones de evaluación definidas, se obtienen ganancias positivas solo cuando la diferencia entre los niveles de las señales se encuentra entre 0 y 6 dB. Por tanto, durante el diseño de una SFN, su configuración debe estar orientada a evitar que la diferencia de nivel entre las señales sea elevada en las zonas de solapamiento. Evaluando la SFNG en función del *Nivel de Intensidad de la Señal*, se obtienen valores promedios positivos para aquellos casos donde el nivel de la señal principal se encuentra próximo al umbral de recepción del equipo de medición. Con el empleo de SFN, se favorece la mejora de la calidad de la recepción en los puntos donde el nivel de señal es más bajo, mientras que se aprecia un deterioro de la misma en los puntos con condición de transmisor dominante. De manera general no se define una correspondencia lineal entre la SFNG y el valor de *Retardo* entre las señales. Sin embargo, si solo se tienen en cuenta los casos donde la *Atenuación* no supera los 6 dB, los valores promedios de SFNG son positivos para valores de *Retardo* inferiores a 44  $\mu s$ .

El estudio de la auto-interferencia basado en la determinación de la condición de TOV constituye una alternativa para el análisis con receptores no profesionales. De este modo, los receptores comerciales fueron evaluados para valores de *Retardo* inferiores y superiores a la duración de la cabecera de trama. Aunque el comportamiento ante la interferencia es diferente para todos los equipos, de manera general, cuando el nivel de la señal principal es moderado (-53 dBm) la presencia de una señal interferente dentro del intervalo de duración de la cabecera de trama, nunca perjudica la correcta visualización. Sin embargo, cuando los valores de *Retardo* superan la duración de la cabecera de trama, los valores de *Atenuación\_{mín}* varían entre 0 dB y 20 dB para los diferentes equipos. Cuando el nivel de señal está cerca del umbral de recepción de los equipos (-85 dBm), la presencia de una señal interferente con cualquier valor de *Retardo* constituye un ruido adicional para la etapa de estimación de canal que impide la correcta ecualización de la señal, y por tanto, su visualización. Solo cuando el valor de *Retardo* es 0  $\mu s$  no se afecta la recepción. De acuerdo con estos resultados, en los casos críticos donde el *Nivel de Intensidad de la Señal* difiere en menos de 1 dB del umbral de recepción, no existe SFNG en los equipos receptores comerciales.

## REFERENCIAS

1. International Telecommunication Union, Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementation. 2016.
2. Chinese National Standard - Framing Structure. Channel Coding and Modulation For Digital Television Terrestrial Broadcasting System. 2006.
3. El-Hajjar M., Hanzo L. A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2013; 15 (4): 1924-1949.
4. Iliev T. B., Mihaylov G. Y., Ivanova E. P., Stoyanov I. S., Radev D. I. Experimental study of the basic parameters and the field strength of a television transmitter in the single frequency network (SFN). 27th International Conference Radioelektronika. 2017. p. 1-4.
5. Pan C., Chen Y., Li X., Wang J., Yu H. A New Single Frequency Network Scheme for Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2018.
6. Ding W., Pan C., Yang F., Yan K. The Modeling and Prediction of the Receive Quality under Single Frequency Networks for DTMB System. 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Wuhan; China; 2011.
7. Anedda M., Anedda A., Murroni M. Coverage optimization for DVB-T2 SFNs using ITU-R P.1546 and ITU-R P.1812. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2015. p. 1-5.
8. Yan K., Ding W., Zhang L., Yin Y., Yang F., Pan C. Measurement and prediction of DTMB reception quality in single frequency networks. IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. Istanbul; Turkey; 2011.
9. Guan Y., Dai Y., Zhang W., Lin D., He D. DTMB Application in Shanghai SFN Transmission Network,. IEEE Transactions on Broadcasting. 2013; 59 (1): 183-187.
10. Caiwei L., Xiaolin Z. GA-Based Green SFN Planning for DTMB. IEEE International Conference on Green Computing and Communications. 2013. p. 51-58.
11. Lanza M., Gutierrez A.L., Pérez J. R, Morgade J., Domingo M., Valle L., et al. Coverage Optimization and Power Reduction in SFN Using Simulated Annealing. IEEE Transactions on Broadcasting. 2014; 60 (3): 474-485.
12. Zavaleta R. A., Huerta J., Hernandez M. A., Matias J. M. Planning laboratory tests and field trials for evaluating ATSC DTV on SFN networks in Mexico City. 7th IEEE Latin-American Conference on Communications. 2015. p. 1-6.
13. Anfruns R. E., Torres-Inostroza S. N., Pradenas L., Lopez J. P., Verdeja J. B. Maximizing coverage of a Single Frequency Network for digital television services. IEEE Latin America Transactions. 2012; 10 (4): 1881-1888.
14. Hernandez M. A., Velez M., Matias J. M., Angueira P. Coverage Analysis of ATSC 3.0 Transition Based on SFN. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. 2018. p. 1-5.
15. Li W., Wu Y., Zhang L., Salehian K., Lafleche S., He D., et al. Using LDM to Achieve Seamless Local Service Insertion and Local Program Coverage in SFN Environment. IEEE Transactions on Broadcasting. 2017; 63 (1): 250-259.

16. Yan K., Yang F., Pan C., Song J. Reception Quality Prediction in a Single Frequency Network for the DTMB Standard. *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2012; 58 (4): 629–636.
17. Moraitis N., Vasileiou P. N., Kakoyiannis C. G., Marousis A., Kanatas A. G., Constantinou P. Radio Planning of Single-Frequency Networks for Broadcasting Digital TV in Mixed-Terrain Regions. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2014; 56 (6): 123–141.
18. Kroon E., Penttinen J. T. J. SFN gain estimations based on frequency response. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. Shanghai; China; 2010. p. 1-6.
19. Yixing L., Qi Z. The study for parameter configuration of the reference network of Chinese digital television. *4th International Congress on Image and Signal Processing*. Shanghai; China; 2011. p. 322-326.
20. Guerra M. V., Rodriguez C. V. R., y Mello L. da S. SFN channel measurements in Brazil. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*. 2013; 12 (1).
21. Plets D., Verloock L., Joseph W., Martens L., Deventer E., Gauderis H. Weighing the benefits and drawbacks of an SFN by comparing gain and interference caused by SFN operation. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. Bilbao; Spain; 2009. p. 1–5.
22. Plets D., Joseph W., Verloock L., Martens L., Angueira P., Arenas J. A. Influence of handover mechanisms and transmission delay difference on SFN gain. *IEEE international Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. 2012. p. 1-5.
23. Plets D., Joseph W., Angueira P., Arenas J. A., Verloock L., Martens L. On the Methodology for Calculating SFN Gain in Digital Broadcast Systems. *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2010; 56 (3): 331-339.
24. Plets D., Joseph W., Verloock L., Martens L., Angueira P., Arenas J. A. SFN gain in broadcast networks. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. 2011. p. 1-6.
25. Jeon S., Kim S., Kim J.-D., Yim Z., Seo J.-S. Field trial results of 4K-UHD over DVB-T2 single frequency network in Republic of Korea, *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*, 2016, p. 1-4.
26. Jeon S., Kim J., Shi Y., Kim S., Hahm S., Suh Y., et al. Preliminary field trial results for DVB-T2 indoor reception in Seoul: A single transmitter case. *International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. 2017. p. 1-5.
27. Hernandez M. A., Huerta J., Garcia V., Matias J. M. Laboratory Tests of Single Frequency Networks with ATSC on Commercial Receivers. *IEEE Latin America Transactions*. 2018; 16 (3): 754-763.
28. 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.
29. Alonso R. M., Pupo E. F., Pan C. Co-channel and adjacent channel interference in DTMB with 6MHz channel bandwidth. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. 2015. p. 1-5.
30. Salehian K., Wu Yiyang, Gagnon G. Performance of the Consumer ATSC-DTV Receivers in the Presence of Single or Double Interference on Adjacent/Taboo Channels. *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2010; 56 (1): 1-8.
31. Alonso A. M., Alonso R. M., Nieto G. G. Parámetros de calidad de recepción del estándar DTMB en 6MHz. *IEEE Biennial Congress of Argentina*. 2014. p. 381-386.

32. Martin S. R. RF Performance of DTV Converter Boxes—An Overview of FCC Measurements. *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2010; 56 (4): 441-451.
33. Karyakin V. L. Evaluation of efficiency of fighting with interference distortion in Single-Frequency Networks of TV broadcasting. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications*. Kazan; Russia; 2017. p. 1-3.
34. Morgade J., Anguiera P., Arrinda A., Pfeffer R. Steinmann V., Frank J., et al., SFN-SISO and SFN-MISO Gain Performance Analysis for DVB-T2 Network Planning. *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2014; 60 (2): 272-286.
35. Ruckveratham B., Promwong S. Evaluation of SFN gain for DVB-T2. *International Conference on Digital Arts, Media and Technology*. 2017. p. 85-88.
36. RESOLUCION No. 79/2018, MINCOM. La Habana; abril de 2018.
37. Song J., Yang Z., Gong K., Pan C., Wang J., Wu Y., et al. Technical Review on Chinese Digital Terrestrial Television Broadcasting Standard and Measurements on Some Working Modes. *IEEE Transactions on Broadcasting*. 2007; 53 (1): 1–7.

## CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores manifestó la existencia de posibles conflictos de intereses que debieran ser declarados en relación con este artículo.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Todos los autores contribuyeron de igual manera para la realización del presente artículo.

## 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. Actualmente cursa la XI 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. **Correo electrónico:** [dariel@lacetel.cu](mailto:dariel@lacetel.cu). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0278-1499>

**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. Actualmente cursa la XI 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. **Correo electrónico:** [flavia@lacetel.cu](mailto:flavia@lacetel.cu). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1308-3285>

**Darian Pérez Adán**: Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2017 en la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE). Actualmente cursa el doctorado en la Universidad de A Coruña, España. Las principales temáticas de investigación que desarrolla están relacionadas con las comunicaciones digitales y el procesamiento digital de señales en comunicaciones inalámbricas. **Correo electrónico:** [darlenin232323@gmail.com](mailto:darlenin232323@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6358-319X>

**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. Desde 2017, es Profesor Instructor en el Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, CUJAE. Las principales temáticas de investigación que desarrolla están relacionadas con las comunicaciones digitales y el procesamiento

digital de señales en sistemas de radiodifusión. **Correo electrónico:** [fontes@lacetel.cu](mailto:fontes@lacetel.cu). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1715-6015>

**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. **Correo electrónico:** [reinier@lacetel.cu](mailto:reinier@lacetel.cu). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9439-4714>



Esta revista se publica bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional