



## Telecomunicaciones y Electrónica

### Diseño e Implementación de un Set de Mediciones de Red de Frecuencia Única para DTMB

#### *Design and Implementation of a Single Frequency Network Measurement Set for DTMB*

Arley Coto Guerra<sup>1</sup>, Laura Quesada del Busto<sup>2</sup>, Reinier Díaz Hernández<sup>3</sup>, Rufino Cabrera Álvarez<sup>4</sup>

- 1- Arley Coto Guerra. *LACETEL*, Cuba. E-mail: arley@lacetel.cu
- 2- Laura Quesada del Busto. *LACETEL*, Cuba. E-mail: laura@lacetel.cu
- 3- Reinier Díaz Hernández. *LACETEL*, Cuba. E-mail: reinier@lacetel.cu
- 4- Rufino Cabrera Álvarez. *LACETEL*. Cuba. E-mail: rufino@lacetel.cu

**Resumen:** La simultaneidad de las transmisiones de televisión analógica y digital en Cuba han provocado la saturación del espectro radioeléctrico. Una de las alternativas de estudio para solucionar este problema es el despliegue de Redes de Frecuencia Única. Estas redes presentan una planificación más compleja que las de múltiples frecuencias, debido a la sincronización necesaria entre transmisores para disminuir la posibilidad de interferencia propia. Es por ello, que previo a su puesta en marcha son más necesarias aún, simulaciones, pruebas de laboratorio y de campo. Esta tecnología cuenta con años de explotación, pero se carece de estudios documentados acerca del equipamiento, sincronización y configuración del sistema empleando el estándar DTMB<sup>1</sup>. El presente trabajo tiene como objetivo implementar un set de mediciones que permita evaluar el comportamiento de una SFN<sup>2</sup> de dos transmisores para DTMB. En él, se caracterizan los equipos que conforman las SFN, así como los respectivos parámetros de configuración. Se describe el diseño y la implementación de un set de mediciones, que permite modelar SFN de dos transmisores, sin contemplar la etapa de distribución de flujos MPEG. Para validar el correcto funcionamiento del set diseñado, se realizaron dos pruebas de

---

<sup>1</sup> Digital Terrestrial Multimedia Broadcast.

<sup>2</sup> Redes de Frecuencia Única (Single Frequency Networks, SFN).



laboratorio: "medición de la duración del intervalo de guarda" y "obtención del umbral señal/interferencia para un eco fuera del intervalo de guarda". Los resultados obtenidos cumplieron satisfactoriamente con los valores establecidos por el estándar chino GB/T 26686-2011<sup>3</sup>.

**Palabras Clave:** Redes de Frecuencia Única; Televisión Digital; DTMB; Set de Mediciones.

***Abstract:** The simultaneity of the analogue and digital television transmissions in Cuba have caused the saturation of the radio spectrum. One of the study alternatives to solve this problem is the deployment of Single Frequency Networks. These networks present more complex planning than the current multi frequency, due to the necessary synchronization between transmitters to reduce the possibility of own interference. That is why prior to its implementation are even more necessary, simulations, laboratory and field tests. This technology has been employed since many years, but there are no documented studies on the equipment, synchronization, and configuration of the system using for DTMB standard. The aim of this work is to implement a measurement set that allows the evaluation of SFN behaviour for DTMB. In this paper, the equipment used to make up the SFN is characterized, as well as the respective configuration parameters. The design and implementation of a measurement set, which allows the modelling of SFN with two transmitters, are described, without considering the MPEG flow distribution stage. We carried out two laboratory tests to validate the correct functioning of the designed set: "measurement of the guard interval duration" and "obtaining the signal/interference threshold for an echo outside of the guard interval". The results obtained satisfactorily fulfilled the values established by GB/T 26686-2011 Chinese standard.*

**Keywords:** Single Frequency Networks; Digital Television; DTMB; Measurement Set.

---

<sup>3</sup> General Specification for the Digital Terrestrial Television Receivers



## 1. Introducción

Con el objetivo de anticiparse a la inevitable obsolescencia tecnológica, Cuba comienza el despliegue de la Televisión Digital Terrestre y adopta el estándar DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast), de origen chino, para la transmisión de este servicio. La simultaneidad de las transmisiones de televisión analógica y digital han motivado la escasez de frecuencias libres del espectro en la isla, lo que obstaculiza el desarrollo del programa de televisión digital cubano, así como la implementación de nuevos servicios necesarios para el progreso y la informatización de la sociedad que también requieren un espacio en dicho espectro. El despliegue de Redes de Frecuencia Única podría ser una solución alternativa al problema anteriormente planteado.

Las redes de múltiples frecuencias son utilizadas comúnmente para brindar cobertura a un área de gran extensión en los sistemas tradicionales de radiodifusión de televisión digital terrestre. Sin embargo, el empleo de MFN<sup>4</sup> provoca un gran desperdicio de valiosos recursos del espectro radioeléctrico. La atención a SFN en DTTB<sup>5</sup> se ha incrementado debido a la alta eficiencia en la utilización del espectro (Mattsson, 2005). SFN se refiere al método de red en cual, múltiples transmisores ubicados en distintas áreas, envían la misma información con el mismo modo de modulación/codificación al mismo tiempo y en el mismo canal de radiofrecuencia. El requisito primordial de SFN es que todos los transmisores deben estar estrictamente sincronizados, incluyendo sincronización bit a bit, en tiempo y frecuencia.

Para transmitir el TS hacia todos los transmisores se utiliza una red de distribución de programas. Normalmente, fibra óptica, red SDH, microonda digital, "high-speed Ethernet" o enlace satelital son empleadas como red de distribución de programas. La mayoría de las SFN de DTTB desplegadas adoptan fibra como la red principal de distribución por razones de capacidad.

Las Redes de Frecuencia Única cuentan con años de explotación en diversos países (UIT-R, 2017; Union, 2005), pero representan una tecnología novedosa para Cuba. *LACETEL*, Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones, se encuentra insertado en el estudio de las SFN y ha comenzado el desarrollo de un proyecto de investigación sobre

---

<sup>4</sup> Redes de Múltiples Frecuencia (Multi Frequency Networks, MFN).

<sup>5</sup> Digital Terrestrial Television Broadcasting.



el tema. Como parte de este proyecto se necesitan realizar pruebas de laboratorio y de campo para validar el comportamiento de las SFN para DTMB. El objetivo de este trabajo es implementar un set de mediciones que permita evaluar, a nivel de laboratorio, el comportamiento de SFN para DTMB.

### **1.1 Principio de funcionamiento de las SFN**

El principio de funcionamiento de una SFN consiste en que los receptores de TVD consideren las señales de los distintos transmisores como recibidas por propagación multitrayecto. Para ello, se utiliza el tiempo de la cabecera de trama como intervalo de guarda y su duración, depende de la modulación empleada. Todas las señales que arriban al receptor antes de finalizar el tiempo de guarda son consideradas señales constructivas, en caso contrario, son tratadas como interferencias. Por esta razón, en cada transmisor se debe modular la misma señal de manera sincrónica en la misma frecuencia de operación. Si las señales de transmisores secundarios distantes o señales multitrayecto sufren un retardo mayor que el tiempo de intervalo de guarda, serán consideradas como señales interferentes en lugar de señales constructivas, por lo que es necesario tener muy en cuenta la duración del tiempo de la Cabecera de Trama y las condiciones de propagación para evitar este inconveniente (Chinese Radio, 2008a). Es decir, las señales de transmisores secundarios que arriban a los receptores con un tiempo mayor que el tiempo de la Cabecera de Trama deben estar lo suficientemente atenuadas para no provocar interferencias fatales. También, para reducir la interferencia dentro de la red, es posible ajustar el tiempo en el que una trama de señal específica se emite desde cada transmisor de la red: el tiempo relativo de transmisión. La optimización de este retardo permite que las señales de los transmisores primarios y secundarios lleguen al receptor dentro del intervalo de guarda, siendo entonces constructivas en lugar de destructivas.

Para todos los transmisores en una SFN debe existir una referencia absoluta de tiempo con el objetivo de asegurar la sincronización de las diferentes señales. Esta fuente de referencia provee una marca de tiempo para todos los transmisores de la red. En una SFN, cada modulador es alimentado por el multiplexor a través de una red de distribución, la cual introduce un retardo de tiempo que varía de un sitio transmisor a otro. Consecuentemente, ninguna referencia de tiempo puede ser suministrada a los transmisores desde el multiplexor. Existe la necesidad de un reloj externo, capaz de brindar a cada sitio una referencia temporal con una precisión mayor de  $1\mu\text{s}$ . Los



receptores GPS proveen las referencias requeridas para la sincronización SFN, referencias de frecuencia (10 MHz) y tiempo absoluto (1 pulso por segundo, 1pps) (Chinese Radio, 2008a).

## **1.2 Implementación de la sincronización SFN en el estándar DTMB**

La implementación de la sincronización SFN en el estándar DTMB está basado en la Trama Segundo (Second-Frame) y es adoptada en el estándar GY/T 229.1-2008 (Chinese Radio, 2008b). La Trama Segundo es la trama de datos compuesta por 8 supertramas que se sincroniza a un segundo exacto. La estructura de una SFN se muestra en la Figura 1. La trama de transporte MPEG (MPEG Transport Stream, MPEG-TS) proveniente del multiplexor es enviada primeramente al Adaptador SFN (SFN Adapter) para insertar en el flujo de bits el Paquete de Inicialización de Trama Segundo (Second-Frame Initialization Packet, SIP) y formar tramas de transporte SFN basadas en la señal de 1pps. Posteriormente, este flujo con el paquete SIP insertado, es entregado a los transmisores mediante la red de distribución y finalmente convertido a radiofrecuencia. Los adaptadores de red son dispositivos encargados de completar la conversión de formato entre MPEG-2 TS y la red de distribución. La red de distribución primaria transporta las tramas de transporte MPEG entregada por el adaptador de red transmisor desde los centros de radiodifusión hacia el modulador de TV digital terrestre transparentemente. La trama de transporte MPEG (SIP) se mantiene invariante, de esta forma, las tramas de transporte MPEG (SIP) entrantes de todos los moduladores en la red son idénticas. (Chinese Radio, 2008a, 2008b)

En los moduladores DTMB, el sistema SYNC (SYNC system) reconoce el paquete SIP dentro de la trama MPEG y calcula el retardo extra de transmisión para la sincronización SFN, comparando algunos campos dentro del paquete SIP con la referencia de tiempo local (1pps). En otras palabras, todos los moduladores en la red transmitirán la Trama de Señal en el instante de tiempo establecido en el SIP después de la referencia absoluta de tiempo (1pps). La máxima dispersión del retardo de la red de distribución (dependiendo de los diferentes retardos introducidos por la red) que el sistema SYNC puede manejar es un segundo. (Chinese Radio, 2008a, 2008b)

La dispersión máxima de tiempo introducida por la red de distribución es la diferencia entre el tiempo necesario para que la señal vaya desde el Adaptador SFN, a través de la red, hacia el sitio de transmisión más cercano y más lejano respectivamente. Los

moduladores dividen la trama entrante en paquetes de datos para su modulación basados en el SIP reconocido. El primer bit del SIP también será el primer bit del paquete de datos, de manera que todos los moduladores estarán sincronizados bit a bit. Los modos de operación del modulador dependen de la Información de Sistema presente en el SIP (System Information-SIP), de forma que todos los moduladores trabajen en el mismo modo. El retardo de trabajo de los moduladores debe ser estable. (Chinese Radio, 2008a) Los detalles del adaptador SFN se muestran en la Figura 2 (Chinese Radio, 2008a). El Adaptador SFN contiene los módulos de inserción del SIP y adaptación de la razón de bits y utiliza las referencias de las señales de 1 PPS y 10 MHz para su funcionamiento.

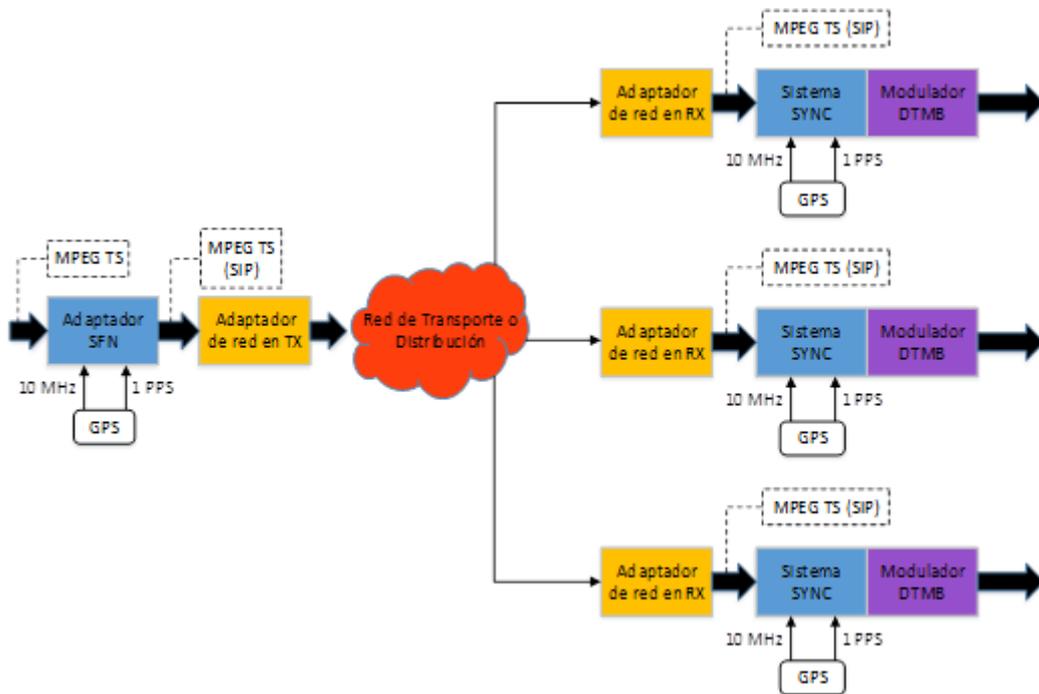


Figura 1. Estructura básica del sistema SFN de DTMB. (fuente: estándar chino de industria de radio, filme y televisión GY/T 229.1-2008)

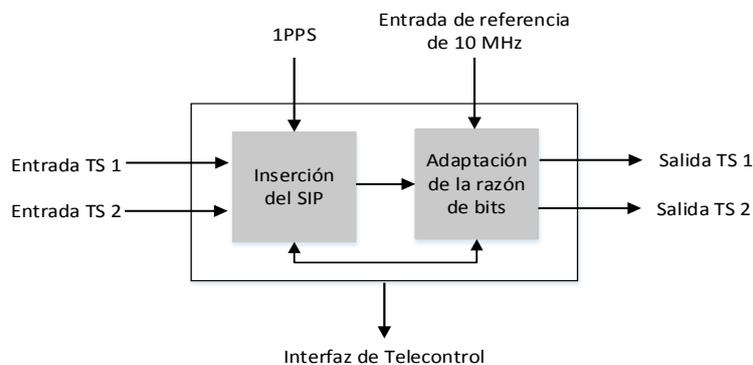


Figura 2. Estructura de Adaptador SFN de DTMB. (fuente: estándar chino de industria de radio, filme y televisión GY/T 229.1-2008)



El Adaptador SFN inserta un SIP cada un segundo en concordancia con la señal de 1PPS. El diagrama esquemático del procesamiento del SIP se muestra en la Figura 3 (Chinese Radio, 2008a).

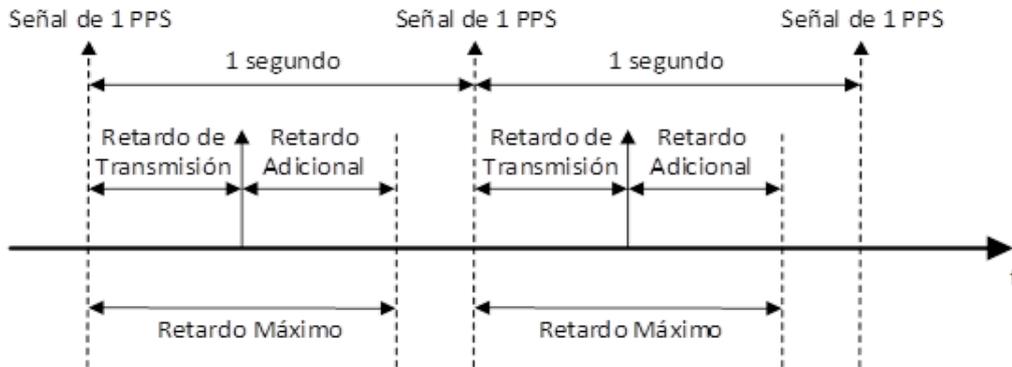


Figura 3. Diagrama de tiempo del procesamiento del SIP. (fuente: estándar chino de industria de radio, filme y televisión GY/T 229.1-2008)

La única información de tiempo en el paquete SIP es el tiempo de retardo máximo, el resto lo calculan los moduladores.

$$T_{\text{retardo\_añadido}} = T_{\text{retardo\_máximo}} - T_{\text{retardo\_transmisión}}$$

Donde,  $T_{\text{retardo\_máximo}}$ : es el tiempo de transmisión de todos los transmisores relativo a la señal de 1pps;  $T_{\text{retardo\_transmisión}}$ : es el tiempo que demoran la Tramas de Transporte (TS) en llegar a los moduladores desde que son transmitidas por el adaptador SFN;  $T_{\text{retardo\_añadido}}$ : es el tiempo que cada modulador retarda independientemente para poder transmitir sincronizadamente. El tiempo de retardo máximo que pueden manejar los transmisores en SFN es 0.9999999 segundos. (Chinese Radio, 2008b)

Los SIP insertados en las tramas de transporte (TS) tienen el mismo formato que los paquetes de trama de transporte MPEG (MPEG-TS), que consisten en una cabecera de 4 byte y 184 byte de datos. La definición de los paquetes SIP se muestra en la Figura 4 (Chinese Radio, 2008a). Los campos en color rojo se aplican a todos los transmisores de la red, mientras los de color azul se aplican sólo al transmisor que es especificado en el campo de Direccionado Broadcast.

1	2	3	4	5-6	7-9	10-11	12-14	15-17	18-19	20-188
0x47	0x40	0x15	0x10	SI_SIP	Máximo Retardo	Direccionado Boradcast	Ajuste Independiente de Retardo	Desviación de Frecuencia	Control de Potencia	Bytes de rellenos

Figura 4. Definición del SIP. (fuente: estándar chino de industria de radio, filme y televisión GY/T 229.1-2008)



En el campo "SI-SIP" viaja la información del sistema relativa a la modulación. (constelación, entrelazado, codificación, etc.). En el campo de "retardo máximo" se establece el tiempo de transmisión de 0 a 0.9999999 segundos en notación binaria. El campo "direccionado broadcast" incluye 16 bits, desde 0 – 65535, la dirección 0x0000 se utiliza manejar todos los transmisores de la red y el resto de las combinaciones identifican a cada uno de los transmisores de la red. El "ajuste independiente de retardo", en función del tiempo de retardo máximo, añade un retardo para el transmisor especificado por el campo direccionado broadcast, con el objetivo que el tiempo de emisión de diferentes transmisores en la SFN cumplan cierta relación. Es un retardo que se le añade al retardo máximo. La "desviación de frecuencia" añade un desplazamiento de frecuencia para el transmisor especificado por el campo direccionado broadcast. El "Control de Potencia" maneja la potencia del transmisor especificado por el direccionado broadcast, también puede utilizarse para apagar o encender la salida RF. Los bytes de relleno todos tienen valor de 0xFF. (Chinese Radio, 2008b)

## **2. Diseño e implementación del set de mediciones SFN**

Para la configuración de una SFN se requiere primeramente generar las señales de sincronización necesarias (señales de 10 MHz y 1 PPS). En el Adaptador SFN se establecen los parámetros de modulación y los propios de la SFN (retardo máximo, retardos individuales, etc.). El retardo máximo de la SFN se calcula a partir de las características de la red de distribución y debe ser superior a la demora máxima que pueda sufrir el TS en llegar a todos los transmisores de la red desde el adaptador SFN. Por otra parte, los retardos individuales y el control de potencia de los transmisores dependen de un estudio previo de interferencias y la cobertura de servicio que se quiera brindar. En los moduladores solo se establece el modo de trabajo (MFN o SFN) y la frecuencia del canal. En modo SFN los parámetros de modulación serán derivados de la información presente en el paquete SIP que introduce el adaptador SFN.

Tomando como referencia la estructura básica de SFN para DTMB de la Figura 1, el set de mediciones debe poseer 6 bloques básicos: un bloque generador de TS; otro que incluya el Adaptador SFN; uno para la red de distribución de TS y los adaptadores de red; uno con al menos dos moduladores DTMB que trabajen en modo SFN; un bloque para la

recepción; y otro que contenga un sistema para la generación de la señales de sincronización.

Para generar el TS se utilizó el "DVB BTA-P200", una herramienta profesional que permite: transmitir, recibir y analizar flujos TS. En este caso se usó con la finalidad de transmitir flujos MPEG-2 hacia un Adaptador SFN DTMB "T3402". Este adaptador SFN solamente funciona con una modulación de 8 MHz de ancho de banda, por esta razón, todas las pruebas fueron realizadas empleando esta canalización. El set de mediciones implementado no dispone de una red de distribución o un sistema capaz de representarla, por lo que la salida del Adaptador SFN se conectó directamente a los moduladores. Por razones de disponibilidad, el set de mediciones diseñado solo cuenta con dos moduladores. A la salida de los moduladores se conectaron atenuadores fijos y variables y un sumador para representar las condiciones de un canal de propagación, seguido de un receptor DTMB (Deviser S7000) capaz de medir ecos de señales. Además, se utilizó un generador de señales para brindar las referencias de 1PPS y 10 MHz en ausencia de un receptor GPS que las proporcionara. En la Figura 5 se muestra el diseño del set de mediciones explicado anteriormente.

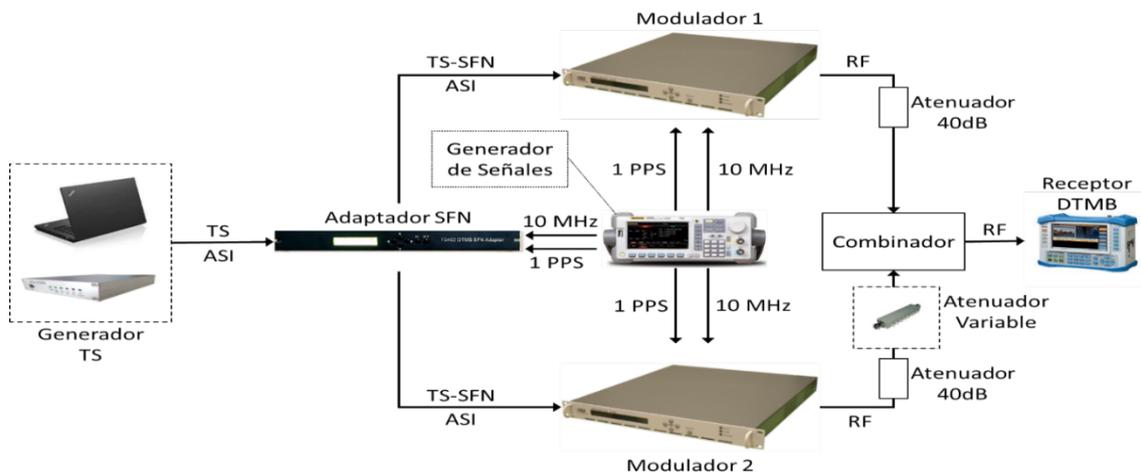


Figura 5. Diseño de set de mediciones. (fuente: elaboración propia)

Para validar el set de mediciones implementado fue necesario comprobar la recepción de la señal DTMB y el comportamiento de la red de acuerdo a las configuraciones establecidas. Para ello, se partió de una configuración inicial de la red SFN, donde se establecieron los parámetros de modulación de la red, se habilitó el modo de trabajo SFN en los moduladores y se les asignó la dirección broadcast para su identificación dentro de



la red. No se introdujeron ajustes individuales de retardo, frecuencia o potencia en los transmisores.

### **2.1 Configuración inicial de la SFN**

El Adaptador SFN utilizado para el set de mediciones no se encuentra habilitado para trabajar en modo de 6 MHz de ancho de banda, por esta razón, la modulación DTMB se realizó en un canal de 8 MHz. El resto de los parámetros de la modulación corresponden al modo 6 de trabajo de la norma DTMB. Dicho modo contempla una constelación de 64 QAM, una razón de FEC de 0.6, una cabecera de trama de 420 símbolos, un tiempo de entrelazado de 720 y modulación en 3780 portadoras, para una razón de bits de 24,364.800 Mbps. Para la configuración inicial se eligió un retardo máximo de 100 ms. El valor del retardo máximo establecido no tiene influencia alguna en el funcionamiento de la red ya que el generador TS se conectó directamente al Adaptador SFN. El "Retardo Individual" en el adaptador SFN se estableció en 0  $\mu$ s y la "Desviación de Frecuencia" se inicializó en un valor de 0 Hz. El "Control de Potencia" no influye en el funcionamiento de la red si la salida RF de los moduladores no está conectada a amplificadores externos, por lo que este parámetro no se modificó. Para establecer la configuración inicial en todos los moduladores de la red se asignó la dirección 0 al campo "Direccionado Broadcast". De esta forma los parámetros de "Retardo Individual", "Desviación de Frecuencia", y "Control de Potencia" son común para todos los moduladores.

Los moduladores fueron configurados para trabajar en modo SFN, para que los parámetros de la modulación fueran obtenidos mediante los datos contenidos en el paquete SIP. Al modulador 1 y al modulador 2 se les asignaron las direcciones broadcast "1" y "2" respectivamente y un ancho de banda de 8 MHz en correspondencia con la configuración precedente en el Adaptador SFN.

## **3. Pruebas de laboratorio**

Las pruebas de laboratorio realizadas tuvieron como objetivos la comprobación del correcto funcionamiento de todo el sistema en modo SFN y la validación de los resultados esperados en la recepción de la señal DTMB, así como de la etapa de transmisión y sincronización en la que se involucran los moduladores y el adaptador SFN.

### **3.1 Prueba 1: Prueba de máxima dispersión de retardo de un eco de 0 dB**



Esta prueba mide la capacidad del sistema de transmisión de TV digital terrestre frente al eco de 0 dB, lo que refleja la capacidad de los receptores para manejar la dispersión de retardo, independientemente de si se encuentra bajo la condición de recepción muy desfavorable o en la condición de SFN. Para el mismo modo de trabajo y condición de multitrayecto, cuanto mayor sea el retardo máximo que se puede manejar, mejor será el rendimiento del sistema. El resultado de esta prueba refleja la estimación del canal y el rendimiento de ecualización del receptor en el canal estático de dos caminos. El rendimiento tiene una estrecha relación con la elección del intervalo de guarda y el algoritmo de implementación del receptor.

En 8 MHz, para una Cabecera de Trama de 420 símbolos, la duración del intervalo de guarda es de 55.6 $\mu$ s. Por lo tanto, se debía esperar que la máxima dispersión de retardo entre la señal principal y su eco de 0 dB fuera un valor cercano e inferior a la duración de la Cabecera de Trama. En el modo 6, el receptor debe ser capaz de demodular correctamente la señal DTMB para un eco de 0 dB con un retardo de hasta 50  $\mu$ s respecto a la señal principal, de acuerdo al estándar chino para receptores de televisión digital Tabla 1 (Song, Yang, & Wang, 2015).

Modos de Trabajo	Modo de Portadora	Razón de FEC	Constelación	Cabecera	Profundidad de Entrelazado	Razón de Bits de Carga Útil	Máximo Retardo de 0-dB ( $\mu$ s)
1	C=3780	0.4	16QAM	PN=945	720	9.626	110
2	C=1	0.8	4QAM	PN=595	720	10.396	60
3	C=3780	0.6	16QAM	PN=945	720	14.438	110
4	C=1	0.8	16QAM	PN=595	720	20.791	60
5	C=3780	0.8	16QAM	PN=420	720	21.658	50
6	C=3780	0.6	64QAM	PN=420	720	24.365	50
7	C=1	0.8	32QAM	PN=595	720	25.989	60

Tabla 1. Máximo retardo de eco de 0dB en canal de dos caminos. (fuente: libro "Digital Terrestrial Television Broadcasting: Technology and System", Jian Song)

### Descripción de la realización de la prueba

Partiendo de la configuración inicial explicada previamente, se fijó una potencia de salida de -5 dBm en los dos moduladores de la red. El atenuador de señal conectado a la salida RF del modulador 2 fue configurado en 0 dB. En el Adaptador SFN se estableció un retardo individual al modulador 2 de 50 $\mu$ s. Con el analizador de TV se comprobó la correcta recepción de la señal DTMB cumpliendo con el estándar (Tabla 1) y el tiempo de retardo establecido. Se aumentó iterativamente el retardo del eco hasta obtener la máxima dispersión posible en la cual se demoduló correctamente la señal DTMB.



### 3.2 Resultados de prueba 1:

La máxima dispersión de retardo entre la señal principal y su eco de 0 dB, para la cual la señal DTMB se demoduló correctamente fue de 53,4 $\mu$ s. Este valor satisface el requerimiento impuesto en el estándar (Tabla 1) ya que es superior a los 50 $\mu$ s. La diferencia entre los retardos de ecos establecidos en el Adaptador SFN (53,4  $\mu$ s) y los medidos en el receptor (53,17  $\mu$ s) nunca superaron el valor de 1 $\mu$ s. La discrepancia en el tiempo de retardo puede ser causada por imprecisiones en los moduladores y el receptor de forma independientemente o combinada. No obstante, la divergencia de retardo inferior a 1 $\mu$ s se considera suficientemente bueno (Chinese Radio, 2008a). La diferencia de intensidad señal/eco igual a 0.5 dB en la Figura 6 puede atribuirse a incertidumbres en la potencia de salida de los moduladores, en la medición del dispositivo receptor o en los atenuadores empleados en el laboratorio.



Figura 6. Retardo y amplitud entre el eco y la señal principal de prueba 1. (fuente: receptor Deviser S7000)

### 3.3 Prueba 2: Prueba de umbral Señal/Interferencia en canal con un eco fuera del intervalo de guarda

Esta prueba mide el umbral de la relación de señal contra interferencia (S/I) del sistema de transmisión de televisión digital terrestre en la condición de un canal con un eco fuera del intervalo de guarda, lo que refleja la estimación del canal y el rendimiento de ecualización del receptor en un canal estático de dos caminos. El rendimiento está estrechamente relacionado con el algoritmo de implementación del demodulador. Además, para el mismo modo de trabajo y condiciones de multitrayectoria, cuanto menor sea el umbral de S/I requerido, mejor será el rendimiento del sistema.



Modos de Trabajo	Modo de Portadora	Razón de FEC	Constelación	Cabecera	Profundidad de Entrelazado	Razón de Bits de Carga Útil (Mbps)	Relación Señal/Ruido (dB)
1	C=3780	0.4	16QAM	PN=945	720	9.626	8,0
2	C=1	0.8	4QAM	PN=595	720	10.396	6,0
3	C=3780	0.6	16QAM	PN=945	720	14.438	10,7
4	C=1	0.8	16QAM	PN=595	720	20.791	12,6
5	C=3780	0.8	16QAM	PN=420	720	21.658	13,2
6	C=3780	0.6	64QAM	PN=420	720	24.365	15,7
7	C=1	0.8	32QAM	PN=595	720	25.989	16,6

Tabla 2. Umbral de recepción S/R para receptor DTMB. (fuente: libro "Digital Terrestrial Television Broadcasting: Technology and System", Jian Song)

El rendimiento de un modo específico de transmisión frente al ruido depende del efecto combinado de la razón de codificación FEC y el esquema de modulación. El umbral de relación Señal/Ruido (para Ruido Blanco Gaussiano Aditivo) requerido en receptores del estándar DTMB para los respectivos modos de trabajo, de acuerdo con la industria china de receptores de televisión digital, se muestra en la Tabla 2 (Song et al., 2015). La relación Señal/Interferencia (dB) entre la señal principal y un eco fuera del intervalo de guarda debía ser menor que 15.7 dB.

### Descripción de la realización de la prueba

Partiendo de la configuración inicial explicada previamente, se fijó una potencia de salida de -5 dBm en los dos moduladores de la red. En el Adaptador SFN se estableció un retardo individual inicial al modulador 2 de 56 $\mu$ s, valor superior, pero próximo a la duración del intervalo de guarda (55.6 $\mu$ s). El atenuador de señal conectado a la salida RF del modulador 2 fue configurado en 0 dB. Se aumentó iterativamente la atenuación en pasos de 0.1 dBm hasta obtener el umbral S/I para el cual se demodula correctamente la señal DTMB.

### 3.4 Resultados de prueba 2:

El umbral S/I (dB) entre la señal principal y un eco fuera del intervalo de guarda para el cual se demodula correctamente la señal DTMB es de 13.5 dB. De acuerdo al resultado esperado la razón es inferior a 15.7 dB, lo que confirma que el receptor cumple con los valores de la Tabla 2, incluso tiene un desempeño superior en 2.2 dB. Para este receptor, un eco fuera del intervalo de guarda con una atenuación superior a los 13.5 dB no impide la recepción de la señal DTMB.

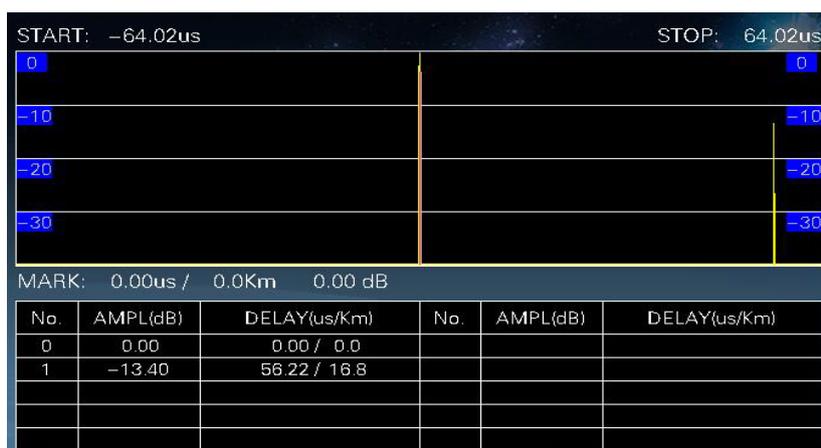


Figura 7. Retardo y amplitud entre el eco y la señal principal de prueba 2. (fuente: receptor Deviser S7000)

El receptor muestra una atenuación del eco de 13.4 dB y un retardo de 56.22 $\mu$ s (Figura 7). Sin embargo, la atenuación fijada al atenuador variable es de 13.5 dB y el retardo establecido es igual a 56 $\mu$ s. La discrepancia en el tiempo de retardo puede ser causada por imprecisiones en los moduladores y el receptor de forma independientemente o combinada. La diferencia de 0.1 dB entre el valor de atenuación establecido y el mostrado en la Figura 7 puede atribuirse a incertidumbres en la potencia de salida de los moduladores, en la medición del dispositivo receptor y/o en los atenuadores empleados en el laboratorio.

#### 4. Conclusiones del trabajo

Se implementó un set de mediciones para trabajar en una red SFN DTMB de dos transmisores y se consiguió sincronizar los moduladores y el Adaptador SFN mediante las señales generadas externamente de 1PPS y 10MHz. Los moduladores respondieron satisfactoriamente a todas las configuraciones enviadas desde el Adaptador SFN. La incertidumbre de los valores de retardos establecidos por el Adaptador SFN no superó el límite de  $\pm 1\mu$ s. Se logró transmitir la señal DTMB en modo SFN y se comprobó la recepción para los márgenes estandarizados. En trabajos futuros se recomienda sustituir el generador de señales por receptores GPS que permitan brindar la sincronización necesaria, aumentar la cantidad de moduladores de la red para poder emular redes de mayor número de transmisores e incluir un bloque de red de distribución entre el Adaptador SFN y los moduladores.

#### 5. Referencias bibliográficas



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

- Chinese Radio, F. a. T. I. S. (2008a). Implementation guidelines for transmission system of digital terrestrial television broadcasting (Vol. GY/T 236—2008): The State Administration of Radio, Film and Television.
- Chinese Radio, F. a. T. I. S. (2008b). Technical specifications and methods of measurement for digital terrestrial television broadcasting single frequency network adapter (Vol. GY/T 229.1-2008, pp. 13).
- Mattsson, A. (2005). Single frequency networks in DTV. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 51(4), 413-422.
- Song, J., Yang, Z., & Wang, J. (2015). *Digital Terrestrial Television Broadcasting: Technology and System*: John Wiley & Sons.
- UIT-R. (2017). Digital terrestrial broadcasting: Design and implementation of single frequency networks (SFN) (Vol. ITU-R BT.2386-1, pp. 186): UIT.
- Union, E. B. (2005). Guide on SFN Frequency Planning and Network Implementation with regard to T-DAB and DVB-T *European Broadcasting Union*.