



17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN ALTA DEFINICIÓN

**Rafael Yoel Chavez Ravelo¹, Alberto Fernández Romera¹, José A. Amador Fundora¹,
Luis G. Raymond Rodríguez²**

¹Fac. de Ing. Eléctrica, CUJAE, Calle 114 s/n, Marianao, La Habana 11500, Cuba

²RadioCuba, Oficina Central, Habana 406 e/ Obispo y Obrapía, La Habana 10100, Cuba

¹e-mail: a.fernandez.ro7@gmail.com, amador@eléctrica.cujae.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo aborda un estudio teórico-práctico realizado en conjunto con la Empresa RadioCuba para brindar una propuesta de diseño de un sistema de transmisión digital en alta definición para un Centro de Televisión en la provincia La Habana, con el propósito de brindar servicio a la mayor área posible. El mismo consta de cuatro secciones donde se detallan las labores teóricas y prácticas realizadas para lograr este objetivo. Primero se realiza un estudio teórico del funcionamiento de todas las partes que componen un sistema de transmisión de televisión. Se realiza un análisis de los criterios de planificación, buscando un canal libre para transmitir sin interferir otro canal que se encuentre en el aire. A continuación se presenta el diseño del sistema radiotransmisor y se realiza una simulación de su cobertura mediante el software EMLAB. Finalmente se culmina con un análisis de costos e impacto ambiental.

PALABRAS CLAVES: Transmisión de Televisión Digital Terrestre, alta definición, DTMB, planificación.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A HIGH DEFINITION DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION TRANSMISSION SYSTEM

ABSTRACT

This paper deals with a theoretical and practical study in conjunction with the Company RadioCuba to provide a design proposal for a digital transmission system for high definition Television Center in the province of Havana, in order to provide this service to the largest possible area. It consists of four sections, which contain the details of all the theoretical and practical work done to achieve this goal. First a theoretical study of the functioning of all parts of a television transmission system is done. An analysis of the planning criteria is performed, looking for a free channel on which transmit without interfering other channels already on the air. Then the design of radio transmitter system is presented and simulation coverage is performed by EMLab software. Finally it ends with an analysis of costs and environmental impact.

KEY WORDS: Digital Terrestrial Television Broadcasting, high definition, DTMB, planning.

1. INTRODUCCIÓN

En estos momentos la empresa RadioCuba ha culminado con las pruebas piloto de la transmisión digital en formato estándar. Teniendo esto, se requiere llegar al eslabón siguiente que corresponde a la transmisión de televisión digital en alta definición aprovechando la cobertura del Mundial de Fútbol Brasil 2014. Con el objeto de realizar estas pruebas en la presente tesis se muestra una propuesta de diseño de un sistema de Transmisión Digital de Alta Definición en la estación de Televilla, mediante la realización de un correcto estudio, planificación y dimensionamiento de los sistemas encargados de transmitir la señal digital, lo cual es fundamental para garantizar que cubra la mayor área posible y que los tele espectadores reciban una imagen y un sonido de calidad en sus receptores.



17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



2. CRITERIOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN CUBA.

El servicio de televisión digital en Cuba es un proceso nuevo que consta de varias etapas, como son: el simulcast, apagón analógico y la instalación de un segundo servicio. En el proceso en que se encuentra Cuba actualmente es el de simulcast, en el cual deben coexistir tanto las transmisiones analógicas como las digitales, específicamente la norma NTSC (National Television System Committee) americana con la DTMB china a 6 MHz. Este apartado versa sobre el desarrollo de los criterios prácticos para la implementación de la televisión digital, con las condiciones específicas de Cuba y sobre la base de este resultado la búsqueda de un canal disponible para la transmisión del nuevo servicio de TDT en Alta Definición. Para los propósitos de este trabajo se realizara sólo el estudio de los parámetros para la recepción fija.

Relación (C/N) Mínima Necesaria en Recepción

En televisión digital la relación Portadora a Ruido (C/N) es de vital importancia en la planificación de un servicio debido al uso de técnicas correctoras de errores y la existencia del término conocido como abismo digital o “cliff”, donde la señal puede pasar de verse con óptima calidad a simplemente no verse. El estándar de televisión digital chino DTMB en su versión de 6 MHz posee más de cien modos posibles de transmisión y cada uno posee una C/N diferente. Estos pueden variar en los siguientes parámetros:

- Razón de código (FEC): 0.4, 0.6 ó 0.8.
- Constelación de símbolos: 4QAM-NR, 4QAM, 16QAM, 32QAM o 64QAM.
- Profundidad del Entrelazado Temporal: 240 ó 720 símbolos.
- Longitud de la cabecera o cantidad de símbolos: PN420, PN595 o PN945.
- Cantidad de portadoras: $C = 3780$ ó $C = 1$.

Existe un compromiso entre el modo a utilizar y la carga útil de información que puede ser transmitida. Una modulación menos compleja y más robusta disminuye el volumen de carga útil (menos bits por símbolo), aunque al aumentar la distancia entre puntos de la constelación requieren una relación C/N menor. La elección del modo depende de la información que se transmitirá. Se puede robustecer la transmisión disminuyendo la complejidad de la constelación y la razón de código, lo que reduce la tasa binaria, pero la C/N necesaria para la correcta recepción también disminuye, de esta forma se puede lograr con una misma potencia ampliar el radio de cobertura o para una área determinada utilizar menos potencia. El inconveniente de esta solución es que si posteriormente se desea transmitir otro programa por el mismo canal, la tasa binaria máxima puede que no sea suficiente para soportar la transmisión de ambos canales.

En correspondencia con la programación que se quiere brindar en la primera etapa, que es de un solo programa en alta definición se ha seleccionado el siguiente modo de transmisión:

- Razón de código (FEC): 0.6.
- Constelación de símbolos: 16 QAM.
- Profundidad del Entrelazado Temporal: 720 símbolos.
- Longitud de la cabecera o cantidad de símbolos: PN945.
- Cantidad de portadoras: $C = 3780$.

Este modo de transmisión permite una tasa binaria máxima de 10.829 Mb/s. Este resultado se obtiene de multiplicar la tasa binaria de la norma para 8 MHz y multiplicarla por 6/8, o sea 0,75, que representa la reducción de la tasa al emplear un canal de 6 MHz de ancho. Utilizando el modelo de canal de Rice y el modo de transmisión seleccionado, los resultados de pruebas realizadas por la empresa LACETEL oscilan entre 11 y 12 dB. Se decidió tomar una C/N de 12 dB [1].



Método de Cálculo de la Intensidad de Campo Mínima Necesaria y la Intensidad de Campo Mediana Equivalente.

Cuando se planifica un servicio en televisión digital, es necesario conocer la intensidad de campo mínima necesaria para dar total cobertura al área deseada [2], puesto que este es el parámetro tabulado en las curvas de propagación publicadas por la UIT en las diferentes versiones de la recomendación UIT-R P.1546. Por lo tanto es necesario hacer el cálculo de la intensidad de campo mínima necesaria para lograr la relación Portadora a Ruido requerida por el modo de transmisión. La recomendación GY/T 237-2008 contiene un formulario para calcular la intensidad de campo mínima necesaria como la intensidad de campo mediana equivalente para la planificación de un servicio de TDT (Televisión Digital Terrestre).

En el estándar GY/T 236-2008 [3] y en el BT.1368-3 [4] de la UIT-R, se recomienda planificar la intensidad de campo para el 50% del tiempo, y proporciona un método para calcular el factor de corrección para la variación del porcentaje de las ubicaciones desde el 1% hasta el 99%. Por lo tanto, se decidió que la planificación del servicio de TDT en Cuba sea de E_{med} (95,50). Para el modo de transmisión seleccionado y usando las recomendaciones de cálculo de la recomendación GY/T 237-2008 se calculó la intensidad equivalente de campo obteniéndose 47,46 dB μ V/m.

Relaciones de Protección para Señales de Televisión

La relación de protección se define como la diferencia, expresada en dB, que debe existir entre la señal deseada y la interferente para proteger a la primera. En televisión digital a diferencia de la analógica no existen los canales tabú, solo son de interés las interferencias provenientes de una transmisión en el mismo canal (cocanal) o provenientes de canales adyacentes. Las relaciones de protección para interferencia cocanal y canal adyacente inferior y superior para la norma DTMB a 8 MHz han sido publicadas en el estándar GY/T 237-2008 [5], pero aún no han sido presentadas por China ante la UIT-R los valores para 6 MHz. No obstante, se considera que no deben variar mucho estos valores de 8 a 6 MHz debido a la similitud de los espectros protegidos e interferentes en ambos casos.

Dado que la recomendación GY/T 237-2008 no presenta los rangos de protección de la norma de televisión analógica terrestre NTSC respecto a la norma de televisión digital DTMB y con el objetivo de lograr una completa planificación, se realizaron una serie de mediciones en un taller de la empresa Radiocuba. La realización de estas, así como la presentación de los resultados se efectuaron siguiendo la recomendación de la UIT-R BT.1368. En la Figura 1 se muestra el esquema principal de estos experimentos. Los rangos de protección obtenidos de estas mediciones se muestran en la tabla 1, para interferencia troposférica, y en la tabla 2, para interferencia continua.

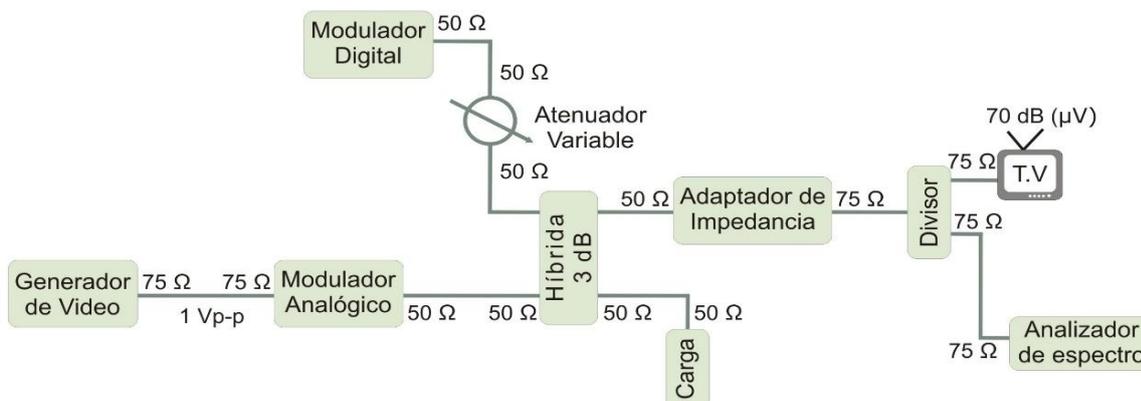


Figura 1. Diagrama en bloques del set de mediciones



Tabla 1. Rangos de protección para una señal de televisión analógica NTSC interferida con una señal de televisión digital para interferencia troposférica.

Modo de transmisión	Cocanal (dB)	Canal adyacente inferior (dB)	Canal adyacente superior (dB)
	Interferencia troposférica	Interferencia troposférica	Interferencia troposférica
NTSC	27	-11	-12

Tabla 2. Rangos de protección para una señal de televisión analógica NTSC interferida con una señal de televisión digital para interferencia continua.

Modo de transmisión	Cocanal (dB)	Canal adyacente inferior (dB)	Canal adyacente superior (dB)
	Interferencia continua	Interferencia continua	Interferencia continua
NTSC	31	-3	-5

Clasificación de los Centros Transmisores y Determinación de sus Contornos Protegidos e Interferentes para Difusión.

En Cuba existen cuatro clasificaciones para los centros transmisores de televisión: A, B, C y D dependiendo su área de servicio, para la difusión de la televisión analógica. En la planificación de la televisión digital se mantienen estas clases de centros, es decir, los mismos deben cubrir la misma área que cubren en la actualidad. La Tabla 3 resume las características de las clases de los centros transmisores en el país.

Tabla 1: Clasificación de los centros transmisores de televisión digital en Cuba.

Clase	PRA máxima para modo de transmisión 1 (dBk)	PRA máxima para modo de transmisión 2 (dBk)	PRA máxima para transmisión analógica (dBk)		AATP máxima (m)	Contorno protegido de cada clase (km)
	Banda IV, V	Banda IV, V	Banda IV, V			
A	20	13	30	35	400	75
B	14	7	24	30	200	50
C	3	-3	14	20	100	25
D	-12	-20	-3	2	30	6

La única diferencia entre las características de los centros analógicos y los digitales es la PRA (Potencia Radiada Aparente), dado que la intensidad de campo mínima necesaria es menor tanto en VHF como en UHF respecto a la televisión analógica. Para el cálculo de la PRA de los centros digitales se fijaron la distancia del contorno protegido, la altura promedio sobre el nivel del terreno (AATP) y el nivel de intensidad de campo mínimo antes calculado, y de forma iterativa se obtuvo la PRA máxima utilizando una aplicación informática propiedad de la empresa Radiocuba que emplea el método de cálculo de intensidad de campo dado en la recomendación P.1546 de la UIT-R.

Los servicios de televisión digital están más limitados por las interferencias que por el ruido, esto significa que se deben cuidar las relaciones de protección antes presentadas (cocanal y canal adyacente) dentro del área de servicio de determinado centro para que no ocurran interferencias, o lo que es igual, se deben conocer las distancias mínimas entre centros transmisores para que puedan ocupar un mismo canal o algunos de los canales adyacentes.

Entonces existe, un centro cuyo contorno se quiere proteger y otro que posee un contorno interferente que es necesario conocer. El contorno interferente se debe calcular para una intensidad de campo que varía en dependencia si es interferencia cocanal o interferencia del canal adyacente y se calcula como la intensidad de campo mínima necesaria del centro que se quiere proteger menos la relación de protección, según corresponda y mediante la aplicación informática antes mencionada, aunque esta vez fijando la altura efectiva sobre el



terreno promedio y la PRA antes calculada para el centro interferente, este valor de intensidad de campo se calculó para un 50% de las ubicaciones y un 10% del tiempo.

Distancias Mínimas entre Centros Transmisores.

Una vez conocido el contorno protegido y el interferente para cada clase de centro, la distancia mínima entre dos centros transmisores será la suma del contorno protegido de uno con el contorno interferente del otro, este último dependerá además de la clase del centro, de la banda de frecuencia en cuestión y del tipo de interferencia. Para un estudio con mayor profundidad de las distancias mínimas entre centros referirse al trabajo de diploma de nuestra autoría [6]. Obtenidas estas distancias es posible entonces, comenzar la asignación de canales si se conocen las clases y las distancias reales entre los centros transmisores.

Procedimiento de Canalización

Teniendo en cuenta las distancias mínimas entre centros se revisó la asignación de canales digitales a los Centros Transmisores de Televisión (CTTV) de la Habana para la etapa de transmisión Simulcast, ya realizada por la empresa RadioCuba [6], buscando un canal libre. Para esta búsqueda, también se deben tener en cuenta los CTTV de otras provincias cercanas como son Pinar del Río, Mayabeque, Artemisa y Matanzas.

Luego de haberse realizado un análisis, se concluyó que el centro de Televilla es la mejor opción para transmitir el nuevo servicio, debido a que es un centro de clase A y tiene una amplia zona de cobertura y por lo tanto puede llegar a mayor número de usuarios. El canal seleccionado fue el 36, debido a que por las relaciones de protección no debe ser interferido por ningún canal que se encuentra en uso actualmente, ni interfiere a otro. Además, el canal 37 se encuentra reservado para Radioastronomía.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL EN ALTA DEFINICIÓN EN EL CENTRO TELEVILLA.

En el marco de la zona de demostración de la televisión digital en Cuba, específicamente en La Habana y dada la existencia de cinco centros, donde se encuentran transmisores de televisión digital, se decide dar un paso al frente en instalar un servicio en alta definición. En este apartado se explica todo el equipamiento necesario para la instalación de este nuevo servicio y se es consecuente con los planteamientos y resultados que tuvieron lugar en los dos capítulos anteriores. Finalmente se brinda un área de cobertura, la cual se estima que este transmisor cubra. Teniendo en cuenta los criterios de planificación antes descritos se prosigue a diseñar el sistema de transmisión de televisión digital terrestre en alta definición. Todo sistema de radiodifusión de televisión digital terrestre consta de 3 subsistemas básicos como se muestra en la Figura 2.

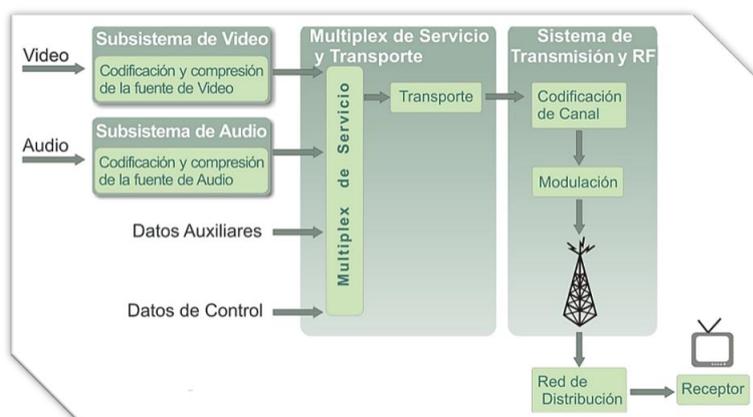


Figura 2. Sistema Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre



Compresión de Fuente

A la Compresión de Fuente pertenecen los métodos de reducción de la razón de bits con el objetivo de comprimir los flujos de audio, video y datos auxiliares necesarios para representar la información que será transmitida.

Se colocará un codificador VIBE EM4000 de la firma THOMSON en los estudios del ICRT localizados en 23 y M, lugar donde se lleva a cabo la edición de los diversos programas a transmitir. El codificador VIBE EM4000 cuando utiliza una razón binaria variable (VBR) en la codificación, presenta, para deportes y películas, una calidad excelente con una razón binaria de 5.2 Mbps y 2.9 Mbps respectivamente. Mientras que si se codifica a razón binaria constante (CBR) lo hace a 6.1 Mbps y 3.4 Mbps respectivamente. Esto se debe a que cuando se utiliza VBR se otorga la tasa binaria necesaria a cada parte del fichero, ya sea de audio o de vídeo, consiguiendo una calidad mayor en ficheros de un tamaño reducido.

Con este codificador se podría en el futuro transmitir dentro de un canal espectral de siete a ocho canales en alta definición con el formato H.264, así como también se podría transmitir con el formato MPEG-2 un canal en alta definición junto con cuatro con definición estándar.

Multiplex de Servicio y Transporte

En la multiplexación se incluyen los N flujos de transporte (N TS) provenientes de cada programa (del programa 1 al programa N) y se le agregan dos tramas de transporte que contienen información sobre la cartelera de programación y un servicio de interactividad con el televidente, formando un flujo de transporte múltiple (MPTS). A esta multitrama se le realiza un proceso de adaptación según la red en que se vaya a transmitir, como se muestra en la Figura 3.

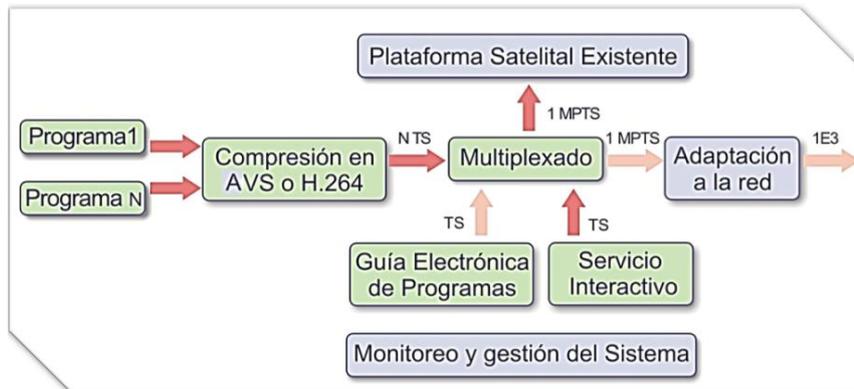


Figura 3. Diagrama de Compresión, Multiplex y Servicio de Transporte

Usualmente el flujo de datos de la programación televisiva llegaría al centro por dos vías: fibra óptica y satélite, siendo la primera la principal. Sin embargo en este proyecto no es posible esta solución debido a dos causas fundamentales:

- 1- El flujo binario a transmitir es menor que 10 Mbps, y resulta muy pequeño para insertarlo en una trama E3 de 34 Mbps, que requiere mucho relleno de bits y desperdicia recursos.
- 2- El equipo terminal de red que existe actualmente en el local de ETECSA en Televilla, capaz de demultiplexar el flujo de transporte SDH, se encuentra utilizado por completo.

La vía satelital tampoco se puede utilizar como ruta alternativa debido a que el espacio con que cuenta Cuba en los transponders del satélite está agotado, ya que en él se encuentran todos los canales analógicos.

Con el conocimiento de estas restricciones se plantea la solución de solicitar una línea dedicada IP para transportar la información desde los estudios del ICRT hasta Televilla, debido a que el codificador cuenta con cuatro interfaces Ethernet (2 entradas y 2 salidas).



Sistema de Transmisión y RF

El equipo transmisor a instalar es el modelo **R&S® THU9**, de la firma **ROHDE & SCHWARZ**, el cual cuenta con 2 excitadoras R&S TCE900, que implementan todas las variantes definidas en el estándar GB20600-2006 [5] para la norma de televisión digital china DTMB, y un sistema de control.

El transmisor funciona en régimen de doble excitador. En este modo una excitadora cumple con el papel principal y la otra como reserva. Si la excitadora principal deja de funcionar, la otra excitadora, que se encuentra en reposo, se selecciona mediante el CAN bus y toma su lugar. También se pueden cambiar de excitadora manualmente mediante el sistema de control. La función de monitoreo de la señal de RF está presente en ambas, pero sólo opera en la excitadora que se encuentre funcionando. De igual manera la función de conmutación automática está presente en ambas, pero solo está activa en la excitadora que se encuentre en reposo.

Amplificador

El amplificador R&S PMU902 es la unidad en el transmisor que opera como amplificador de potencia y contiene los módulos que se presentan en la Figura 4.

La potencia dentro del módulo la suministran redundantemente tres fuentes de alimentación, todas monofásicas. Las conexiones a la red de distribución secundaria de corriente alterna de cada una de las fuentes de alimentación se realizan por separado.

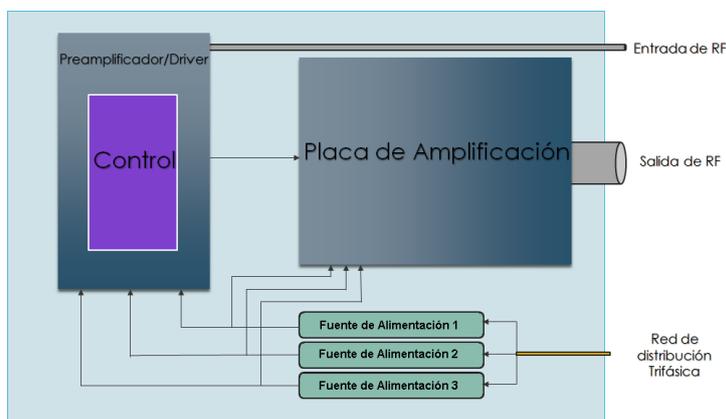


Figura 4. Amplificador de potencia

Si una de las fuente de alimentación de la unidad falla, el amplificador continúa funcionando con toda su potencia, ya que las partes críticas del sistema de circuitos están alimentadas de forma redundante. La señal llega al módulo mediante el panel trasero y a través de una línea de transmisión de RF llega al preamplificador. En este la señal atraviesa los siguientes componentes consecutivamente:

- Regulador de Amplitud
- Amplificador de pequeña señal
- Regulador de fase

Esto es seguido por una etapa de salida en la cual dos transistores están conectados por medio de híbridas de 90° (la señal primero se separa por medio de una híbrida luego se amplifica y se vuelve a unir por otra híbrida en configuración de sumador). La señal abandona el preamplificador y se entrega a la entrada del amplificador driver. Esta entrada está seguida de 2 transistores LDMOS independientes que están interconectados por híbridas de 90° para amplificar la señal. Las dos mitades del transistor LDMOS “gemini” BLF888B (dos transistores idénticos en el mismo encapsulado) sirven para este propósito.

La señal de salida del driver se entrega a la placa de amplificación final de potencia. La placa de amplificación se encuentra dividida en dos partes de tres módulos de amplificación cada una, siendo seis el total de estos. La señal, primero se divide en 2 trayectos por un separador multietapa. En cada trayecto la señal se separa nuevamente en 3 para ser entregada a cada módulo de amplificación. Al igual que en la etapa de driver, cada uno de los módulos de amplificación de la placa de amplificación consisten en 2 etapas de amplificación push-pull con transistores LDMOS “gemini”, los cuales están interconectados por la combinación Doherty.



Los transistores BLF888A se utilizan en la amplificación de pico y los BLF888B se utilizan como amplificador principal. Después que se amplifica la potencia, las 6 señales de salida se combinan nuevamente por un combinador mecánico con el objetivo de minimizar las pérdidas potencia de RF.

Sistema de Enfriamiento

El sistema de enfriamiento disipa el calor generado por los transmisores de alta potencia por medio de un líquido refrigerante desionizado. En la figura 5 se pueden ver las unidades TH9-C1 y TH9-C2.

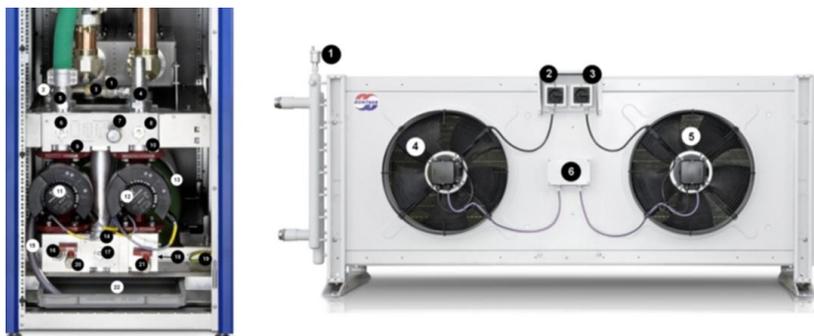


Figura 5. Unidades TH9-C1 y TH9-C2 del sistema de enfriamiento.

El sistema de enfriamiento consta de 2 componentes:

- TH9-C1: Unidad de bombeo
- TH9-C2: Enfriador

Los disipadores de calor se enfrían indirectamente mediante las tuberías del sistema de distribución que pasan por el módulo de potencia.

Acoplador Direccional y Protección Contra Rayos

El sistema de protección contra rayos del acoplador direccional (combina la protección de rayos con los puntos de lectura) está localizado a la salida de RF del transmisor. El protector contra rayos resguarda al transmisor del daño que podría causar el impacto de un rayo. Este consiste en transformador de $\lambda/16$.

Componentes Pasivos de RF: Filtro Armónico y de Máscara

El filtro armónico (filtro pasabajo) elimina los armónicos generados en la fase de amplificación del transmisor. Estos trabajan en la banda IV y V de UHF por separado para mejorar la atenuación de la señal transmitida. Como resultado, la atenuación se reduce de 0.1 dB a 0.025 dB. Después del filtro armónico se coloca un filtro de máscara (filtro pasabanda) no crítico. En este caso el filtro elegido es de la marca Spinner. Sus especificaciones generales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 1. Especificaciones generales del filtro de máscara Spinner

Frecuencia	Atenuación del filtro
f_0	0.32 dB
$f_0 \pm 2.79$ MHz	0.404 dB
± 3.15 MHz	5.03 dB
± 4.50 MHz	30.44 dB
± 9.00 MHz	46.53 dB

Como se puede ver en la Tabla 5 estos valores están acorde a los requerimientos de filtrado para el estándar DTMB para un caso no crítico.



Tabla 2. Requerimientos de filtro pasabanda para una máscara no crítica en DTMB

Frecuencia	Atenuación del filtro
$f_0 \pm 2.79$ MHz	0.2 dB a 0.4 dB
± 3.15 MHz	≥ 2 dB
± 4.50 MHz	≥ 20 dB
± 9.00 MHz	≥ 40 dB

Sistema Combinador: Triplexer

Se utilizará un combinador de 3 canales (triplexer), para sumar la señal de este canal junto al canal de Multivisión (21) y el canal Habana (40). El triplexer que se utilizará permite la multiplexación de 2 canales analógicos de 5 kW cada uno por banda estrecha, y un canal digital de 1.5 kW por banda ancha. En la Tabla 6 se muestran los detalles técnicos fundamentales.

Tabla 3. Detalles técnicos fundamentales del triplexer

Filtro usado	F104-7
Configuración	3 canales con filtro de máscara
Potencia máxima de salida	15 kW promedio
Rango de frecuencia	470 MHz a 860 MHz
Pérdidas de inserción en banda estrecha	$< 0,4$ dB
Pérdidas de inserción en banda ancha	$< 0,2$ dB
Pérdidas de retorno	≥ 25 dB
Canal de guarda mínimo	1 Canal
Aislamiento entre canales	≥ 30 dB
Rango de temperatura ambiente	$-10^{\circ}\text{C}/+50^{\circ}\text{C}$
Conectores de entrada	1 5/8"
Conector de salida	3 1/8"

Balance Energético de la Línea de Transmisión

La línea de transmisión que transporta la señal de canales 21, 36 y 40 hacia la antena en Televilla es de 3 1/8" del fabricante RFS. En el catálogo, el fabricante brinda una tabla donde relaciona las potencias de referencias (según el tipo de modulación, para televisión analógica es la potencia pico sincronismo y para la televisión digital es la potencia RMS), con las potencias media y pico que caracterizan a las líneas de transmisión. Esta conversión permite poner en igualdad de condiciones dos tipos diferentes de modulaciones. En caso de que dos o más transmisores compartan la misma línea de transmisión la potencia pico se calcula como sigue:

$$P_{\text{pico}} = ((P_{\text{pico}1})^{1/2} + (P_{\text{pico}2})^{1/2} + \dots)^2 \quad (1)$$

En tanto la potencia media puede ser calculada como la suma de todas las potencias medias. Como se puede ver en las tablas siguientes, el análisis energético de la línea de transmisión, el distribuidor, la línea de alimentación de los paneles y los paneles están dentro de los parámetros de potencia del fabricante.

Tabla 4. Balance Energético de la Línea de Transmisión

Línea de Transmisión	Potencia pico (kW)	Potencia media (kW)	Potencia pico máxima (kW)	Potencia media máxima (kW)
	81.8	8.1	940	18,1

Tabla 5. Balance Energético del Distribuidor

Distribuidor	Potencia de entrada (kW)	Potencia de entrada máxima (kW)	Potencia de salida (kW)	Potencia de salida máxima (kW)
--------------	--------------------------	---------------------------------	-------------------------	--------------------------------



	6.1	18	0.75	1.6
--	-----	----	------	-----

Tabla 6. Balance Energético de la Línea de alimentación de los paneles

Línea de alimentación de los paneles	Potencia circulante (kW)	Potencia circulante máxima (kW)
	0.75	5.27

Tabla 7. Balance Energético de los conectores de los paneles

Panel	Potencia de entrada (kW)	Potencia de entrada máxima (kW)
	0.75	1.6

Sistema Radiante

La antena del nuevo sistema transmisor es un sistema de paneles para modulación OFDM. Sus principales características se muestran en la tabla 11.

Tabla 8. Características generales del sistema radiante

Altura sobre el nivel del mar (m)	49
Altura de la antena (m)	140
Ganancia (dB)	11.1
Banda de paso (MHz)	471-855
Distancia entre paneles (cm)	115
Altura (cm)	100
Ancho (cm)	45
Número de paneles	8
Conectores de entrada	7/8"

Sistema Energético

El AVR (Regulador Automático de Tensión) que se planea utilizar es de la marca IREM de potencia máxima de salida de 10 kVA. El análisis energético se realiza en 2 secciones por separado.

Sección desde el PGD al AVR

La potencia de salida del transmisor es de 1 kW, pero considerando futuras expansiones, se realiza el cálculo de corriente admisible para una potencia de hasta 5 kW. Este AVR es incapaz de dar la potencia necesaria para los 5 kW que se ha previsto instalar. Previendo esto, se recomienda seleccionar el calibre de las líneas de alimentación desde el PGD (Panel General de Distribución) para soportar un futuro AVR de 20 kVA. Para esta potencia la corriente máxima de línea será de 54.4 A para un voltaje de línea de 208 V.

Selección de los Conductores

Siguiendo las indicaciones de la norma cubana de instalación eléctrica en edificaciones IEC 60364-5-52: 2004 y con un factor de corrección de 0.98 se escogió un cable monoconductor 1X10 mm², el cual permite hasta una corriente de 63 A. El conductor neutro será de 1x4 mm². El conductor posee aislante PVC. También se debe analizar la caída de tensión a lo largo del conductor. Esta no debe superar el 5% de la tensión nominal (10.4 V).

$$V_{Caída\ max} = \frac{L \cdot \sqrt{3} \cdot I_{Línea\ (AVR)} \cdot \cos \theta}{R \cdot S} = \frac{10 \cdot 1.73 \cdot 54.4 \cdot 0.98}{56 \cdot 10} = 1.65\ V \quad (2)$$

Sección desde el AVR al Transmisor Digital



Realizando el mismo procedimiento se elige la línea desde el AVR al transmisor para una potencia de 13.2 kW (38% eficiencia). La corriente máxima que circulará es de 23.2 A asumiendo el consumo del sistema de enfriamiento.

Selección de Conductores

Con un factor de reducción por agrupamiento de 0.87 el monoconductor escogido es de $1 \times 4 \text{ mm}^2$ que soporta 36 A. Para el neutro será de $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$. La caída de tensión en esta línea no sobrepasa la caída máxima de voltaje permitida.

El aterramiento del sistema se realiza mediante un cable verde amarillo conectado al sistema de tierra del centro.

Área de Cobertura

Con el uso del software EMLAB se simuló la cobertura de este sistema. La cobertura contiene los puntos que rodean un transmisor donde el valor mediano de la intensidad de campo eléctrico de la señal en el 95% de las ubicaciones y durante el 50% del tiempo se considera el mínimo necesario para suministrar un servicio satisfactorio. En la Figura 6 se muestra el resultado de la misma para un contorno suburbano.



Figura 6. Cobertura para un contorno suburbano

4. VALORACIÓN ECONÓMICA

Una vez concluido el diseño y la propuesta del sistema transmisor es de importancia saber el costo del mismo. Las inversiones planificadas en el Sistema de Radiación, en la instrumentación y en el aseguramiento eléctrico crean las condiciones para el montaje de la segunda programación de televisión digital. De tal forma, la instalación de esta programación con la misma cobertura necesita solamente de las inversiones siguientes:

- Transmisor de 1 kW, con sus accesorios, equipos auxiliares, materiales para la instalación y el filtro de máscara..... 146 961.53 CUC
- Triplexer..... 33 912.91 CUC

5. CONCLUSIONES

El sistema propuesto ha cumplido con las exigencias del servicio para el cual fue diseñado, atendiendo a todos los objetivos propuestos en este proyecto. El mismo fue puesto a prueba con antelación a la Copa Mundial de Fútbol Brasil 2014, la cual fue transmitida íntegramente, juego por juego, por el transmisor instalado en Televilla en el canal 36, y por otro transmisor igual instalado en el Hotel Habana Libre en el Canal 50 siguiendo una metodología semejante a la descrita, con lo que se considera suficientemente probada y factible de extender a otros transmisores en el país. Una vez concluida la Copa Mundial de Fútbol, ambos transmisores han pasado a transmitir la programación del canal Multivisión en alta definición y con sonido estereofónico, lo



17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



que constituye sin dudas una primicia en la implantación del servicio de televisión digital terrestre en nuestro país. Un factor de gran importancia ha sido la acertada selección del empleo de amplificadores Doherty con predistorsión digital en los amplificadores R&S PMU902 que emplean los transmisores R&S THU9, lo que también implanta un record de eficiencia en los transmisores de TDT en explotación en nuestro país, del orden del 40%, con una apreciable reducción de la tasa de consumo energético por watt radiado. Por tanto, se recomienda la utilización de este diseño para la expansión del sistema de transmisión de televisión digital terrestre en alta definición en Cuba

REFERENCIAS

1. LACETEL, *Evaluación de parámetros de calidad seleccionados de Cajas Decodificadoras para el estándar DTMB*. 2013.
2. UIT, *RECOMENDACIÓN UIT-R P.1546-1. Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz*. 2004.
3. 236-2008, C.N.S.G.T., *Implementation guidelines for transmission system of digital terrestrial television broadcasting*. 2008: China.
4. UIT, *RECOMENDACIÓN UIT-R BT.1368-3. Criterios para la planificación de servicios de televisión terrenal digital en las bandas de ondas métricas/decimétricas*. 2004: España.
5. 237-2008, C.N.S.G.T., *Frequency Planning criteria for digital terrestrial television broadcasting in the VHF/UHF bands*. 2008: China.
6. Chavez Ravelo Rafael Y., Fernández Romera Alberto., *Diseño e implementación de un sistema de transmisión de televisión digital terrestre en alta definición*, CUJAE.

SOBRE LOS AUTORES

Rafael Yoel Chávez Ravelo. Nació el 10 de enero de 1991 en La Habana. Recibió el título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica de la Facultad de Eléctrica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría en el año 2014.



Alberto Fernández Romera. Nació el 19 de enero de 1990 en La Habana. Recibió el título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica de la Facultad de Eléctrica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría en el año 2014.



Luis Giraldo Raymond Rodríguez. Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica (2012). Miembro del Grupo de Televisión Digital, RadioCuba.



José Ángel Amador Fundora. Ingeniero Electricista (1979) Máster en Ciencias en Sistemas de Radiocomunicaciones (2003), Profesor Auxiliar (1995) del Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, CUJAE. Imparte la asignatura Radioelectrónica 1, que cubre temas de generación y síntesis de frecuencias, modulación y amplificadores de potencia, Sistemas de Radiocomunicaciones, Radiodifusión y Televisión. Ha sido proyectista, diseñador de equipos electrónicos y especialista de desarrollo del ICRT de 1979 a 1994. Es miembro de la Comisión Técnica para la implantación de la TDT, MINCOM, Cuba.

