

# Configurable parameters of physical and MAC layer of a new DTT standard wireless return channel to provide Internet connectivity in rural areas of Latin America

Ciro Diego Radicelli-García<sup>a</sup> & Narcis Cardona-Marcet<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias de la Educación, Humanas y Tecnologías, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. [cradicelli@unach.edu.ec](mailto:cradicelli@unach.edu.ec)

<sup>b</sup>Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. [ncardona@iteam.upv.es](mailto:ncardona@iteam.upv.es)

Received: July 31<sup>th</sup>, 2015. Received in revised form: May 4<sup>th</sup>, 2016. Accepted: May 10<sup>th</sup>, 2016.

## Abstract

This paper proposes the elaboration of a guide to configure the parameters of a physical and MAC layer of a new second-generation digital terrestrial television (TDT) with a wireless return channel called DVB-RCT2, particularly on the physical layer; (i) transmission modes, (ii) the burst structures (BS1, BS2, BS3), and (iii) the medium access schemes (MAS) for different FFT sizes; and as for the MAC layer (i) the access modes by considering an internet band of 6 MHz. To obtain the information, the conditions of the RCT2 channel have been emulated in a broadcasting laboratory, where the transport stream (TS) has been generated to get different values on the operation from both the physical layer and MAC which are represented in different charts that demonstrate the DVB-RCT2 capacity over its predecessor DVB-RCT which makes this proposal an interesting alternative to provide internet access to rural areas.

**Keywords:** TDT; physical-layer; MAC-layer; DVB-RCT2.

## Parámetros configurables de capa física y MAC de un nuevo estándar de TDT con canal de retorno inalámbrico para proporcionar conectividad a Internet en zonas rurales de Latinoamérica

### Resumen

Este artículo propone una guía para la configuración de los parámetros de capa física y MAC de un nuevo estándar de televisión digital terrestre (TDT) de segunda generación con canal de retorno inalámbrico denominado DVB-RCT2, particularizando en la capa física; (i) los modos de transmisión, (ii) las estructuras de ráfagas (BS1, BS2, BS3), y (iii) los esquemas de acceso al medio (MAS) para diferentes tamaños de FFT; y en la capa MAC (i) los modos de acceso, considerando un ancho de banda de 6 MHz. Para obtener los datos de esta investigación se ha emulado las condiciones del canal RCT2 en un laboratorio de radiodifusión, donde se ha generado el flujo de transporte de RCT2, obteniendo valores sobre el funcionamiento tanto de capa física como de MAC, que están representados en tablas, constatando así las capacidades de DVB-RCT2 sobre DVB-RCT, lo que lo convierte en una interesante alternativa para proporcionar acceso a Internet a zonas rurales.

**Palabras clave:** TDT; capa-física, capa-MAC; DVB-RCT2.

### 1. Introducción

Dado que Internet amplía el acceso a la información, tiene un gran potencial para mejorar la educación, la ciencia, la cultura, la comunicación, y la información; incluidos también los principios

de los derechos humanos como la democracia, la libertad de expresión y el acceso al saber [1]. En este sentido la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI), celebrada en Ginebra (2003) y Túnez (2005), trató una amplia gama de temas relacionados con las Tecnologías de la Información y

**How to cite:** Radicelli-García, C.D. y Cardona-Marcet, N., Diseño de capa física y MAC de un nuevo estándar de TDT con canal de retorno inalámbrico para proporcionar conectividad a Internet en zonas rurales de Latinoamérica DYNA 83 (198) pp. 16-26, 2016.

Comunicación (TICs) para el desarrollo, definiendo diez objetivos que se enuncian en el Informe sobre el Desarrollo Mundial de las Telecomunicaciones [2] además de diversas recomendaciones para el 2015, destinados a fomentar la creación de una sociedad de la información inclusiva.

Sin embargo, el acceso a Internet en zonas rurales de América Latina es deficiente, debido a que la población rural no tiene acceso a esta tecnología o lo hace desde lugares públicos a baja velocidad de conexión. Situación que no sucede por ejemplo con la tecnología móvil, que cuenta en América Latina con una acogida del 130% y específicamente en Ecuador del 105% y va en aumento [3,4]. Es decir que el número de usuarios que acceden a esta tecnología es alto. Por otro lado la televisión (TV), suele ser más popular y accesible que el Internet, la telefonía móvil, e incluso que la radio, teniendo valores de penetración del 90%, según el informe de la UIT [2].

Latinoamérica está migrando de la TV analógica a la Televisión Digital Terrestre (TDT). Debido a lo cual para las emisiones de TDT los países de la región han adoptado en su mayoría el estándar japonés-brasileño ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Brasil), a excepción de Panamá y Colombia que utilizan las normas europeas DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) y DVB-T2 (Terrestrial 2nd Generation) respectivamente, y los países de América Central que usan la norteamericana ATSC (Advanced Television System Committee).

La digitalización de la televisión conlleva la liberación de parte del espectro radioeléctrico cuyo uso está previsto para servicios de comunicaciones de cuarta generación 4G. Este proceso conocido como dividendo digital (DD), corresponde en América (Región 1 de la UIT) a la banda de 700 MHz (canales 52 al 69 de TV) [5]. Es así por ejemplo que en Colombia ya se ha producido este dividendo y la subasta del espectro 4G está pendiente [6], mientras que en Ecuador se dispuso que el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), sea el organismo que defina las bandas para la implementación de la TDT y que la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL), efectúe un análisis para ocupar el rango de 482-512 MHz [7]. Además la situación con respecto al manejo del espectro radioeléctrico se detalla en [8,9].

## 2. Tecnologías para proporcionar conectividad a Internet en zonas rurales

Con el despliegue de redes 4G en la banda de 700 MHz se espera mejorar el acceso a Internet en zonas rurales, gracias a las mejores condiciones de propagación y penetración que presentan. Sin embargo, es probable que dicho despliegue no sea suficiente para garantizar el acceso en zonas con baja densidad poblacional, por lo que la única posibilidad sería utilizar conectividad vía satélite, cuyo elevado costo no permitiría universalizar el servicio.

Bajo este contexto, una posible solución para lograr acceso universal a Internet en zonas rurales de Latinoamérica sería la utilización de un canal TDT con retorno inalámbrico, con lo que se reutilizaría la infraestructura de televisión digital para aumentar la penetración a Internet y disminuir los costos de implementación, puesto que llegaría a todos los hogares que tengan acceso a la TDT.

Existe una opción en el estándar europeo, DVB-RCT (Return Channel Terrestrial) que proporciona un canal de

retorno inalámbrico para la tecnología de TDT DVB-T [10]. Sin embargo esta nunca llegó a desplegarse comercialmente debido al deficiente apoyo de la industria, a la oposición de los operadores de telefonía móvil, y a que se necesitan cambios en la regulación del uso del espectro de radiodifusión.

En este artículo se propone mejorar el canal de retorno UL (uplink), a nivel de capa física y MAC desarrollando una segunda-generación del estándar DVB-RCT, llamada DVB-RCT2 (Return Channel Terrestrial 2nd Generation), para lo cual se utilizará los principios de DVB-RCT y se aprovechará los avances tecnológicos de DVB-T2 para aplicarlos en el UL. En este sentido DVB-RCT2 podrá ser utilizado en DL (downlink) con cualquier tecnología de TDT presente en América Latina (ISDB-Tb, DVB-T o DVB-T2) si se usan el transmisor y decodificador adecuados, mientras que para el UL se utilizaría la propia tecnología DVB-RCT2. En la Fig. 1 se ilustra la arquitectura RCT2.

La tecnología DVB-RCT2 es definida como una red inalámbrica de difusión bidireccional, puesto que para la comunicación desde el proveedor del servicio hasta el usuario, se utiliza un canal de difusión (forward interaction path), pudiendo emplear en el DL, cualquiera de las tecnologías antes descritas, que en el caso de Ecuador sería ISDB-Tb, utilizando modulación OFDM normal, mientras que para la comunicación inversa se emplearía un canal de retorno (return interaction path), que utiliza propiamente la arquitectura DVB-RCT2 utilizando modulación OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Específicamente en el canal de retorno se utiliza la capa de control de acceso al medio MAC (Medium Access Control), que está constituida sobre la capa física para proveer seguridad y un canal de retorno inalámbrico compartido, entre el terminal de usuario (RCTT - Return Channel Terrestrial), y la estación base. El protocolo MAC ofrece un uso transparente de la capa física a los protocolos de capas superiores, habilitando en la estación base el adaptador de red interactivo (INA – Interactive Network Adapter), quien es el responsable de asignar los recursos de subida (ranuras de frecuencia y tiempo) a los RCTTs, cuando las capas superiores lo necesitan. Por su parte el RCTT, es responsable de solicitar más recursos, si la estación base no se los ha provisto, o le ha dado muy pocos. Dichos mensajes MAC de subida (interacción) pueden ser enviados como se detallará posteriormente como acceso de tasa fija, contención, y reserva en el canal de subida, y pueden ser encapsulados en células ATM o mapeados directamente dentro de una ráfaga física, en cambio que los datos de bajada (difusión), si se utilizaría ISDB-Tb, serían encapsulados en paquetes MPEG-4.

## 3. Escenario de simulación

Para la tecnología DVB-RCT2, tal como se muestra en la Fig. 2, se ha emulado en el laboratorio de TDT de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) las características del canal RCT2, utilizando la plataforma VillageFlow trabajando con una tarjeta DTA115, la misma que permite generar flujos de transporte (TS) multiestándar, para el caso específico de esta investigación se ha generado el TS para DVB-RCT2, mediante el cual se parametrizó tanto la capa física como la MAC del estándar propuesto.

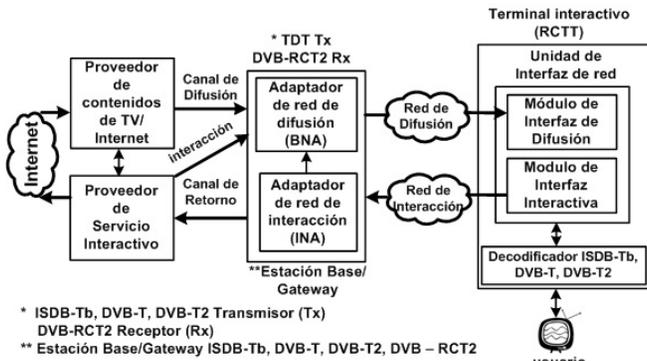


Figura 1. Arquitectura propuesta de DVB-RCT2.  
 Fuente: Elaboración propia con base en [11].



Figura 2. Escenario de pruebas.  
 Fuente: Elaboración propia

## 4. Capa física de DVB-RCT

### 4.1. Generalidades

Para proveer un canal de retorno inalámbrico compartido para DVB-T, DVB-RCT usa un canal de radiofrecuencia dedicado y lo organiza para permitir el acceso concurrente desde muchos terminales de usuario individuales (RCTTs). El método usado para organizar dicho canal de retorno es dividiéndolo en dominios de tiempo y frecuencia, obteniendo de esta manera una malla de ranuras tiempo/frecuencia, en donde cada ranura es asignable a un RCTT.

Para la organización del canal de retorno a nivel de capa física, el estándar provee dos conformados de señal; con el fin de dotar de inmunidad contra la interferencia entre portadora (ICI) y la interferencia entre símbolo (ISI) [11].

- **Conformado de Nyquist (Nyquist shaping).**- usa filtrado de Nyquist en tiempo sobre cada portadora, sirve también para brindar inmunidad contra jammers.
- **Conformado Rectangular (Rectangular shaping).**- usa una disposición ortogonal de las portadoras y un intervalo de guarda (GI) con valores de 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 entre los símbolos modulados, sirve además para combatir los efectos de la propagación multicamino.

El uso de los conformados es estrictamente exclusivo, es decir que estos no pueden ser utilizados al mismo tiempo en el canal de retorno.

DVB-RCT define dos tipos de tramas de transmisión (Transmission Frame - TF), las mismas que proveen las características necesarias para permitir la demodulación en la estación base.

- **TF1.**- se compone de un conjunto de símbolos OFDM, que contienen varios Subcanales de Datos, un Símbolo

Nulo y una serie de Símbolos de Sincronización/Aleatorio.

- **TF2.**- se compone de un conjunto de símbolos OFDM de propósito general, que contienen ya sea Datos o Subcanales de Sincronización/Aleatoriedad.

Cada RCTT transmite ráfagas de datos, mediante las estructuras de ráfagas de datos (Burst Structure - BS), y lo hace en base a un número entero de celdas ATM (una celda ATM es el contenedor común usado para llevar el control MAC o los mensajes de datos MAC). Sea cual sea la tasa de codificación y la modulación física, las BS tienen una capacidad de ráfaga constante de 144 símbolos modulados.

DVB-RCT define también tres estructuras de ráfagas BS1, BS2 y BS3 que tienen sus propias características con respecto a la división de las ráfagas de datos y las portadoras piloto a través de las ranuras tiempo/frecuencia.

La asignación de las BS en las TF, es controlado por el proceso MAC que se ejecuta en la estación base, para esto existen tres métodos llamados Esquemas de Acceso al Medio (Medium Access Scheme - MAS), que a su vez están relacionados con los modos de acceso que tendrán los RCTTs para solicitar recursos a la estación base.

El TF1 es adecuado para los Esquemas de Acceso al Medio 1 y 2 (MAS1 y MAS2), que describen el método de asignación para BS1 y BS2 respectivamente. El TF2 en cambio es usado solamente para MAS3, y provee el método de asignación a ser usado en BS3 y BS2. En la Tabla 1 se definen las 4 combinaciones existentes para crear los MAS, y se indican los modos de acceso correspondientes.

### 4.2. Modos de transmisión DVB-RCT

DVB-RCT especifica 6 modos de operación definidos por el máximo número de portadoras usadas, dado por el tamaño de la FFT (1K y 2K), y su distancia entre-portadora (Carrier Spacing - CS). Solamente un modo de transmisión podrá ser implementado en un canal de radiofrecuencia. En la Tabla 2 se indican las distancias entre-portadora aproximadas para un canal de 6 MHz.

Tabla 1.  
 Esquemas de acceso al medio del estándar DVB-RCT.

Esquema de acceso	Trama de transmisión	Estructura de ráfaga	Modo de acceso
N/A	N/A	N/A	Acceso de sincronización
MAS1	TF1	BS1	Acceso de tasa fija
MAS2	TF1	BS2	Acceso de contención
MAS3	TF2	BS3	Acceso de reserva
MAS3	TF2	BS2 (opcional)	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.  
 Distancias entre-portadora para un canal de 6MHz.

CS	Distancia
CS1	0,84 kHz
CS2	1,67 kHz
CS3	3,35 kHz

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.

Modos de transmisión de DVB-RCT para un canal de 6MHz.

Portadoras totales del Sistema (Tsc)	1024 (1K)	2048 (2K)
Portadoras útiles (Cu)	842	1712
Reloj del sistema RCT (T)	1,167 us	0,583 us
Duración del símbolo útil (Tu)	1195 us	1195 us
Distancia entre-portadora1 (Cs1)	837 Hz	837 Hz
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	0,705 MHz	1,433 MHz
Reloj del sistema RCT (T)	0,583 us	0,292 us
Duración del símbolo útil (Tu)	597 us	597 us
Distancia entre-portadora2 (Cs2)	1674 Hz	1674 Hz
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	1,410 MHz	2,866 MHz
Reloj del sistema RCT (T)	0,292 us	0,146 us
Duración del símbolo útil (Tu)	299 us	299 us
Distancia entre-portadora3 (Cs3)	3348 Hz	3348 Hz
Ancho de banda del canal RCT (Bu)	2,819MHz	5,732 MHz

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

La distancia entre-portadora controla la robustez del sistema en lo que respecta a la posible desincronización de cualquier RCTT. Cada valor implica un tamaño de celda de transmisión máxima y brinda una resistencia al efecto Doppler cuando el RCTT está en movimiento.

En la Tabla 3, se indican los parámetros de los modos de transmisión aplicables para el estándar DVB-RCT utilizando un canal de radiofrecuencia de 6 MHz.

Cada combinación tiene una compensación específica entre la diversidad en frecuencia y la diversidad en tiempo, y además entre el rango de cobertura y la capacidad de portabilidad.

#### 4.3. Tramas de transmisión (TF) de DVB-RCT

Las tramas de transmisión proveen al canal de radiofrecuencia de una estructura repetitiva, compuesta de un conjunto de ranuras tiempo/frecuencia, en las que Símbolos Nulos, Símbolos Sincronización/Aleatorios, Símbolos de Datos y Símbolos Pilotos son embebidos para proveer recursos para la sincronización y transmisión de datos.

El proceso MAC que se ejecuta en la estación base maneja los recursos provistos por las tramas de transmisión.

TF1 organiza el canal en el dominio del tiempo, usando conjuntos específicos de símbolos OFDM para transmitir símbolos nulos, símbolos aleatorios/sincronización y símbolos de usuario. Mientras que TF2 organiza el canal en el dominio de la frecuencia, donde un conjunto de 5 subcanales consecutivos (llamados subcanales aleatorios), son usados para sincronización, mientras que el resto de subcanales son usados para transmisión de datos.

Para organizar TF1 en el dominio del tiempo, la trama de transmisión puede llevar las siguientes tres categorías de símbolos.

- **Símbolo Nulo.**- ninguna transmisión ocurrirá en el primer símbolo OFDM de la trama de transmisión. Este símbolo provee la detección del jammer de la estación base receptora.
- **Símbolos Aleatorios.**- muchos símbolos consecutivos OFDM (6, 12, 24 o 48) son provistos para permitir características de aleatoriedad al RCTT.

- **Símbolos de usuario.**- parte de la trama de transmisión permite la transmisión de estructuras de ráfagas de datos (BS1 o BS2), las cuales incluyen datos de usuario y portadoras piloto. Tanto BS1 como BS2 hacen uso de un conjunto de portadoras, llamadas subcanales que se encuentran repartidos en todo el canal.

Además los símbolos de usuario pueden llevar una BS1 o cuatro BS2, y tanto BS1 como BS2 no podrán ser utilizadas al mismo tiempo.

Si los símbolos de usuario usan el conformado rectangular, el valor del GI será idéntico para todos los símbolos OFDM embebidos en la trama TF1. Si en cambio usa el conformado de Nyquist el valor del GI se aplicará sobre el Símbolo Nulo y los Símbolos Aleatorios y el mismo será de  $\frac{1}{4}$ .

TF2 por su parte, podrá llevar de las siguientes categorías de símbolos en el mismo símbolo OFDM.

- **Símbolos aleatorios.**- 8 intervalos aleatorios (hechos de 6 símbolos consecutivos), que brindan funciones de aleatoriedad.
- **Símbolos de usuario.**- llevan las estructuras de ráfagas de datos (BS3 o BS2), que incluyen portadoras de datos y pilotos. Tanto BS2 como BS3 hacen uso de un conjunto de portadoras, llamadas subcanales que se encuentran repartidos en todo el canal.

Los símbolos de usuario de la TF2 permite el uso de la BS3 u opcionalmente de la BS2. Cuando una BS2 es transmitida, esta deberá ser completada por un conjunto de 4 símbolos nulos modulados con el objetivo de alcanzar una duración igual a la duración de ocho BS3.

#### 4.4. Estructuras de ráfagas de datos (BS) de DVB-RCT

El canal de retorno es dividido en una malla de ranuras de tiempo/frecuencia, en donde en cada ranura de tiempo se pueden usar diferentes frecuencias simultáneamente para transmitir. Esto se conoce como estructura de ráfaga de datos (BS) y es la ranura de transmisión básica asignada a un RCTT, en la Fig. 3 se ilustra el concepto.

El estándar define tres estructuras de ráfaga que brindan varias combinaciones diversas en tiempo y frecuencia, proporcionado de esta manera diferentes grados de robustez, duración de ráfaga y un amplio rango de capacidad tasa de bits al sistema.

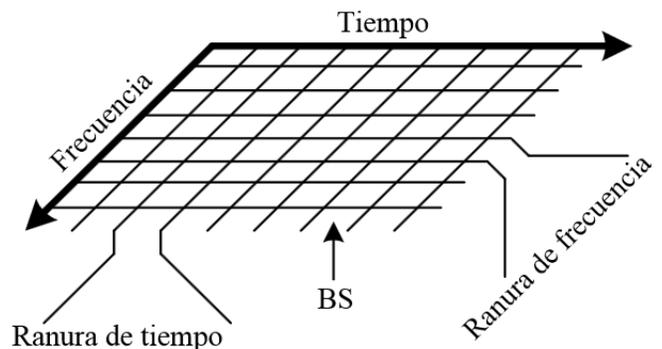


Figura 3. Ranuras de transmisión básicas de un RCTT.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.  
Asignación de parámetros para BS1, opción sin salto de frecuencia.

	Rectangular	Nyquist
Símbolos de datos en una mini-ráfaga	36	36
Símbolos piloto en una mini-ráfaga	9	9
Símbolos de datos en una ráfaga	144	144
Símbolos piloto en una ráfaga	36	36
Símbolos nulos pre/post preámbulo	0	8
Total de símbolos OFDM en la portadora (tiempo de transmisión)	180	188

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

Cada BS hace uso de un conjunto de portadoras llamadas subcanales. Uno o muchos subcanales pueden ser usados simultáneamente por un RCTT dependiendo de la asignación realizada por el proceso MAC.

**BS1.-** Está formada por una única portadora (1 subcanal) para llevar la ráfaga de datos total (144 símbolos de datos modulados) sobre la componente del tiempo, con un salto de frecuencia opcional aplicado dentro de la duración de la ráfaga.

Para la asignación de datos BS1 provee dos opciones, BS1 sin salto de frecuencia y BS1 con salto de frecuencia (opcional).

**BS1 sin salto de frecuencia.-** La asignación de datos será hecha secuencialmente, después de la decodificación, el entrelazo y la conversión del flujo binario a las constelaciones, sobre las 4 mini-ráfagas consecutivas de una ráfaga BS1. Cada una de las 4 mini-ráfagas, se asignarán a la misma portadora, en una secuencia de tiempo. La asignación de una portadora al subcanal, para esta opción, será conforme a los valores de la Tabla 4.

**BS1 con salto de frecuencia (opcional).-** para proveer diversidad de frecuencia para BS1, la opción de salto de frecuencia puede ser implementada para la transmisión de las mini-ráfagas. La asignación de datos será hecha secuencialmente, como en la opción sin salto de frecuencia.

Cada una de las 4 mini-ráfagas, serán asignadas a 4 portadoras diferentes. La asignación de una portadora a un subcanal, con la opción de salto de frecuencia, será conforme los valores de la Tabla 5.

**BS2.-** usará simultáneamente 4 portadoras (4 subcanales) llevando cada una, la cuarta parte del total de ráfaga de datos (36 símbolos de datos modulados por portadora).

BS2 llevará 144 símbolos de datos, organizados en 4 ráfagas que serán transmitidas simultáneamente en una portadora por separado. Las 4 portadoras usadas forman un subcanal. El subcanal será definido de acuerdo al uso de BS2 ya sea en el MAS2 o en el MAS3 (opcional), mientras que la asignación de datos será hecha secuencialmente como en BS1, así como la inserción de pilotos.

Tabla 5.  
Asignación de parámetros para BS1, opción con salto de frecuencia.

	Rectangular	Nyquist
Símbolos de datos en una mini-ráfaga	36	36
Símbolos piloto en una mini-ráfaga	9	9
Símbolos de datos en una ráfaga	144	144
Símbolos piloto en una ráfaga	36	36
Símbolos nulos pre/post preámbulo	0	32
Total de símbolos OFDM en la portadora (tiempo de transmisión)	180	212

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

La asignación de portadoras, será conforme los valores de la Tabla 6.

Cuando se usa MAS2, la asignación de las 4 portadoras al subcanal seguirá los valores descritos en la Tabla 7.

Cuando se usa MAS3, la asignación de las 4 portadoras al subcanal quedará según lo definido en la Tabla 8.

**BS3.-** usará simultáneamente 29 portadoras (29 subcanales) llevando cada una, la vigésima novena parte del total de ráfaga de datos (aproximadamente 4,97 símbolos de datos modulados por portadora). Es decir BS3 llevará 144 símbolos de datos transmitidas sobre 29 portadoras, mismas que forman un subcanal. Esta estructura de ráfaga puede usarse solamente con conformado de señal Rectangular.

Para la asignación de portadoras, BS3 usará los parámetros del dominio del tiempo y del dominio de la frecuencia descritos en las Tablas 9 y 10 respectivamente.

Tabla 6.  
Asignación de parámetros para conformados de señal Rectangular y Nyquist, subcanal BS2.

	Rectangular	Nyquist
Símbolos de datos en la ráfaga	144	144
Símbolos piloto en la ráfaga	36	36
Símbolos nulos pre/post preámbulo	0	32
Número total de símbolos de usuario	176	208
Total de símbolos OFDM por portadora (tiempo de transmisión)	45	53

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

Tabla 7.  
Asignación de parámetros cuando se MAS2, subcanal BS2 de DVB-RCT.

Modos	1K	2K
Número de portadoras en un símbolo OFDM	1024	2048
Portadoras totales	842	1712
Número máximo de portadoras útiles ( 4 portadoras)	840	1708
Máximo número de portadoras útiles por cada portadora (número subcanales BS2)	210	427
Numeración de las portadoras	de 0 a 841	de 0 a 1711
Banda de guarda en la izquierda	91	168
Banda de guarda en la derecha	91	168
Número de portadoras excluidas	0, 421	0, 1, 856,1711
Numeración del subcanal: SCN	1 al 210	2 al 428
X	210	427
Y	420	855
Z	630	1282

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

Tabla 8.  
Asignación de parámetros cuando se MAS3, subcanal BS2 de DVB-RCT (conformado Rectangular).

	Modo 1K	Modo 2K
Número de portadoras en un símbolo OFDM	1024	2048
Numeración del subcanal: SubcanalBS2	1..7, 11..17, 21..27,..281..287	1..7, 11..17, 21..27,..581..587

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

Tabla 9.  
Asignación de parámetros dominio del tiempo, conformado de señal Rectangular, subcanal BS3 de DVB-RCT.

	Rectangular	Nyquist
Símbolos de datos en la ráfaga	144	No aplica
Símbolos piloto en la ráfaga	30	No aplica
Número total de símbolos de usuario	174	No aplica
Total de símbolos OFDM por portadora (tiempo de transmisión)	6	No aplica

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

Tabla 10.  
Asignación de parámetros dominio de la frecuencia, conformado de señal Rectangular, subcanal BS3 de DVB-RCT.

	Modo 1K	Modo 2K
Número de portadoras en un símbolo OFDM	1024	2048
Portadoras totales	842	1712
Numeración de las portadoras	de 0 a 841	de 0 a 1711
Banda de guarda en la izquierda	91	168
Banda de guarda en la derecha	91	168
Número de portadoras excluidas	421	856
Número de subcanales BS3	29	59
Numeración del subcanal: SCN	0, 10, 20, 30, ..280	0, 10, 20, 30, ..580

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

Tabla 11.  
Parámetros de TF1, BS1 para conformado de señal Rectangular y Nyquist (MAS1).

Conformados	Rectangular con y sin salto de frecuencia	Nyquist sin salto de frecuencia	Nyquist con salto de frecuencia
Símbolos OFDM de usuario	180	188	212
Símbolos OFDM nulos	1	1	1
Símbolos OFDM aleatorios/sincronización	6, 12, 24, o 48	6, 12, 24, o 48	6, 12, 24, o 48
Número total de símbolos en una TF	187, 193, 205, o 229	195, 201, 213, o 237	219, 225, 237, o 261

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

En BS2 y BS3 las portadoras no son consecutivas, pero están esparcidas a través de todo el canal de radiofrecuencia.

Las 3 estructuras de ráfaga proveen un esquema de modulación asistida de piloto que permite la detección coherente en la estación base. La relación de inserción de pilotos es de aproximadamente 1/6, lo que significa que un patrón de portadoras piloto (PPP) es insertado cada 5 portadoras de datos.

#### 4.5. Esquemas de acceso al medio (MAS) de DVB-RCT

El estándar DVB-RCT ofrece 2 TF y 3 BS, los MAS1, MAS2 y MAS3 proveen la asignación de una o más BS sobre

una TF. El número de símbolos usados, símbolos de datos y símbolos de sincronización que constituyen la TF para MAS1, MAS2 y MAS3 deberá cumplir con los valores dados en las Tablas 11, 12 y 13 respectivamente.

## 5. Capa MAC de DVB-RCT

### 5.1. Modos de acceso

El usuario envía las peticiones a través del Módulo de Interfaz Interactiva hacia el adaptador de red de interacción INA (Interactive Network Adapter) en la estación base, y esta responde a las peticiones desde el BNA (Broadcast Network Adapter), hacia el módulo de Interfaz de Difusión del RCTT.

La capa MAC en el UL proporciona seguridad y compartición del canal entre los RCTTs y la estación base. El INA ejecuta el proceso controlador de la capa MAC para asignar los recursos de subida (ranuras de frecuencia y tiempo) a los RCTTs. Dicho controlador realiza tres procesos fundamentales: sincronización inicial, mantenimiento de la sincronización, y asignación de recursos.

La sincronización inicial para cada RCTT se realiza en tiempo, potencia y frecuencia. Para sincronizarse en tiempo y potencia cada RCTT demodula la señal de difusión DL que provee la estación base obteniendo información sobre la operación de la red, luego de lo cual transmite un código aleatorio de los 32 definidos para tareas de inicialización, mantenimiento o solicitud de ancho de banda en el subcanal de servicio (subcanal de subida predefinido por el controlador MAC mediante el cual entra en la red, y que luego sirve para mantener la sincronización durante la conexión y para solicitar ancho de banda). Dichos códigos son CDMA (Code Division Multiple Access) por lo que la estación base es capaz de identificar varios códigos recibidos

Tabla 12.  
Parámetros de TF1, BS2 para conformado de señal Rectangular y Nyquist (MAS2).

Conformados	Rectangular	Nyquist
Símbolos OFDM de usuario	176	208
Símbolos OFDM nulos	1	1
Símbolos OFDM aleatorios/sincronización	6, 12, 24, o 48	6, 12, 24, o 48
Número total de símbolos en una TF	187, 193, 205, o 229	219, 225, 237, o 261

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

Tabla 13.  
Parámetros de TF2, con BS2 y BS3 para conformado de señal Rectangular (MAS3).

Conformados	Rectangular con BS2 (opcional)	Rectangular con BS3
Símbolos OFDM de usuario	44	48
Símbolos OFDM nulos	1	8
Símbolos OFDM aleatorios/sincronización	0	0
Número total de símbolos en una TF	48	48

Fuente: Elaboración propia con base en [11].

al mismo tiempo. La sincronización en frecuencia se realiza al final y se deriva de la señal emitida por la estación base. Además el controlador MAC define cuatro modos de acceso en el UL; (i) Acceso de sincronización, para sincronizar inicialmente al RCTT y mantener la sincronización durante toda la conexión; (ii) Acceso de tasa fija, para asignar al RCTT una serie de ranuras cuando se establece la conexión; (iii) Acceso de contención, para enviar mensajes MAC en las ranuras no reservadas que el INA identifica en el DL; y (iv) Acceso de reserva, para conceder a un RCTT ranuras mediante mensajes MAC o por motivos de sincronización.

El controlador MAC continuamente monitorea el UL, asignando el MODCOD que deberán tener los RCTTs por conexión y verificando que estén dentro de los umbrales de sincronización predefinidos; si se detecta algún equipo fuera de estos parámetros, empieza un proceso de recalibración.

Una vez efectuada la sincronización inicial, se establece una conexión entre el RCTT y la estación base, la misma que envía en DL un reconocimiento al RCTT para identificarlo.

Para solicitar ancho de banda (ranuras) el RCTT envía un mensaje MAC utilizando los modos de acceso de tasa fija, contención o reserva, según la configuración de la estación base. Dichas ranuras le son asignadas en DL mediante los subcanales de datos. Si la asignación no es obtenida se vuelve a transmitir la solicitud.

## 6. Capa física de DVB-RCT2

### 6.1. Generalidades

El nuevo estándar DVB-RCT2 está pensado para proveer un canal de retorno inalámbrico para las tecnologías de DL ISDB-Tb, DVB-T y DVB-T2, siendo una propuesta innovadora que podría ser utilizada en toda Latinoamérica.

Para la organización del canal de retorno a nivel de capa física, DVB-RCT2 al igual que su predecesor DVB-RCT tendrá dos conformados de señal; con el fin de dotar de inmunidad contra ICI e ISI.

- **Conformado de Nyquist (Nyquist shaping).**- usa filtrado de Nyquist en tiempo sobre cada portadora, sirve también para brindar inmunidad contra jammers.
- **Conformado Rectangular (Rectangular shaping).**- usa una disposición ortogonal de las portadoras y un GI con valores de 1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128 entre los símbolos modulados.

Dependiendo del modo de transmisión usado, la señal total en el aire se compondrá de un conjunto de portadoras, basadas en DVB-T2 (1K, 2K, **4K, 8K, 8K extendido (ext), 16K, 16K extendido, 32K, 32K extendido**) adyacentes moduladas sincrónicamente por el RCTT activo. Cabe destacar que los valores en negrita son tomados del estándar DVB-T2 y originalmente no existen en el estándar DVB-RCT. Además al igual que DVB-RCT, DVB-RCT2 utilizará dos tramas de transmisión (TF), tres estructuras de ráfagas de datos (BS1, BS2, BS3), y tres esquemas de acceso al medio (MAS1, MAS2, MAS3).

### 6.2. Modos de transmisión DVB-RCT2

DVB-RCT2 especificará 27 modos de operación definidos por el máximo número de portadoras usadas, dado

por el tamaño de la FFT (1K, 2K, 4K, 8K, 8K ext, 16K, 16K ext, 32K, 32K ext), y su distancia entre-portadora (Carrier Spacing – CS). Se debe considerar como en DVB-RCT que solo un modo de transmisión podrá ser implementado en un canal de radiofrecuencia. En la Tabla 14, se indican los parámetros de los modos de transmisión aplicables para el estándar DVB-RCT2 utilizando un canal de radiofrecuencia de 6 MHz, en donde:

- **Portadoras totales del sistema (Tsc):** es el número total de portadoras manejadas por el estándar DVB-RCT2.
- **Portadoras útiles (Cu):** es el máximo número de portadoras efectivamente usadas por el RCTT.
- **Reloj del sistema RCT2 (T):** se deriva del estándar DVB-T2, en donde el reloj del sistema definido para un canal de 6MHz es de 48/7 MHz o 7/48 us. Por consiguiente el reloj del sistema para DVB-RCT2 será:
  - En el caso de CS1, 4 veces el período del reloj del sistema de DVB-T2. Para CS2, 2 veces el período del reloj del sistema de DVB-T2. Y para CS3, 1 vez el período del reloj del sistema de DVB-T2;
- **Duración del símbolo útil (Tu):** es el período útil del símbolo, expresado como:  $Tu = Tsc * T$
- **Distancia entre-portadora 1,2,3 (Cs1, Cs2, Cs3):** viene expresada como:  $Cs = 1/Tu$
- **Ancho de banda del canal RCT2 (Bu):** es usado en el canal RCT2, viene expresado como:  $Bu = Cs_{1,2,3} * Cu$ .

A modo de ejemplo, en las tablas a definirse a continuación se representarán los valores para los modos 4, 8, 16, y 32K.

### 6.3. Estructuras de ráfagas de datos (BS) DVB-RCT2

Al igual que en DVB-RCT, para DVB-RCT2 el subcanal de BS1 está compuesto de 4 mini-ráfagas que a su vez tienen portadoras de datos y portadoras piloto, estas últimas con un patrón de distribución específico. La asignación de una portadora a la primera mini-ráfaga del subcanal será conforme con el valor dado en la Tabla 15.

En lo referente a BS2, en DVB-RCT2 el subcanal será definido de acuerdo al uso de esta estructura de ráfaga ya sea en el MAS2 o en el MAS3 (opcional). Cuando se usa MAS2, la asignación de las 4 portadoras al subcanal seguirá los valores de a Tabla 16.

Tabla 14.  
Modos de transmisión DVB-RCT2, canal 6 MHz.

	<b>4096(4K)</b>	<b>8192 (8K)</b>	<b>16384 (16K)</b>	<b>32768 (32K)</b>
Tsc	<b>4096</b>	<b>8192</b>	<b>16384</b>	<b>32768</b>
Cu	<b>3409</b>	<b>6817</b>	<b>13633</b>	<b>27265</b>
T	0,291 us	0,145 us	0,072 us	0,036 us
Tu	1195 us	1195 us	1195 us	1195 us
Cs1	837 Hz	837 Hz	837 Hz	837 Hz
Bu	2,853 MHz	5,705 MHz	11,410 MHz	22,820 MHz
T	0,145 us	0,072 us	0,036 us	0,018 us
Tu	597 us	597 us	597 us	597 us
Cs2	1674 Hz	1674 Hz	1674 Hz	1674 Hz
Bu	5,706 MHz	11,411 MHz	22,821 MHz	45,641 MHz
T	0,072 us	0,036 us	0,018 us	0,009 us
Tu	298 us	298 us	298 us	298 us
Cs3	3355 Hz	3355 Hz	3355 Hz	3355 Hz
Bu	11,437 MHz	22,871 MHz	45,738 MHz	91,474 MHz

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15.  
Parámetros conformado Rectangular y Nyquist, subcanal BS1 DVB-RCT2.

Modos	4K	8K	16K	32K
Número virtual de portadoras en un símbolo OFDM	4096	8192	16384	32768
Portadoras totales	3409	6817	13633	27265
Banda de guarda en cada borde	346	687	1375	2751
Número máximo de portadoras útiles (número subcanales BS1)	3403	6810	13625	27256
Número de portadoras excluidas	0, 1, 426, 852, 1704, 3408	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632, 27264
Numeración del subcanal	2 al 425; 427 al 851; 853 al 1703; 1705 al 3407	2 al 425; 427 al 853; 855 al 1705; 1707 al 3409; 3411 al 6817	2 al 425; 427 al 851; 853 al 1703; 1705 al 3407; 3409 al 6815; 6817 al 13631	2 al 425; 427 al 851; 853 al 1703; 1705 al 3409; 3411 al 6815; 6817 al 13631; 13633 al 27263

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.  
Parámetros MAS2, subcanal BS2 de DVB-RCT2.

Modos	4K	8K	16K	32K
Número de portadoras en un símbolo OFDM	4096	8192	16384	32768
Portadoras totales	3409	6817	13633	27265
Número máximo de portadoras útiles (4 portadoras)	3403	6810	13625	27256
Máximo número de portadoras útiles por cada portadora (número subcanales BS2)	850	1702	3406	6814
Numeración de las portadoras	de 0 a 3408	de 0 a 6816	de 0 a 13632	de 0 a 27264
Banda de guarda en la izquierda	346	687	1375	2751
Banda de guarda en la derecha	346	687	1375	2751
Número de portadoras excluidas	0, 1, 426, 852, 1704, 3408	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632	0, 1, 426, 852, 1704, 3408, 6816, 13632, 27264
Numeración del subcanal: SCN	1 al 850	1 al 1702	1 al 3406	1 al 6814
X	850	1702	3406	6814
Y	1703	3407	6815	13631
Z	2553	5109	10221	20445

Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes fórmulas definen la indexación de la portadora dentro de una asignación de un subcanal para los modos desde 1K hasta 32K ext.

- Portadora 0 = SCN
- Portadora 1 = SCN + X
- Portadora 2 = SCN + Y
- Portadora 3 = SCN + Z

Por su parte la asignación de portadoras para MAS3, sigue los mismos principios que en DVB-RCT, en este sentido la asignación de portadoras a los subconjuntos de BS2 es obtenida por la ec. (1):

$$\text{Subconjunto\# (SCN, } n) = \text{Portadora\#(} n-1), \text{Portadora\#(} n+6), \text{Portadora\#(} n+13), \text{Portadora\#(} n+20) \quad (1)$$

Donde n indica el número de subconjunto para la asignación del subcanal BS2 dentro de los subconjuntos del subcanal BS3 (7 en total), mediante la ec. (2):

$$\text{Subcanal BS2\#} = \text{SCN}+n; \text{ donde } 1 \leq n \leq 7 \quad (2)$$

El número de subcanales en BS3 está hecho en múltiplos de 10 para permitir la numeración de los subcanales de BS2 dentro de los subcanales de BS3 para el MAS3. Los parámetros de dicha asignación se definen en la Tabla 17.

Tabla 17.  
Parámetros subcanal BS2, MAS3 en DVB-RCT2 (conformado Rectangular).

Modos	4K	8K	16K	32K
Número de portadoras en un símbolo OFDM	4096	8192	16384	32768
Numeración del subcanal: Subcanal BS2	1..7..11..17, 1161..1167	1..7..11..17, 2341..2347	1..7..11..17, 4691..4697	1..7..11..17, 9391..9397

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.  
Parámetros dominio de la frecuencia, conformado Rectangular, subcanal BS3 de DVB-RCT2.

Modos	4K	8K	16K	32K
Número de portadoras en un símbolo OFDM	4096	8192	16384	32768
Portadoras totales	3409	6817	13633	27265
Numeración de las portadoras	de 0 a 3408	de 0 a 6816	de 0 a 13632	de 0 a 27264
Banda de guarda en la izquierda	346	687	1375	2751
Banda de guarda en la derecha	346	687	1375	2751
Número de portadoras excluidas	1704	3408	6816	13632
Número de subcanales BS3	117	235	470	940
Numeración del subcanal: SCN	0,10, 20..1160	0,10, 20..2340	0,10, 20..4690	0,10, 20..9390

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la asignación de portadoras de BS3 en el dominio del tiempo para DVB-RCT2 será prácticamente la misma que para DVB-RCT, considerando como en los casos anteriores los tamaños de FFT del nuevo estándar propuesto; en lo referente al dominio de la frecuencia, los parámetros están descritos en la Tabla 18.

#### 6.4. Esquemas de acceso al medio (MAS) DVB-RCT2

Al igual que en DVB-RCT, DVB-RCT2, utilizará las dos TF, las tres BS, y los tres MAS, en donde estos últimos serán usados para proveer la asignación de una o más BS sobre una TF. Para todas las BS, la estación base controla el número de subcanales simultáneamente asignados a un RCTT, con las siguientes limitaciones:

- Para conformado de señal Nyquist no más de 64 subcanales podrán ser asignados a un RCTT. Además, cuando muchos subcanales son asignados, la numeración de sus subcanales deberá ser consecutiva.
- Para conformado de señal Rectangular no más de 128 subcanales usando modulación 64QAM, o 192 subcanales usando 16QAM o 384 subcanales usando QPSK, podrán ser asignados a un RCTT.

### 7. Capa MAC de DVB-RCT2

#### 7.1. Modos de acceso DVB-RCT2

Aunque DVB-RCT2 tenga los mismos modos de acceso que el estándar DVB-RCT: tasa fija, contención, reserva, y sincronización. Para proveer de Internet a zonas rurales mediante DVB-RCT2 se utilizará el modo de acceso de sincronización, puesto que tiene un rendimiento excelente para servicios con altas tasas de datos, además de un rendimiento considerable para servicios con bajas tasas de datos, con respecto al modo de acceso de contención [10], reduciendo además las posibles colisiones que podrían existir en el subcanal de sincronización (más no en el de datos). Además dado que los códigos aleatorios que se envían son códigos CDMA, la estación base es capaz de identificar muchos códigos sin ambigüedad al mismo tiempo. Esta característica no es posible en el modo de acceso de contención, donde un considerable número de subcanales de datos deben ser dedicados únicamente para solicitudes de ancho de banda, así los nuevos usuarios que llegan no encontrarán a todos los subcanales con cargas de tráfico elevadas. Otra ventaja de este modo es la baja capacidad que se utilizaría en el DL para implementar el protocolo MAC, debido a que la estación base no necesita informar sobre las ranuras en UL no usadas, ni sobre las posibles colisiones. Cabe señalar que la estación base en lugar de esto, realiza reconocimientos de los códigos de sincronización recibidos correctamente para asignar ancho de banda a los RCTTs.

### 8. Resultados

#### 8.1. Prestaciones DVB-RCT2 con respecto a DVB-RCT

En la Tabla 19 se presentan los valores de CNR y capacidades de transmisión para DVB-RCT y DVB-RCT2,

Tabla 19.  
Valores de CNR y capacidades de transmisión en Mbps para DVB-RCT y DVB-RCT2.

MODCOD	DVB-RCT		DVB-RCT2	
	CNR	Capacidad	CNR	Capacidad
QPSK 1/2	4,6	4,26	2,67	5,64
QPSK 3/4	7,8	6,40	5,87	8,49
QPSK 5/6	--	--	7,07	9,46
16QAM 1/2	10,6	8,53	7,87	11,34
16QAM 3/4	14,0	12,80	11,87	17,03
16QAM 5/6	--	--	13,17	18,91
64QAM 1/2	15,7	12,80	12,27	16,98
64QAM 3/4	19,6	19,21	16,91	25,52
64QAM 5/6	--	--	18,68	28,43
256QAM 1/2	--	--	16,31	22,67
256QAM 3/4	--	--	22,06	34,07
256QAM 5/6	--	--	24,38	37,88

Fuente: Elaboración propia.

considerando diferentes MODCODs [12], ancho de banda de 6MHz, método de recepción fija (Perfil de Canal Rice) y los siguientes modos de transmisión. Para DVB-RCT; FFT 2K, GI 1/32, para DVB-RCT2; FFT 32K extendido, GI 1/128, PP7, y en común para las dos tecnologías; conformado de tráfico rectangular, BS3, CS1 y esquema de acceso de sincronización.

En los modos de transmisión descritos anteriormente se consideró la FFT de mayor tamaño permitida en cada tecnología junto con el GI más pequeño, esto debido a que dicho GI sólo se lo utilizará para proteger la señal de ecos que pudieran existir en la transmisión del mismo usuario.

Además en los dos estándares se utilizó el modo de acceso de sincronización, que reduce las colisiones durante la transmisión. La distancia entre portadora CS1, para obtener un tamaño máximo de celda de transmisión. BS3, debido a que el protocolo MAC del estándar 802.16a (Wimax), está basado en OFDMA y usa una capa física similar a la del estándar DVB-RCT. Es importante recalcar que BS3 cuenta con 59 subcanales, de los cuales en este estudio se utilizaron 5 para formar el subcanal de sincronización y los 54 restantes fueron utilizados para transmisión de datos. Con lo cual se logró mejorar el rendimiento del sistema DVB-RCT2 al utilizar 5 y no 4 subcanales en el subcanal de sincronización como lo hacía DVB-RCT. Además se utilizó el conformado de tráfico rectangular para combatir los efectos de la multipropagación.

Con las consideraciones anteriormente mencionadas, se observa que DVB-RCT2 proporciona mayor capacidad de transmisión (37,88 Mbps en 6 MHz), mientras que la capacidad máxima de DVB-RCT es de 19,21 Mbps. Así mismo DVB-RCT2 Presenta una mínima CNR (2,67 dB para QPSK 1/2), mientras que la CNR mínima de DVB-RCT es 4,6 dB (QPSK 1/2).

### 9. Conclusiones

Al estar basado en DVB-RCT, el estándar de TDT propuesto DVB-RCT2, seguirá los mismos principios que su predecesor, sin embargo al utilizar características de DVB-RCT2 y combinarlas con DVB-RCT, se logra que este nuevo estándar tenga capacidades superiores en cuanto a transmisión utilizando una CNR pequeña, así como a nivel

de capa física y MAC, contando por ejemplo con 27 modos de operación definidos por el máximo número de portadoras usadas, en comparación con los 6 modos con lo que trabaja DVB-RCT.

Para el envío de las peticiones de usuario hacia la estación base (UL), RCT2 utilizará un canal de retorno adaptado de la arquitectura DVB-RCT, mientras que para el (DL) se podría usar las arquitecturas ISDB-Tb, DVB-T o DVB-T2, lo que permitirá que RCT2 pueda ser utilizado en toda Latinoamérica, lo cual constituye una alternativa interesante para brindar acceso a Internet a zonas rurales, puesto que ofrecería un alto porcentaje de penetración y abarataría los costos de despliegue con respecto a otras soluciones, puesto que podría reutilizar infraestructura de la TV analógica y/o digital.

## Referencias

- [1] UNESCO., Conferencia General 36ª reunión, 36C/54, Reflexión y análisis sobre Internet, París, 2011, 13 P.
- [2] UIT., Informe sobre el desarrollo mundial de las telecomunicaciones/TIC de 2010, Verificación de los objetivos de la CMSI, Examen Intermedio, Resumen Ejecutivo, Suiza, 2010, 28 P.
- [3] Rojas, P., La Televisión Digital Terrestre y su incidencia en las estaciones televisivas ecuatorianas. Advicom Cia. Ltda. [Online]. 4, 2012. [fecha de referencia 30 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.advicom.ec/userFiles/files/Publicaciones/La%20TDT%20y%20su%20incidencia%20en%20las%20estaciones%20televisivas%20ecuatorianas-ADVICOM-PRV-FINAL%20%2826-Marzo-2012%29.pdf>
- [4] Martínez, F., Uribe, G. y Mosquera, F., OneWeb: Plataforma de adaptación de contenidos Web basada en las recomendaciones del W3C Mobile Web Initiative. Ingeniería e Investigación. [Online]. 13(1), 2011. [fecha de referencia 10 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/23588/1/20571-69500-1-PB.pdf>
- [5] Kholod, A. y Lewis, J., El dividendo digital: Oportunidades y retos. Actualidades de la UIT [Online]. 2010. [fecha de referencia 17 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.itu.int/net/itu/news/issues/2010/01/27-es.aspx>
- [6] Martínez-Pinzón, G., Primera fase de optimización de la red de televisión digital terrestre en Colombia con el nuevo estándar DVB-T2. Tesis de Maestría, Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2013.
- [7] CONATEL., Resolución RTV-38-02-CONATEL-2012. Ecuador, Consejo Nacional de Telecomunicaciones, Ecuador, 2012, 3 P.
- [8] CONARTEL., Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales (Resolución No.1779-CONARTEL-01), Ecuador, Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, 2001, 11P.
- [9] Cruz-Herrera, D., Análisis de disponibilidad de espectro radioeléctrico para la transición de Televisión Analógica a Televisión Digital Terrestre en el Ecuador. Tesis de Ingeniería, Departamento de Eléctrica y Electrónica. Escuela Superior Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador, 2011.
- [10] Fraile-Gil F. y Gómez-Barquero, D., On the Capability of DVB-RCT to provide Interactive Services. Tesis de Maestría, Departamento de Tecnología. Universidad de Gävle, Gävle, Suecia, 2004.
- [11] ETSI., EN 301 958 v1.1.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction Channel for Digital Terrestrial Television (RCT) incorporating Multiple Access OFDM, Francia, 2002, 164P.
- [12] Castellanos, G., Perspectivas de utilización de los métodos de modulación digital con fase continua en los sistemas de telecomunicaciones modernos. Ingeniería e Investigación [Online]. 29,(993). [fecha de referencia 2 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/23755/1/20799-70339-1-PB.pdf>

**C.D. Radicelli-García**, se graduó de Ing. en Sistemas Informáticos en 2006 y de MSc. en Interconectividad de Redes en 2010 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador. Obtuvo el título de MSc. en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicación en 2013 en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España, y actualmente es estudiante de Doctorado (PhD) en Telecomunicación en la UPV. Es además profesor de la Facultad de Ciencias de la Educación, Humanas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Ecuador. Sus intereses de investigación están centrados en TDT.  
ORCID: 0000-0001-9188-0514

**N. Cardona-Marcet**, recibió en 1990 el título de MSc. en Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, España y en 1995 el título de Dr. en Telecomunicaciones de la UPV. Desde 1990 está vinculado con la UPV donde es profesor catedrático y director del grupo de comunicaciones móviles (GCM) del Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM). El profesor Cardona ha sido vicepresidente del COST273, ha estado a cargo del WG3 del COST2100 en el área redes de acceso vía radio, y actualmente preside el EU COST IC1004. ORCID: 0000-0001-5697-1453.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería  
de Sistemas e Informática

Oferta de Posgrados

Especialización en Sistemas  
Especialización en Mercados de Energía  
Maestría en Ingeniería - Ingeniería de Sistemas  
Doctorado en Ingeniería- Sistema e Informática

Mayor información:

E-mail: [acsei\\_med@unal.edu.co](mailto:acsei_med@unal.edu.co)  
Teléfono: (57-4) 425 5365