

FUNCIONALIDADES AVANZADAS DE DVB-T2 PARA EL DISEÑO DE REDES DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE EN LATINOAMÉRICA

D. Gómez-Barquero¹, J. López-Sánchez²,
N. Cardona³, Eladio Gutiérrez M.⁴
Universidad Politécnica de Valencia, España
dagobar@iteam.upv.es,
jailosan@iteam.upv.es
ncardona@iteam.upv.es
eladio.gutierrez@telefonica.net

RESUMEN

DVB-T2 es el estándar de segunda generación para la radiodifusión de servicios de Televisión Digital Terrestre (TDT) a receptores fijos, portables y móviles. DVB-T2 se ha convertido en el medio de transporte más eficiente para la radiodifusión de servicios de TV en alta definición (HDTV) y televisión tridimensional (3DTV) en aquellos países pioneros que ya han desplegado redes TDT2 tales como UK, Italia, Suecia y Finlandia. En este artículo se describen las novedosas funcionalidades de DVB-T2 que lo

¹ Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España. Actualmente es Técnico Superior de Investigación en el Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM) de la UPV, donde dirige un grupo de investigación y desarrollo sobre TV digital. Desde 2008 participa activamente en el módulo técnico del foro de estandarización DVB. Entre otras actividades, ha participado en la validación de la tecnología de segunda generación DVB-T2, y en el desarrollo de sus evoluciones móviles conocidas como T2-Lite y DVB-NGH.

² Se graduó de Ingeniero Electrónico en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Bogotá en 2005. Ejerció profesionalmente en el canal privado de televisión Caracol TV S.A, como ingeniero de emisión y transmisión desde 2005 hasta 2008. Recibió el título de Máster en Tecnologías redes y sistemas de comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia-España (UPV) en 2009. Actualmente es estudiante de Doctorado de la UPV e investigador del instituto iTEAM.

³ En 1990 Recibió el título de máster en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña y en 1995 el título de Doctor en telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Desde 1990 ha estado vinculado con la UPV donde actualmente es profesor catedrático y director del grupo de comunicaciones móviles. El profesor Cardona ha sido vicepresidente del COST273 y está actualmente a cargo del WG3 del COST2100 en el área redes de acceso vía radio. El fue presidente de la tercera conferencia internacional en sistemas de comunicaciones inalámbricas (ISWCS'06).

⁴ Licenciado en Comunicación Audiovisual por la Universidad Complutense de Madrid e Ingeniero Técnico de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Director técnico de RTVE en los periodos (1986-1990 y 1996-1999). Director de RTVE Digital de 2004 a 2008. Presidente de impulsa TDT (2007-2010). Desde 2006 ha recorrido la mayor parte de los países iberoamericanos en defensa del estándar de TV Digital DVB. Dirige en la actualidad un proyecto de Asistencia Técnica en Colombia, con financiación de la UE para el estudio completo del lanzamiento de la TDT en ese país.

convierten en el más avanzado sistema de transmisión para TDT con un alto grado de eficiencia, flexibilidad y robustez que ningún otro estándar puede igualar. Se analiza la gran flexibilidad de configuración y mejora en rendimiento del estándar DVB-T2 comparado con su antecesor DVB-T y con el estándar de televisión diseñado inicialmente en Japón, modificado en Brasil y adoptado en la mayor parte de los países de América del Sur conocido como ISDB-T_B. Adicionalmente se identifican los principales beneficios de planificar y desplegar una nueva red de TDT en países de Latinoamérica haciendo uso de las funcionalidades avanzadas de DVB-T2. La posibilidad de emitir hasta 4 programas de HDTV en un mismo canal multiplex, la configuración de redes de frecuencia única (SFN) de gran tamaño y con una única frecuencia nacional, la transmisión de servicios para cualquier tipo de recepción en un mismo canal RF y la existencia de cajas de recepción o Set Top Box (STB) más económicos gracias a las economías de escala de la familia de estándares DVB, son algunas de las ventajas que ofrece este nuevo estándar DVB-T2.

Palabras Clave

DVB-T, DVB-T2, ISDB-T_B, redes de frecuencia única SFN, TDT.

ABSTRACT

DVB-T2 is a second-generation standard for terrestrial broadcasting aimed at broadcasting to fixed, portable and mobile receivers. DVB-T2 has become the most efficient standard to broadcasting High Definition Television services HDTV and three-dimensional television 3DTV in pioneers countries that have already deployed TDT2 networks such as UK, Italy, Sweden and Finland. This article describes the novel features of DVB-T2 that become it in the most advanced transmission system for DTT with high level efficient, flexible and robustness like any other standard. We analyzed the configuration flexibility and performance of DVB-T2 compared with its predecessor DVB-T and Japanese standard ISDB-T adopted in some Latin America countries. Moreover, this article analyses the main benefits of planning and deploying new TDT networks in the Andean region using the advanced features of DVB-T2. The possibility of broadcasting up to five HDTV programs in the same multiplex, large SFN networks with only one national frequency, broadcasting services to different scenario reception

in the same RF channel and cheaper set top box due to the economies of scales of DVB are some of the main advantages of this new standard.

Key Words:

DVB-T2, SFN topologies, multiple PLPs, Future Extension Frames, FEC algorithms.

Introducción

El estándar de primera generación desarrollado por el foro de estandarización de origen europeo (DVB) para la provisión de servicios de Televisión Digital Terrestre (TDT) fue publicado en 1998 y es conocido como DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*). En 2008, el DVB publicó la segunda generación del estándar denominada DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial*), el cual incorpora los últimos avances tecnológicos en modulación y codificación de canal que lo convierten en el más potente sistema de transmisión de TDT con un alto grado de eficiencia, flexibilidad y robustez que ningún otro estándar puede igualar (*ETSI EN 302755, Octubre 2010*). Su desarrollo comenzó en 2006 motivado por la necesidad de ofrecer un medio de transporte eficiente para radiodifundir servicios avanzados de televisión tales como TV en alta definición (HDTV) o televisión tridimensional (3D TV). Entre los principales requisitos comerciales propuestos en esa fecha podemos destacar los siguientes:

- Las transmisiones de DVB-T2 deben ser recibidas por las antenas domésticas existentes, así como reutilizar la infraestructura de transmisión actual.
- DVB-T2 no debe causar más interferencia que DVB-T, ni requerir niveles de guarda más altos.
- DVB-T2 debe ser diseñado para proporcionar de forma primaria servicios a equipos receptores tanto fijos como portables. Quedando los equipos móviles como un objetivo secundario.
- DVB-T2 debe proporcionar un incremento mínimo de un 30% en la capacidad de transmisión sobre DVB-T en las mismas condiciones de recepción.
- DVB-T2 debe proporcionar una mejora en el rendimiento de las topologías de red de frecuencia única SFN comparado con DVB-T.

- DVB-T2 debe disponer de mecanismos para proporcionar una robustez específica a cada servicio dentro del mismo canal de frecuencia (múltiplex).
- DVB-T2 debe ofrecer un mecanismo que permita reducir la relación de potencia pico a nivel medio (PAPR) de la señal transmitida con el fin de operar los amplificadores de alta potencia en los centros emisores más eficientemente.

El grupo de estandarización no se quedó solo en el cumplimiento de estos requisitos, sino que incorporó soluciones técnicas avanzadas que consiguen una mejora en la capacidad de transmisión hasta un 70%, o un aumento de cobertura de más del 100% para la misma capacidad de transmisión de un sistema DVB-T, lo que se traduce en una significativa reducción del número de transmisores y frecuencias o un ahorro en la energía total radiada.

Muchos operadores de televisión, entidades administradoras de redes de TDT y gestión del espectro a nivel mundial, no tardaron en reconocer el prometedor futuro de DVB-T2 y empezaron a desplegar/actualizar sus redes de TDT utilizando este nuevo estándar. El principal caso de referencia es el Reino Unido, el cual empezó en diciembre de 2009 a transmitir servicios comerciales DVB-T2 con contenido en HD. La aceptación fue tal que en febrero de 2011 ya se habían vendido más de 1.2 millones de dispositivos de DVB-T2 (www.freeview.co.uk, marzo 2011). Italia en diciembre de 2009 se convirtió en el segundo país en radiodifundir una señal DVB-T2 para la provisión de servicios HD de pago. A esta lista de países con redes comerciales de T2 se agregó Suecia y Finlandia en el año 2010. A partir de ese momento numerosos países han adoptado oficialmente el estándar DVB-T2 y proyectan su despliegue en un futuro cercano, tales como: India, Filipinas, Sudáfrica (con otros 14 países de su entorno). Otros están realizando pruebas piloto y consideran actualizar la red de TDT a este estándar o iniciar directamente su transición de televisión analógica a digital en DVB-T2. Por ejemplo, en las fechas de redacción de este artículo, Colombia que había decidido DVB-T en 2008, ha planteado el paso a DVB-T 2 para desplegar una red con objetivos mucho más ambiciosos que los iniciales, lo cual solo puede ofrecer la nueva especificación. La figura 1, resume el estado actual de adopción del estándar DVB-T2 y lo compara con los demás estándares de TDT existentes.

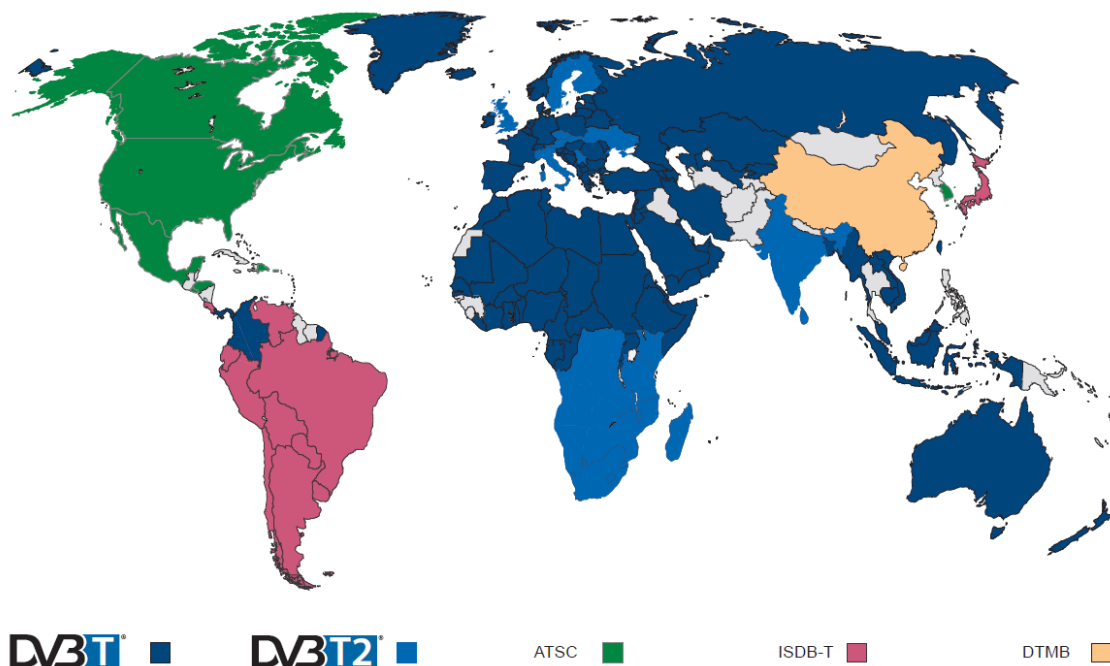


Figura 1. Adopción y despliegue de los estándares de TDT en el mundo.
Fuente: www.dvb.org

El éxito de DVB-T2 y la gran expectación generada han motivado a la industrial del sector audiovisual y fabricantes de dispositivos de televisión en general a volcarse en esta tecnología. Este efecto le ha permitido a DVB-T2 beneficiarse de las economías de escala y ofrecer receptores domésticos a bajo precio, incluso más económicos que los receptores comerciales de ISDB-T (*CNTV-Colombia, Noviembre de 2011*).

El presente artículo describe las principales tecnologías avanzadas de DVB-T2 y analiza las sustanciales ventajas que ofrece comparada con los estándares de primera generación. Particularmente, se identifican los beneficios de este estándar para las redes de TDT en la región andina. La estructura del artículo es la siguiente: en la sección 2 se presenta la arquitectura general de un sistema DVB-T2. En la sección 3 se describen los nuevos elementos tecnológicos de DVB-T2. En la sección 4 se realiza una comparativa de DVB-T2 con su antecesor DVB-T. Los particulares beneficios de DVB-T2 para la región andina son discutidos en la sección 5. Finalmente, en la sección 6 se presentan las principales conclusiones de este artículo.

Arquitectura general de un sistema DVB-T2

El diagrama de bloques general de un sistema extremo a extremo de DVB-T2 es el mostrado en la figura 2. Gran parte de la infraestructura de red de los sistemas analógicos o de DVB-T ya desplegados puede ser reutilizada. Con respecto a DVB-T, hacen falta nuevos equipos tanto en transmisión (modulador T2) como en recepción (demodulador T2).

En recepción hace falta un decodificador externo (set top box) o televisores de última generación que incorporen el demodulador T2. Adicionalmente, DVB-T2 introduce un nuevo elemento central de la red denominado Gateway, aunque hay configuraciones de la red que no requieren Gateway.

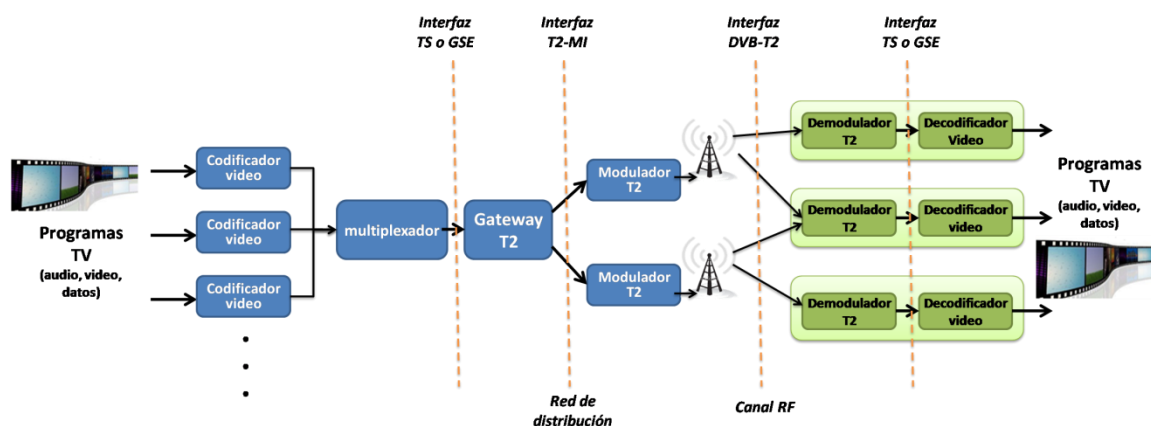


Figura 2. Arquitectura general de un sistema DVB-T2.

El sistema general puede ser dividido en tres subsistemas básicos en la parte de transmisión (codificador de video y multiplexor, Gateway T2 y modulador T2) con dos interfaces de comunicación entre ellos (TS y T2-MI). En la parte de recepción se pueden identificar dos subsistemas (demodulador T2 y decodificador de video) y una interfaz de comunicación entre ellos (TS). Finalmente se puede distinguir la interfaz que comunica las etapas de transmisión y recepción, la cual corresponde a la señal DVB-T2.

En la parte de transmisión los tres subsistemas son:

Codificador de video y multiplexor: este subsistema recibe los programas de TV a transmitir con el fin de codificarlos y organizarlos en flujos de transporte TS MPEG2 o en flujos del estándar de encapsulación genérico (GSE). Las tablas de señalización y

asociación de servicios de video, audio y datos conocidas como (PSI/SI) son también multiplexadas junto con los programas. Un sistema de control central incluido en este modulo se encarga de codificar cada video a una tasa binaria variable de salida (VBR), con el fin de asegurar que la salida total del subsistema sea a una tasa binaria constante (CBR). Un sistema de multiplexación estadística convencional puede ser utilizado también en este modulo. La interfaz de comunicación con el subsistema Gateway es típicamente un flujo MPEG2 TS vía ASI (*Asynchronous Serial interface*).

Gateway T2: las funciones principales de este modulo son la adaptación del flujo y transporte de la señal a los moduladores que conforman la red, junto con funciones de sincronización de red SFN, distribución y asignación de recursos. El gateway construye paquetes denominados T2-MI (*T2 Modulator Interface*) con la información de las tramas banda base, información de señalización L1 o SFN, marcas de tiempo de los servicios y referencias de sincronización. Estos paquetes son encapsulados en paquetes MPEG2-TS y transmitidos a través de la red de distribución, que puede ser ASI, Ethernet/IP o radio enlace. La distribución de las tramas T2-MI genera un overhead y depende del medio de transporte utilizado, siendo de 10,9% para distribución sobre ASI y hasta del 33.7% para Ethernet (incluyendo la protección FEC).

Este elemento nuevo del sistema DVB-T2 no es necesario en redes con una topología de múltiples frecuencias MFN y con una única tubería de capa física PLP.

Modulador T2: este subsistema recibe las tramas banda base T2 y construye la señal DVB-T2 de acuerdo a las instrucciones incluidas en el flujo T2-MI. Este modulo incluye la generación de la señal DVB-T2 de capa física siguiendo todas las opciones de configuración de entrelazado, codificación de canal, mapeado y modulación OFDM.

Las tramas banda base de T2 contenidas en cada T2-MI pueden ser modificadas en cada modulador para la inserción de contenidos regionales, previa señalización desde el gateway.

El esquema de tramas del estándar DVB-T2 seguida en este modulo define una *súper trama* como la mayor unidad de la arquitectura, ver figura 3. Esta súper trama tiene una duración máxima de 64 s y está conformada por varias tramas T2 y opcionalmente tramas de extensión futura (FEF) entrelazadas. Cada una de estas tramas T2 y FEF

contienen un símbolo *preámbulo OFDM P1* que indica el inicio de una trama y posibilita una rápida detección y sincronización. Después de este símbolo P1 se inserta un *símbolo OFDM P2* con señalización de capa física e información sobre como decodificar cada uno de los servicios.

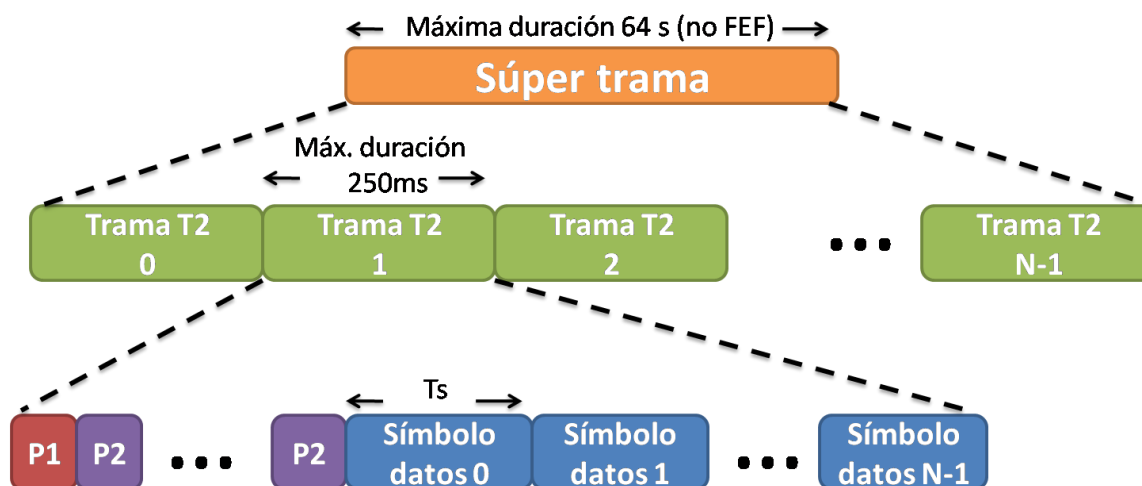


Figura 3. Estructura de trama del sistema DVB-T2.

En la etapa de recepción se distinguen básicamente dos módulos:

Demodulador T2: este subsistema recibe la señal RF de uno o varios (en topologías SFN) transmisores de la red y entrega un flujo MPEG2-TS o GSE al subsistema de decodificación. Este flujo de datos contiene uno o más servicios, así como señalización común derivada del PLP común. Bloques adicionales, como estimadores de canal, demapeado de constelaciones rotadas, decodificación MISO Alamouti, también son incluidos en este subsistema.

Decodificador: este subsistema recibe el flujo TS o GSE y decodifica el audio, video y datos de cada servicio. Este bloque es esencialmente el mismo que el utilizado en los demás estándares de la familia DVB, excepto algunos elementos nuevos de señalización que han sido definidos en DVB-T2.

Nuevos Elementos Tecnológicos de DVB-T2

a) Mecanismo Corrector de Errores FEC (*Forward Error Correction*)

Las tramas banda base T2 (datos + encabezado de trama) que se reciben a la entrada de un modulador DVB-T2 son protegidas por la concatenación de los dos nuevos códigos FEC introducidos: el LDPC (*Low-Density Parity-Check*) (M. Eroz, F.-W. Sun, and L.-N. Lee, May–June 2004) y el BCH (*Bose-Chaudhuri-Hochquenghem*). Estos códigos FEC han sido heredados del estándar DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting-Satellite Second Generation*) eliminando las tasas de codificación más bajas. El LDPC fue inventado en los años 60s pero su gran complejidad no permitió su implementación sino hasta hace unos pocos años, a través de decodificación iterativa de turbo códigos. En recepción, el LDPC corrige errores en largas palabras de información siendo más efectivo cuando los bits erróneos están uniformemente distribuidos; El código BCH actúa como complemento a la decodificación del LDPC eliminando el ruido de fondo de cada palabra mediante la corrección de unos pocos bits (10-12 bits).

El rendimiento conjunto de estos dos mecanismos FEC está a tan solo 1 dB por debajo del límite de Shannon en canales AWGN (*Additive white Gaussian noise*) lo que significa una importante mejora comparado con el rendimiento de los mecanismos FEC del estándar DVB-T y ISDB-T_B (codificación convolucional y Reed Solomon).

En transmisión, las tramas banda base son protegidas en primer lugar con el código BCH, y posteriormente por el código LDPC como se muestra en la figura 4. Las palabras LDPC resultantes pueden tener una longitud de 16.200 bits o 64.800 bits de los cuales entre el 15% y el 50% corresponden a bits de protección. La selección de la longitud de palabra adecuada requiere un compromiso entre el rendimiento y la latencia introducida. A mayor longitud, mayor eficiencia del código pero mayor latencia introducida. En la práctica generalmente se utiliza la longitud de 64.800 bits ya que la latencia introducida es despreciable con respecto a la latencia introducida por otros elementos de la cadena extremo a extremo de DVB-T2.

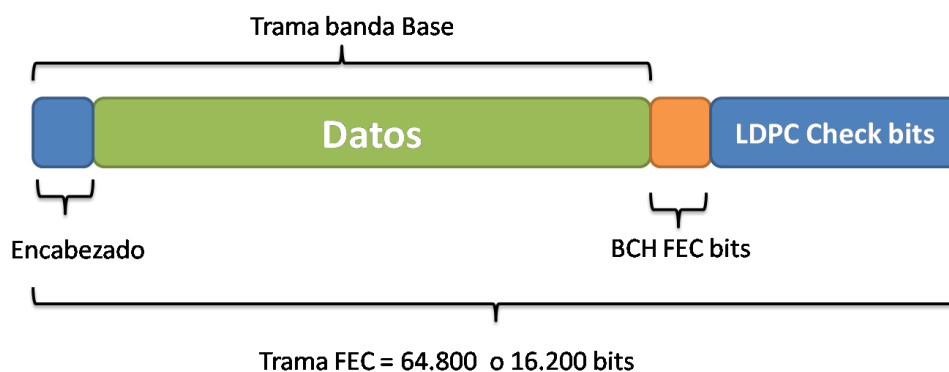


Figura 4. Estructura de trama Banda Base T2 con protección FEC.

b) Tuberías de Capa Física PLPs (*Physical Layer Pipes*)

DVB-T2 permite la transmisión de diferentes servicios en un mismo canal RF y con independientes esquemas de modulación, protección FEC y entrelazado temporal para cada uno de ellos. Esto es posible gracias a la creación de múltiples tuberías de capa física (MPLPs por sus siglas en inglés) como lo muestra la figura 5, en el cual cada servicio es codificado de forma diferente en función del escenario de recepción al que está orientado.

Cada PLP (hasta un máximo de 255) es un canal de capa física separado del resto por una multiplexación por división en el tiempo, como se muestra en la figura 5. En ella se puede observar que cada servicio toma en determinados instantes de tiempo un grupo de portadoras OFDM para transmitir sus datos de información. Esta técnica de transmisión permite a los receptores ahorrar energía, apagándose en los instantes en que no se transmite información de su interés.

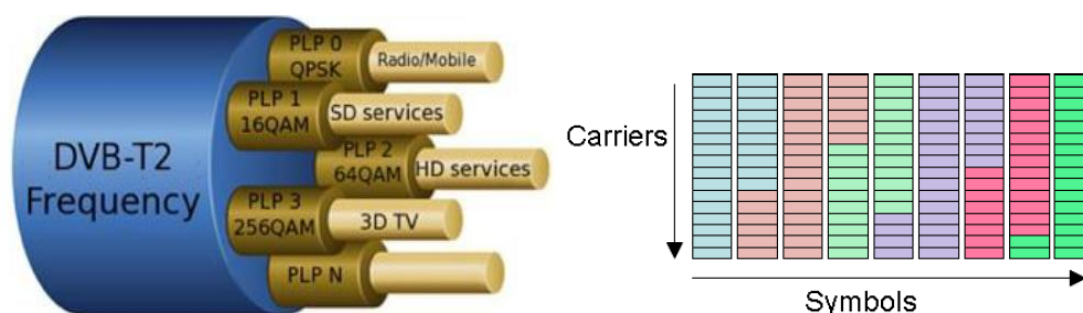


Figura 5. Múltiples tuberías de capa física (PLP). Cada color de la grilla corresponde a un PLP diferente.

c) Entrelazado Temporal

A diferencia de DVB-T, DVB-T2 incluye un entrelazado temporal en capa física configurable para cada PLP. Este entrelazado temporal consiste en transmitir los datos de un mismo PLP en diferentes instantes de tiempo con el fin de evitar que largas secuencias de información del flujo original sean afectadas por perturbaciones de la señal OFDM.

El entrelazado puede realizarse dentro de una misma trama banda base T2 (tiempos de entrelazado ≤ 250 ms), y/o, entre diferentes tramas T2 (tiempos de entrelazado > 250 ms) como lo muestra la figura 6.

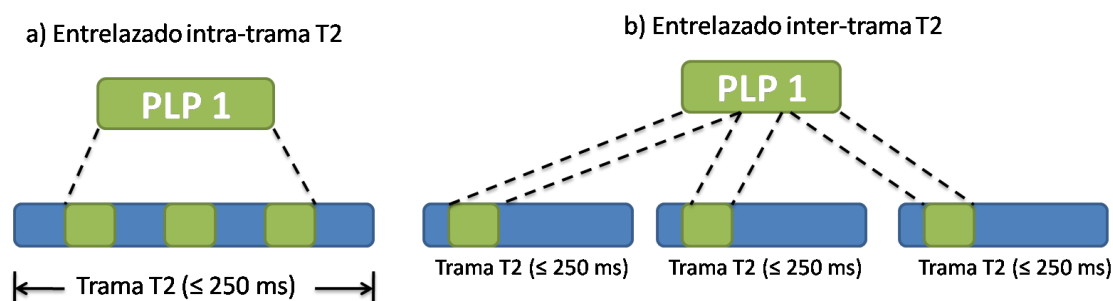


Figura 6. Entrelazado temporal. a) Intra-trama. b) Inter-trama

La utilización del entrelazado temporal también permite combatir los efectos de desvanecimiento lento (*shadowing*) provocados por la presencia de edificios y grandes obstáculos en condiciones de recepción móvil. La selección de un adecuado tiempo de entrelazado requiere de un compromiso entre la capacidad de memoria del receptor, la latencia o tiempo que debe esperar el receptor para tener todas las tramas T2 necesarias para la decodificación de un mismo servicio, y el tiempo de zapping que significa el tiempo que tarda un video en ser correctamente visualizado desde que el usuario ha solicitado el cambio de programa de TV.

d) Esquema de Modulación 256QAM

La mayor robustez de la señal DVB-T2 permite la implementación de constelaciones de mayor orden, concretamente 256 QAM. Este esquema de modulación tiene una eficiencia espectral de 8 bits por portadora y gracias a la eficiencia de los códigos de

protección FEC (LDPC+BCH) puede ser decodificado con niveles de señal similares a requeridos por la modulación 64QAM de DVB-T. La inclusión de 256QAM también ha sido posible gracias a los avances tecnológicos en el diseño de sistemas de demapeado y decodificación para los cuales hoy en día el ruido de fase no es un problema en estos ordenes de modulación.

a) Constelaciones Rotadas

La técnica de constelaciones rotadas consiste en aplicar un determinado ángulo de giro a todos los puntos de la constelación, de tal forma que cada una de las componentes de fase (I) y cuadratura (Q) que definen un símbolo contengan información suficiente para identificar el punto exacto en recepción, como se muestra en la figura 7. Los valores de cada una de las componentes son separados en el modulador y transmitidos en diferentes celdas, aumentando la probabilidad de que experimenten desvanecimientos independientes. Gracias a que cada componente contiene toda la información del símbolo transmitido, es posible recuperar la información con la correcta recepción de al menos una de las componentes.

El principal beneficio de las constelaciones rotadas es un aumento en la robustez de la señal transmitida en canales con desvanecimientos selectivos en tiempo y frecuencia. La ganancia es mayor para constelaciones de orden bajo (QPSK, 16QAM) y altas tasas de codificación (3/4, 5/6, 7/8).

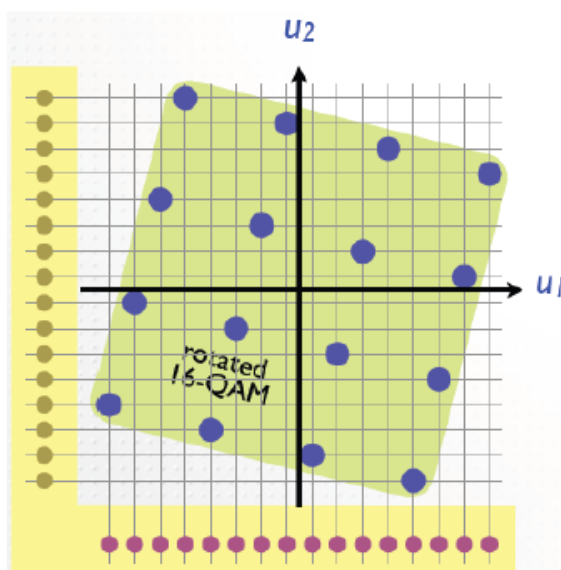


Figura 7. Constelaciones rotadas, 16 QAM.

b) Diversidad Espacial en Transmisión MISO (*Multiple Input Single Output*)

En redes de frecuencia única (SFN), la presencia de señales con similares retardos y niveles potencia provenientes de varios transmisores genera profundos desvanecimientos en la respuesta espectral de la señal total. Para evitar estos desvanecimientos, DVB-T2 utiliza una técnica de transmisión múltiple entrada única salida (MISO) basada en codificación Alamouti. En esta técnica un punto de la constelación es transmitida desde un grupo de transmisores y una versión modificada basada en conjugados es transmitida desde el otro grupo de transmisores. Esta técnica permite una ganancia ideal de 3dB, como si hubiera dos antenas en recepción. En la realidad esta ganancia depende de los tiempo de retardo entre la señales y de los niveles de potencia de cada una de ellas.

La complejidad del receptor no aumenta significativamente (algunas partes del estimador de canal requieren ser duplicadas), pero implica una reducción en la capacidad de transmisión de hasta el 8% (dependiendo del patrón de portadoras utilizado) debido a la necesidad de doblar la cantidad de portadoras piloto.

c) Patrones de Portadoras Piloto (PPP)

Las portadoras piloto son símbolos con amplitud y fase conocida por los receptores que son usadas para estimar/ecualizar las características del canal en tiempo y frecuencia. Existen portadoras que son utilizadas continuamente como pilotos y otras que son asignadas dinámicamente. En DVB-T, una de cada 12 celdas OFDM es una portadora piloto, lo cual representa un 8% de overhead. La densidad de portadoras piloto óptima depende de la variabilidad del canal, siendo necesarias un mayor número de ellas en recepción móvil que en recepción fija. DVB-T2 define 8 patrones de portadoras piloto con el fin de minimizar el overhead en función del tipo de recepción a la que está orientado el servicio. Las portadoras piloto son moduladas con una secuencia pseudo-aleatoria que puede ser utilizada para mejorar la sincronización en el tiempo y con un mayor nivel de potencia comparado con DVB-T, lo cual mejora la estimación de canal.

d) Nuevos Tamaños de FFT

DVB-T2 incluye nuevos tamaños de FFT que permiten por un lado mejorar el rendimiento de las redes SFN (tamaños más grandes, 16K o 32K) y por otro mejorar el rendimiento en movilidad (1K o 4K).

La incorporación de tamaños de FFT más grandes (16K y 32K) se traducen en periodos de símbolo OFDM más largos, comparado con el máximo permitido en DVB-T (8K). Estos largos periodos de símbolo permiten aumentar el intervalo de guarda del sistema DVB-T2 hasta en cuatro veces comparado con el máximo permitido en DVB-T. El aumento del intervalo de guarda se traduce en un aumento directo en la máxima distancia entre transmisores, lo que permite diseñar redes SFN de gran tamaño (incluso redes de SFN de cobertura nacional).

Por otra parte, las largas duraciones de símbolo OFDM de los modos 16K y 32K significan menor porcentaje de la capacidad de transmisión dedicada a protección, para un mismo intervalo de guarda en el modo más amplio de DVB-T (8K). Un ejemplo es presentado en la figura 8, donde podemos observar que la longitud del símbolo OFDM en el modo 32k es 4 veces más grande que la longitud en 8K y por tanto, para un modo DVB-T con FFT 8K, un GI de 1/4 significa una penalización en capacidad del 25%, mientras que para el mismo tiempo de GI en un modo DVB-T2 con FFT 32K, este significa tan solo el 6%.

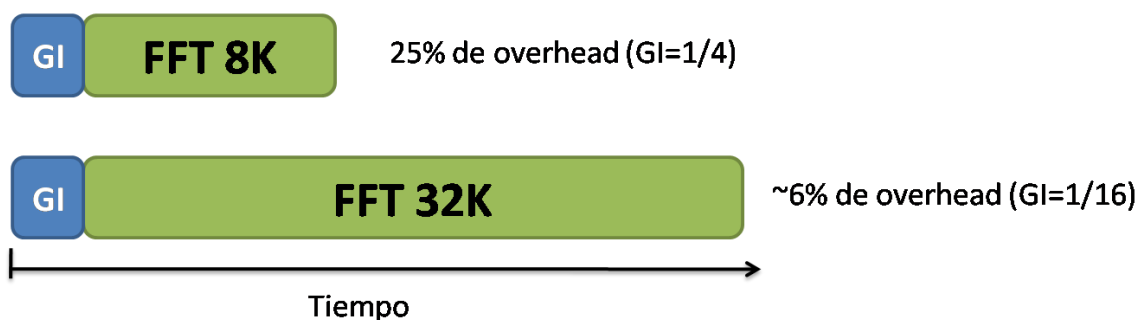


Figura 8. Reducción de overhead para un mismo tiempo de intervalo de guarda.

Los modos más altos de FFT también permiten la implementación de un modo extendido del espectro, gracias a que estos tamaños de FFT tienen una caída del espectro fuera de banda mucho más rápida que la de los FFT más pequeños como se aprecia en la figura 9. Este modo extendido permite aumentar el número de portadoras, con una ganancia de aproximadamente el 2% de la capacidad de transmisión y

manteniendo la respuesta espectral muy cercana a la de los modos convencionales de DVB-T.

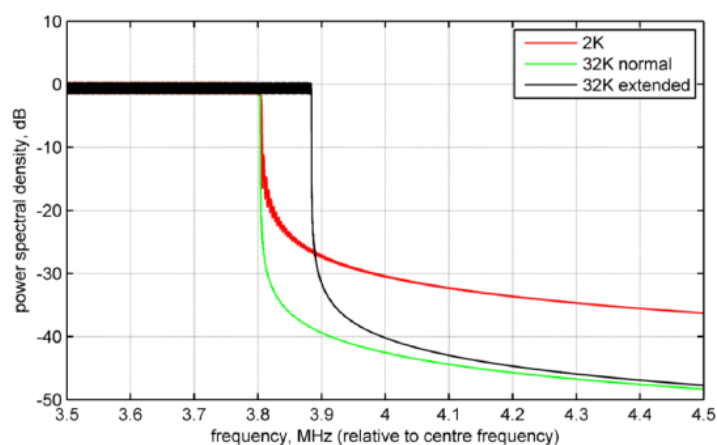


Figura 9. Respuesta espectral para diferentes tamaños de FFT.

Los nuevos tamaños de FFT 1K y 4K tienen menor número de portadoras y por tanto una mayor separación en frecuencia. Esta mayor separación reduce la probabilidad de interferencia entre portadoras (ICI por sus siglas en inglés) causada por el efecto Doppler, lo que significa un mejor rendimiento en recepción móvil comparado con el obtenido en tamaños de FFT mas altos.

**e) Mecanismos de Reducción de la Potencia de Pico de la Señal Transmitida
PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*)**

OFDM es una modulación multiportadora que tiene una elevada relación pico a nivel medio de potencia (PAPR), la cual impide que el amplificador de potencia RF trabaje al máximo nivel de salida permitido (punto de saturación). DVB-T2 incluye el uso de dos técnicas que reducen el PAPR y permiten una reducción en los picos de potencia del amplificador RF de hasta un 25%. Las principales ventajas de esta reducción de PAPR: son la posibilidad de trabajar los amplificadores de potencia a punto de saturación y por tanto aumentar el nivel de cobertura, o reducir el costo de operación de una red utilizando menor energía.

Una de las técnicas de reducción de PAPR es conocida como *Tonos Reservados (TR)*, donde el 1% de las portadoras útiles de datos son reservadas para insertar valores previamente calculados que contrarresten los picos de potencias del resto de portadoras.

La transmisión es señalizada para indicar al receptor que ignore la información presente en estas portadoras. Esta técnica proporciona ganancias mayores para modos de transmisión con constelaciones altas. En una red SFN, cada modulador puede calcular sus propios tonos de corrección y pueden ser diferentes entre transmisores.

La otra técnica de reducción es la *Extensión Activa de la Constelación (ACE)*, la cual consiste en separar del centro de la constelación los símbolos que están en los bordes de la misma, de tal forma que causan una reducción en los picos de la señal. El movimiento de estos símbolos implica un leve aumento en el mínimo nivel de CNR requerido en recepción para una correcta decodificación. ACE proporciona ganancias mayores para constelaciones de orden bajo y no es compatible con la técnica de constelaciones rotadas. En una red SFN todos los transmisores tendrían que aplicar la misma modificación a la constelación para conservar las ventajas de esta topología de red.

f) Tramas de Futura Extensión FEFs (*Future Extension Frames*)

DVB-T2 dejó abierta la puerta a futuras tecnologías a través de las tramas de extensión futura (FEF). Estas tramas pueden tener una duración máxima de 250 ms y son multiplexadas en el tiempo con las tramas DVB-T2 base como se indica en la figura 10.

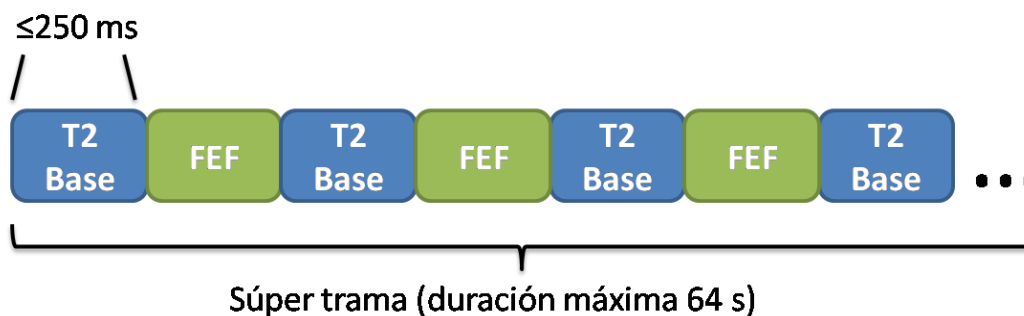


Figura 10. Estructura de súper trama con tramas T2 base y tramas FEF.

El uso de las FEFs es opcional y se señaliza en la capa física (campo L1) para indicar al receptor DVB-T2 que estas tramas contienen información de tecnologías diferentes a T2 convencional y por tanto las puede rechazar. El único requisito es que cada FEF tiene que empezar con un símbolo de preámbulo P1 propio de la señalización T2. Esto se realiza para que un receptor convencional pueda detectar que la información que recibirá en el siguiente slot de tiempo corresponde a una trama FEF y la ignore. Algunas

de las tecnologías que a la fecha de redacción de este artículo hacen uso de esta técnica son:

Identificación de transmisores en redes SFN: fue la primera tecnología propuesta para utilizar las tramas FEF y consiste en transmitir una firma única para cada transmisor. Esta firma es emitida en ciertos instantes de tiempo por cada transmisor, solo puede ser interpretada por equipos profesionales de medida y permite identificar errores de sincronización en tiempo y frecuencia y anomalías en el canal de propagación.

DVB-T2 lite: es una recopilación de los modos más robustos de DVB-T2 para recepción en movilidad y la asociación de una serie de tecnologías que mejoran su rendimiento e implementación en receptores móviles. Su principal ventaja es que permite definir un modo de transmisión totalmente independiente a las tramas T2 base, incluyendo tamaño de FFT e intervalo de guarda (ventaja que no está permitida en la tecnología de múltiples PLPs) (*DVB document A122, julio 2011*).

DVB-NGH: estándar DVB de nueva generación para receptores móviles de mano basado principalmente en la capa física de DVB-T2 y la asociadas de nuevas tecnologías tales como: video escalable SVC (*Scalable Video Coding*) con diferentes PLPs, la utilización de múltiples antenas en transmisión y/o en recepción MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), la inclusión de una componente satélite opcional para posibilitar un despliegue híbrido terrestre-satélite, la definición de un perfil específicamente diseñado para IP (*Internet Protocol*) utilizando compresión de cabeceras RoHC (*Robust Header Compression*), la mejora de la señalización en términos de robustez y eficiencia, y la provisión de manera eficiente de servicios locales en redes de frecuencia única SFN, etc. (*DVB-TM NGH 019R6, Nov. 2009*).

g) Eliminación de Paquetes TS Nulos

Los paquetes nulos generados en transmisión para mantener un flujo de transporte de video MPEG-TS a una tasa de reproducción constante no son transmitidos, sino que son eliminados en la etapa de transmisión y luego reinsertado en la etapa de recepción. Esta es una técnica adoptada del estándar DVB-S2 totalmente transparente para el receptor y las capas de aplicación de DVB-T2 que permite reutilizar el espacio ocupado por los paquetes nulos con paquetes útiles de datos.

h) Transmisión Eficiente de Contenidos IP

Los datos transportados sobre las tramas banda base de DVB-T2 son típicamente una secuencias de paquetes MPEG-TS. Sin embargo los campos de señalización del encabezado de la trama banda base son totalmente compatibles para el transporte de información en formato IP (*Internet Protocol*). Los principales problemas de transportar contenido IP sobre tramas MPEG-TS son: el corto tamaño de estas tramas (188 Bytes), el overhead de señalización y la necesidad de un protocolo adicional de encapsulación MPE (*Multi Protocol Encapsulation*). Para solucionar estos inconvenientes, DVB-T2 incluye un nuevo protocolo llamado encapsulación genérica de flujos (GSE por sus siglas en ingles). Este protocolo permite un tamaño de carga útil variable y un único protocolo en lugar de dos. GSE también reduce el overhead a un 2 o 3% de la carga útil, que comparado con el 10-15% generado por la transmisión en tramas TS, significa una ganancia importante de capacidad de transmisión.

Comparativa DVB-T2 vs. DVB-T

Como ya hemos mencionado, DVB-T2 crea una señal más robusta frente al ruido e interferencia comparada con la señal DVB-T convencional. Esta robustez de la señal se puede traducir en un aumento de la cobertura hasta de un 70% si transmite con la misma potencia que un sistema DVB-T o un ahorro de energía si se establece el mismo porcentaje de cobertura objetivo (*ETSI EN 302755, Oct. 2010*). Otros beneficios que ofrece la utilización DVB-T2 son la flexibilidad de configuración, la robustez frente a interferencias, la provisión de servicios a receptores móviles en el mismo multiplex y canal RF como se describen a continuación:

a) Flexibilidad de configuración

Si una de las ventajas de DVB-T frente a los demás estándares de TDT era su flexibilidad en la configuración del modo de transmisión, ahora DVB-T2 potencia dicha flexibilidad con el objetivo de reducir la infraestructura y costos de despliegue, consigue aumentar la eficiencia de transmisión, permite maximizar la cobertura en condiciones adversas y abre nuevos escenarios de recepción. Para ello DVB-T2 mantiene la modulación COFDM (Coded *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) usada en DVB-T, donde cada símbolo consiste de un gran número de portadoras separadas que son moduladas en amplitud y fase e incorpora nuevas opciones de configuración en sus principales parámetros de codificación de canal y transmisión. La tabla 1 resume estas nuevas opciones de DVB-T2 comparadas con las ofrecidas por DVB-T (ETSI TR 102831, Oct. 2010).

	DVB T2	DVB T
FEF	LDPC + BCH	CC + RS
Tasa de codificación	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Constelaciones	QSPK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QSPK, 16QAM, 64QAM
Intervalo de guarda	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Tamaño de FFT	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K	2K, 8K
Pilotos dispersas	1%, 2%, 4%, 8% del total	8% del total
Pilotos continuas	0,35% del total	2,6% del total
Ancho de banda	1.7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz	5, 6, 7, 8 MHz
Máximo bit rate	50.34 Mb/s	31.66 Mb/s

Tabla 1. Principales parámetros de configuración de DVB-T2 vs. DVB-T

Adicional a los parámetros de configuración descritos en la tabla 1, podemos destacar las nuevas funcionalidades de DVB-T2 tales como: constelaciones rotadas, mecanismos

de reducción de PAPR, transmisión MISO, múltiples PLPs, multiplexación estadística de capa física, transmisión de contenidos IP sobre protocolos GSE, eliminación de paquetes nulos, tramas FEF (DVB-T2-lite & DVB-NGH), etc.

b) Aumento de la capacidad de transmisión

La decodificación de *constelaciones de mayor orden* permitida por DVB-T2 para una misma robustez de la señal ofrece un aumento de hasta un 30% de la capacidad de transmisión del sistema. Esta posibilidad de decodificar esquemas de modulación de mayor orden con un mismo nivel de CNR es debida al mejor rendimiento de los nuevos algoritmos de codificación FEC (LDPC+BCH) comparado con el de los algoritmos FEC de DVB-T (convolucional + Reed Salomon) en las mismas condiciones de recepción (ETSI TR 102831, Oct. 2010).

Un aumento de capacidad de transmisión de hasta un 20% también puede ser logrado utilizando los *tamaños de FFT más altos* de DVB-T2. Teniendo en cuenta que el intervalo de guarda (GI) es una porción del final del símbolo que se replica al inicio del mismo y por tanto una penalización en la capacidad de transmisión, los largos periodos de símbolo OFDM de los modos FFT 16K y 32K hacen que el porcentaje de carga útil ocupado por el GI sea menor que el ocupado en cualquiera de los tamaños FFT de DVB-T (para un mismo GI).

De igual forma, los tamaños altos de FFT de DVB-T2 permiten la *transmisión en modo extendido* con una ganancia de aproximadamente el 2% de la capacidad de transmisión y manteniendo la respuesta espectral muy cercana a la de los modos convencionales de DVB-T.

DVB-T tiene un *patrón de portadoras piloto* fijo que representa un 10,6 % de la capacidad de transmisión entre portadoras continuas y dispersas. DVB-T2 incluye 7 nuevos posibles patrones de portadoras que pueden reducir esta penalización en capacidad hasta en un 9.25% (ETSI TR 102831, Oct. 2010).

Una técnica adicional de DVB-T2 que permite aumentar la capacidad de transmisión es la *eliminación de paquetes TS nulos* en transmisión. La ganancia en capacidad depende de la cantidad y variabilidad de la tasa de reproducción de los contenidos de entrada.

La *multiplexación estadística de capa física* incluida en DVB-T2 es otra técnica que permite optimizar el uso del ancho de banda disponible. La multiplexación estadística clásica es realizada en capa de aplicación y consiste en aprovechar la variabilidad de las tasas de bits de los programas de TV para asignar dinámicamente el espacio dentro del multiplex. DVB-T2 incluye una multiplexación más efectiva directamente en la capa física que permite asignar dinámicamente las celdas o información transmitida en una subportadora en función de las tasas binarias de reproducción requeridas por cada servicio en cada instante de tiempo. De esta forma se logra aprovechar al máximo la capacidad del canal de transmisión y se optimiza la calidad o cantidad de flujos de video.

La tabla 2 resume un ejemplo de configuración de DVB-T2 vs DVB-T con el efecto de las principales tecnologías T2 en el aumento de la capacidad de transmisión:

	DVB T2	DVB T
Tasa de codificación	2/3	2/3
Constelación	256QAM	64QAM
Intervalo de guarda	1/8	1/32
Tamaño de FFT	32K extendido	2K
Umbral de CNR	20.0 dB	20.1 dB
Tasa binaria disponible	35 Mbps	24.1 Mbps

Tabla 2. Ejemplo de configuración DVB-T2 vs. DVB-T para una red diseñada para recepción fija con ancho de banda 8 MHz (ETSI TR 102831, Oct. 2010).

c) Aumento de Cobertura

El uso de *constelaciones rotadas* ofrece una ganancia en CNR de hasta 2.5 dB en constelaciones de orden bajo y tasas de codificación altas. Esta técnica puede ser usada para aumentar la capacidad de transmisión utilizando tasas de codificación más altas o aumentar el radio de cobertura mientras se mantiene la potencia de transmisión.

Otra técnica que ofrece un significativo aumento de la robustez de la señal y por tanto de la máxima cobertura obtenida son los *mecanismos de codificación FEC* (LDPC+BCH). La ganancia en CNR ofrecida por estos mecanismos FEC es hasta de 8dB comparado con los mecanismos de DVB-T en modos de configuración que ofrezcan la misma capacidad de transmisión, lo cual dependiendo del escenario de despliegue esto puede significar mucho más del doble de cobertura. La tabla 3 resume un ejemplo comparativo para mantener la capacidad de transmisión disponible con el actual modo de transmisión en España y aumentar el nivel de cobertura utilizando una configuración DVB-T2.

	DVB[®]T2	DVB[®]T
Tasa de codificación	3/4	2/3
Constelaciones	16QAM	64QAM
Intervalo de guarda	1/16	1/4
Tamaño de FFT	8K	8K
Ancho de banda	8 MHz	8 MHz
Umbral de CNR (recepción fija)	10.2 dB	17.3 dB
Tasa binaria disponible	19.95 Mbps	19.91 Mbps

Tabla 3. Ejemplo de configuración DVB-T2 vs. DVB-T para un misma capacidad de transmisión (ETSI TR 102831, Oct. 2010).

Por otra parte, el despliegue de redes SFN significa un aumento del nivel de señal en aquellos puntos donde se recibe componentes útiles provenientes de dos o más transmisores y por tanto mayores zonas de cobertura. La tecnología *MISO Alamouti* de DVB-T2 garantiza dicha ganancia gracias a la de correlación que inserta a las señales transmitidas desde diferentes grupos pares de transmisores. Esta ganancia por transmisión MISO es más significativa en aquellas zonas donde se reciben señales con iguales niveles de potencia.

El ahorro de energía obtenido mediante las técnicas de reducción de relación de potencia pico a nivel medio *PAPR* que implementa DVB-T2 (TR y ACE) puede llegar a ser de hasta un 25%. Esta energía también puede ser traducida en un aumento de cobertura si se mantiene la potencia de transmisión total requerida por DVB-T y se emite señales DVB-T2 utilizando dichas técnicas.

Una tecnología adicional que permite incrementar el nivel de cobertura es el *entrelazado temporal* configurable para cada una de las tuberías de capa física PLP. Este entrelazado temporal incrementa la robustez de la señal DVB-T2 frente al ruido impulsivo y resulta significativamente más efectivo en canales con desvanecimientos selectivos en tiempo/frecuencia y en entornos de recepción móvil.

Es importante resaltar también, que la tecnología de *múltiples PLPs* permite transmitir en un mismo canal RF servicios con calidad estándar y muy alta cobertura junto con servicios de muy alta calidad y una menor cobertura (por ejemplo: zonas urbanas únicamente).

d) Mayor protección frente a interferencias

Los tamaños grandes de FFT que incluye DVB-T2 (16K y 32K) pueden ser utilizados para reducir la interferencia en canales adyacentes debido a su rápida caída del espectro fuera de banda. Adicionalmente, gracias a los largos tiempos de símbolo OFDM que proporcionan, se pueden definir tiempos de intervalo de guarda más largos que soporten la recepción de señales con un mayor tiempo de retardo.

Por otra parte, el efecto de interferencias entre transmisores adyacentes provocado por altos picos de potencia en algunas de las sub portadoras de la modulación OFDM, puede ser mitigado mediante la utilización de las técnicas de reducción de PAPR incluidas en DVB-T2.

e) Redes SFN más grandes

Los intervalos de guarda más grandes ofrecidos por los tamaños altos de FFT incluidos en DVB-T2 (16K y 32K), permiten sobrellevar señales que llegan al receptor con retardos más largos que los permitidos por DVB-T con un mismo intervalo de guarda.

Redes SFN con separación entre transmisores del orden de 200Km pueden ser implementadas con un modo 32K y un intervalo de guarda de 1/4 (canalización 6 MHz). Para garantizar el buen funcionamiento de estas macro redes SFN es necesario que los transmisores estén totalmente sincronizados tanto en tiempo como en frecuencia emitiendo el mismo contenido. Estas funciones son incluidas en el elemento nuevo del sistema DVB-T2 conocido como Gateway-T2. Dependiendo del escenario, retardos artificiales pueden ser insertados en algunos transmisores para aumentar la distancia entre ellos o calibrar los tiempos de llegada de las señales dentro del intervalo de guarda.

f) Servicios móviles.

Aunque DVB-T2 fue originalmente diseñado para la transmisión de servicios que requieren alta capacidad de transmisión (HDTV, 3D TV, etc.) a terminales fijos y portables, los modos de transmisión más robustos podrían ser usados para emitir servicios a receptores en movilidad (al igual que DVB-T).

Adicionalmente, DVB-T2 permite la provisión de servicios a terminales fijos y móviles en un mismo multiplex de una forma más flexible que DVB-T, a través del uso de la tecnología de *múltiples PLPs*. En esta técnica uno o varios PLPs se asignan a servicios de televisión móvil, se modulan con esquemas de bajo orden de constelación (QPSK o 16QAM) y se protegen con valores de codificación altos (1/2, 2/3). Esto permite tener PLPs de gran robustez frente a ruido e interferencias que pueden ser decodificado con muy bajos niveles de CNR y en condiciones de movilidad. El uso de *constelaciones rotadas* permite reducir aún más el nivel mínimo de CNR, lo que podría ser utilizado para aumentar la cobertura de estos servicios móviles o incrementar la capacidad de transmisión disponible.

Tecnologías adicionales como el *entrelazado temporal* (no incluido en DVB-T) permiten combatir la pérdida de información provocada por los efectos de shadowing o desvanecimientos lentos de la señal debidos generalmente a la presencia de grandes obstáculos entre el transmisor y el terminal móvil.

Es importante resaltar que los servicios móviles requieren de tamaños de FFT reducidos para incrementar la robustez de la señal frente a la interferencia entre portadoras producida por el efecto Doppler, y patrones de portadoras densos capaces de seguir las

variaciones del canal móvil. Todo lo contrario que los servicios fijos. A diferencia de la transmisión con múltiples PLPs, la utilización de las *tramas FEF* permite configurar un modo de transmisión totalmente independiente a las tramas T2 base (incluyendo tamaño de FFT, intervalo de guarda y patrón de portadoras piloto) orientado a movilidad. Esta ventaja ha sido aprovechada para definir el subconjunto de *modos de transmisión DVB-T2 lite* y el futuro estándar *DVB-NGH*, los cuales son transmitidos sobre las tramas FEF.

g) Comparación de rendimiento (DVB-T, DVB-T2, ISDB-T)

DVB-T2 es un estándar joven con múltiples funcionalidades avanzadas aún en proceso de validación, por lo cual muchos de los estudios comparativos con los estándares de primera generación diferentes a la familia DVB como ISDB-T o ATSC, también se encuentran en desarrollo.

Rendimiento en recepción fija con antena en tejados

La Asociación de radiodifusión digital de Sud África (SADIBA por sus siglas en inglés) publicó recientemente los resultados de un estudio comparativo entre los estándares DVB-T, ISDB-T y DVB-T2 basado en información proporcionada por la Unión Internacional de Telecomunicación (ITU). Este estudio concluye que el rendimiento de DVB-T es superior por un cierto margen al de ISDB-T en las mismas condiciones técnicas y que DVB-T2 es dramáticamente superior a estos dos (*DVB escene magazine #37, March 2011*). La figura 11 muestra una comparación de los tres estándares en términos de máxima capacidad de transmisión como función de la relación portadora a ruido CNR requerida para una correcta decodificación.

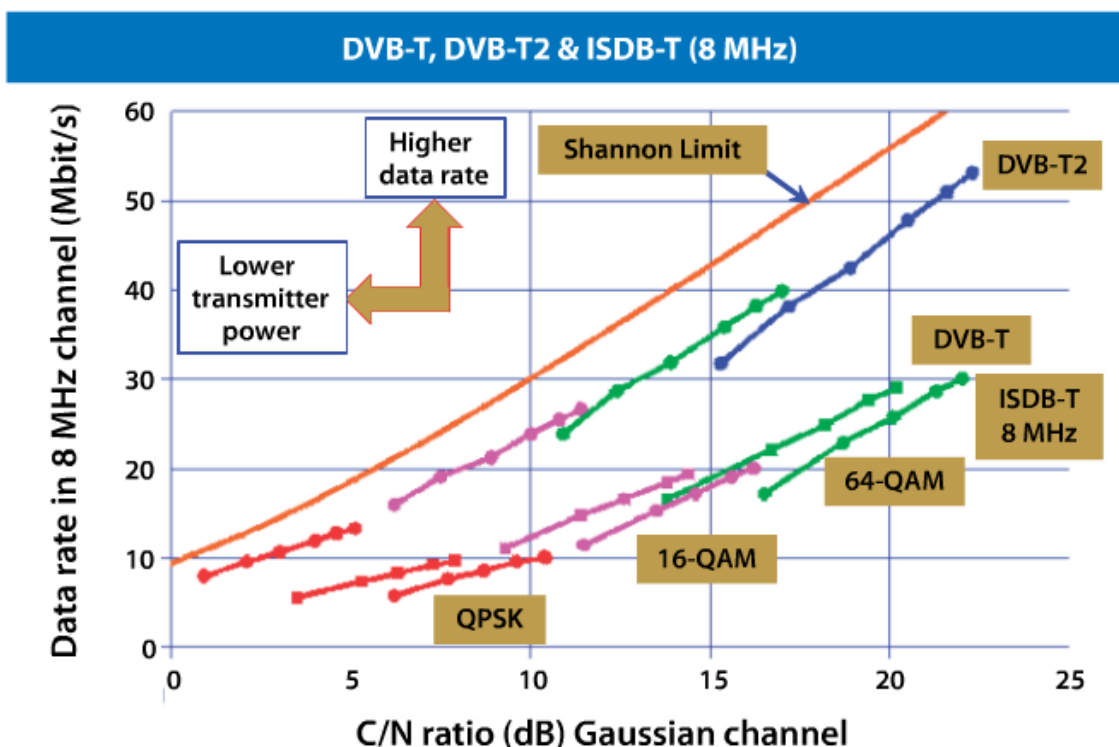


Figura 11. Rendimiento de los estándares DVB-T, DVB-T2 & ISDB-T (8MHz).

(DVB scene magazine #37, March 2011)

De acuerdo con la gráfica y las publicaciones de la ITU (*ITU-R BT.1306-4, Nov 2009*), el estándar DVB-T requiere menor potencia de transmisión para entregar un 2% más de capacidad que ISDB-T utilizando el mismo modo de transmisión. De igual forma, DVB-T tiene la posibilidad de crear redes SFN hasta 19% más grandes sin el riesgo de auto-interferencia y por lo tanto con mayor cobertura que el estándar japonés ISDB-T. Por otra parte, la gráfica y las publicaciones de la ITU (*ITU-R BT.1877, mayo 2010*), también confirman que DVB-T2 puede entregar hasta un 70% más de capacidad que ISDB-T y DVB-T en el mismo ancho de banda, el mismo modo de configuración y con una menor potencia de transmisión. Adicionalmente cabe resaltar que DVB-T2 permite crear hasta redes SFN hasta 4 veces más grandes que DVB-T ofreciendo una gran eficiencia espectral.

Rendimiento en recepción móvil

El estándar DVB-T no incluye entrelazados temporales que le permitan combatir de manera eficiente los efectos de desvanecimiento (shadowing) y alta variabilidad del

canal en recepción móvil, debido a que fue originalmente diseñado para recepción fija y portable. Sin embargo, *la señal DVB-T* puede ser recibida a velocidades entre 50 y 500 Km/h *utilizando los modos más robustos de transmisión* (FFT 2K, modulaciones de orden bajo) a costa de una reducción en la capacidad total de transmisión (G. Faria, Feb 2002). Soluciones compatibles con DVB-T para la provisión de servicios de recepción fija y móvil en un mismo multiplex y con alta capacidad de transmisión han sido evaluadas en (- , J.; Aug. 2010).

El estándar *ISDB-T_B* permite la transmisión de servicios fijos y móviles en un mismo multiplex dividiendo la trama OFDM en trece segmentos, de los cuales el segmento central es reservado para la transmisión de servicios móviles, conocido como *One-seg*, y los demás para servicios de recepción fija. One-seg corresponde a un subgrupo de portadoras con un ancho de banda de 429 Khz que pueden modularse en QPSK o 16QAM y ofrece una capacidad máxima de transmisión entre 374 Kb/s y 1.5 Mb/s (dependiendo de la modulación y la tasa de codificación FEC). La ventaja diferencial con el estándar de primera generación DVB-T es la implementación de un entrelazado temporal de hasta 400ms en el one-seg para mejorar el rendimiento en recepción de terminales móviles de banda angosta. Por otra parte, disponer de menor número de portadoras lo convierte en un segmento más vulnerable en canales con desvanecimiento selectivo de frecuencia.

La funcionalidad de *múltiples PLPs de DVB-T2* también permite la transmisión simultánea de servicios para recepción fija y móvil en un mismo canal RF. En esta técnica uno o varios PLPs son dedicados a servicios móviles y se transmiten con modos de configuración robustos frente a ruido e interferencias (modulaciones QPSK o 16QAM y tasas de protección FEC 1/2, 2/3). Adicionalmente, esta técnica permite aplicar *entrelazados temporales* independientes para cada servicio con una gran flexibilidad que pueden ir desde unos pocos milisegundos hasta varios segundos de protección. La multiplexación de PLPs se realiza en el tiempo asignando dinámicamente el número y posición de las subportadoras en función de la cantidad de PLPs y la capacidad de transmisión de cada uno de ellos. De esta forma se pueden distribuir los datos en todas las portadoras de la trama OFDM y se mantiene la robustez de la señal en canales con desvanecimientos selectivos en frecuencia. La combinación de esta técnica con las *constelaciones rotadas* aumenta la robustez de la señal DVB-T2 pudiendo ser

decodificada con niveles más bajos de potencia de recepción. Otras ventajas de DVB-T2 frente a los demás estándares es la posibilidad de seleccionar *patrones de portadoras piloto* más densos que permiten una mejor estimación de canal en recepción móvil, la transmisión en topologías de red *MISO Alamouti* que garantiza la ganancia SFN en zonas con múltiples señales de recepción y las técnicas de *reducción de PAPR* que permiten un incremento en la potencia efectiva radiada en la parte de transmisión.

Cuando se diseñan redes SFN de gran tamaño y a su vez se quiere utilizar la técnica de múltiples PLPs para ofrecer servicios fijos y móviles, generalmente es necesario utilizar tamaños de FFT grandes que permiten aumentar la separación máxima entre transmisores. El principal inconveniente de utilizar estos tamaños de FFT grandes es su bajo rendimiento en condiciones de movilidad debido a la poca separación entre portadoras y por tanto su mayor vulnerabilidad al efecto Doppler. Bajo estas condiciones, el *perfil DVB-T2 lite* es la gran alternativa, gracias a la posibilidad de transmitir servicios en un modo de configuración totalmente independiente (incluyendo tamaño de FFT e intervalo de guarda) sobre las tramas FEF. En esta configuración las tramas FEF pueden beneficiarse todas las ventajas de DVB-T2 para movilidad anteriormente mencionadas y ser transmitidas junto con tramas DVB-T2 convencionales orientadas a servicios de recepción fija con alta capacidad de transmisión.

Ventajas de DVB-T2 en Latinoamérica

Los estándares de primera generación existentes para la radiodifusión de televisión digital terrestre (ATSC, ISDB-T y DVB-T) han sido ampliamente comparados en los últimos 10 años, dando como ganador a uno u otro dependiendo de los parámetros de evaluación, la región donde se realice el estudio, las entidades participantes y las necesidades y tipo de mercado que se desea cubrir. La superior tecnológica de DVB-T2 es incomparable con estos estándares y con ella el inmenso número de beneficios que trae para los países que despliegan la red de TDT con dicho estándar. Países que aún no han empezado el apagón analógico o no han desplegado la nueva red de TDT (como algunos países de Latinoamérica), tienen la gran oportunidad de iniciar desde la fase de diseño con el estándar DVB-T2 y beneficiarse de las innumerables ventajas que trae la utilización de sus funcionalidades avanzadas.

En escenarios como la región andina se acentúa el efecto multitrayecto debido a la gran densidad de montañas, zonas boscosas, orografía muy variada y presencia de altos edificios en el mismo escenario. Adicionalmente es común instalar transmisores de alta potencia en cerros muy altos que permitan dar cobertura en amplias y variadas zonas, provocando interferencias en lugares muy alejados de la estación base o forzando la utilización de un mayor número de frecuencias de operación para evitarlas. Bajo estas condiciones, el diseño e implementación de redes **DVB-T2 SFN de gran tamaño** se convierte en una atractiva alternativa para desplegar servicios de TDT haciendo un mejor uso del espectro radioeléctrico y generando significativos ahorros de infraestructura y energía. Los largos intervalos de guarda de DVB-T2 permiten por un lado **mayor protección frente a interferencias** intra-sistema, y por otro desplegar redes SFN con separación entre transmisores de hasta 200 km (en canalización RF de 6 MHz). Esto significa, por ejemplo para el caso de Colombia, poder instalar un transmisor en cada una de las ciudades principales del país emitiendo en una única frecuencia nacional, sin riesgo a interferir el rendimiento de las estaciones adyacentes y por el contrario contribuyendo positivamente a la potencia total presente en la antena del receptor.

Una capacidad alrededor de un 70% más que cualquier otro estándar de TDT en las mismas condiciones de recepción, le permite a DVB-T2 ofrecer **hasta 4 canales de televisión en alta definición HD en un mismo multiplex** orientado a recepción fija con antena en tejados. Esto brinda a los operadores de televisión de la región andina la gran oportunidad de hacer el lanzamiento de sus redes TDT ofreciendo múltiples servicios en HD con menor infraestructura que la requerida por otros estándares. De igual forma, estos países dispondrían desde ya de redes TDT que soporten la transmisión eficiente de los futuros contenidos tridimensionales 3DTV.

Nuevos escenarios de recepción como la **TDT en movilidad**, pueden ser alcanzados con DVB-T2 utilizando el mismo multiplex o canal RF, gracias a la posibilidad de definir hasta 255 servicios con configuraciones de transmisión y robustez de la señal independiente o a la utilización de los perfiles DVB-T2 lite sobre las tramas FEF. Esta ventaja puede ser aprovechada por los radiodifusores para asociar el lanzamiento de la TDT en la región andina con la conquista de nuevos nichos de mercado y la provisión

de nuevos contenidos multimedia a sistemas de transporte público, vehículos particulares, usuarios pedestrian, etc.

La gran aceptación de DVB-T (121 países, comparado con los 12 que han adoptado ISDB-T) ha permitido reducir significativamente el precio de la infraestructura de transmisión y de los receptores domésticos gracias a las economías de escala. DVB-T2 aprovecha tanto el éxito obtenido en los primeros países donde ha sido implementado, como la gran cantidad de fabricantes y demanda de equipos en nuevos mercados como África, India y Rusia para ofrecer cajas receptoras o *Set Top Box (STB) a un precio alrededor de 80 dólares*. Caso contrario a los STB del estándar japonés-brasilero, que a pesar de los 3 o 4 años de despliegue comercial en Brasil, los altos precios no han podido ser reducidos sin a un valor aproximado de 160 dólares (*CNTV-Colombia, Nov. 2011*).

Conclusiones

Hemos analizado la mejora en rendimiento y gran flexibilidad del estándar DVB-T2 comparado con su antecesor DVB-T y el estándar de televisión diseñado en Japón, modificado en Brasil y adoptado en algunos países latinoamericanos conocido como ISDB-T_B. Así mismo, se han identificado las novedosas funcionalidades de DVB-T2 que lo convierten en el más avanzado sistema de transmisión para TDT con un alto grado de eficiencia, flexibilidad y robustez que ningún otro estándar puede igualar, tales como: mecanismos FEC de última generación, transmisión MISO Alamouti, constelaciones rotadas, espectro extendido, entrelazados temporales, reducción del PAPR, transmisión eficiente de contenido IP, múltiples PLPs, diversidad en los patrones de portadoras pilotos, eliminación de paquetes TS nulos, posibilidad de multiplexación estadística en la capa física, etc. Adicionalmente hemos analizado las principales ventajas que tendría la planificación y despliegue de una nueva red de TDT en países de la región andina haciendo uso de las funcionalidades avanzadas de DVB-T2 comparada con la utilización del estándar de primera generación.

En general estas nuevas redes DVB-T2 con canalización RF de 6 MHz proporcionarían a los operadores de TV capacidades de transmisión de alrededor de 32 Mbps, lo que significa un aumento en capacidad de transmisión en torno al 70% comparado con DVB-T y la posibilidad de emitir 4 canales de alta definición (HD) o hasta 16 canales

de definición estándar (SD) (utilizando codificación MPEG-4 como el adoptado en Colombia) o los futuros contenidos 3DTV. Adicionalmente, estas redes T2 pueden ser creadas en topologías SFN de gran tamaño con distancias entre transmisores alrededor de 350 km, haciendo un uso eficiente del espectro radioeléctrico y con la posibilidad de realizar despliegues de canales de TV nacionales con una única frecuencia. Funcionalidades avanzadas como múltiples PLPs o los perfiles T2 lite facilitan la transmisión de servicios a receptores móviles en un mismo canal RF con servicios a receptores fijos con una mayor flexibilidad y eficiencia que la tecnología one-seg implementada en ISDB-T_B.

De esta forma, no cabe duda que el estándar DVB-T2 abrirá nuevos nichos de mercado para el sector audiovisual y de telecomunicaciones en escenarios de recepción donde nunca antes había llegado la televisión.

Bibliografía

ETSI EN 302755 v1.2.1, Oct. 2010, “DVB-T2 Physical Layer Specification: Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)”.

Sales of Freeview HD Passes One Million Milestone, (<http://www.freeview.co.uk/Press/2011/Sales-of-Freeview-HD-Passes-One-Million-Milestone>).

Comisión Nacional de Televisión CNTV Colombia, Nov. de 2011, “Estudio del impacto de la actualización al estándar de televisión digital terrestre DVB-T2”.

M. Eroz, F.-W. Sun, and L.-N. Lee, May–June 2004, “DVB-S2 low density parity check codes with near Shannon limit performance,” *International Journal on Satellite Communication Networks*, vol. 22, no. 3.

DVB document A122, Jul. 2011, “Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)”.

DVB-TM NGH 019R6, Nov. 2009, “Call for technologies DVB-NGH”.

ETSI TR 102831, Oct. 2010, "DVB-T2 Implementation Guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system".

ITU-R BT.1306-4, Nov. 2009, "Error-correction, data framing, modulation and emission methods for digital terrestrial television broadcasting".

ITU-R BT.1877, May 2010, "Error-correction, data framing, modulation and emission methods for second generation of digital terrestrial television broadcasting systems".

DVB Scene Magazine # 37, March 2011, "setting the record straight", page 10.

G. Faria, February 2002, "DVB-T to deliver broadcast services to mobile receivers", white paper, TV transmission, (www.broadcastpapers.com).

- Barquero, D.; Cardona, N.; "LatinCon13 - Planning a Mobile DVB-T Network for Colombia," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, vol.8, no.4, pp.444-453, Aug. 2010.

J. López-Sánchez, D. Gómez-Barquero, D. Gozávez, N. Cardona, On the Provisioning of Mobile Digital Terrestrial Television Services to Vehicles with DVB-T, *IEEE transaction on broadcasting*, december 2011.

J. López-Sánchez, C. Romero, D. Gómez-Barquero, N. Cardona, Oct. 2011, Optimization of DVB-T networks for the provision of local and mobile services, *Waves (ISSN 1889-8297)*, Vol. 3, pages 48-57.