

# Efecto de las variaciones de intensidad de radiación electromagnética en recepción para los diferentes modos de operación en ISDB-T

Ing. Miguel Pérez. Investigador IEA-UMSA La Paz-Bolivia  
30/10/2023

**Resumen** – El presente documento tiene por objetivo analizar como la variación de la intensidad de campo afecta la recepción de las diferentes señales emitidas por los diferentes modos de operación en ISDB-T (estándar actual para la televisión digital en Bolivia).

Para el estudio se realizaron diferentes medidas de intensidad de campo en varios lugares aleatorios, analizando los efectos que se tenía en la calidad de servicio de televisión. Asimismo, se fueron cambiando los diferentes modos de operación y viendo el efecto que este tenía en la señal y la calidad del servicio.

Las mediciones se realizaron a través de un analizador de espectro - Aaronia Spectran HF-80200-X (9kHz - 20GHz). Asimismo, todas las señales de los diferentes modos de operación fueron generadas a través del software DECTEK Streamxpress con una tarjeta DTA-115.

**Índice de Términos** - ISDB-T, DECTEK-Streamxpress, Intensidad de campo electrico, Analizador de espectro, Televisión digital

## I. INTRODUCCION

La llegada de la digitalización ha hecho que poco a poco el ser humano vaya migrando y actualizando los diferentes servicios en telecomunicaciones hacia redes más modernas, de mayor capacidad y que puedan ofrecer una mayor versatilidad para llegar a los diferentes usuarios. Los servicios de televisión no están exentos a estos hechos, el apagón analógico junto con la implementación de la televisión digital en toda América Latina es ya una realidad que se vive actualmente. La llegada de la TV digital viene proporcionando muchas ventajas en relación a su predecesor como ser una mejora de la calidad de la imagen y del sonido, un mejor aprovechamiento del espectro electromagnético reflejado en un mayor número de canales y la introducción de varios servicios interactivos que permiten al usuario una mayor libertad a la hora de disfrutar de este entretenimiento.

El estándar actual de Tv digital que se adoptó en Bolivia es ISDB-T (Integrated Services for Digital Broadcasting-Terrestrial). Esta norma adopta como su técnica de acceso al medio a OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Acces) que le brinda una gran robustez al sistema para la transmisión binaria de datos, más aún si se usan los esquemas de modulación más eficientes (64 QAM), banda de guarda estrecha ( $\Delta=1/32$ ) y codificación redundante baja ( $K_0=7/8$ ). Sin embargo, las elecciones de estos parámetros muchas veces se

ven limitadas por la topografía y características físicas del lugar de emisión dado que la distancia y fenómenos como la reflexión hacen que la interferencia intersimbólica sea un problema en la recepción de las señales necesitando intervalos de guarda para proteger cada símbolo. Es así como se generan los diferentes modos de operación en ISDB-T que dependiendo la distancia varían el intervalo de tiempo de cada símbolo OFDM. Cada modo de operación en ISDB-T, permite la modificación de tres parámetros importantes en la transmisión de la señal, estos son, el intervalo de guarda (que se encarga de la protección contra interferencias intersimbólicas), los esquemas de modulación (Dependiendo de los mismos es posible transmitir una mayor o menor cantidad de datos) y los códigos convolucionales (encargados de la codificación y corrección de errores).

La calidad de servicio que se ofrece en TV digital está en función a los parámetros seleccionados y el modo de operación del mismo, no obstante, la potencia de trasmisión y los niveles de intensidad de campo con los que estas señales son recepcionadas también juegan un papel determinante en la ejecución del mismo, ya que a diferencia de la televisión analógica en la que una baja en los niveles de intensidad de campo solo se reflejaba en una degradación de la calidad, en tv digital se manifiesta como un corte de servicio [1]. Basándonos en diferentes artículos y estándares, un nivel aceptable de intensidad de campo se encuentra entre los 60 y 65 dBuV [2][3]. En el estudio que se llevó a cabo, se realizaron mediciones de intensidad de campo en diversos lugares donde se tuvieran valores por encima y debajo de la norma de tal manera de observar si el cambio en los modos de operación de ISDB-T tenía alguna influencia en la recepción del servicio.

## II. ISDB-T 6MHz

El sistema ISDB-T fue desarrollado en Japón. Utiliza modulación BST-OFDM con 14 segmentos y opera usando un ancho de banda de 6, 7 u 8 MHz, es importante mencionar, que de los 14 segmentos solo 13 son utilizables para la trasmisión de datos ya que uno se usa como resguardo de banda entre canales adyacentes. [4]. Cada segmento contiene un ancho de banda de aproximadamente 428.57 Khz que fácilmente puede deducirse mediante una simple división del ancho de banda entre los segmentos totales del estándar.

$$BW = \frac{6000}{14} = 428.57 \text{ KHz} \quad (1)$$

La cantidad de segmentos se definió en base a la idea de que cada segmento sea capaz de transmitir una señal de TV digital de baja definición (una tasa de bits de 300 a 400 Kbps).

Los 13 segmentos se pueden combinar en hasta tres capas jerárquicas, A, B y C. Dependiendo de la combinación de segmentos en cada capa jerárquica es posible generar señales de tv digital de mayor calidad e incluso con ciertas características de interactividad. [5]

ISDB-T posee tres modos de transmisión que están basados en el tiempo que posee cada símbolo OFDM. El tiempo de cada símbolo se selecciona en base al criterio de resguardo para interferencia intersimbólica que ocurre cuando las señales reflejadas se solapan a la señal original generando símbolos sobrepuestos. Los tiempos de resguardo son obtenidos en base a la distancia recorrida por la señal reflejada y la velocidad de propagación de la señal, a continuación, podemos ver una tabla con los tiempos de símbolo y guarda para cada modo de operación. [6]

TABLA I

Intervalos de guarda, duración de símbolo y distancias de reflexión en ISDB-T

MODO	T <sub>U</sub>	Δ	T <sub>G</sub>	T <sub>S</sub>	D <sub>max</sub>
1	252 us	1/4	63 us	315 us	18.9 Km
		1/8	31.5 us	283.5 us	9.45 Km
		1/16	15.75 us	267.75 us	4.72 Km
		1/32	7.875 us	259.8 us	2.36 Km
2	504 us	1/4	126 us	630 us	37.8 Km
		1/8	63 us	567 us	18.9 Km
		1/16	31.5 us	535.5 us	9.45 Km
		1/32	15.75 us	519.75 us	4.72 Km
3	1008 us	1/4	252 us	1260 us	75.6 Km
		1/8	126 us	1134 us	37.8 Km
		1/16	63 us	1071 us	18.9 Km
		1/32	31.5 us	1039.5 us	9.45 Km

T<sub>U</sub> = tiempo del símbolo útil OFDM, Δ = relación guarda - datos, T<sub>G</sub> = tiempo de guarda T<sub>S</sub> = tiempo total del símbolo, D<sub>max</sub> = distancia máxima del objeto reflectante

Análogamente, cada modo de operación puede ser configurado en función a un esquema de modulación, código convolucional y relación de banda de guarda. La siguiente fórmula expresa la velocidad de transmisión que puede obtenerse en base a los parámetros ya mencionados:

$$Vel. de transmisión = 4.564 \frac{B_m K_i}{1+\Delta} \quad (2)$$

Donde:

B<sub>m</sub> = Bits usados en la modulación

K<sub>i</sub> = Códigos convolucionales

Δ = Relación banda de guarda vs tiempo útil del símbolo OFDM

La siguiente tabla muestra todas las velocidades que pueden obtenerse aplicando todas las posibles configuraciones de modulación, códigos convolucionales y relación de banda de guarda.

TABLA II

Tasas de transmisión de datos para 1 y 13 segmentos de operación

Δ	K <sub>i</sub>	Tasas Binarias (Mbps)					
		QPSK		16 QAM		64 QAM	
		1 Seg	13 Seg	1 Seg	13 Seg	1 Seg	13 Seg
1/4	1/2	0,281	3,651	0,562	7,302	0,842	10,954
	2/3	0,374	4,868	0,749	9,737	1,123	14,605
	3/4	0,421	5,477	0,842	10,954	1,264	16,430
	5/6	0,468	6,085	0,936	12,171	1,404	18,256
	7/8	0,491	6,390	0,983	12,779	1,474	19,169
1/8	1/2	0,312	4,057	0,624	8,114	0,936	12,171
	2/3	0,416	5,409	0,832	10,818	1,248	16,228
	3/4	0,468	6,085	0,936	12,171	1,404	18,256
	5/6	0,520	6,761	1,040	13,523	1,560	20,284
	7/8	0,546	7,100	1,092	14,199	1,638	21,299
1/16	1/2	0,330	4,296	0,661	8,591	0,991	12,887
	2/3	0,440	5,727	0,881	11,455	1,321	17,182
	3/4	0,496	6,443	0,991	12,887	1,487	19,330
	5/6	0,551	7,159	1,101	14,318	1,652	21,478
	7/8	0,578	7,517	1,156	15,034	1,734	22,552
1/32	1/2	0,340	4,426	0,681	8,851	1,021	13,277
	2/3	0,454	5,901	0,908	11,802	1,361	17,703
	3/4	0,511	6,639	1,021	13,277	1,532	19,916
	5/6	0,567	7,376	1,135	14,752	1,702	22,128
	7/8	0,596	7,745	1,191	15,490	1,787	23,235

K<sub>i</sub> = Códigos convolucionales

Δ = Relación banda de guarda vs tiempo útil del símbolo OFDM

Es importante señalar que los modos de operación en ISDB-T son independientes a los parámetros de codificación y esquemas de modulación aplicados sobre las portadoras. La única diferencia radica en el ancho de banda que posee cada portadora individual lo que genera una diferencia en la cantidad de portadoras para cada modo de operación. Este concepto nos puede llevar a la idea de que el mejor modo de operación bien a ser el 3ero ya que asegura el funcionamiento de la red frente a grandes tiempos de retardo, no obstante, el hecho de que las portadoras posean poco ancho de banda hace que las mismas sean más susceptibles al efecto Doppler, lo que torna más frágil a este modo cuando se realiza la transmisión para el servicio móvil. [7]

### III. ADQUISICIÓN DE DATOS

El presente estudio se realizó en las instalaciones del instituto de Electrónica Aplicada perteneciente a la Universidad Mayor de San Andrés en La Paz-Bolivia. Inicialmente, se configuraron todos los equipos de transmisión en TV digital bajo el siguiente diagrama.

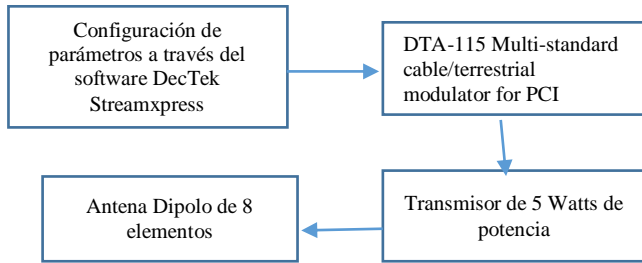


Fig. 1. Diagrama de bloques de todos los equipos utilizados para generar la señal de tv digital a evaluar.

La selección de los modos de operación y configuración de parámetros para la tasa binaria de salida se realizaron a través del software DecTek Streamxpress. La interfaz que posee es bastante intuitiva y nos permite realizar las configuraciones pertinentes del modo y la velocidad con unos simples ajustes.

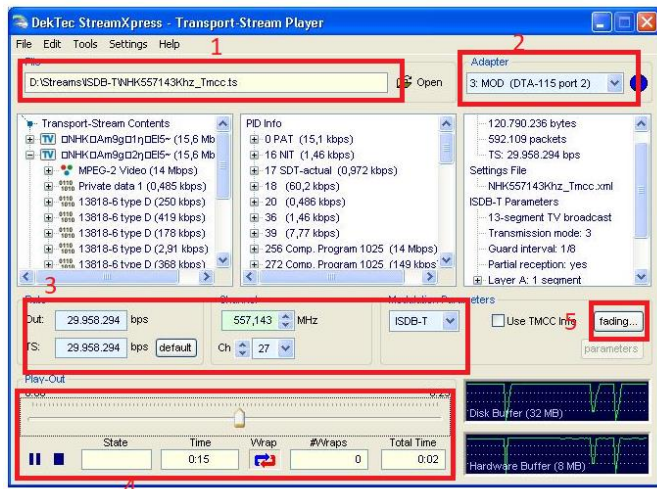


Fig. 2. Interfaz de configuración inicial del software DecTek Streamxpress

Como podemos apreciar en la figura 2, la interfaz inicial nos permite configurar tanto los parámetros básicos como la información a reproducir. La sección 1 nos permite seleccionar los archivos que serán enviados en la transmisión (formato de audio y video), la segunda nos permite seleccionar entre las diferentes tarjetas moduladoras que estén activas en la PC, la tercera sección nos permite configurar parámetros como la frecuencia, el canal y estándar transmisión, la cuarta sección está asociada a comandos e información de reproducción de los distintos archivos de video a transmitir y la quinta sección nos lleva a un menú más personalizado donde podemos realizar configuraciones más avanzadas dependiendo el estándar de trabajo.

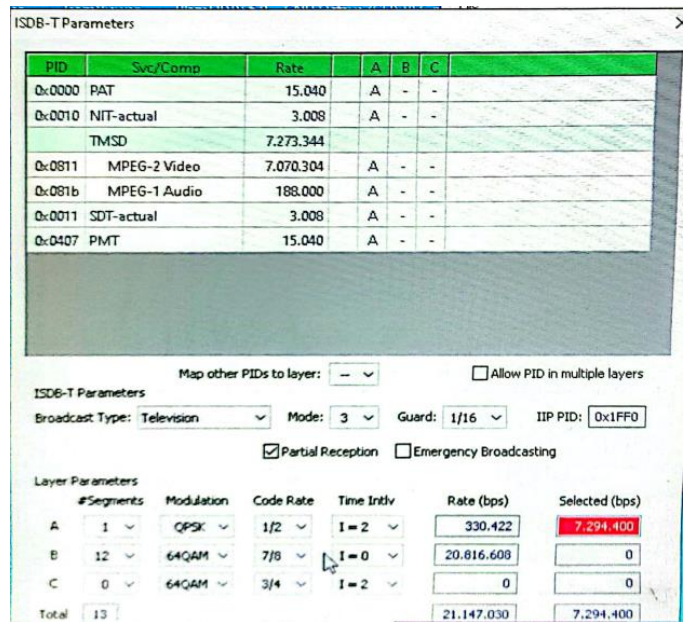


Fig. 3. Interfaz de configuración avanzada para ISDB-T del software DecTek Streamxpress

La figura 3 muestra la interfaz avanzada de configuración para el modo ISDB-T, donde se puede apreciar las diversas posibilidades que entrega, desde el modo de operación, la configuración de los segmentos jerárquicos, códigos convolucionales, modulación y periodo de guarda.

Una vez configurado los modos de operación correspondientes la tarjeta DTA-115 Multi-standard cable/terrestrial modulator for PCI se encarga de generar la señal correspondiente, la misma que es llevada a un transmisor genérico para tv de 5 watts de potencia que está conectado a una antena dipolo de 8 elementos para su transmisión.

Para este estudio se configuro la señal para que pueda emitirse en el canal 20 (506-512 Mhz), realizando variaciones entre los diferentes modos de operación, esquemas de modulación, códigos convolucionales y periodo de guarda.

Para la medición de los niveles de intensidad de campo se utilizó el analizador de espectro Aaronia Spectran HF-80200-X (9kHz - 20GHz) que fue calibrado para su uso con una antena OMNILOG 308000, diseñada para mediciones de intensidad de campo en un rango de 300 Mhz a 8 Ghz. Igualmente, se utilizó una televisión común para poder ver la calidad de la transmisión y posibles caídas del servicio.

Para la primera prueba, se configuro el transmisor en el modo de operación uno con parámetros que generan la mayor capacidad de transmisión binaria (1 solo bloque de transmisión de 13 segmentos, código convolucional 7/8, tiempo de guarda de 1/32 y modulación QAM 64). El video transmitido se encontraba en alta resolución con 1920 x 1080 pixeles y una ratio de (16:9). Una vez puesto en marcha el transmisor, se realizaron diferentes medidas de los niveles de la intensidad de campo en los alrededores, de todas las mediciones se tomaron como puntos de control a 3 lugares. El primero se encontraba a lado del transmisor y permitía obtener datos libres de interferencia o caída de intensidad de campo.



Fig. 4. Intensidad de campo medida en el punto de observación 1 (cerca al transmisor)

La figura 4 nos muestra el valor de intensidad de campo medido cuando nos encontramos cerca del transmisor, la intensidad de campo muestra un valor de 84.54 dBuV/m valor que se encuentra por encima de los 65 dBuV que garantiza un servicio de calidad óptimo. Asimismo, la televisión muestra el video emitido sin ningún tipo de interferencia o corte.

Para el segundo punto se realizó el mismo proceso de medición encontrando los siguientes resultados.

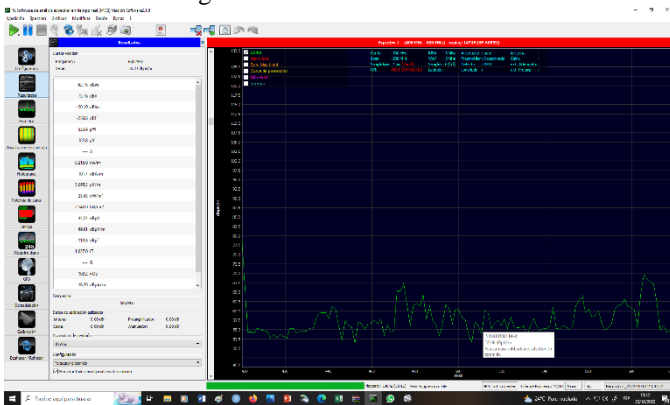


Fig. 5. Intensidad de campo medida en el punto de observación 2 (lejos al transmisor)

La figura 5 muestra un valor de intensidad de campo de 57.56 dBuV/m, es importante mencionar que esta segunda medida se realizó dentro de un edificio del campus universitario que posee paredes bastante gruesas y existe un área verde en medio de ambos puntos, afectando de sobremanera a la señal emitida por nuestro transmisor. Para este caso el televisor presenta varios cortes de servicio e imágenes pixeleadas en la mayoría del tiempo de emisión. Es en este caso donde se realizaron diferentes variaciones en el modo de operación y parámetros del transmisor de tal manera de poder encontrar si existía alguna configuración que mejorará la señal en nuestra televisión de pruebas. La emisión mejoro considerablemente cuando el esquema de modulación se cambió por QPSK y se usaron códigos convolucionales más bajos (2/3).

La última medición se llevó a cabo en una zona un poco más alejada y fue más a campo abierto, en esta área la intensidad de campo se encontraba bajo parámetros de calidad aceptables.

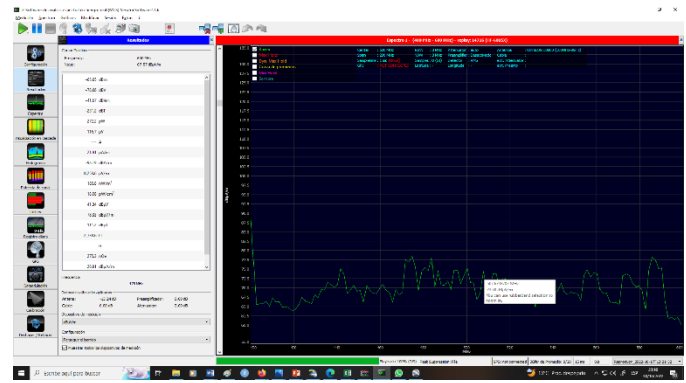


Fig. 6. Intensidad de campo medida en el punto de observación 3 (lejos al transmisor)

Como se puede apreciar en la figura 6, los niveles de intensidad medidos por el analizador muestran valores de 71 dBuV/m en la zona de interés, sin embargo, cuando se enciende la televisión la programación emitida se encuentra en algunos casos pixeleada y presenta ciertos bucles de repetición como si los datos estuvieran desfasados. Al igual que el anterior caso se modificaron los parámetros de emisión, pero en este caso ninguno de ellos pareció corregir el bucle de desfase hasta que se cambió al modo de operación 2, en el cual bajo todos los parámetros de configuración la emisión del video fue buena.

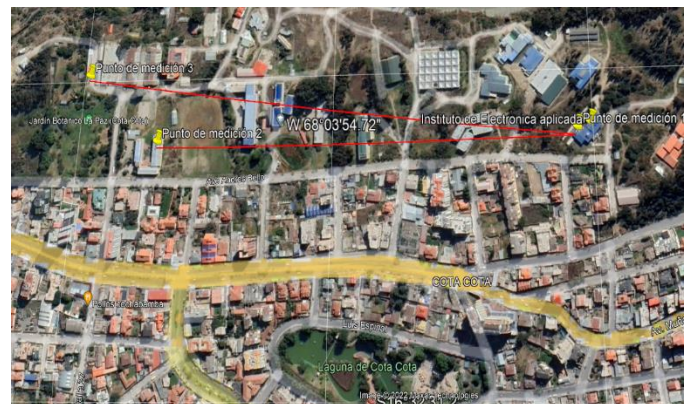


Fig. 7. Puntos de observación del estudio

#### IV. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

Para el caso del primer punto de observación, claramente se puede ver como la señal emitida no sufren de ningún tipo de interferencia y se puede apreciar un nivel de intensidad de campo muy superior al estándar. Asimismo, el video se reproduce con total normalidad en nuestro receptor televisivo. Por otro lado, en nuestro segundo punto de medición si se puede apreciar como los bajos niveles de intensidad de campo afectan de sobremanera a la señal emitida generando una continua interrupción del servicio, sin embargo, fue posible lograr una emisión más estable al mover los parámetros de emisión de nuestra transmisión variando los esquemas de modulación y los códigos convolucionales. Esto tiene mucho sentido ya que al bajar el esquema de modulación se mejoró la relación señal ruido que se veía afectada por los bajos niveles de recepción y

además la ayuda de códigos convolucionales que ayuden a la corrección de errores posibilitaron una llegada de datos más fiables y con niveles de identificación que no dependían de la amplitud sino de la fase de la señal. De igual manera, el tercer punto de observación presentó problemas a la hora de recepcionar la señal, incluso cuando los niveles de intensidad de potencia estaban muy sobre la norma. Lo interesante se vio en la manera de como el servicio se veía afectado ya que la mayoría del tiempo se producían pequeños micro-cortes que después se manifestaban en pequeños bucles de repetición de la programación. El cambio de parámetros como la modulación o códigos convolucionales no generaban ninguna mejoría hasta que se modificó el intervalo de guarda con el cual se apreció una mejora en la cantidad de microcortes y repetición de bucles, esta mejora derivó en la idea de cambiar el modo de operación ya que posiblemente las reflexiones estaban generando una interferencia intersimbólica, una vez cambiado al modo de operación 2 la señal se estabilizó por completo.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que los modos de operación en ISDB-T junto con la modificación del intervalo de guarda ayudan a combatir de sobremano los fenómenos de reflexiones que provocan la interferencia intersimbólica. Sin embargo, es necesario recordar que mientras más se extienda el tiempo del símbolo OFDM más pequeño se hace el ancho de banda de las portadoras haciéndolas susceptibles al efecto Doppler lo que generaría una degradación o anulación del servicio móvil.

Asimismo, es importante destacar que, si bien el uso de esquemas de modulación altos nos permite obtener grandes tasas de transmisión de datos, los mismos generan que las señales sean muy susceptibles a la degradación de la señal y débiles al ruido (especialmente los esquemas que modifican la amplitud de la señal).

Finalmente, Es importante tomar en cuenta que no existe un modo de operación perfecto en ISDB-T, la configuración de sus parámetros y la selección del modo siempre estará en función de la topología del terreno, distancias a cubrir y posibles elementos que pudieran causar mucha reflexión (urbes densamente pobladas con varios edificios)

## REFERENCES

- [1] Transmission system for digital terrestrial television broadcasting, ARIB Standard STD-B31 Ver.1.5, Jul. 2003.
- [2] TU-R P.1546-1, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, <http://www.itu.int/rec/R-REC-P/e>, 2001-2003.
- [3] International Telecommunication Union, "Report ITU-R BT.1368-12: Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands," Geneva, 2015
- [4] PISCIOTTA, Néstor y Carlos LIENDO, Transmisión Experimental en el Sistema ISDB-Tb Canal 36 TV UHF Universidad Blas Pascal, Informe técnico presentado ante la Autoridad Federal de Servicios de Comunicación Audiovisual (AFSCA), 2010.
- [5] Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting, ARIB STD B31, 2005.
- [6] Y. Wu et al., "Comparison of terrestrial DTV transmission systems: The ATSC 8-VSB, the DVB-T COFDM, and the ISDB-T BST-OFDM," vol. 46, no. 2, pp. 101-113, 2000.
- [7] Digital terrestrial television - Video coding, audio coding and multiplexing - Part 3: Signal multiplexing systems, ABNT NBR 15602-3, Dec. 2007.
- [8] G. Bedicks Jr. et al., "Outlines of the brazilian digital terrestrial television broadcasting system," in 57th annual IEEE Broadcasting Symposium, Washington, DC, Oct.1st Nov.2007.