



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

---

# Estudio de Viabilidad Técnica para el Uso de Espacios Blancos en Chile

---

*Equipo de Investigación*

Msc. Nicolás López V. Investigador principal

Dr. Adriana Arteaga A., Investigadora

Prof. Cesar Azurdia M., Supervisor

Prof. Sandra Céspedes U., Supervisora

08 de noviembre de 2021



# Índice general

Índice de cuadros	5
Índice de figuras	7
<b>1. Resumen</b>	<b>9</b>
<b>2. Descripción del Sistema de Pruebas</b>	<b>13</b>
2.1. Señal ISDB-Tb	13
2.1.1. Máscara de Transmisión	14
2.2. Señal IEEE 802.22	14
<b>3. Métricas de Desempeño</b>	<b>17</b>
3.1. Modulation Error Rate (MER)	17
3.2. Bit Error Rate	18
3.3. System Target Error (STE)	18
<b>4. Criterio de Interferencias y Ambiente de Pruebas</b>	<b>21</b>
4.1. Criterio de Interferencias	21
4.2. Sección Transmisora	22
4.3. Sección Recepción	23
<b>5. Resultados</b>	<b>27</b>
5.1. Ajuste de Potencias a la entrada del Receptor TVD	27
5.2. Adquisición de parámetros ISDB-Tb	28
5.3. Métricas de Desempeño	31
5.3.1. Escenario I (Óptimo): Sólo TVD (Sin interferencia TVWS)	31
5.3.2. Escenario II: Interferencia de Canal Adyacente	33
5.3.3. Escenario III: Interferencia Co-Canal	39
<b>6. Conclusiones</b>	<b>45</b>
<b>Anexos</b>	<b>46</b>
6.1. Anexo A: Códigos algorítmicos	46

6.2. Anexo B : Mediciones Potencia, MER y BER . . . . .	47
6.3. Anexo C: Lista de Materiales . . . . .	49
6.4. Anexo D: Ambiente de Pruebas . . . . .	49
6.5. Anexo E : Otras tablas de métricas de desempeño para diferentes configuraciones	50
6.5.1. Primer Nivel de Potencias; Canal Adyacente . . . . .	50
6.5.2. Segundo Nivel de Potencias; Canal Adyacente . . . . .	51
6.5.3. Tercer Nivel de Potencias; Canal Adyacente . . . . .	51
<b>Acrónimos</b>	<b>53</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>57</b>

# Índice de cuadros

2.1. Valores de atenuación mínima para las diferentes máscaras de transmisión para TVD [1] . . . . .	14
2.2. Parámetros definidos en el estándar IEEE 802.22 WRAN para la transmisión. . .	15
2.3. Parámetros PHY para señal TVWS utilizada en los experimentos . . . . .	16
5.1. Valores ideales para las diferentes métricas de desempeño, con una ganancia de 50 dB. . . . .	28
5.2. Parámetros de transmisión para Canal 13.2 . . . . .	30
5.3. Parámetros de transmisión para Canal CHV . . . . .	30
5.4. Parámetros de transmisión para Canal TVN . . . . .	31
5.5. Parámetros usados en la SDR para decodificar la señal de TVD . . . . .	31
5.6. Potencia recibida para la frecuencia de TVD sintonizada . . . . .	32
5.7. Resultados de las métricas de desempeño para escenario sin interferencias. . . .	32
5.8. Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales . . . . .	34
5.9. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajos (515 MHz). . . . .	35
5.10. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más abajo (521 MHz). . . . .	35
5.11. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más arriba (539 MHz). . . . .	35
5.12. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más arriba (545 MHz). . . . .	35
5.13. Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales . . . . .	36
5.14. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajo (515 MHz). . . . .	37
5.15. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más abajo (521 MHz). . . . .	37
5.16. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más arriba (539 MHz). . . . .	37
5.17. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más arriba (545 MHz). . . . .	37
5.18. Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales . . . . .	38

5.19. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajo (521 MHz). . . . .	38
5.20. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más arriba (539 MHz). . . . .	39
5.21. Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales. . . . .	40
5.22. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS en la misma frecuencia que la señal TVD para el primer nivel de potencias. . . . .	40
5.23. Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales . . . . .	41
5.24. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS en la misma frecuencia que la señal TVD para el segundo nivel de potencias. . . . .	41
5.25. Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales . . . . .	42
5.26. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS en la misma frecuencia que la señal TVD para el tercer nivel de potencias. . . . .	43
6.1. Obtención de las métricas de desempeño para diferentes configuraciones de ganancia, solo para TVD. . . . .	48
6.2. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más abajo.(515 MHz) . . . . .	50
6.3. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más arriba.(551 MHz) . . . . .	50
6.4. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más abajo (515 MHz). . . . .	51
6.5. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más arriba (551 MHz). . . . .	51
6.6. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más abajo (515 MHz). . . . .	51
6.7. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajo (521 MHz). . . . .	52
6.8. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más arriba (545 MHz). . . . .	53
6.9. Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más arriba (551 MHz). . . . .	53

# Índice de figuras

1.1. Adquisición de métricas de desempeño, imagen y audio de la señal de TVD . . .	11
2.1. Máscara crítica de transmisión digital en el Plan TVD [1] . . . . .	14
2.2. Máscara crítica especificada para Estados Unidos en el estándar IEEE 802.22 [2]	15
4.1. Diagrama de bloques del sistema de pruebas implementado. . . . .	23
4.2. <i>Flow Graph</i> utilizado para la decodificación del audio e imagen de TVD . . . . .	24
4.3. <i>Flow Graph</i> utilizado para la obtención de las métricas de desempeño. . . . .	25
5.1. <i>Flow graph</i> que permite obtener los parámetros usados por la TVD para transmitir	28
5.2. Diferentes configuraciones de tiempos de guarda y sus graficas. . . . .	29
5.3. Parámetros de transmisión utilizados por CHV para transmitir. . . . .	30
5.4. Imagen decodificada y las métricas de desempeño obtenidas para este escenario .	33
5.5. Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente . . . . .	34
5.6. Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente . . . . .	36
5.7. Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente . . . . .	38
5.8. Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para señal TVD y señal TVWS, respectivamente . . . . .	40
5.9. Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para señal TVD y señal TVWS, respectivamente . . . . .	41
5.10. Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente. . . . .	42
6.1. Equipos utilizados para el estudio de las interferencias . . . . .	49



# Capítulo 1

## Resumen

Ante la eventual implementación de nuevas tecnologías, como *Television White Space* (TVWS) en el país, se encargó la evaluación del riesgo de interferencia de la misma sobre las señales habituales de radiodifusión televisiva digital terrestre (TVD)<sup>1</sup>.

Para la evaluación de la posible interferencia, se generaron una serie de experimentos en un ambiente controlado de laboratorio, para obtener una muestra relevante de las consideraciones a tener en cuenta para la implementación de sistemas TVWS en coexistencia con sistemas ISDB-Tb. Para ello se utilizaron métricas, consideraciones y normativas utilizadas en estudios similares efectuados en países donde la tecnología TVWS ya se encuentra normada. Es importante destacar que actualmente Chile no cuenta con una normativa específica para la tecnología TVWS.

Para realizar los experimentos se implementaron un receptor ISDB-Tb y un analizador de espectros utilizando *Software Defined Radio* (SDR). Estos instrumentos permitieron obtener los parámetros de mayor interés para asegurar que la calidad de la TVD es preservada en diferentes escenarios de coexistencia con la tecnología TVWS. Por ello, se utilizan las métricas de mayor importancia en un sistema de comunicaciones digital: *Modulation Error Rate* (MER), *Bit Error Rate* (BER) y *System Target Error* (STE) para diferentes valores de *Carrier-to-Interference Ratio* (C/I). La métrica C/I se utiliza para analizar la razón de potencias entre la señal TVD y la señal TVWS que aseguran la coexistencia de ambas [3, 4].

Se efectuaron numerosas rondas de experimentos variando los parámetros de potencia y ancho de banda del filtro analógico en la recepción, para ver los efectos que tienen sobre la recepción de la señal TVD. La variación del ancho de banda del filtro del receptor TVD es un parámetro que permite emular la calidad de diferentes receptores que pueden ser adquiridos en el comercio. Un filtro de baja calidad permite el paso de un número mayor de frecuencias indeseadas en el

---

<sup>1</sup>El presente estudio, es parte del proyecto 'Análisis Técnico, Económico y Regulatorio Piloto de Espacios en Blanco de Televisión (TVWS)', encargado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) al experto Ing. Patricio Boric Scarpa.

sistema, que finalmente ocasiona la degradación de la calidad de la señal recibida. Esto se utiliza para recrear la interferencia en canal adyacente y co-canal que causaría la tecnología TVWS sobre el sistema de TVD.

En la evaluación se consideraron escenarios de peor caso y casos esperados respecto al cumplimiento del nivel de protección del servicio de TVD indicado por la normativa, destacando que:

Para el peor caso, cuando el  $C/I$  es de 6,13 dB se tiene que el sistema TVD se degrada significativamente ante la presencia de la señal TVWS, para interferencias de canal adyacente y co-canal. Destacar que este valor de  $C/I$  excede el nivel de protección ante interferencia permitido por la normativa y el estándar de TVD. Esto provoca una inhabilitación del sistema receptor para decodificar la señal de TVD ante el alto número de errores provocados por la interferencia. Este efecto es independiente de la calidad del filtro utilizado en el receptor de TVD.

A continuación, se utiliza un  $C/I$  de 13,35 dB que, si bien es mayor al escenario anterior, sigue vulnerando la normativa y el estándar de TVD. En este escenario se concluye que el proceso de filtrado para evitar la interferencia adquiere gran relevancia, puesto que para desempeños óptimos y normales del ancho de banda del filtro representados con valores 8 MHz y 20 MHz respectivamente, la señal puede ser decodificada para la mayoría de los canales adyacentes. Además, entre mayor sea la separación entre la frecuencia del sistema TVD y el sistema TVWS, menores son los efectos de la interferencia para este nivel de  $C/I$ . Este caso se considera como el segundo peor escenario que pudiera ocurrir y donde la interferencia co-canal continúa siendo la más perjudicial para el sistema TVD.

Finalmente, se utiliza un  $C/I$  de 28,34 que corresponde al rango de protección determinado para la coexistencia de dos señales digitales distintas según la normativa. Para esta razón de potencias de las señales, independientemente de la configuración del filtro utilizado y escenario de interferencias, el receptor de TVD es capaz de recibir la señal sin degradación de la señal, como se muestra en la Figura 1.1. Además, la existencia de errores es comparable al escenario ideal que considera sólo la señal TVD sin la presencia de la interferencia de la señal TVWS. Este escenario corresponde a un escenario normal de implementación, acorde a la normativa vigente para TVD, en el cual la señal TVWS puede coexistir sin ocasionar interferencia perjudicial al sistema TVD. Destacar que la afirmación anterior es válida para la interferencia de canal adyacente y no para la interferencia co-canal, puesto que esta última vulneraría la normativa para TVWS que no permite el uso compartido del canal de televisión. En todo caso, los equipos TVWS tienen la inteligencia necesaria para no generar esta interferencia, mediante los siguientes procesos:

1. Ajuste automático de la potencia de transmisión.
2. Ajuste automático de la banda de frecuencias de operación.
3. Ajuste adaptable de la modulación, los tiempos de guarda y los code rates.
4. Conexión a bases de datos con los canales ocupados en la localidad pertinente y, con ello, capacidad para seleccionar los canales que no han sido asignados por el regulador.

En conclusión, el sistema TVWS puede implementarse sin ocasionar interferencia perjudicial sobre el servicio de TVD, utilizando los valores de protección definidos para los sistemas digitales en el estándar IEEE 802.22 WRAN y los estipulados por la normativa de TVD. Destacar que los rangos de protección de la normativa chilena de TVD son para interferencias de la misma tecnología, que son similares a los recomendados por los diferentes estándares de TVWS.



Figura 1.1: Adquisición de métricas de desempeño, imagen y audio de la señal de TVD



# Capítulo 2

## Descripción del Sistema de Pruebas

El sistema de pruebas utilizados para el análisis de interferencias, consiste en la emulación de los sistemas TVD y TVWS, en un ambiente de laboratorio. Esto permite el control de parámetros de interés como: potencia de transmisión, potencia de recepción, modulaciones y tiempos de guarda. Diversos estudios en la literatura han cuantificado la interferencia entre canales adyacentes [5–9] (ACI) mediante la variación de estos parámetros, revelando que en ciertas configuraciones el deterioro en la calidad de la señal recibida por los receptores TVD de televisión digital (DTT) es significativa. A continuación se detallan los parámetros del sistema de comunicaciones para la señal de televisión digital (ISDB-Tb) y para la señal TVWS bajo el estándar IEEE 802.22 en la capa física. La principal diferencia entre ambas reside en la utilización de esquemas de modulación diferentes.

### 2.1. Señal ISDB-Tb

La señal ISDB-Tb utiliza modulación *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) para la transmisión de la información mediante portadoras múltiples. El sistema emplea el principio de ortogonalidad para evitar la interferencia entre portadoras (ICI), donde la separación entre portadoras es igual a la inversa del tiempo de duración del símbolo. Con esto se garantiza que a una frecuencia central de una determinada portadora, las restantes portadoras tendrán valor nulo para ese instante de tiempo. Por otra parte, la interferencia entre símbolos (ISI) es tratada mediante la utilización de intervalos de guarda al comienzo de cada símbolo OFDM.

La señal ISDB-Tb es recibida en diferentes canales de la TVD abierta, mediante la utilización de una LimeSDR que consiste en un dispositivo Software Defined Radio (SDR). Esta SDR es configurada mediante el programa GNURadio, que permite la implementación de múltiples sistemas de comunicaciones con sus respectivas capas del modelo OSI.

### 2.1.1. Máscara de Transmisión

La máscara de transmisión utilizada corresponde a la especificada en el decreto N167 de 2014 de la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL), que aprobó el Plan de Radiodifusión Televisiva Digital [1]. Los valores para las diferentes máscaras se encuentran en la Tabla 2.1 y que son obtenidos desde la Figura 2.1.

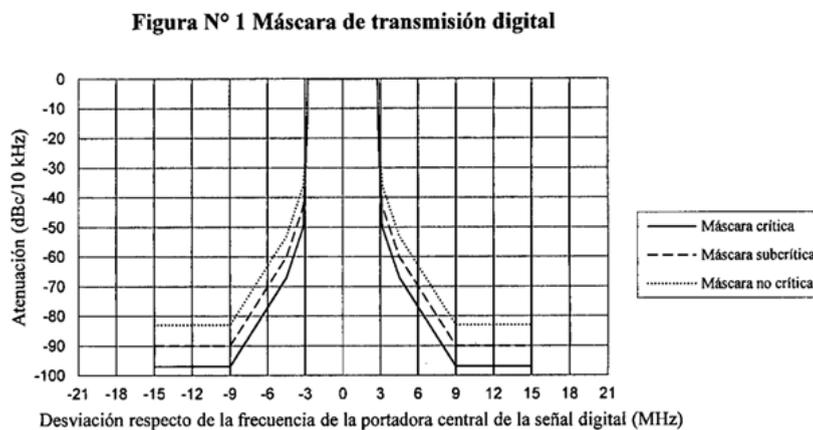


Figura 2.1: Máscara crítica de transmisión digital en el Plan TVD [1]

Desviación a la portadora central de la señal digital(MHz)	Atenuación mínima en relación a la potencia media (dBc)		
	Máscara no Crítica	Máscara Sub-Crítica	Máscara Crítica
-15	83	90	97
-9	83	90	97
-4,5	53	60	67
-3,15	36	43	50
-3,0	27	34	34
-2,86	20	20	20
-2,79	0	0	0

Cuadro 2.1: Valores de atenuación mínima para las diferentes máscaras de transmisión para TVD [1]

## 2.2. Señal IEEE 802.22

La señal IEEE 802.22 WRAN utiliza *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA), la cual permite la transmisión de información a múltiples usuarios, a diferencia de OFDM que está diseñado para un solo usuario. Para ello, OFDMA cuadruplica el número de subportadoras contenidas en una portadora, pasando de las 64 subportadoras generadas en OFDM a 256 subportadoras. Esto es posible mediante una extensión del tiempo de símbolo desde los  $3,2\mu s$  a los  $12,8\mu s$ , el cual reduce el tamaño de las portadoras y su espaciado.

Para efectos de las máscaras de transmisión utilizadas, se usan como referencia las destacadas en el Anexo A del estándar IEEE 802.22 para Estados Unidos [2]; los diferentes equipos TVWS cumplen con esta normativa, entre otras. Los valores que se deben utilizar para la transmisión de los equipos IEEE 802.22 y su máscara espectral se detallan en la Tabla 2.2 y en la Figura 2.2.

Clase Regulatoria	Estacionario Fijo	Modo I y Modo II
Máximo BS EIR (W)	4	100 mW
Máxima altura de antena	30 AGL ; 76 GHAAT	N/A
Máximo CPE EIRP (W)	4	100 mw
Polarización	Cualquiera	Cualquiera

Cuadro 2.2: Parámetros definidos en el estándar IEEE 802.22 WRAN para la transmisión.

IEEE Std 802.22-2019  
 IEEE Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the Bands that Allow Spectrum Sharing where the Communications Devices may Opportunistically Operate in the Spectrum of Primary Service

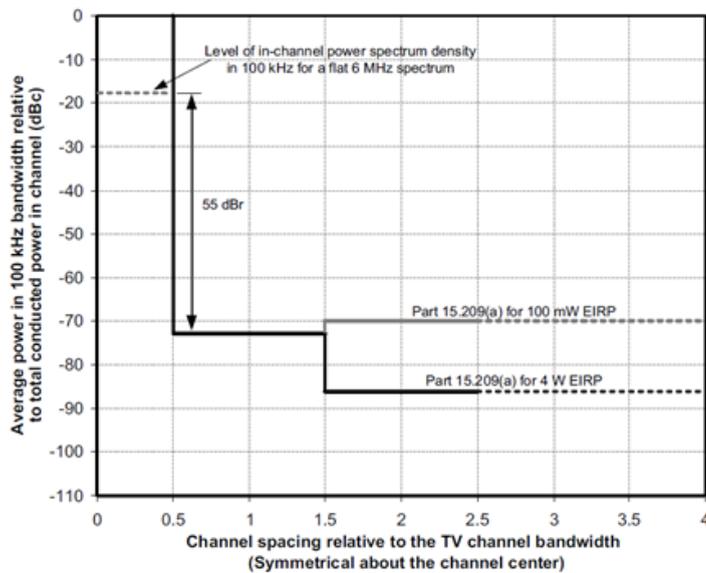


Figure A.1—IEEE 802.22 WRAN transmission RF mask for the USA

Figura 2.2: Máscara crítica especificada para Estados Unidos en el estándar IEEE 802.22 [2]

Además, los parámetros de capa física (PHY) utilizados por la señal TVWS son los presentados en la Tabla 2.3.

<b>Parámetros Señal TVWS IEEE 802.22 WRAN</b>	<b>Valor</b>
Ancho de Banda	5,672 MHz
Frecuencia de Muestreo	6.586 MHz
Número total de Sub Portadoras / Tamaño FFT	2048
Número de Sub-Portadoras de Guarda	368
Número de Portadoras Piloto	240
Número de Sub-Portadoras de Datos	1440

Cuadro 2.3: Parámetros PHY para señal TVWS utilizada en los experimentos

# Capítulo 3

## Métricas de Desempeño

La calidad de una señal TVD puede ser analizada mediante diferentes métricas. Éstas dependen de la sección del sistema de transmisión a analizar, puesto que los errores pueden ser por efectos del transmisor o receptor. Por ello, este estudio se centra en seleccionar métricas medibles en el lado receptor para el efecto de las interferencias que pudiesen existir para el sistema TVD ante la coexistencia del sistema TVWS.

Las principales métricas de desempeño utilizadas en este estudio se detallan a continuación.

### 3.1. Modulation Error Rate (MER)

El *Modulation Error Rate* (MER) es una forma de cuantificar el ruido y otros errores producidos por imperfecciones del sistema digital, que puede ser visto a través de un diagrama de constelación. Esta métrica de desempeño debe ser medida luego de la etapa de sincronización del sistema OFDM, para capturar correctamente las imperfecciones presentes. Para ello, se utiliza la fórmula

$$MER = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{i=0}^{N-1} I_i^{*2} + Q_i^{*2}}{\sum_{i=0}^{N-1} (I_i^* - I_i)^2 + (Q_i^* - Q_i)^2} \right). \quad (3.1)$$

En esta fórmula, el  $i$ -ésimo símbolo complejo  $(I_i, Q_i)$  de un conjunto de  $N$  símbolos recibidos, corresponde a los símbolos recibidos luego de efectuadas las correcciones de tiempo, frecuencia y fase. A continuación, se obtienen los símbolos complejos mapeados  $(I_i^*, Q_i^*)$  a la salida del bloque de decisión. Con la obtención de ambos símbolos en estas etapas, es posible cuantificar el error entre el símbolo recibido y el símbolo objetivo.

El MER es considerado equivalente al *Signal-to-Noise ratio* (SNR) para sistemas digitales y por ello, es una métrica de desempeño ampliamente utilizada en los sistemas digitales como la

televisión digital que utiliza el estándar ISDB-Tb de Chile. Como referencia, el MER mínimo está alrededor de los 25 a 30 dB para los sistemas ISDB-Tb.

## 3.2. Bit Error Rate

El *Bit Error Rate* (BER), corresponde a la razón entre la cantidad de bits erróneos recibidos y la cantidad total de bits recibidos, para un cierto tiempo de recepción. Es también una de las métricas más importantes a considerar en el desempeño de un sistema digital. Para obtener esta métrica, existen dos metodologías: fuera de servicio (offline) y en servicio (online). La primera metodología corresponde a la transmisión de una cadena de bits conocidos que luego son comparados con la señal recibida en la sección de recepción. Con ello, el cálculo de los bits erróneos puede ser computado mediante la comparación bit a bit de ambas cadenas. Sin embargo, la implementación de esta metodología de medición no siempre es posible, puesto que exige interrumpir el servicio en la estación transmisora.

Por lo tanto, para cuantificar la métrica de BER en casos como la televisión digital se utiliza la metodología en servicio. En esta metodología se aprovecha la información otorgada por los algoritmos correctores de errores presentes en el receptor, y es la empleada en los experimentos realizados en este estudio. Además, es la metodología utilizada por los diferentes equipos y herramientas de diagnósticos que pueden ser adquiridos en el comercio.

Para que pueda calcularse efectivamente el BER, no debe superarse la capacidad de corrección de los códigos de protección utilizados, es decir, no debe superarse la capacidad de corregir de los bloques *Reed Solomon* y *Viterbi*. En caso de que fuera superada la capacidad, entonces la medición debe ser reiniciada.

## 3.3. System Target Error (STE)

Al analizar el diagrama de constelaciones en la recepción, es posible apreciar que ésta no se corresponde totalmente con la constelación ideal teórica. Para el caso ideal, siempre se verá un punto en el centro del área de decisión correspondiente al símbolo que compone a la constelación para una modulación dada. En cambio, para un caso real se verá una “nube” alrededor del símbolo objetivo que representa las imperfecciones del sistema digital visualizados en el diagrama de constelación. Estas imperfecciones pueden ser cuantificadas mediante la métrica de STE.

Este parámetro es un indicador de los desvíos producidos en la constelación y que son producto de: existencia de portadora residual, desbalance de amplitud y error de cuadratura de fase. Por lo tanto, se define como  $S_{rms}$  al valor RMS de la amplitud de los puntos de la constelación ideal, adquiriendo  $N$  muestras.

$$S_{rms} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_i^{*2} + Q_i^{*2}). \quad (3.2)$$

De esta formulación, se derivan el STE medio (STEM) y la desviación del STE (STED) para una constelación de M puntos como:

▪

$$STEM = \frac{1}{MS_{rms}} \sum_{i=1}^M |d_i|. \quad (3.3)$$

▪

$$STED = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M |d_i|}{MS_{rms}^2}}. \quad (3.4)$$

En estas ecuaciones,  $d_i$  corresponde a la distancia entre el centro de la región  $i$  de la constelación y el valor medio de la nube correspondiente.



# Capítulo 4

## Criterio de Interferencias y Ambiente de Pruebas

### 4.1. Criterio de Interferencias

Para analizar la eventual interferencia por la coexistencia del sistema TVWS con las señales ISDB-Tb, se generan numerosas rondas de experimentos mediante las SDR. Estas son configuradas para comportarse como un receptor ISDB-Tb y obtener las métricas de interés; además, las SDR se pueden utilizar como un analizador de espectros y visualizador del diagrama de constelación.

Mediante estas métricas se obtendrá el mínimo valor requerido de  $S$  para obtener una determinada calidad de la señal en la recepción. Para ello, en los experimentos se utiliza la siguiente metodología de trabajo:

1. Se considera como señal legítima a la señal ISDB-Tb con una potencia de señal recibida de  $-65$  dBm, aproximadamente. Este valor corresponde a la potencia típica obtenida por el receptor de TVD en una zona residencial.
2. La señal TVWS será considerada como interferente y, por lo tanto, su potencia a la entrada del receptor TVD será variada a lo largo de los experimentos. La potencia nominal de transmisión utilizada es de  $16$  dBm, que será debidamente atenuada.
3. La potencia de la señal TVWS a la entrada del receptor TVD se incrementa en pasos de  $5$  dBm hasta lograr una degradación de la señal de video.<sup>1</sup>
4. Se obtienen las mediciones del nivel de potencia para el ancho de banda determinado de trabajo, mediante el analizador de espectros y de las métricas de desempeño.
5. Los pasos 1) al 4) son repetidos a diferentes valores de potencia para la señal recibida a la entrada del receptor TVD y para distintas y frecuencias o canales de TV.

---

<sup>1</sup>Destacar que son en pasos de  $5$  dBm configurados en la interfaz gráfica del dispositivo de TVWS, el cual permite seleccionar un rango de potencias entre los  $13$  dBm y aproximadamente  $50$  dBm.

El objetivo del trabajo es caracterizar las interferencias por canal adyacente y co-canal entre un sistema IEEE 802.22 WRAN operando en espectro asignado a ISDB-Tb. Mediante la variación de parámetros de potencia y frecuencia, se procede a generar diferentes experimentos que permiten analizar el efecto de las interferencias.

## 4.2. Sección Transmisora

En esta sección se encuentra el inicio del sistema implementado en el laboratorio para realizar los diferentes experimentos. Para comprender su funcionamiento, esta sección consta de dos partes que corresponden al camino de recepción de la señal TVD y por otro lado, el camino de generación y transmisión de la señal TVWS. La recepción de la señal de TVD se realiza mediante una antena TVD con una ganancia de 20 dB, disponible en el comercio. A continuación, se conecta un atenuador variable que permite modificar la potencia de esa señal recibida, para efectos de los experimentos. En paralelo, la señal TVWS interferente es generada mediante un *Edge Adaptive Radio* (EAR), o CPE del fabricante 6Harmonics, modelo GWS 5000. Las principales características de este equipo son:

- Operación en canales con ancho de banda de 6 u 8 MHz entre 470 y 774 MHz.
- El EAR permite la visualización de las métricas de *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), ruido, SNR, *Modulation Code Scheme* (MCS) y geolocalización del terminal.
- Control de la potencia de transmisión de los equipos de manera remota.
- Tecnología de análisis del espectro para elegir canales libres.
- Funcionamiento acorde a las regulaciones de Europa (EN 301 598 V1.1.1; EN 301 598 V2.1.1; EN 301.489-1) y EE.UU. de N.A. (FCC CFR 47 Part 15 Sub-part H)

En la Figura 4.1 se puede apreciar el diagrama de bloques que ejemplifica el sistema de pruebas generado. El sistema se compone de una sección transmisora, en donde se adquiere la señal TVD y a su vez, se genera la señal TVWS para luego ser combinada y transmitida hacia la sección receptora. Tanto la señal TVD y la señal TVWS cuentan con atenuadores variables para tener control sobre la razón de C/I para los diferentes escenarios.

Para generar una señal constante de TVWS y además, analizar las métricas de desempeño de este sistema y del receptor de TVD, se conecta el EAR a la estación base denominada *Core Adaptive Radio* (CAR), mediante una copla direccional que permite la unión entre ambos equipos y que además atenúa las señales, de modo de simular el espacio libre entre ellos; a la vez, la copla permite obtener una muestra de la señal de TVWS, que será la señal interferente sobre la TVD.

Es importante observar que las posibles interferencias perjudiciales sobre la TVD serán causadas por el equipo EAR, que generalmente estará cerca del receptor de TVD, y no por el equipo CAR, que generalmente estará muy lejos.

Luego, la señal acoplada obtenida del enlace TVWS es conectada a un atenuador variable, para variar su nivel de potencia a la entrada del receptor de TVD. A continuación, tanto la señal de

TVD como la señal TVWS con sus respectivos atenuadores variables, son unidas mediante un combinador.

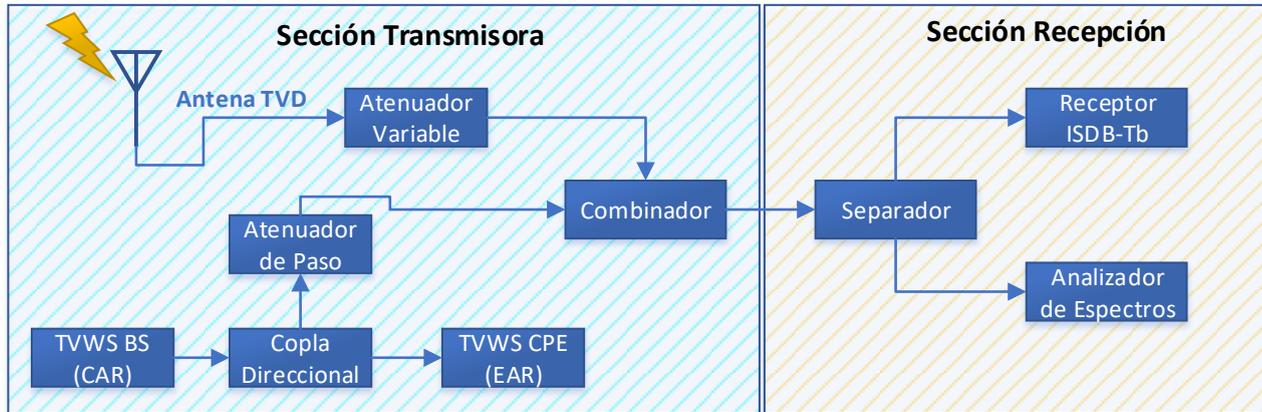


Figura 4.1: Diagrama de bloques del sistema de pruebas implementado.

### 4.3. Sección Recepción

Las señales de TVD y TVWS que ya están combinadas entran ahora a un separador o *splitter* para ser inyectadas al receptor ISDB-Tb y a un analizador de espectro. En la Figura 4.1, se muestran los dispositivos utilizados. El receptor ISDB-Tb permite obtener las diferentes métricas de desempeño y, a su vez, decodificar la señal de la imagen y audio para su evaluación. El analizador de espectro permite visualizar ambas señales para los diferentes experimentos y obtener sus niveles de recepción para el cálculo del C/I.

Dentro de la serie de bloques que componen a un receptor ISDB-Tb, las primeras etapas de sintonizar, sincronizar y filtrar la señal recibida son las más importantes. De acuerdo al estándar ARIB STD-B21 [10] se configuran los diferentes parámetros del receptor de TVD. Con base en esto, consideramos el escenario ideal aquel configurado con los parámetros estipulados en el estándar y se modifican los parámetros del proceso de filtrado para emular los receptores TVD de diferentes calidades que pueden encontrarse en el comercio.

El modificar los parámetros del proceso de filtrado, permite variar el número de señales o canales que el receptor TVD es capaz de recibir y con ello, el ruido y la interferencia que se incorporan al sistema. De los filtros presentes en el receptor, el filtro análogo ubicado en la etapa de sintonización es el que permite este paso/rechazo de las señales y por lo tanto, será el elemento a modificar en los diferentes escenarios, junto con las potencias y frecuencias de transmisión y recepción.

En la Figura 4.2 se aprecia el *flow graph* implementado en la LimeSDR para trabajar como un

receptor ISDB-Tb con la capacidad decodificar la señal de imagen y audio de la TVD. El primer bloque denominado *LimeSuite Source (RX)* permite modificar el filtro análogo a decisión del programador. Las secciones que le preceden corresponden al tratamiento de la señal digital que todo receptor TVD de estándar ISDB-Tb incorpora. Además, esta programación permite visualizar el diagrama de constelaciones con el mismo *flow graph*.

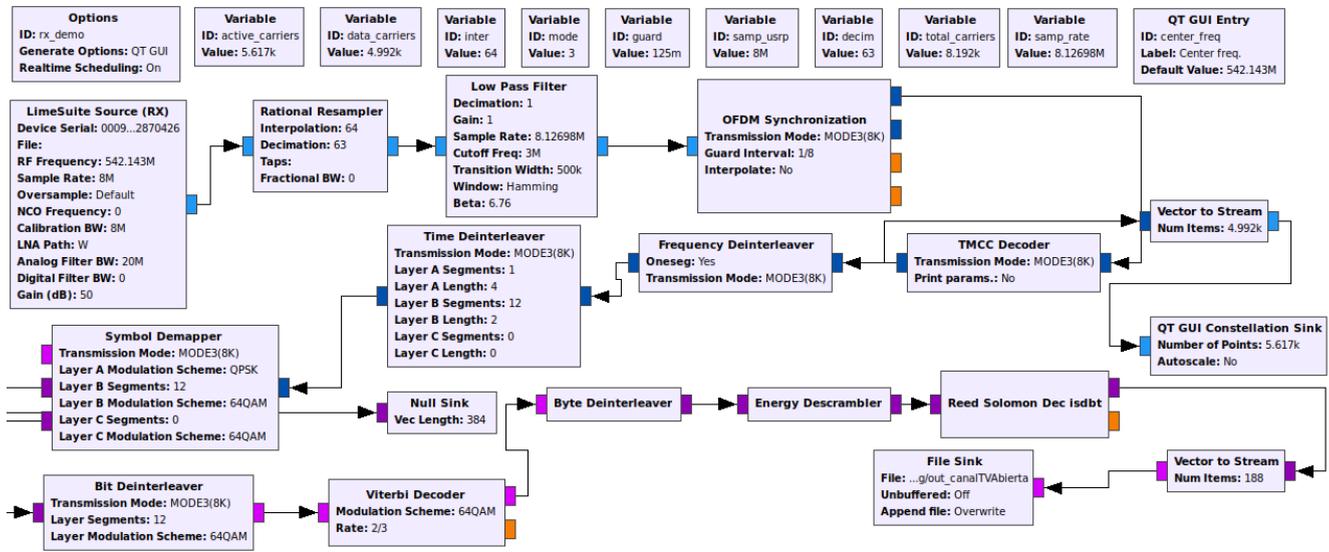


Figura 4.2: *Flow Graph* utilizado para la decodificación del audio e imagen de TVD

Para la obtención de los parámetros de la ISDB-Tb, se utiliza el *flow graph* de la Figura 4.3 , en donde se aprecian las diferentes secciones y bloques que se necesitan para efectuar la adquisición de los parámetros.





# Capítulo 5

## Resultados

Los principales resultados obtenidos que permiten medir las interferencias de TVWS sobre TVD y con ello, la coexistencia entre ambas señales, son descritos a continuación. Se inicia con la descripción del escenario ideal, que corresponde al escenario óptimo sin interferencia del sistema TVWS y con el cual se efectuarán las comparaciones. Finalmente, se presentan los resultados para diferentes escenarios de interferencia y de las métricas de desempeño seleccionadas.

### 5.1. Ajuste de Potencias a la entrada del Receptor TVD

El primer experimento corresponde a la recepción de la señal ISDB-Tb en condiciones ideales, es decir, sin la presencia de la interferencia. Con este experimento se obtendrán las métricas de desempeño que serán utilizadas para la comparación con los escenarios que presentan interferencias. La recepción es sintonizada a la frecuencia de 533,143 MHz (Canal 24) para diferentes niveles de ganancia que pueden ser configurados en el receptor ISDB-Tb. Este ajuste de ganancias permite determinar el valor exacto que se debe utilizar para no producir una degradación de las métricas de desempeño por saturaciones o insuficiencia de ganancia en el receptor TVD. Una vez establecido el valor de ganancia, este será fijo para todos los experimentos.

En el Anexo 6.2 se encuentran las diferentes mediciones obtenidas en términos de MER, BER y STE para diferentes valores de ganancia. Las mediciones nos indican que con una ganancia por encima de 50 dB y bajo 29 dB, las métricas sufren de un desempeño inferior respecto al rango entre 29 y 50 dB.

Por ello, el análisis de MER, BER, STE y de las constelación son adquiridos para una ganancia fija de 50 dB en la recepción, correspondiente al máximo valor configurable que permite un óptimo desempeño de las métricas. En la Tabla 5.1 se tabulan los datos obtenidos para el nivel de ganancia determinado como óptimo/ideal que será la base para los demás experimentos.

Parámetro	Valor
Ganancia Recepcion	50 dB
MER	38,4
BER RS	10e-18
BER Viterbi	10e4,32
STE Avg	0,0082

Cuadro 5.1: Valores ideales para las diferentes métricas de desempeño, con una ganancia de 50 dB.

## 5.2. Adquisición de parámetros ISDB-Tb

El estándar ISDB-Tb permite varias configuraciones de modulación, *error coding rate* y tiempos de guarda, por lo que estos parámetros deben ser configurados acorde a los utilizados por los canales de TVD que operan en Chile, para poder analizar correctamente los efectos de la interferencia y la adquisición de la imagen y el audio. Para ello, se implementó en las SDR un sistema capaz de determinar estos parámetros. En la Figura 5.1 se aprecia el diagrama de bloques implementado para obtener estas métricas.

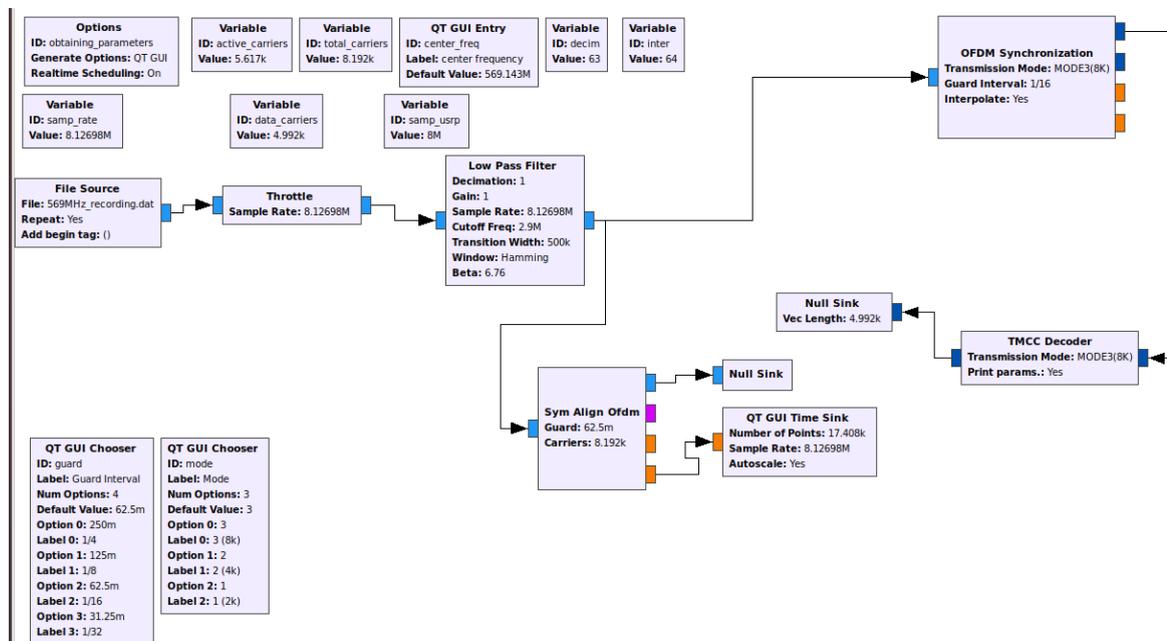


Figura 5.1: *Flow graph* que permite obtener los parámetros usados por la TVD para transmitir

Para descubrir los diferentes parámetros que utilizan los canales de TVD abierta, se necesita ajustar manualmente el tiempo de guarda en el *flow graph*. Para verificar la correcta obtención del tiempo de guarda, se analiza la señal en el dominio del tiempo y se ajusta el tiempo de

guarda hasta obtener una señal que se asemeja a una señal triangular. El bloque que debe ser sintonizado correctamente para obtener la “señal triangular” corresponde al bloque *Sym Align OFDM*, y que en su salida calcula la siguiente formula

$$\Lambda(m) = \left( \sum_{k=m}^{m+L-1} r(k)r * (k + N) \right) - \rho \frac{\sum_{k=m}^{m+L-1} |r[k + N]|^2}{2}, \quad (5.1)$$

donde  $r(k)$  son las muestras de la señal de entrada del bloque. A continuación, los términos  $r(k)$  y  $r[k+N]$  corresponden a la correlación entre los símbolos de la señal muestreada. Entonces, si  $N$  es la cantidad de muestras de un símbolo OFDM, y  $L$  el largo del prefijo cíclico, entonces  $\Lambda(m)$  tendrá una forma triangular en  $m$ . En cambio, si el modo seleccionado es erróneo, entonces tendremos una meseta en el *peak* de la señal analizada. A continuación, en la Figura 5.2 se aprecia este efecto para una sintonización en  $f_c = 533,143$  MHz.

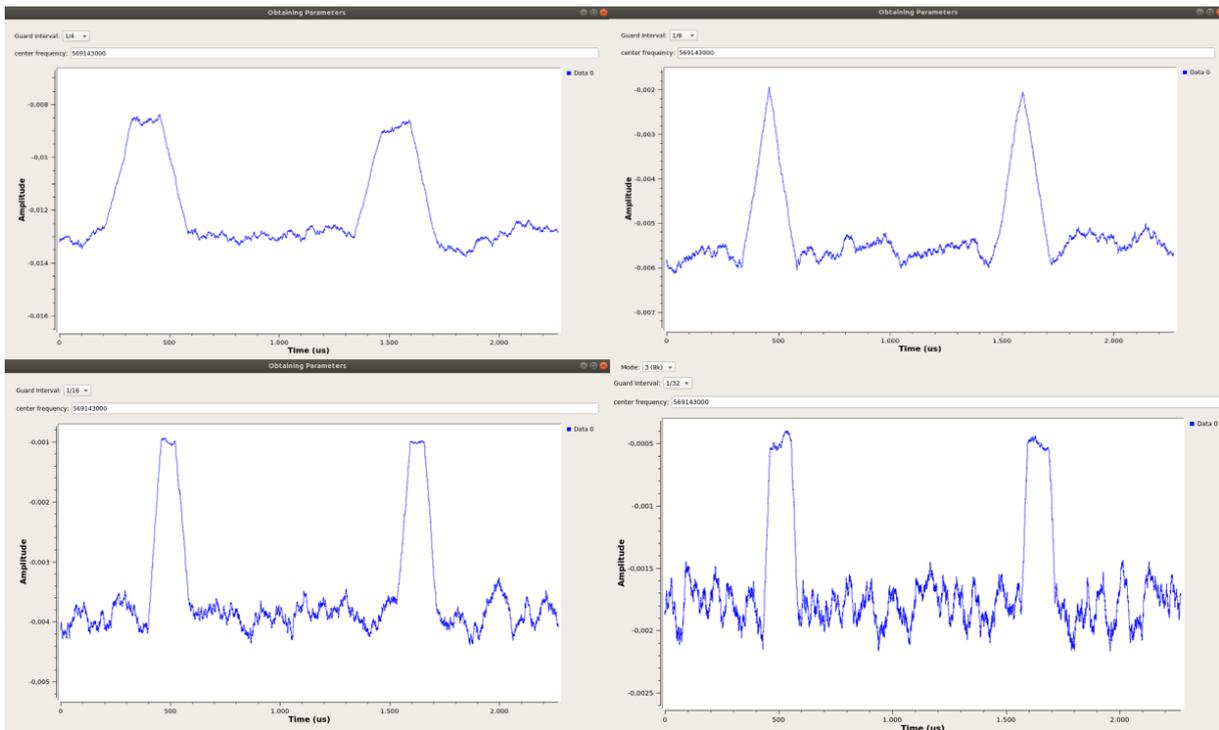


Figura 5.2: Diferentes configuraciones de tiempos de guarda y sus graficas.

Ajustado correctamente el tiempo de guarda a  $\frac{1}{8}$  para el canal CHV se pueden obtener sus parámetros de transmisión, como se muestra a continuación en la Figura 5.3.

TMCC ANALYSIS	
Layer	: A
Carrier Modulation Scheme	: QPSK
Convolutional Code Rate	: 2/3
Time Interleaving Length	: 8(mode 1), 4(mode 2), 2(mode 3)
Number of segments for this layer	: 1
Layer	: B
Carrier Modulation Scheme	: 64QAM
Convolutional Code Rate	: 3/4
Time Interleaving Length	: 16(mode 1), 8(mode 2), 4(mode 3)
Number of segments for this layer	: 12
Layer	: C
Carrier Modulation Scheme	: UNUSED
Convolutional Code Rate	: UNUSED
Time Interleaving Length	: UNUSED
Number of segments for this layer	: UNUSED
TMCC OK	

Figura 5.3: Parámetros de transmisión utilizados por CHV para transmitir.

Este procedimiento es realizado para tres canales de televisión abierta y sus parámetros son tabulados en las Tablas 5.2 5.3 5.4.

Canal 13.2	Frecuencia	Modulación	Code Rate	Time Interleaving(Modo 1 - Modo 2 - Modo 3)
Capa A	533,143	QPSK	2/3	16,8,4
Capa B		64-QAM	3/4	8,4,2

Cuadro 5.2: Parámetros de transmisión para Canal 13.2

TVN	Frecuencia	Modulación	Code Rate	Time Interleaving(Modo 1 - Modo 2 - Modo 3)
Capa A	569,143	QPSK	2/3	16,8,4
Capa B		64-QAM	3/4	8,4,2

Cuadro 5.3: Parámetros de transmisión para Canal CHV

TVN	Frecuencia	Modulación	Code Rate	Time Interleaving(Modo 1 - Modo 2 - Modo 3)
Capa A	587,143	QPSK	2/3	16,8,4
Capa B		64-QAM	3/4	8,4,2

Cuadro 5.4: Parámetros de transmisión para Canal TVN

Destacar que la Capa C no es utilizada por ninguno de los canales chilenos de TVD. Por lo tanto, con base en los parámetros obtenidos de las configuraciones utilizados por los canales TVD operativos en Chile, en la SDR se utilizan los parámetros de la Tabla 5.5.

Parámetros ISDB-Tb	1-seg	12-seg
Modulación	QPSK	64-QAM
<i>Error Coding Rate</i>	2/3	3/4
Tiempo de guarda ( $\mu$ s)	1/8	1/8

Cuadro 5.5: Parámetros usados en la SDR para decodificar la señal de TVD

### 5.3. Métricas de Desempeño

Las métricas de desempeño MER, BER y STE son obtenidas para escenarios de interferencia adyacente, co-canal y en ausencia de estas. El escenario sin interferencias será utilizado para contrastar los resultados de los experimentos obtenidos para las interferencias presentes, las cuales varían dependiendo de los niveles de potencia, frecuencia, y configuración del filtrado en el receptor TVD.

Es necesario destacar que los niveles de potencia obtenidos son en base a los *peaks* o máximos valores registrados. Este procedimiento es estándar según lo indicado por la ITU para analizar razones de C/I en los sistemas de comunicaciones [12]. Además, debido a que los experimentos fueron realizados en diferentes días y horarios, existen variaciones en el nivel de potencia registrados para la señal TVD. Por esto, lo primero a verificar para cada ronda de experimentos es el nivel de señal recibido para la señal TVD, y luego se procede a insertar la interferencia de la señal TVWS para obtener un correcto C/I.

#### 5.3.1. Escenario I (Óptimo): Sólo TVD (Sin interferencia TVWS)

Mediante el analizador de espectro, se obtiene la potencia recibida a la entrada del receptor de TVD y la frecuencia utilizada en los experimentos, que se encuentran tabulados en la Tabla 5.6

Potencia Recibida (dBm)	Frecuencia (MHz)
-68,44	533,143

Cuadro 5.6: Potencia recibida para la frecuencia de TVD sintonizada

Con ese nivel de potencia, se obtienen las métricas de desempeño para diferentes calidades del filtro análogo de entrada. Se utilizan cuatro configuraciones de anchos de banda en el filtro análogo, para emular el comportamiento de receptores de distinta calidad.

Como filtro análogo de entrada de calidad normal se ha modelado en el SDR: uno de 8 MHz como filtro de calidad normal; uno de 20 MHz como filtro de calidad baja; uno de 35 MHz como de calidad muy baja, y uno de 50 MHz como filtro de calidad bajísima. Cabe mencionar que hoy en día, dado el avance de la tecnología, la casi totalidad de los receptores de TVD tienen filtros de calidad normal o superior, siendo prácticamente imposible encontrar en el mercado actual receptores de TVD con filtros de menor calidad. Con todo, para efectos de este trabajo es útil suponer la existencia de receptores con filtros de menor calidad, y evaluar también su desempeño. Los resultados son presentados en la Tabla 5.7.

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal	Calidad Baja	Calidad Muy Baja	Calidad Bajísima
<b>MER</b>	32,93	32,89	30,7	29,097
<b>BER RS</b>	1,00e-17	1,00e-17	1,00e-17	1,00e-17
<b>BER Viterbi</b>	10e-4,34	10e-4,31	10e-4,32	10e-4,31
<b>STE</b>	0,007567	0,007745	0,007664	0,009271
<b>STE AVG</b>	0,008309	0,008235	0,008301	0,008188
<b>STE DESV</b>	0,004325	0,006001	0,005764	0,004199

Cuadro 5.7: Resultados de las métricas de desempeño para escenario sin interferencias.

El escenario base de las métricas de desempeño surge de la recepción de la señal TVD sin la presencia de la señal interferente TVWS. Además, el ajuste de ganancias es determinado acorde a las mediciones de ganancias y MER del Anexo 6. Por lo tanto, la ganancia utilizada es de 50 dB en el receptor ISDB-Tb. Para este escenario, la señal puede ser obtenida sin problemas, como se muestra en la Figura 5.4 sintonizando a la frecuencia  $f_c = 533,143 MHz$ .



Figura 5.4: Imagen decodificada y las métricas de desempeño obtenidas para este escenario

### 5.3.2. Escenario II: Interferencia de Canal Adyacente

Para el análisis de la interferencia de canal adyacente se utilizan frecuencias para la señal TVWS en los canales laterales respecto al sintonizado para la TVD. Para todos los experimentos se sintoniza el receptor de TVD a 533,143 MHz, en el segundo canal virtual (que comercialmente se conoce como Canal 13.2). El primer escenario de potencias de la señal interferente, considera un nivel superior al rango de protección establecidos en el estándar de la TVD, para analizar el comportamiento de TVD ante esa situación. Para ello, mediante el analizador de espectro se determina el nivel de potencia de la señal recibida de TVD y de la señal interferente TVWS. Las medidas de potencia y las métricas de desempeño son obtenidas para un período de un minuto de adquisición de datos.

#### Primer Nivel de Potencias de la Señal Interferente

Para el primer nivel de potencias, el analizador de espectros mide los niveles recibidos de la señal TVD y de la señal interferente TVWS, en diferentes canales y son presentados en la Figura 5.5 y tabulados en la Tabla 5.8. Estos valores de potencia se encuentran por encima de la razón de C/I estipuladas en las normativas TVD, y por lo tanto constituyen el peor escenario para la coexistencia de ambos sistemas.

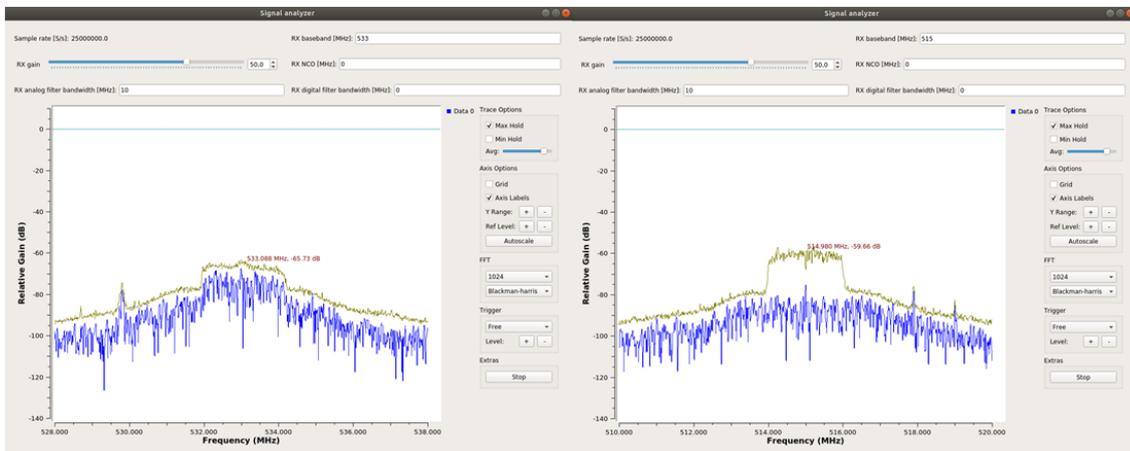


Figura 5.5: Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente

Señal TVD		Señal TVWS	
Potencia Recibida (dBm)	Frecuencia Central	Potencia Recibida (dBm)	Ancho de Banda (MHz)
-59,6	533,143	-65,73	6

Cuadro 5.8: Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales

Luego se procede a efectuar la variación de la frecuencia de operación del sistema TVWS para generar la interferencia en canales adyacentes, para diferentes configuraciones de filtrado. En las Tablas 5.9,5.10,5.11,5.12 se tabulan los datos correspondientes a los diferentes canales adyacentes empleados, con sus respectivos valores de ancho de banda para el filtro análogo de entrada del receptor de TVD.

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	31,583431	33,038815	31,005173	31,545393
BER RS	1,00e-17	10e-4,879043	0	0
BER Viterbi	10e-3,871874	10e-1,95963	10e-1,297541	10e-1,298037
STE	0,006772	0,006165	0,00672	0,008234
STE AVG	0,006826	0,006074	0,006257	0,008629
STE DESV	0,003661	0,003407	0,003165	0,006782

Cuadro 5.9: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajos (515 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	32,97	31,869919	30,5847	31,156973
BER RS	0,00E+00	0	0	0
BER Viterbi	10e-1,29	10e-1,301346	10e-1,214	10e-1,3527
STE	0,061018	0,008537	0,008937	0,107921
STE AVG	0,049884	0,009273	0,00495	0,110493
STE DESV	0,104259	0,004472	0,09140	0,231457

Cuadro 5.10: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más abajo (521 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	31,9096	31,515547	31,713562	32,270744
BER RS	1,00e-17	10e-4,215841	10e-4,2216	10e-4,04
BER Viterbi	10e-4,0798	10e-2,398886	10e-2,416232	10e-2,494
STE	0,006719	0,008069	0,007526	0,005723
STE AVG	0,006161	0,00667	0,007975	0,00636
STE DESV	0,004212	0,00377	0,004958	0,003591

Cuadro 5.11: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más arriba (539 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	32,273418	32,332283	30,707878	32,962502
BER RS	1,00e-17	10e-8,43149	0	10e-0,3010
BER Viterbi	10e-4,1498	10e-2,64334	10e-2,004	10e-1,2974
STE	0,007159	0,007665	0,007822	0,015407
STE AVG	0,007006	0,007018	0,008942	0,016458
STE DESV	0,003589	0,003532	0,005423	0,023476

Cuadro 5.12: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más arriba (545 MHz).

Dado un  $C/I$  de 6,13 dB, es posible apreciar que utilizando un filtro de calidad normal, que solo permite el paso de la señal de TVD que está siendo recibida, el receptor es capaz de decodificar correctamente la imagen y el audio para todos los casos. Para los otros casos de filtrado, debido a los errores causados en la comunicación por la interferencia de la señal TVWS, no siempre se

puede decodificar la señal de TVD. Existen casos en que los errores se encuentran en niveles que permiten al código corrector de errores, corregir y con ello decodificar la señal de TVD como lo muestran las Tablas 5.11, 5.12. Es decir, el código RS es capaz de corregir los errores para valores inferiores a  $10e - 4,5$  aproximadamente. Sin embargo, en ocasiones se presentan errores en la imagen como bloques “congelados”, bloques de colores y pixelados.

### Segundo Nivel de Potencia de la Señal Interferente

Para el segundo nivel de potencias, con una razón de  $C/I$  mayor pero aún por debajo de los niveles permitidos en la normativa, se replica la metodología utilizada anteriormente pero utilizando valores de potencia que estén cercanos a esos niveles. También se obtiene el desempeño del sistema TVD ante diferentes configuraciones de filtrado.

En la Tabla 5.13 se tabulan los datos de potencias adquiridos desde el analizador de espectros para este escenario de pruebas y en la Figura 5.6 se muestran los valores de potencia para estos experimentos.

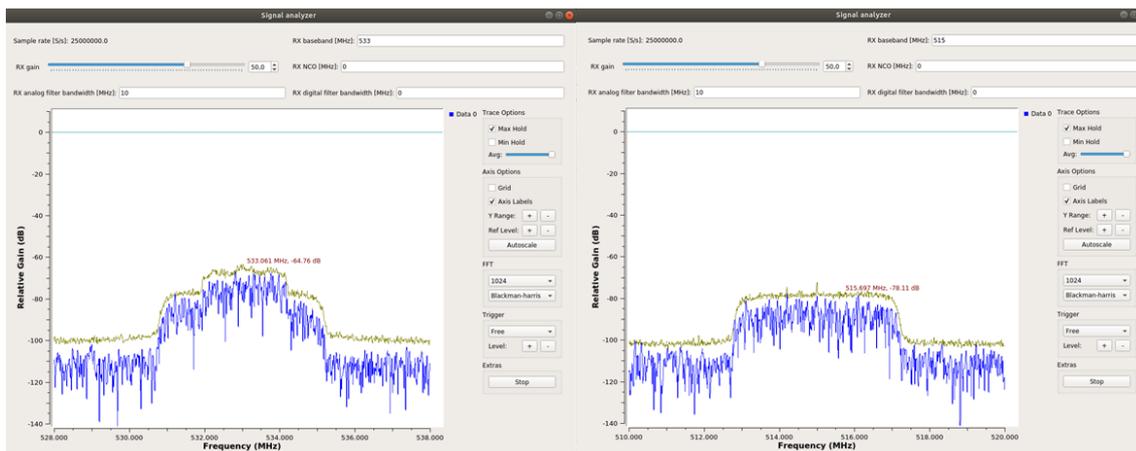


Figura 5.6: Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente

Señal TVD		Señal TVWS	
Potencia Recibida (dBm)	Frecuencia Central	Potencia Recibida (dBm)	Ancho de Banda (MHz)
-64,76	533,143	-78,11	6

Cuadro 5.13: Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales

A continuación, se itera sobre los canales adyacentes utilizados anteriormente para esta configuración de potencias, obteniendo los resultados tabulados en las tablas presentadas a continuación.

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	30.004982	30.13067	29.402407	29.638807
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3.9024	10e-3.878921	10e-3.902	10e-3.8507
STE	0.009093	0.009673	0.008610	0.008249
STE AVG	0.010218	0.0086640	0.009150	0.009699
STE DESV	0.005487	0.006352	0.005957	0.006543

Cuadro 5.14: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajo (515 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	29.976526	29.9368	29.94508	29.9531
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3.8203	10e-3.871	10e-3.852	10e-3.918841
STE	0.009434	0.008520	0.009424	0.008304
STE AVG	0.009393	0.007834	0.009771	0.007502
STE DESV	0.005611	0.003963	0.005487	0.004161

Cuadro 5.15: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más abajo (521 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	29.399	29.204973	29.24588	29.34986
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3.8439	10e-3.76802	10e-3.8508	10e-3.8529
STE	0.009062	0.008902	0.009196	0.008395
STE AVG	0.010663	0.009573	0.006744	0.008661
STE DESV	0.006643	0.009441	0.006117	0.004927

Cuadro 5.16: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más arriba (539 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Calidad Normal (8 MHz)	Calidad Baja (20 MHz)	Calidad Muy Baja (35 MHz)	Calidad Bajísima (50 MHz)
MER	29.351877	30.91556	29.8272	30.15712
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3.8482	10e-3.998256	10e-3.9120	10e-3.9876
STE	0.008541	0.008943	0.008815	0.007102
STE AVG	0.009202	0.010523	0.008405	0.006584
STE DESV	0.005547	0.005587	0.005261	0.003818

Cuadro 5.17: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más arriba (545 MHz).

Para esta configuración de potencias y razón de  $C/I$  igual a 13,35 dB se consigue un mejor desempeño de la señal de TVD ante la presencia de la señal interferente de TVWS. Lógicamente, el desempeño en términos de BER Viterbi es menor con respecto al escenario sin señal TVWS,

lo que vuelve a mostrar que la interferencia provoca un aumento en la cantidad de errores. Aun así, en este escenario ambos códigos correctores son capaces de corregir los errores, permitiendo una decodificación de la señal TVD, y con ello una correcta escucha y visualización del contenido para todas los desempeños del filtro.

### Tercer Nivel de Potencias

Para el tercer nivel de potencias, con una razón de  $C/I$  de 28,34 dB, se replica la metodología anterior pero utilizando valores de potencia de la señal interferente que ya están en el rango de protección estipulado en la normativa.

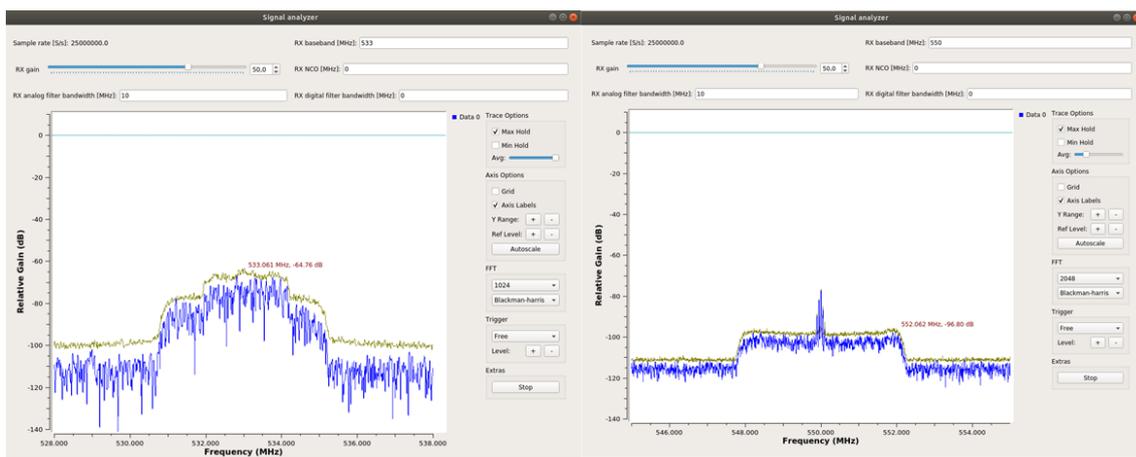


Figura 5.7: Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente

Señal TVD		Señal TVWS	
Potencia Recibida (dBm)	Frecuencia Central	Potencia Recibida (dBm)	Ancho de Banda (MHz)
-68,44	533,143	-96,78	6

Cuadro 5.18: Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	29.151237	29.66120	28.181995	29.486
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3.9190	10e-3.8960	10e-3.914	10e-3.8991
STE	0.007510	0.006878	0.007325	0.008401
STE AVG	0.007507	0.006552	0.006391	0.007849
STE DESV	0.004359	0.003882	0.004085	0.004336

Cuadro 5.19: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajo (521 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	30.0257	30.6487	31.08480	29.321520
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3.9905	10e-3.95896	10e-3.9626	10e-3.9234
STE	0.007914	0.008989	0.006982	0.007736
STE AVG	0.009158	0.009415	0.006424	0.007884
STE DESV	0.004809	0.005071	0.003507	0.005524

Cuadro 5.20: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS un canal más arriba (539 MHz).

Para un  $C/I$  de 28,34 dB, el sistema TVD ya no se ve afectado por la interferencia de la señal TVWS. Este comportamiento es idéntico para todas las configuraciones de filtrado utilizados en los experimentos. Por lo tanto, ambos sistemas pueden coexistir sin enfrentar interferencias perjudiciales sobre el servicio TVD, acorde a los rangos de protección determinados en la normativa ISDB-Tb y en el estándar de TVWS.

Finalmente, en el Anexo 6 se incluyen las tablas obtenidas para los demás valores de frecuencias.

### 5.3.3. Escenario III: Interferencia Co-Canal

Acorde a la normativas vigente en Chile y a lo establecido en el estándar IEEE 802.22 WRAN, la interferencia co-canal corresponde al escenario más complejo ya que puede interrumpir totalmente la operación tanto del sistema TVWS como del sistema TVD. Mediante una correcta planificación y concesión de las bandas espectrales, la interferencia co-canal es solucionada.

De todas maneras, los equipos TVWS poseen la capacidad de automáticamente variar su frecuencia de operación, para trabajar en canales no empleados por otros sistemas. Además, por lo general incorporan una conexión a una base de datos que contiene la información de los sistemas con los que debe coexistir. De esta manera, el sistema TVWS evitaría generar interferencia co-canal.

Sin embargo, para efectos de caracterizar completamente las interferencias que pudieren existir en el peor de los casos, se analizará la interferencia co-canal para determinar sus efectos a diferentes niveles de potencias y de filtrado. Los niveles de potencia utilizados son los mismos para la interferencia de canal de adyacente y son presentados nuevamente.

#### Primer Nivel de Potencias de la Señal Interferente

Los niveles de potencia para el primer escenario de pruebas están contenidos en la Tabla 5.21 y presentados en la Figura 5.8. Estos niveles son fijos para todas las frecuencias y anchos de banda configurados en los experimentos detallados más adelante.

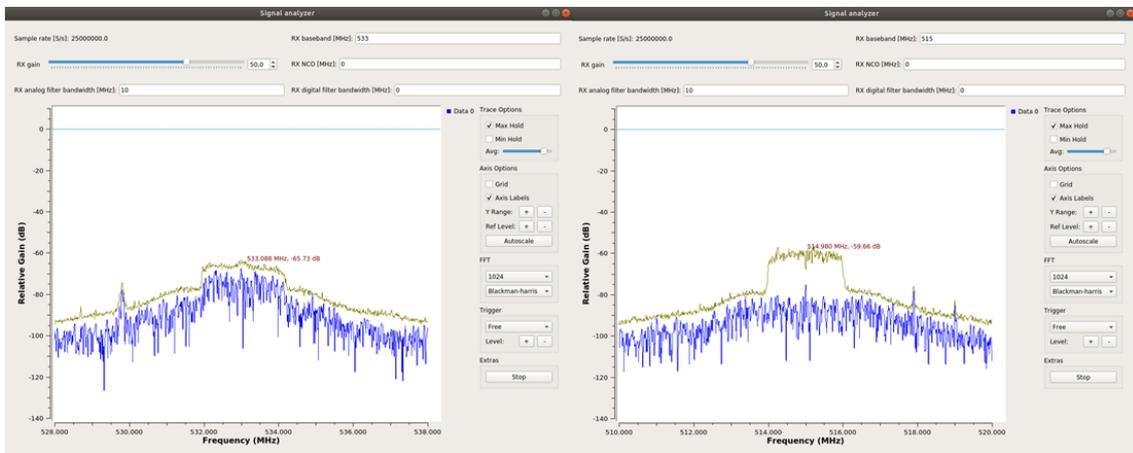


Figura 5.8: Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para señal TVD y señal TVWS, respectivamente

Señal TVD		Señal TVWS	
Potencia Recibida (dBm)	Frecuencia Central	Potencia Recibida (dBm)	Ancho de Banda (MHz)
-65,73	533,143	-59,6	6

Cuadro 5.21: Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales.

Con los niveles de potencia determinados mediante el analizador de espectros, se procede a generar los experimentos de interferencia co-canal para la misma frecuencia de la señal TVD y diferentes configuraciones del ancho de banda del filtro análogo.

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	32.97	31.869919	29.2248	31.156973
BER RS	0.00E+00	0	0	0
BER Viterbi	10e-1.29	10e-1.301346	10e-1.3034	10e-1.3527
STE	0.061018	0.008557	0.009734	0.107921
STE AVG	0.049884	0.009273	0.009569	0.110493
STE DESV	0.104259	0.004472	0.006122	0.231457

Cuadro 5.22: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS en la misma frecuencia que la señal TVD para el primer nivel de potencias.

Para un  $C/I$  de 6,13 dB se obtiene una pérdida total de la señal de TVD producto de la interferencia co-canal provocada por la señal TVWS, lo que se presenta para cualquier configuración del filtro análogo. Por ello, los errores alcanzan cifras significativamente mayores a las obtenidas previamente en las interferencias de canal adyacente. En particular, el BER RS muestra un valor igual a cero y el BER Viterbi alcanza valores de  $10e - 1,3$  aproximadamente, lo que

es cuatro veces superior a lo visto anteriormente. Para estos valores, los códigos correctores de errores no son capaces de corregir las imperfecciones, lo que se traduce en la imposibilidad de obtener la imagen o el audio de la señal de TVD.

### Segundo Nivel de Potencias de la Señal Interferente

A continuación se replica el experimento para un  $C/I$  de 13,35 dB entre las señales TVD y TVWS, con los valores tabulados en la Tabla 5.23 y presentados en la Figura 5.9.

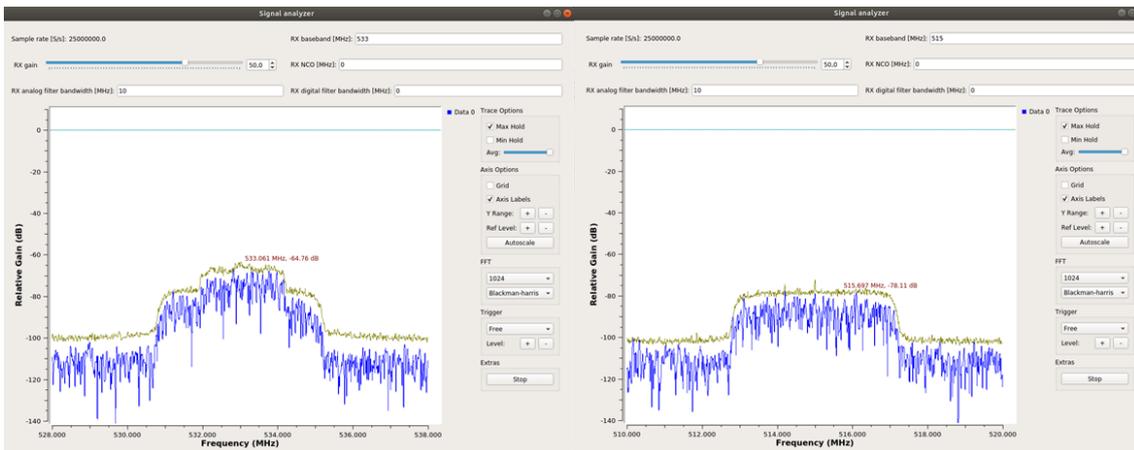


Figura 5.9: Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para señal TVD y señal TVWS, respectivamente

Señal TVD		Señal TVWS	
Potencia Recibida (dBm)	Frecuencia Central	Potencia Recibida (dBm)	Ancho de Banda (MHz)
-64,76	533,143	-78,11	6

Cuadro 5.23: Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales

Luego se transmite la señal TVWS a la frecuencia de 533 MHz, obteniendo los resultados tabulados a continuación.

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	29,426	29,852	28,914	28,670
BER RS	10e-6,377	10e-5,778	10e-5,275	10e-3,87
BER Viterbi	10e-3,361	10e-3,288	10e-2,967	10e-2,594
STE	0.009390	0.008226	0,009041	0,009276
STE AVG	0.008902	0.0100	0,009212	0,009120
STE DESV	0.005171	0.00639	0,007230	0,004985

Cuadro 5.24: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS en la misma frecuencia que la señal TVD para el segundo nivel de potencias.

Para una razón  $C/I$  igual a 13,35 dB se obtienen una gran cantidad de errores. Respecto al primer escenario de interferencia co-canal, se observa una disminución de los errores detectados por RS y Viterbi, al ser una señal interferente con menor potencia. Con esta cantidad de errores, los filtrados normal y bajo permiten decodificar correctamente la señal en ciertos instantes de tiempo, pero existen intervalos de tiempo donde la calidad de la imagen se ve deteriorada, lo que se visualiza como congelamientos, bloques de colores y pixelados.

### Tercer Nivel de Potencias de la Señal Interferente

Para el tercer nivel de potencias, se utiliza una razón de  $C/I$  igual a 28,34 dB, que corresponde a un valor que ya se encuentra dentro del rango de protección determinado por la normativa, y sus valores se presentan en la Tabla 5.25 y en la Figura 5.10.

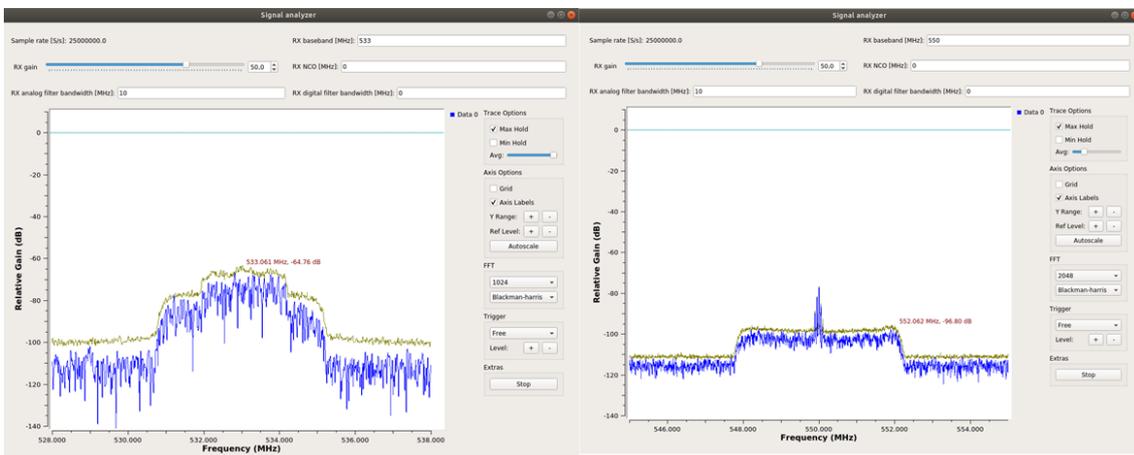


Figura 5.10: Niveles de potencia medidos por el analizador de espectros para la señal TVD y la señal TVWS, respectivamente.

Señal TVD		Señal TVWS	
Potencia Recibida (dBm)	Frecuencia Central	Potencia Recibida (dBm)	Ancho de Banda (MHz)
-68,44	533,143	-96,78	6

Cuadro 5.25: Resultados obtenidos con el analizador de espectros para ambas señales

A continuación, se obtienen los siguientes resultados de las métricas de desempeño para la interferencia co-canal.

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	30.445	30.911936	29.2657	30.1886
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3.916632	10e-3.8869	10e-3.9265	10e-3.935
STE	0.006405	0.007677	0.008193	0.007884
STE AVG	0.007830	0.007680	0.007804	0.008878
STE DESV	0.004198	0.004380	0.00567	0.005716

Cuadro 5.26: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS en la misma frecuencia que la señal TVD para el tercer nivel de potencias.

Los resultados obtenidos para un  $C/I$  igual a 28,34 dB demuestran que respetando los rangos de protección de la normativa, las métricas de desempeño tienen un valor similar al escenario sin interferencia estudiado anteriormente. Es decir, los errores existentes en la comunicación producto de las interferencias son menores y los códigos correctores de errores pueden corregirlos, por lo tanto la imagen y el audio pueden ser decodificados correctamente.



# Capítulo 6

## Conclusiones

El estudio de las interferencias es necesario para determinar la factibilidad de coexistencia de los sistemas TVWS con el servicio TVD en la misma banda espectral. En este informe, se analizó la interferencia de canal adyacente y co-canal para diferentes configuraciones tanto del servicio de TVD como del sistema TVWS. Utilizando las métricas de MER, BER y STE se verificó bajo que parámetros la calidad y el desempeño del sistema TVD no se ve comprometido por el funcionamiento simultáneo de la tecnología TVWS.

La interferencia co-canal representa un escenario que se encuentra fuera de los lineamientos y normativas de implementación de la tecnología TVWS. Sin embargo, este caso se estudió a solicitud del consultor para caracterizar este escenario altamente improbable. Se verificó que para niveles de potencia de la señal interferente TVWS superiores a los permitidos en la normativa vigente de TVD, el desempeño de la TVD se ve deteriorado provocando que la imagen y el audio no puedan ser decodificados por el receptor de TVD, independiente de la configuración de filtro utilizado. Este comportamiento se ve reflejado notoriamente en las métricas de BER para RS y Viterbi, las cuales alcanzan valores de  $10e - 2$  y  $10e - 2,4$ , respectivamente. En otras palabras, los correctores de errores no son capaces de corregirlos. Además, el diagrama de constelaciones muestra que constantemente se pierde el seguimiento de los símbolos de modulación digital utilizados, lo que se traduce en una disminución del MER y a su vez, en un incremento de la métrica STE.

Por otra parte, en la interferencia de canal adyacente se obtuvieron resultados que mostraron la importancia de respetar los rangos de protección establecidos en la normativa, para no perjudicar el desempeño del sistema TVD. Para el escenario donde los niveles de potencia de la señal interferente estaban acordes a los rangos de protección, se obtiene un buen desempeño del sistema TVD en términos de las métricas analizadas. Esto permite que la señal de TVD (audio e imagen) pueda ser decodificada correctamente para todas las configuraciones de filtrado analizadas. Cabe destacar que los equipos TVWS permiten una configuración automática para mitigar aún más el impacto de la interferencia de canal adyacente, mediante la variación de los parámetros de tiempos de guarda, modulación y *code rate*, que son de especial importancia

para tecnologías que utilizan modulación OFDM. Finalmente, los resultados muestran que los equipos TVWS y TVD pueden coexistir sin perjudicar el desempeño y calidad de este último, acorde a las métricas de desempeño de MER, BER y STE.

## 6.1. Anexo A: Códigos algorítmicos

Los códigos base utilizados para el receptor ISDB-Tb y su funcionamiento pueden ser encontrados en:

1. <https://github.com/git-artes/gr-isdbt>
2. <https://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/artes/en/projects/gr-isdbt/>

La adaptación de los códigos pueden ser encontrados en:

1. <https://github.com/xb33/ISDB-Tb>

## 6.2. Anexo B : Mediciones Potencia, MER y BER

Los valores en el rango entre 24 y 50 dB, garantizaron el mejor desempeño en términos de MER y estabilidad de la constelación para los símbolos 64-QAM. Estos valores fueron obtenidos para un valor fijo de ganancia potencia en el lado de la transmisión TVD, que fue gradualmente atenuado para simular las pérdidas de espacio libre.

Ganancia Receptor (dB)	MER	BER RS	BER Viterbi	STE
70	29	10e-18	10e-4,32	0,008188
65	30	10e-18	10e-4,32	0,003818
60	29	10e-18	10e-4,32	0,008249
55	29	10e-18	10e-4,31	0,003818
50	37	10e-18	10e-4,32	0,008249
47	38	10e-18	10e-4,32	0,003818
46	37	10e-18	10e-4,32	0,008188
45	38	10e-18	10e-4,32	0,008249
44	38	10e-18	10e-4,32	0,008188
43	38	10e-18	10e-4,31	0,003818
42	39	10e-18	10e-4,32	0,008249
41	40	10e-18	10e-4,32	0,008249
40	40	10e-18	10e-4,32	0,003818
39	40	10e-18	10e-4,32	0,008188
38	39	10e-18	10e-4,31	0,008249
37	40	10e-18	10e-4,32	0,003818
36	37	10e-18	10e-4,32	0,008249
35	40	10e-18	10e-4,32	0,008188
34	39	10e-18	10e-4,32	0,008249
33	39	10e-18	10e-4,31	0,008249
32	39	10e-18	10e-4,32	0,003818
31	37	10e-18	10e-4,31	0,008249
30	40	10e-18	10e-4,32	0,008188
29	38	10e-18	10e-4,32	0,008249
28	37	10e-18	10e-4,31	0,008249
27	36	10e-18	10e-4,32	0,003818
26	38	10e-18	10e-4,32	0,008249
25	37	10e-18	10e-4,32	0,003818
24	36	10e-18	10e-4,31	0,008249
23	35	10e-18	10e-4,32	0,008188
22	35	10e-18	10e-4,31	0,008249
21	35	10e-18	10e-4,32	0,003818
20	34	10e-18	10e-4,32	0,008249
19	33	10e-18	10e-4,31	0,008188

<b>Ganancia Receptor (dB)</b>	<b>MER</b>	<b>BER RS</b>	<b>BER Viterbi</b>	<b>STE</b>
18	33	10e-18	10e-4,32	0,008249
17	32	10e-18	10e-4,32	0,003818
16	31	10e-18	10e-4,31	0,008249
15	30	10e-18	10e-4,31	0,008188

Cuadro 6.1: Obtención de las métricas de desempeño para diferentes configuraciones de ganancia, solo para TVD.

### 6.3. Anexo C: Lista de Materiales

1. LimeSDR-USB
2. 6Harmonics GWS5000
3. Power Combiner/Splitter RF
4. Directional Coupler
5. Impedance Transformer 50-to-75  $\Omega$
6. TVD Antennas
7. SMA Coupler
8. SMA Connectors

### 6.4. Anexo D: Ambiente de Pruebas

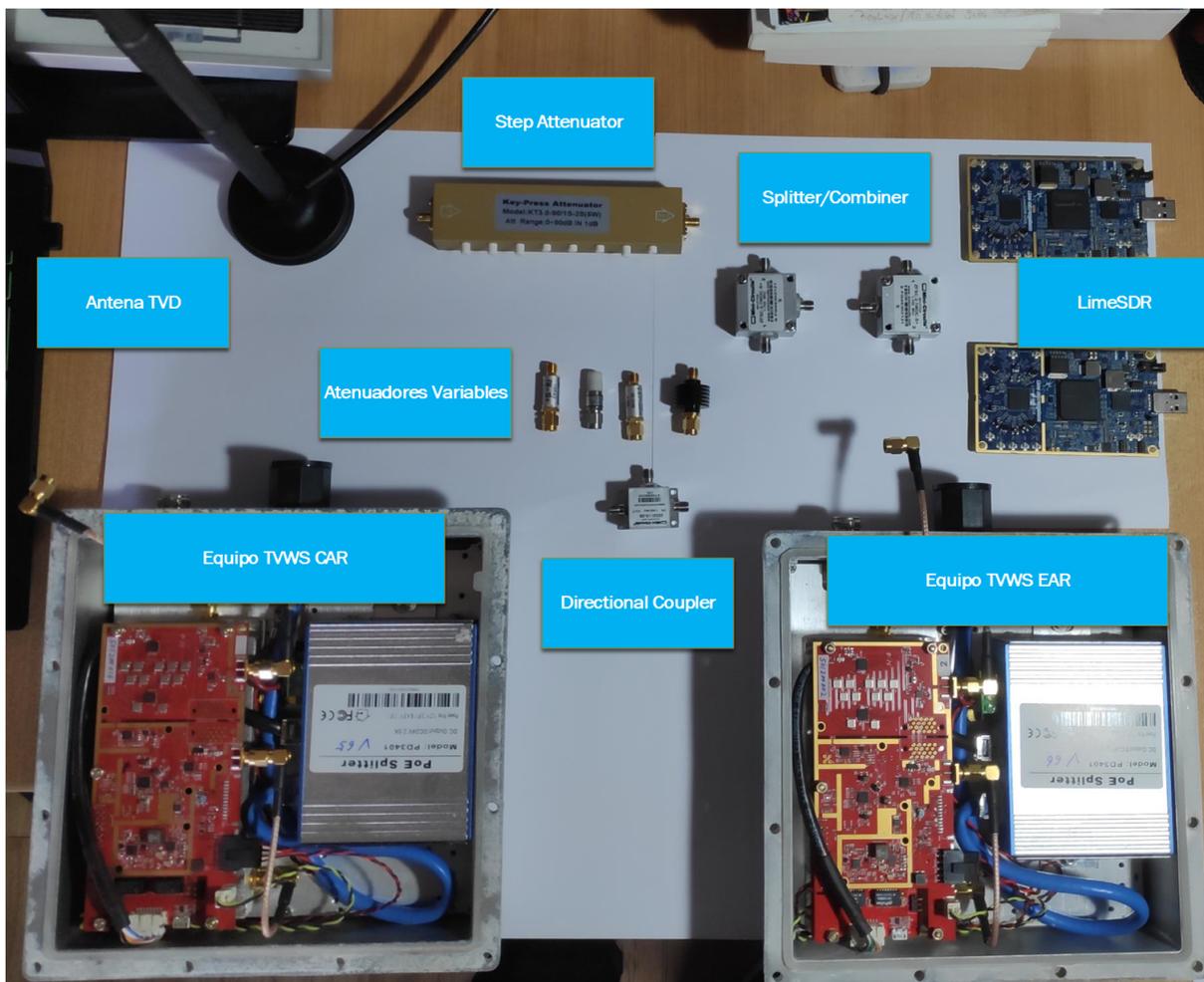


Figura 6.1: Equipos utilizados para el estudio de las interferencias

## 6.5. Anexo E : Otras tablas de métricas de desempeño para diferentes configuraciones

A continuación, se encuentran las tablas de datos de los experimentos realizados.

### 6.5.1. Primer Nivel de Potencias; Canal Adyacente

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	31,9875	30,5431	30,79375	31,130426
BER RS	1,00e-17	1,00e-17	0	0
BER Viterbi	10e-4,2	10e-4,20	10e-1,310573	10e-1,2981
STE	0,007416	0,006952	0,0061	0,006874
STE AVG	0,00885	0,007537	0,006854	0,006156
STE DESV	0,005104	0,00385	0,00437	0,003084

Cuadro 6.2: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más abajo.(515 MHz)

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	31,554	30,902216	31,07379	29,588787
BER RS	1,00e-17	1,00e-17	10e-4,897	10e-2,185006
BER Viterbi	10e-4,11	10e-4,07928	10e-2,5241	10e-2,19471
STE	0,005996	0,007216	0,007767	0,007631
STE AVG	0,005848	0,008309	0,009397	0,007882
STE DESV	0,003055	0,005661	0,005	0,004005

Cuadro 6.3: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más arriba.(551 MHz)

### 6.5.2. Segundo Nivel de Potencias; Canal Adyacente

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	28,94053	29,7826	29,528551	29,587925
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3,9043	10e-3,866319	10e-3,9195	10e-3,8356
STE	0,008984	0,007741	0,008970	0,008854
STE AVG	0,007899	0,009057	0,008637	0,009643
STE DESV	0,004803	0,004356	0,004549	0,006733

Cuadro 6.4: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más abajo (515 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	31,110	29,3818	29,5703	30,0865
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3,9332	10e-3,8947	10e-3,7516	10e-3,7810
STE	0,008141	0,008634	0,008241	0,009248
STE AVG	0,008907	0,007175	0,008679	0,00927
STE DESV	0,005523	0,004396	0,004751	0,005926

Cuadro 6.5: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más arriba (551 MHz).

### 6.5.3. Tercer Nivel de Potencias; Canal Adyacente

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	29,850	28,7910	30,240229	27,983725
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3,946146	10e-3,9281	10e-4,00541	10e-3,975151
STE	0,006749	0,007076	0,008122	0,007589
STE AVG	0,007362	0,006152	0,0080422	0,008922
STE DESV	0,004192	0,003904	0,003438	0,004829

Cuadro 6.6: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más abajo (515 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	29,705247	30,18536	30,881464	30,8263
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10-3,9678	10e-3,9680	10e-3,9979	10e-3,9561
STE	0,007958	0,006430	0,008406	0,007503
STE AVG	0,007826	0,006086	0,007819	0,007675
STE DESV	0,004002	0,003587	0,004404	0,004172

Cuadro 6.7: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más abajo (521 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	30,119467	28,8861	30,9463	29,509501
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3,9327	10e-3,9335	10e-3,9490	10e-3,8893
STE	0,007814	0,007073	0,007948	0,008626
STE AVG	0,007550	0,006690	0,008081	0,01147
STE DESV	0,004581	0,004141	0,004317	0,004959

Cuadro 6.8: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS dos canales más arriba (545 MHz).

Métrica	Ancho de Banda del Filtro Análogo (Desempeño y BW)			
	Normal (8 MHz)	Baja (20 MHz)	Muy Baja (35 MHz)	Bajísima (50 MHz)
MER	29,556099	30,431152	29,8927	29,6712
BER RS	10e-18	10e-18	10e-18	10e-18
BER Viterbi	10e-3,9175	10e-3,93738	10e-3,9454	10e-3,9071
STE	0,007233	0,007578	0,007737	0,008120
STE AVG	0,007737	0,007619	0,007188	0,007970
STE DESV	0,004568	0,004088	0,004119	0,004575

Cuadro 6.9: Resultados obtenidos para una señal interferente TVWS tres canales más arriba (551 MHz).



# Acrónimos

**BW** BandWidth

**BER** Bit Error Rate

**BER RS** Bit Error Rate - Reed Solomon

**BER Viterbi** Bit Error Rate - Viterbi

**BPSK** Binary Phase Shift Keying

**CPE** Customer Premise Equipment

**EAR** Edge Adaptive Radio

**ISDB-Tb** Integrated Services Digital Broadcasting International

**MER** Modulation Error Rate

**OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**OFDMA** Orthogonal Frequency Division Multiple Access

**RSSI** Received Signal Strength Indicator

**SDR** Software Defined Radio

**SNR** Signal-to-Noise Ratio

**STE** System Target Error

**STE AVG** System Target Error Average

**STE DESV** System Target Error Deviation

**TVD** Televisión Digital

**TVWS** Television White Space

**QAM** Quadrature Amplitude Modulation

**QPSK** Quadrature Phase Shift Keying

**WRAN** Wireless Regional Area Network



# Bibliografía

- [1] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, “Plan TVD ; Decreto Número 167,” *Subsecretaría de Telecomunicaciones*, Ultimo Acceso : Noviembre 2021.
- [2] “IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems Wireless Regional Area Networks (WRAN) —Specific requirements ; Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium AccessControl (MAC) and Physical Layer (PHY)Specifications: Policies and Procedures forOperation in the Bands that Allow SpectrumSharing where the Communications DevicesMay Opportunistically Operate in the Spectrumof Primary Service,” 2019.
- [3] F. Larroca, P. Flores, G. Gómez, V. Gonzales-Barbone, and B. P., “gr-isdbt: An ISDB-T 1-segment Receiver Implementation on GNU Radio,” *CLEI*, 2015.
- [4] F. Larroca, P. Flores, G. Gómez, V. Gonzales-Barbone, and B. P., “An Open and Free ISDB-T Full seg Receiver Implemented in GNU Radio,” *WinnComm*, 2016.
- [5] K. Bian and J.-M. Park, “A Coexistence-Aware Spectrum Sharing Protocol for 802.22 WRANs,” in *2009 Proceedings of 18th International Conference on Computer Communications and Networks*, pp. 1–6, 2009.
- [6] V. Popescu, M. Fadda, M. Murrioni, J. Morgade, and P. Angueira, “Co-Channel and Adjacent Channel Interference and Protection Issues for DVB-T2 and IEEE 802.22 WRAN Operation,” *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 60, no. 4, pp. 693–700, 2014.
- [7] V. Popescu, M. Fadda, M. Murrioni, and D. Giusto, “Coexistence issues for IEEE 802.22 WRAN and DVB-T2 networks,” in *2016 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp. 1–4, 2016.
- [8] B. Randhawa, S. Munday, and K. Masrani, “Conducted Measurements to Quantify DVB-T Interference into DTT Receivers,” 2007.
- [9] “Reconfigurable Radio Systems (rrs); Feasibility Study on Radio Frequency (rf) Performance for Cognitive Radio Systems Operating in Uhf Tv Band White Spaces,”
- [10] “Receiver for digital broadcasting ; arib standard (desirables specifications),” Dec. 2019.

- [11] F. Larroca, P. Flores, G. Gómez, V. Gonzales-Barbone, and B. P., “Mediciones en receptor ISDB-T,”
- [12] D. Tham, “ITU World Radiocommunication Seminar 2018. Carrier to Interference (C/I ratio) calculations.,” 2018.
- [13] 6Harmonics, *GWS5000 Series User Guide*, 2019.
- [14] “Transmission system for digital terrestrial television broadcasting ; arib std-b31,” 2005.
- [15] A. Bañacia, R. Gelu, and Q. Pedroza, “A simplified IEEE 802.22 PHY layer in Matlab-Simulink and SDR platform,” in *2016 International Conference on Electronics, Information, and Communications (ICEIC)*, pp. 1–4, 2016.
- [16] N. Pisciotta, “Sistema ISDB-Tb (Primera Parte),” tech. rep., Centro de Investigación Aplicada y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones (CIADE-IT) – UBP, 2010.
- [17] K. Abu and S. Ufoaroh, “Estimation and Application of TV Whitespaces for Rural Broad Band Connectivity (Internet Access),” *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2019.
- [18] G. Terreault, “QAM Signal Impairments and Their Effects on MER and BER,” in *Sunrise Telecom Broadband Corp*, 2003.
- [19] Tektronix, “Critical RF Measurements in Cable, Satellite and Terrestrial DTV Systems,” in *Tektronix Application Note*, 2008.
- [20] National Instruments, “Modulation Error Ratio (MER) and Error Vector Magnitude (EVM),” in *Tutorial National Instruments Measurement Fundamentals Series*, 2014.
- [21] M. Fadda, M. Murrioni, V. Popescu, J. Morgade, R. Sancho, and P. Angueira, “Protection ratios and interference curves for broadcast and cognitive co-channel and adjacent channel operation,” in *2013 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp. 1–5, 2013.