

**METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INTERFERENCIA
ENTRE SERVICIOS DE RADIO EN CANALES ADYACENTES**

JUAN PABLO MORENO ACOSTA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

**METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INTERFERENCIA
ENTRE SERVICIOS DE RADIO EN CANALES ADYACENTES**

JUAN PABLO MORENO ACOSTA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Director:

HOMERO ORTEGA BOADA

Ingeniero Electrónico, Ph.D

Codirector:

DEISY CAROLINA PAEZ CASAS

Ingeniera Electrónica, Ms(c)

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEÓRICO	13
1.1. Emisiones fuera de banda	13
2. MÓDULO DE MEDICIÓN ESPECIALIZADO: GEOINTSCANNER	17
2.1.1 Arquitectura Software.	17
3. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE INTERFERENCIA	19
3.1 Estructura de la metodología	19
3.2 Selección de enfoque de análisis, herramientas y técnicas	20
3.3 Método de medición	23
4. MÉTODO DE MÁSCARA DE EMISIÓN DE ESPECTRO	25
5. PRUEBAS Y RESULTADOS	29
6. CONCLUSIONES	34
CITAS	35
BIBLIOGRAFIA	37

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura. 1 Dominio Espectral de una Emisión de Radio.	13
Figura. 2 . Escenario de Interferencia entre Servicios	16
Figura. 3 . Modelo de capas del Sistema de Medición de Interferencias	17
Figura. 4 Arquitectura MVC Del Instrumento Virtual	18
Figura. 5 Parametrización de una Máscara Espectral.	26
Figura. 6 . Sistema de Medición de Interferencias desarrollado.	27
Figura. 7 Señal generada por el Transmisor y su respectiva SEM	30
Figura. 8 Canal Inmediatamente Adyacente del Transmisor Deseado	31
Figura. 9 Escenario de Interferencia entre dos Transmisores que operan en canal Adyacente y su respectiva Máscara en Cascada.	32
Figura. 10 Canal Inmediatamente Adyacente del Transmisor Deseado Con las componentes espectrales del Transmisor Interferente	32

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados obtenidos de la prueba 1	31
Tabla 2. Resultados obtenidos de la prueba 2	33

RESUMEN

TÍTULO: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INTERFERENCIA ENTRE SERVICIOS DE RADIO EN CANALES ADYACENTES*

AUTOR: JUAN PABLO MORENO ACOSTA**

PALABRAS CLAVE: ANÁLISIS DE INTERFERENCIAS, CANAL ADYACENTE, MÁSCARAS DE ESPECTRO, SEAMCAT, EMISIONES NO DESEADAS, DOMINIO FUERA DE BANDA, INTERFERENCIAS DE RADIO, SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIONES.

DESCRIPCIÓN:

Este artículo propone una metodología para valorar las interferencias entre diferentes servicios de radiocomunicaciones usando equipos de medición. La metodología se apoya en el estudio de algoritmos de simulación para identificar interferencias entre servicios, en la recomendación UIT-R SM 1541 para emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda y el Estándar 1900 de la IEEE que define la metodología para las prácticas en el estudio de las interferencias.

Se propone el uso de Máscaras Espectrales como método fundamental en el estudio de las Interferencias de Radio que operan en Servicios Adyacentes, así como el uso de máscaras en cascada para estudiar y analizar el cumplimiento de las emisiones de potencia de más de un servicio a la vez. También se cuenta con nuevas técnicas de medición que pueden servir de complemento a las de simulación para realizar este tipo de mediciones de manera eficiente. El mayor esfuerzo en este trabajo es dedicado a la clara presentación de la metodología que incluye una herramienta de medición con máscaras espectrales especialmente diseñadas para las mediciones.

El Sistema de Medición se diseñó usando el esquema de Modelo Vista Controlador (MVC) implementado sobre el software LabView aplicando el concepto de Instrumentos Virtuales (VI) usando un analizador de espectro comercial para el sensor.

Finalmente se presentan resultados de validación para las interferencias entre las IMT y la TDT en un sector piloto dentro del campus de la Universidad Industrial de Santander, donde se desarrolló el proyecto.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Homero Ortega Boada. Codirector: Deisy Carolina Paez Casas

ABSTRACT

TITLE: METHODOLOGY FOR INTERFERENCE ANALYSIS AMONG RADIO SERVICES RADIO IN ADJACENT CHANNEL*

AUTHOR: JUAN PABLO MORENO ACOSTA**

KEYWORDS: INTERFERENCE ANALYSIS, CHANNEL ADJACENT, SPECTRUM MASK, SEAMCAT, UNWANTED EMISSIONS, OUTBAND DOMAIN, RADIO INTERFERENCE, RADIOCOMMUNICATIONS SERVICES.

DESCRIPTION:

This article proposes a methodology for valuing interferences among different radiocommunication services using measuring equipment. The methodology is based on the study of simulation algorithms to identify interference between services, ITU-R SM 1541 recommendation for unwanted emissions in the out-of-band domain and, IEEE Standard 1900 where the methodology for practices when studying interferences is defined.

The use of spectral masks is proposed as a fundamental method for studying the radio interferences that take place in adjacent services, as well as using cascading masks to study and analyze the fulfillment of power emissions from more than a service at once. New measuring techniques, which may complement simulation techniques to carry out efficiently this type of measurements, are also available. The biggest effort in this work is dedicated to present the methodology clearly, including a measuring tool with spectral masks specially designed for the measurements.

The measuring system was designed using an MVC architecture in LabVIEW software, using the concept of Virtual Instruments (VI) using a commercial spectrum analyzer for sensing.

Finally, the results of validating the interferences between the IMTs and the TDT within a pilot area at the Industrial University of Santander main campus (where this project was developed), are shown.

* Degree Work

** Faculty of Physical- Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering, Director Homero Ortega Boada. Codirector: Deisy Carolina Paez Casas

INTRODUCCIÓN

Lo que antes parecía un sueño, comunicarse sin necesidad de estar atados a hilos o cables, desde cualquier lugar del mundo, en cualquier momento y con cualquier cosa es ahora una realidad cada vez más segura. Con ello la gran demanda en el uso del espectro radioeléctrico (ERE) para todas estas nuevas tecnologías plantea retos muy elevados para su gestión y control. Uno de esos nuevos retos son las interferencias que se producen entre los servicios de radiocomunicaciones.

Con el término Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) se han acuñado las tecnologías que buscan la convergencia entre las comunicaciones móviles y todas las demás, usando principalmente el Internet. Su expansión ha sido tan fuerte que en cada Conferencia Mundial de Radio (CMR) se le atribuye más y más ancho de banda del ERE. Precisamente por ello se ha acelerado en el mundo el apagón analógico de la televisión, con lo cual se ha producido una ganancia de espectro disponible que se conoce como el Dividendo Digital. Esa tendencia continuará por mucho tiempo, pues en las IMT convergen no solo las comunicaciones tradicionales de voz y datos móviles, sino que pueden abarcar incluso las relacionadas con la seguridad nacional, la televisión, las que requieren las ciudades inteligentes, etc. Por otro lado, la Televisión Digital Terrestre (TDT) es considerado como uno de los servicios de mayor impacto dado que representa un medio para que las personas accedan a la información, al entretenimiento, a la participación ciudadana, en fin es una forma de convergencia desde la radiodifusión. Por esta razón, el problema de las interferencias que pueden estarse suscitando entre el servicio de televisión digital y el de las IMT es cada día más vigente. En su recomendación UIT-R SM 1541 [1] la UIT señala la necesidad de regular las interferencias entre los servicios de radio, también señala [2] métodos de medición para las emisiones no deseadas fuera de banda.

Sin embargo, a la hora de medir las interferencias entre servicios de radio no existen herramientas adecuadas. Se han realizado varios estudios a nivel nacional [3] [4] e internacional [5] [6] por entidades encargadas de la gestión y regulación de los servicios de Radio, con el objetivo de mitigar los posibles impactos negativos presentes en la

coexistencia entre servicios de TDT e IMT. Pero todo esto es casi imposible de controlar sin importar la cantidad de esfuerzos que se inviertan en la planeación de redes de los servicios de Radiocomunicaciones, simplemente porque los efectos de interferencia son inherentes mientras se comparta cobertura sobre un mismo espacio geográfico [7]. Entre las soluciones que se plantea para la reducción de estos impactos es la separación adecuada entre las estaciones que puedan presentar posibles interferencias entre ellas, optimizar las plataformas de las redes actuales para la entrada de servicios emergentes y manteniendo estrictos controles en las emisiones de los servicios más propensos a producir interferencia.

El interés por la búsqueda de soluciones válidas para esta problemática, ha dado como soluciones aportes sobre métodos y recomendaciones [8] [9] apoyados en el análisis que plantea el software de simulación llamado SEAMCAT que a partir de información de una red real puede predecir las interferencias que cada emisor puede estar produciendo en receptores de otros servicios para modelar el comportamiento en un ecosistema de coexistencia real y describir cuáles son las variables necesarias y considerandos mínimos para la obtención de resultados más similares en un caso real. En el área de las mediciones del ERE [10], los métodos disponibles para medir el impacto de interferencia para un servicio de radio están acotados a la comprobación límites máximos aceptables de emisiones y observar el comportamiento de los niveles de potencia en transmisores, especialmente servicios de Radiodifusión de Televisión (Broadcasting Television BT) y redes de servicios móviles. La pregunta que resulta después de revisar todo este panorama es *¿Será posible aplicar los métodos de análisis de interferencias que poseen algoritmos de predicción como el SEAMCAT en las mediciones de escenarios reales?* Bajo esta hipótesis este artículo se describe una propuesta de solución desarrollada en el grupo de Investigación RadioGIS de la Universidad Industrial de Santander, para medir el grado de interferencias entre los servicios de radio, pero limitó a los siguientes requerimientos:

- Que esté en consonancia con las Recomendaciones de la UIT y las normas de la IEEE [11] para análisis de coexistencia en canal adyacente de servicios de Radio.
- Que Adopte métodos y métricas [12] del SEAMCAT para el cálculo de interferencia en mediciones.

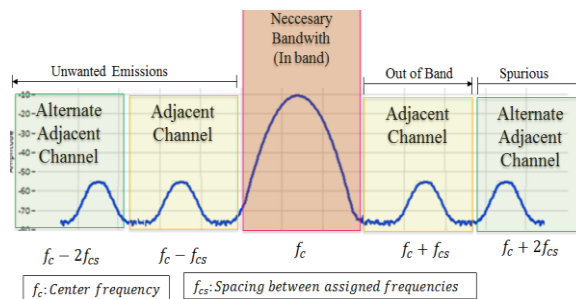
- Realizar pruebas de validación solo para los servicios de Radiocomunicaciones que se ubican en la banda Ultra Alta Frecuencia (UHF).
- El sistema completo debe apoyarse en el uso de equipos de medición del espectro, pero también en instrumentos virtuales con los algoritmos para el cálculo de interferencia.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. EMISIONES FUERA DE BANDA

Para el estudio de emisiones de Radio, se recomienda identificar y caracterizar tres dominios importantes: ancho de banda necesario, emisiones fuera de banda (Out of Band Emission OoB) y espurios (Spurious Emission), ambas conforman lo que se conoce como Emisiones no Deseadas (Unwanted Emissions) como se presenta en la *Figura 1*. En la recomendación UIT [2] define los lineamientos para calcular los límites de frecuencias de Fuera de Banda OoB y espurios en casos de banda estrecha y banda ancha.

Figura. 1 Dominio espectral de una emisión de Radio.



1.2 INTERFERENCIAS DE RADIO

Los problemas de interferencias se presentan si existe superposición de la señal del transmisor sobre las frecuencias de ancho de banda necesaria del receptor Rx_{int} (o puede ser en espacio). Se considera interferencia en banda (In Band Interference) aquellas resultantes por la falta de protección entre multiplexadoras. Por lo general, para operar sin interferencia In Band se requiere separación geográfica o la multiplexación en código, tiempo y frecuencia en la modulación empleada, propiedades que ya cumplen todos los servicios móviles actuales.

Una interferencia fuera de banda (Out of Band Interference) se presenta cuando hay solapamiento que afecta el ancho de banda necesario del receptor y las emisiones no deseadas del servicio adyacente. Se pueden generalizar dos escenarios:

Escenario 1: Transmisión en banda, Recepción fuera de banda en este caso se debe a imperfecciones de filtro del receptor.

Escenario 2: Transmisión fuera de banda, Recepción en banda en este caso se debe a imperfecciones en la transmisión.

1.3 TIPOS DE INTERFERENCIA

Podemos agrupar las interferencias de radio en tres importantes categorías [11] de acuerdo al nivel de deterioro que puede presentar la señal transmitida en la recepción del servicio afectado. También están limitadas según las normas de los entes regulatorios nacionales competentes, y los acuerdos entre los usuarios que acceden al espectro asignado. Estas interferencias se definen como: admisible, aceptada y perjudicial. Las *interferencias admisibles* son todas aquellas tolerables o previstas satisfaciendo los umbrales permitidos dictados en el reglamento del Cuadro Nacional de Atribuciones. Las *interferencias aceptadas* son de nivel más elevado que las mencionadas interferencias admisibles, donde son fijados mediante acuerdos entre dos o más administradores o usuarios licenciados del espectro. Su efecto se considera no perjudicial o degradante para la prestación de los servicios. Por último, Las *interferencias perjudiciales* son todas aquellas que comprometen gravemente el funcionamiento y calidad final del servicio impidiendo su normal funcionamiento, debido a las violaciones de los acuerdos y la normatividad establecida en el Reglamento Internacional de Radiocomunicaciones (RR).

1.4 MASCARAS DE EMISIÓN DE ESPECTRO

Las Máscaras de Emisión de Espectro (SEM) son herramientas comúnmente conocidas en el área global de las comunicaciones como el método por excelencia para la identificación de posibles interferencias [2] y son utilizadas para establecer límites y restricciones en la potencia en el transmisor de una Radiobase. También se pueden usar

como referencias para separar los dominios de OoB y Spurios en la densidad espectral de la medición. En algunos casos, la aplicación de las máscaras puede no ajustarse a las restricciones y regulaciones nacionales, debido a que son diseñados teniendo como criterio el peor de los casos donde las emisiones son poco restrictivas. Es recomendable realizar una investigación previa sobre la normatividad local y los acuerdos entre operadores, siempre que se requiera iniciar algún estudio de interferencia para servicios específicos de radio, con el fin de obtener los límites reales para la medición.

1.5 DEFINICIONES PARA EL ANÁLISIS DE INTERFERENCIA

Un análisis de interferencia tiene como propósito determinar los efectos de un sistema de radio (Enlace Interferente) sobre la operación de un sistema de radio en estudio (Enlace víctima), *Figura 2*. Para realizar dicho análisis se deben definir y tener claro los siguientes términos dictados a continuación:

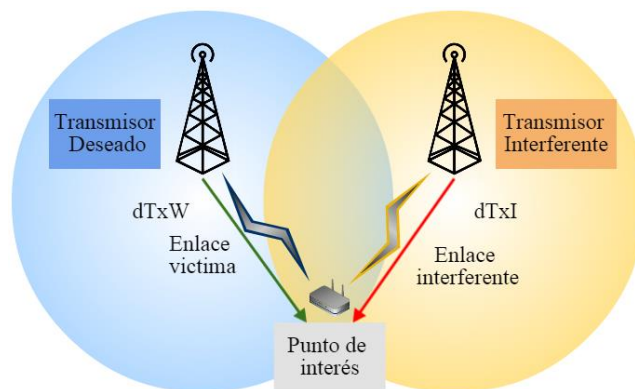
1.5.1 Evento de medición: Se entiende como un evento de medición los datos medidos referenciados con fecha, hora y posición geográfica, el cual constituye la base de análisis cuantitativo sobre la variable de interés [11]. Las variables de estudio son potencia, frecuencia y tiempo. La unidad de análisis es el espectro radioeléctrico y la unidad de observación son bandas y canales de frecuencia.

1.5.2 Evento de interferencia: Se define como un evento de interferencia cuando el valor de la Densidad Espectral de Potencia de la señal de entrada supera la potencia promedio máxima permitida por la máscara de espectro en el dominio fuera de banda OoB, o incumple de manera significativa algunos de los criterios de interferencia. La idea central es que un evento de interferencia por sí solo no es necesariamente un evento de interferencia perjudicial, para esto hay que analizar la cantidad OoB y los periodos de tiempo en los que aparece.

1.5.3 Escenario básico de comunicaciones: Un escenario básico de comunicaciones consta de un sistema transmisor y un sistema receptor, que a su vez conforman un enlace de comunicaciones. En el análisis de interferencia, el escenario se compone de dos

enlaces: el enlace interferente y el enlace víctima. Se define como el *enlace víctima* la señal que recibe el receptor víctima desde el transmisor deseado; y el *enlace interferente* como las emisiones espectrales no deseadas que afectan al receptor víctima por parte del transmisor interferente. Una vez se ha definido el escenario, es posible identificar los servicios de radiodifusión implicados en el evento de interferencia, sus características y sus principales iteraciones.

Figura. 2 . Escenario de Interferencia entre servicios



1.5.4 Sensores e Instrumentación para medición del ERE. Como unidad básica de instrumentación, se requiere el uso de analizadores vectoriales o de espectro comerciales capaces de obtener con una gran resolución el comportamiento espectral de las emisiones deseadas y no deseadas. También el uso de sensores *GPS* para obtener la georreferenciación de la zona de interés.

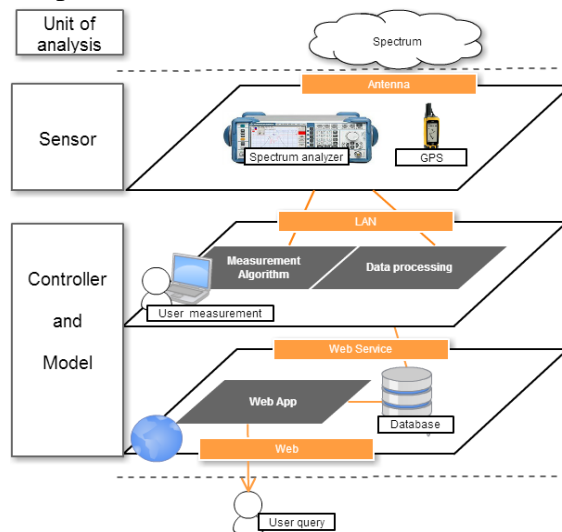
1.5.6 Instrumento virtual de análisis. Los instrumentos virtuales (Virtual Instruments VI) [13] poseen las capacidades de un instrumento real, como adquisición de datos, procesamiento de información, además de una presentación flexible de resultados pero se ejecutan totalmente sobre un computador personal o cualquier equipo de cómputo. De acuerdo con la definición anterior VI de análisis será un software encargado del control y configuración del instrumento de medición de espectro y GPS mediante una interfaz de usuario.

2. MÓDULO DE MEDICIÓN ESPECIALIZADO: GEOINTSCANNER

2.1 Modelo de capas del Sistema Medición

El modelo de capas de la *Figura 4*. Señala la jerarquía establecida para el Sistema de Medición. Como unidad de análisis se tiene el ERE, la capa sensores se ubican el uso de los sensores como el analizador de espectros y GPS. En la capa de Modelo y Controlador está contenido el VI y se propone además el uso de bases de datos para la consulta de la distribución de las múltiples Radiobases y el consumo de Web Services para el envío de datos a un Servidor en el que permita alojar todas las mediciones realizadas por el sistema para ofrecer una mayor robustez como un servicio de medición.

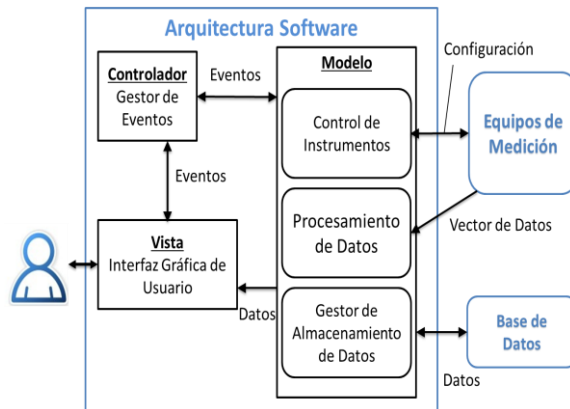
Figura. 3 . Modelo de capas del Sistema de Medición de Interferencias



2.1.1 Arquitectura Software. En la Figura 3, se presenta la arquitectura de Modelo Vista Controlador (MVC) que describe el diseño del VI. El Modelo ejecuta la lógica de medición responsable tanto del control y la configuración de los instrumentos de medición, como de la captura, procesamiento y almacenamiento de los datos medidos. La Vista, o interfaz gráfica de usuario, es la capa de presentación del modelo y básicamente

tiene dos funciones, mostrar información e interactuar con el modelo y el controlador. Finalmente, el controlador es el gestor de eventos que vienen de la Vista, captura los eventos y reporta los resultados.

Figura. 4 Arquitectura MVC del Instrumento Virtual



3. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE INTERFERENCIA

La metodología presentada a continuación es el resultado final de la revisión de distintas técnicas de medición de interferencia. La UIT que describen métodos y análisis para las mediciones en el campo real [14] y el uso de algoritmos que modelan características del escenario de comunicaciones aplicados en herramientas de sensado virtual [15], como el SEAMCAT. Esta metodología tiene como único fin el estudio de las interferencias perjudiciales entre un servicio afectado por otro en sus canales adyacentes, donde sólo se tiene en cuenta el efecto producido por una única fuente de emisión y no por el total aportado por diversas Radiobases distribuidas espacialmente que podrían influir en un entorno de coexistencia más real. También se desprecia los efectos de interferencias entre servicios que operan con la misma frecuencia distanciados geográficamente, o interferencia Cocanal, fenómeno mucho más complejo que afecta en gran medida a los sistemas de telecomunicaciones en general.

3.1 Estructura de la metodología

El análisis de la metodología consiste en cinco pasos secuenciales:

1. Describir el escenario de análisis.
2. Selección de enfoque del análisis, herramientas y técnicas a utilizar.
3. Establecimientos de criterios de interferencia para el Sistema de Medición.
4. Medición del escenario.
5. Análisis de resultados.

3.1.1 Descripción del escenario de análisis. e identifica dentro del escenario básico de estudio, un *Enlace Víctima* (VL), un *Transmisor Deseado* (Wanted) T_{xW} y un *Transmisor Interferente* (Unwanted) T_{xI} en una zona de cobertura compartida por ambos elementos, la cual se encuentra afectada para recepción del servicio en un *Receptor*

Victima Rx_{vic} , obteniendo las coordenadas geográficas para trazar su posición espacial entre ambos transmisores y el receptor víctima. Para la medición de los efectos de interferencia en este escenario, el equipo de medición será el equivalente al Rx_{vic} , tal como se ilustra en la *Figura 2*. En la identificación del escenario se deben extraer previamente los parámetros de transmisión de las Radiobases de estudio: Potencia de Transmisión P_{TX} , Ganancias de antenas transmisoras g_{TX} , tipo de modulación utilizada, Frecuencia de canal asignada f_C y Ancho de Canal asignado BW_{Ch} para los servicios de estudio.

3.2 SELECCIÓN DE ENFOQUE DE ANÁLISIS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS

3.2.1 Enfoque de análisis. Se selecciona previamente los criterios de interferencia a estudiar dentro del escenario definido, ya sea el uso de máscaras de espectro SEM para estudios de cumplimiento de emisión o el análisis de interferencia basado en la probabilidad no condicional del software SEAMCAT. Las variables de monitoreo son potencia en [dBm], frecuencia en [Hz] y tiempo [s]. El enfoque de la metodología se basa en la comprobación del cumplimiento, o no, de los criterios definidos para el sistema de medición.

Herramientas. Se seleccionan y configuran los sensores e instrumentos de medición adecuados para la medición del ERE y asociarlos al Sistema de Medición soportado en el Instrumento Virtual de análisis o software desarrollado para el control y procesamiento de las variables censadas. En la sección *Herramienta Software* se describe más a fondo las características del Instrumento Virtual implementado para el Sistema de Medición.

Se seleccionan los métodos y técnicas de análisis. Los métodos implementados en esta herramienta son las normas y estándares internacionales [2] [12] [14] [16].

Técnica 1: Relación de Potencia de Banda Adyacente ABPR

La Relación de Potencia de Banda Adyacente o (Adjacent Band Power Ratio) es un parámetro que ofrece de forma automática los diferentes equipos analizadores de espectro

actuales. Es un indicador muy útil a la hora de evaluar el cumplimiento de la máscara de espectro. Esta relación se define como:

$$ABPR = \frac{P_t}{P_{adj}}$$

Donde:

- $ABPR$ es la relación de potencia en canal adyacente
 - P_t Potencia media de transmisión.
- P_{adj} Es la potencia media en la banda de frecuencias adyacentes.

El criterio de interferencia se define mediante la relación:

$$ABPR_{medido} < ABPR_{referencia}$$

Se asumirá como un evento de interferencia cuando el valor de la ABPR medida no cumple con la expresión anterior, es decir, la potencia promedio que el transmisor emite es lo suficientemente elevada como para afectar de manera significativa las componentes espectrales de un posible servicio adyacente.

Técnica 2: Probabilidad de Interferencia

La probabilidad de interferencia se calcula mediante la adquisición de N eventos de medición y el conteo del número de éxitos y fracasos en el cumplimiento de los criterios de interferencia. Se calcula mediante la siguiente relación [12]:

$$P_{interferencia} = 1 - \frac{N_{exitos}}{N_{fracasos}}$$

Criterios de interferencia: Se consideran cuatro criterios de interferencia para el escenario de coexistencia entre servicios Wanted y Unwanted:

$$\frac{C}{I}, \frac{C}{I+N}, \frac{N+I}{N}, \frac{I}{N}$$

La relación entre estos criterios es:

$$\left[\frac{N + I}{I} \right]_{\text{dB}} = \left[\frac{N + I}{N} \right]_{\text{dB}} - \left[\frac{I}{N} \right]_{\text{dB}}$$

$$\left[\frac{C}{N + I} \right]_{\text{dB}} = \left[\frac{C}{N} \right]_{\text{dB}} - \left[\frac{N + I}{I} \right]_{\text{dB}}$$

Estos criterios de interferencia ocurren en el receptor víctima que tiene la relación portadora interferencia (C/I) menor que el mínimo valor permitido. Para calcular este parámetro, es necesario calcular el $dRSS$ que corresponde a C, y la $iRSS$ corresponde a I. $dRSS$ es la intensidad de la señal deseada (por su inglés desired received signal strength) y la intensidad de la señal interferente se representa como $iRSS$ (por su inglés interfering received signal strength) [12].

Los valores teóricos de $dRSS$ e $iRSS$ se obtienen a mediante:

$$\frac{C}{I} = \frac{dRSS}{iRSS}$$

$$dRSS = p_{wt}^{supplied} + g_{wt-vr} + g_{vr-wt} - pl_{wt-vr}$$

$$iRSS = p_{wt}^{supplied} + g_{it-vr}(f_{it}) + g_{vr-it}(f_{it}) - pl_{it-vr}(f_{it}) - a_{vr}(f_{it}, f_{vr})$$

Donde:

- $p_{wt}^{supplied}$ Máxima distribución de nivel de potencia que alimenta la antena del transmisor deseado.
- g_{wt-vr} Ganancia de antena del transmisor deseado en la dirección del receptor víctima.
- g_{wt-vr} Ganancia de antena del receptor víctima en la dirección del transmisor deseado.
- pl_{wt-vr} Perdidas por propagación entre el transmisor deseado y el receptor víctima.

- $a_{vr}(f_{it}, f_{vr})$ Susceptibilidad del receptor, se expresa como la relación entre los niveles de señal interferente deseados que producen un funcionamiento inaceptable del receptor y función de la separación en frecuencia entre las señales.

Se definirá como evento de interferencia cuando la expresión de las relaciones de señal-interferencia C/I no sea cumplida.

$$\frac{C}{I_{calculado}} > \frac{C}{I_{referencia}}$$

3.3 Método de medición

Descripción de los pasos a seguir para el método de medición:

1. Establecimiento de Condiciones Iniciales.
 - Relacionar la distribución geográfica de todas las fuentes de emisiones que puedan ser potenciales agentes interferentes del servicio a medir.
 - Identificación de parámetros del modelo de propagación a usar para la zona de medición.
(Altura Media de las Radiobases, Ganancia de la antena Transmisora, Ganancia de la antena Receptora, Tipo de Área Rural, Urbana o Área Abierta, Distancias entre los Transmisores y el Receptor Víctima)
 - Identificación de los parámetros de transmisión de los servicios. (Potencia media de Transmisión de las Radiobases, Frecuencias de Portadoras, tipo de modulación, Ancho de banda necesario)
2. Procedimiento del Evento de Medición.
 - Configuración del Sistema de Medición en función de las condiciones iniciales la campaña de medición. *f_c*: Frecuencia central asignada para el transmisor deseado. *SPAN*: Ancho de banda de visualización 500% del ancho de banda de canal ocupado del transmisor. *RBW*: Mismo valor de ancho de banda de referencia de la máscara SEM empleada o 1% del ancho de banda ocupado. *VBW*: Puede ajustarse para valores cercanos a la anchura de referencia. *Atenuation*: Este parámetro se debe

ajustar cuando se hace uso de dispositivos de acoplamiento especiales. *SWEEP TIME*: $1000/RBW$ aproximadamente. *SWEEP POINTS*: Por defecto.

3. Selección de las Máscaras de Espectro según los parámetros obtenidos de la transmisión del servicio.
4. Sobreponer visualmente en la interfaz de usuario del sistema de monitoreo, los vectores de la máscara SEM calculada y de la densidad espectral, para corroborar la eficiencia de la aplicación del método de Máscara.
5. Configuración del evento de medición: definición de los intervalos del tiempo de muestreo y número de muestras N.
6. Realizar los cálculos en tiempo real de los indicadores de cada evento de interferencia usando el VI, es decir los N éxitos y los N fracasos.
7. Almacenamiento de la información de fecha, hora y posición georreferenciada del Evento de Interferencia.
8. Almacenamiento, organización y transmisión a un Web Service de los resultados obtenidos en la campaña de medición.

4. MÉTODO DE MÁSCARA DE EMISIÓN DE ESPECTRO

El método de máscara de espectro descrito en la Recomendación UIT-R SM 1541, permite estimar la cantidad de potencia promedio máximo que posee una emisión de un servicio en particular. También indica los valores de las discontinuidades necesarias para generarlas.

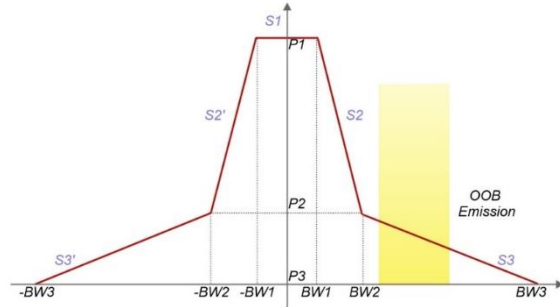
Las SEM de los servicios de estudio, están definidos por segmentos simétricos a la frecuencia de portadora, en la figura 5 presentamos los segmentos que conforman la geometría de una SEM, en donde cada segmento se modela para un comportamiento lineal basado en la ecuación:

$$SEM[f_i] = \frac{P_{n-1} - P_n}{BW_n - BW_{n-1}} * (f_i) + P_{n-1}$$

Donde f_i es la frecuencia de paso definida por la anchura de referencia de la máscara, BW_n en [Hz] ancho de banda desde la frecuencia central del segmento que se desea generar y P_n [dB] la atenuación en la discontinuidad en el punto BW_n . La potencia en banda necesaria está referenciada al 0 [dB] relativo a la potencia promedio de transmisión.

Como primer paso del método se genera algebraicamente el vector de datos de máscara $SEM[f_i]$ basado en la información suministrada en la configuración del equipo de medición. La longitud de muestras del vector SEM debe corresponder al mismo valor de SWEEP POINTS del vector de la densidad espectral de potencia obtenida desde el analizador. Como paso siguiente se procede a calcular el ABPR de la máscara.

Figura. 5 Parametrización de una Máscara Espectral.



Cálculo de la relación ABPR de medición

Para calcular el ABPR en los datos medidos es necesario convertir la densidad espectral de potencia en su representación de potencia lineal con el fin de realizar la misma integración [2]:

$$abpr_{med} = \frac{1}{BW_{adj}} \sum_{f_{iadj}}^{f_{fadj}} data(fd)$$

$$ABPR_{med} = -10 \log(abpr_{med}) [dB]$$

Uso de modelos de propagación para estimación de SEM

Los modelos de propagación [12] hacen parte de los criterios de interferencia en el SEAMCAT para el análisis de interferencias, sin embargo, no se puede descartar como un estimador para los cambios en la atenuación de las componentes espectrales de las máscaras (OoB y Spurios) que usará el sistema medición a partir de las máscaras del transmisor deseado. Para la aplicación de éste método, requiere realizar una caracterización del comportamiento espectral de las emisiones de interés.

Uso Máscaras en Cascada para análisis en el dominio fuera de banda

Se Propone el uso de máscaras para un análisis simultaneo para entre servicios adyacentes. Se Obtiene una nueva máscara en cascada sumando los vectores SEM de cada emisión en su representación de la potencia lineal. El criterio para análisis de interferencia es el cálculo del ABPR, la condición del evento de interferencia se limita a comprobar el cumplimiento de potencia máxima de las componentes de la emisión del transmisor interferente que caen dentro del rango del canal adyacente del receptor víctima.

Herramienta para generar SEM

Se desarrolló en Labview la interfaz de usuario del instrumento virtual y el control del Analizador de Espectro RZVL mostrado en la Figura 6.

Figura. 6 . Sistema de Medición de interferencias desarrollado.



La interfaz de usuario desarrollada para el sistema de monitoreo completo se muestra en la figura 6 en la parte inferior, posee un panel de configuración de los parámetros del instrumento de medición de espectro utilizado, la selección de distintas máscaras basadas en las recomendaciones de la UIT y un panel para configurar manualmente el tamaño de las SEM

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos usando la herramienta desarrollada en la metodología, y los parámetros utilizados en el escenario controlado de interferencia, midiendo la potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e) [2].

Campaña de medición:

Se describen las configuraciones utilizadas den el desarrollo de la campaña de medición

Transmisor deseado

Frecuencia de Portadora	960 [MHz]
Modulación	64QAM
Tamaño de FFT	1024
Tonos ocupados	469
Prefijo cíclico	128
Potencia	-33 dBm
Frecuencia de Muestreo	12 MHz
Ancho de banda necesario	30 MHz

Transmisor interferente

Frecuencia de Portadora	966 [MHz]
Modulación	64QAM
Tamaño de FFT	1024
Tonos ocupados	469
Prefijo cíclico	128
Potencia	-27,5 dBm
Frecuencia de Muestreo	12 MHz
Ancho de banda necesario	30 MHz

Distancia entre los transmisores 1,5 m

Distancia entre la antena del transmisor deseado y la antena del equipo de medición 1m

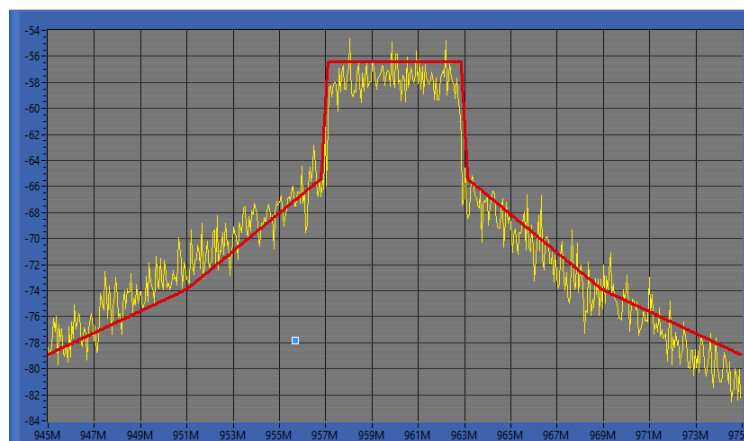
Distancia entre la antena del transmisor interferente y la antena del equipo de medición 1m

Prueba de máscara de espectro

1. Se comprueba mediante una prueba piloto en el cumplimiento de las restricciones de la máscara.

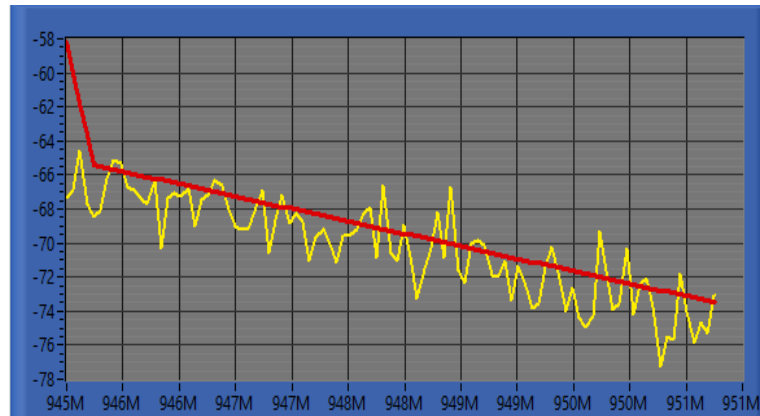
Se realiza una prueba con el servicio aplicando la máscara del receptor en el punto de medición ajustando los límites por medio del modelo de propagación.

Figura. 7 Señal generada por el transmisor y su respectiva SEM



2. Se limita el canal adyacente de interés. Se extrae los valores de las componentes de la máscara y del vector de datos del analizador y se calcula el ABPR.

Figura. 8 Canal inmediatamente adyacente del transmisor deseado



Resultados medidos:

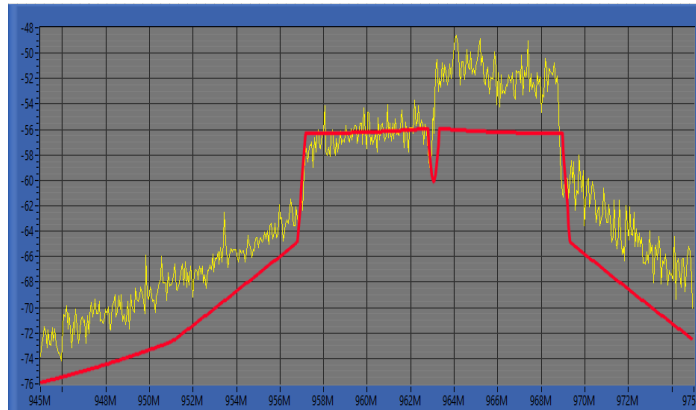
Tabla 2. Resultados obtenidos de la prueba 1

Escenario	Distancia del receptor	Abpr máscara	Abpr medición
Prueba 1	1 m	-68,09 dbm	-69,39 Dbm

Prueba de interferencia en canal adyacente

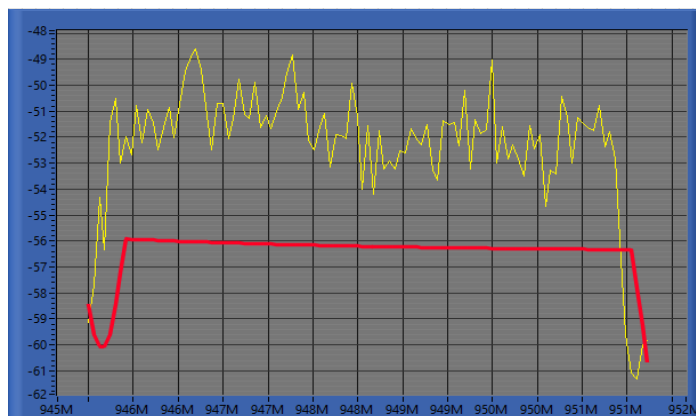
Se activa el transmisor interferente de características similares de la transmisión del servicio del transmisor deseado, aumentando a 6 dB la potencia de transmisión por encima de lo permitido por la máscara.

Figura. 9 Escenario de interferencia entre dos transmisores que operan en canal adyacente y su respectiva máscara en cascada.



Se observa en la toma de la medición el no cumplimiento de manera visual. En la siguiente tabla se muestra cuanta es

Figura. 10 Canal inmediatamente adyacente del transmisor deseado con las componentes espectrales del transmisor interferente



Resultados medidos:

Tabla 3 Resultados obtenidos en la prueba 2

Escenario	Distancia del receptor	del C/i mask	C/i Medición	Pot oob
PRUEBA 2	1 m	-26,46 dBm	-21,29 dBm	5,17 dBm

Error en la medición $\frac{|P_{OOBm} - P_{OOBi}|}{P_{OOBi}}$ se obtiene de 5,5% al comparar con la potencia OOB controlada de 5,5 dBm de la potencia en transmisor interferente sobre el afectado.

6. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de generación de Máscaras Espectrales de Potencia y Bloques de Máscaras con capacidad de medir los niveles de potencias en el dominio fuera de banda basados en las recomendaciones de la UIT.

El uso de los sensores virtuales y de Web Services en el desarrollo del sistema de medición propuesto, aporta a la metodología un valor agregado para la implementación de herramientas más elaboradas y más versátiles que puedan servir de como punto de partida para estudios posteriores sobre los sistemas de comunicaciones de nueva generación.

En las pruebas controladas de laboratorio desarrolladas para la validación del software, se obtuvieron resultados esperados en la medición de la ABPR y la potencia OoB, con un error del 5,5%. Este porcentaje se puede reducir más si se aplican métodos más elaborados basados en estudios profundizados en los servicios de TDT e IMT, con el fin de obtener mejores patrones en el comportamiento espectral en condiciones más reales.

La aplicación de los criterios de interferencia se desarrollaron bajo el concepto de instrumento virtual VI implementado y validado en el software de Labview, aunque es una plataforma robusta sigue siendo dependiente del uso de un analizador de espectros externos para capturar los datos de la medición, por ello, como recomendación para trabajos futuros se propone el uso de equipos de Radio Definido por Software (Software Defined Radio SDR) como instrumentación para medición de ERE, debido a que ofrecen mayores ventajas en implementación, en la portabilidad del equipo y el bajo costo, si se comparan con los analizadores de espectro comerciales.

CITAS

- [1] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Metodología general para evaluar la interferencia potencial entre sistemas IMT-200 o posteriores a IMT-200 y otros servicios. UIT-R M. 1635,» 2003.
- [2] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda. UIT-R SM. 1541-5,» 2013.
- [3] M. Fuentes Muela, D. Gómez Barquero y N. Cardona Marcet, «Coexistencia entre servicios TDT y 4G en la banda de 700 MHz».
- [4] A. Marín, C. Moreno, J. Sierra y F. Gil, «Diseño y análisis de red de Televisión Digital Terrestre (TDT) para Medellín - Antioquia,» *Revista en Telecomunicaciones e Informática*, vol. 1, nº 1, pp. 31-48, 2011.
- [5] European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, «CEPT Report 30. The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union,» 2009.
- [6] CEPT, «On the harmonisation of the 3 400-3 800 Mhz frequency band for terrestrial,» 2008.
- [7] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Recomendación UIT-R M.478-5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y PRINCIPIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE CANALES A LAS ESTACIONES DEL SERVICIO MÓVIL TERRESTRE CON MODULACIÓN DE FRECUENCIA ENTRE 25 Y 3 000 MHz,» 1995.
- [8] C. Khoa Huynh y W. Cheol Lee, «Researching on BEM in Interference Analisis of TV-Band Whitespace».
- [9] L. Decreusefond, E. Ferreir y P. Martins, «Simple estimate of Signal to Interference Ratio with randomly located antenas».
- [10] ITU, «SM.1682 Methods for measurements on digital broadcasting signals.,» 2006
- [11] IEEE, «IEEE Std 1900.2 Recommended Practice for the Analysis of In-Band and Adjacent Band Interference and Coexistence Between Radio Systems,» 2008.

- [12] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «REPORT ITU-R SM.2028. Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems,» 2001.
- [13] R. Chacón Rugeles, «La Instrumentación Virtual en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica,» *Acción Pedagógica*, vol. 11, nº 1, pp. 80-84, 2002.
- [14] International Telecommunication Union, «Handbook Spectrum Monitoring,» 2011.
- [15] S. Kabadayi, A. Pridgen y C. Julien, «Virtual Sensors: Abstracting Data from Physical Sensors,» Austin, Texas, 2006.
- [16] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Recommendation ITU-R BT.1206-2 Spectrum limit mask for digital terrestrial television broadcasting,» 2014.
- [17] UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, Reglamento de Radiocomunicaciones. Recomendaciones UIT-R Incorporadas por referencia, 2012.
- [18] P. J. Kolodzy, « Interference Temperature: A Metric for Dynamic Spectrum Utilization.,» *Wiley Int. J. Network Management*, p. 16:103–113, 2006.
- [19] T.K. Forde, L.E. Doyle, y B. Ozgul., «Dynamic block-edge masks (BEMs) for dynamic spectrum emission masks (SEMs),» de *En IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum*, 1-10, 2010.

BIBLIOGRAFIA

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice for the Analysis of In-Band and Adjacent Band Interference and Coexistence Between Radio Systems. IEEE Std 1900.2. New York, USA: IEEE 2008. 94 p.

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda. UIT-R SM. 1541-5. Ginebra, Suiza: UIT, 2013.

----- . Metodología general para evaluar la interferencia potencial entre sistemas IMT-200 o porteros a IMT-200 y otros servicios. UIT-R M. 1635. Ginebra, Suiza: UIT, 2003.

----- . Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems. REPORT ITU-R SM.2028. Geneve, Suiza: ITU, 2001.

----- . Reglamento de Radiocomunicaciones. Recomendaciones UIT-R Incorporadas por referencia. Ginebra, Suiza. 2012. 538 p.

----- . Spectrum limit masks for digital terrestrial television broadcasting. ITU-R BT.1206-2. Geneve, Suiza: ITU, 2014.16 p.