



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE ALGORITMOS DE ACCESO Y
EVALUACIÓN DE LA BANDA UHF-TV PARA
DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD ESPECTRAL EN
CANALES SUBUTILIZADOS O LIBRES EN EL
ESCENARIO INTERNO DE UN EDIFICIO EN EL
CENTRO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, UBICADO
EN MACHALA 1002 Y MIGUEL HURTADO, PARA LA
POSIBLE ASIGNACIÓN DE TECNOLOGÍAS
INALÁMBRICAS BASADAS EN OSA”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

LUIS MIGUEL GOMERO CABEZAS

JOEL ANDERSON PÉREZ RECALDE

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por permitirme alcanzar esta meta, un infinito agradecimiento a mi madre por haberme apoyado en todas las etapas de mi existencia, a mi hermano por formar parte de los pilares que me han edificado. Al Ms. Washington Medina por ser mi tutor y guiarme en el desarrollo de este proyecto. De manera especial al Dr. Francisco Novillo por haberme ayudado a avanzar tanto académicamente como profesionalmente al guiarme en la búsqueda del conocimiento.

Luis Miguel Gomero Cabezas

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por haberme permitido seguir este camino y por haberme dirigido por el sendero correcto, a mis padres por formarme bajo reglas y darme consejos para tomar las decisiones adecuadas, a mi familia por brindarme nuevas enseñanzas de vida y apoyo en los momentos difíciles. Al Ms. Washington Medina por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis y a lo largo de mi formación académica. Finalmente, a mi universidad por haberme formado profesionalmente y ayudado a desarrollar habilidades para ser un mejor profesional.

Joel Anderson Pérez Recalde

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre y a mi hermano, quienes con mucho esfuerzo y cariño me formaron como una persona íntegra y de valores. A mis amigos de infancia, adolescencia y juventud que me impulsan día a día a superarme y volverme una mejor persona.

Luis Miguel Gomero Cabezas

El presente proyecto lo dedico a, mis padres Jesús y Lorena, quienes me han apoyado a lo largo de mi vida inculcándome valores. A mis tíos quienes son parte de mi vida y a Karina quien ha estado apoyándome en todo momento. A mis abuelas Herminia y Mariana (+) quienes han sido mis segundas madres y los aportes que han realizado para mi vida son invaluableles.

Joel Anderson Pérez Recalde

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Washington Medina Moreira, Mag.

PROFESOR EVALUADOR

Francisco Novillo Parales, Ph.D.

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Luis Miguel Gomero Cabezas

.....
Joel Anderson Pérez Recalde

RESUMEN

En el actual proyecto tiene como propósito determinar la disponibilidad espectral de canales en la banda UHF-TV (512-698) MHz, para de esta manera hacer uso de los huecos espectrales para la implementación de sistemas basadas en OSA. En el capítulo 1 identifica la problemática con su respectiva solución, indica los objetivos planteados, metodología y alcance del presente proyecto.

El capítulo 2 se explica los sistemas de transmisión que se encuentran implementados en la banda UHF-TV, la respectiva distribución de frecuencias en el Ecuador, especificaciones técnicas de los sistemas transmisión, los estudios que se han realizado sobre los espacios en blanco en varios países, definición de lo que es el radio definido por software.

El capítulo 3 se detalla el escenario espacial y frecuencial en el que se va a desarrollar el presente proyecto, características y la ubicación geográfica del edificio determinado, el sistema de adquisición como parte de metodología para detallar el sensado o captura de los niveles de potencia para luego por medio de ecuaciones matemáticas descritas, obtener una matriz de SNR con el fin de realizar una comparación para distintos niveles de umbrales para proceder a determinar el estadio de disponibilidad de cada canal en cada instante de tiempo. Además, explicamos los algoritmos de acceso y de detección de los estados de disponibilidad de cada canal. Para asegurar que el proceso de obtención de datos sea correcto, se explica la validación de la captura de los niveles de señales de potencia con el analizador de espectro Agilent.

Finalmente, en el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos por medio de los cuadros y gráficas correspondientes de los datos capturados y del modelamiento estadístico aplicado con el fin de hacer un análisis detallado de acuerdo a los objetivos presentados inicialmente.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
CAPÍTULO 1	9
1. GENERALIDADES.....	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Exposición de la problemática.....	9
1.3 Identificación de la problemática.....	10
1.4 Justificación.....	11
1.5 Solución.....	12
1.6 Objetivos.....	13
1.6.1 Objetivo General.....	13
1.6.2 Objetivos Específicos	13
1.7 Metodología.....	13
1.8 Alcance.....	15
CAPÍTULO 2.....	16
2. ESTADO DEL ARTE MUNDIAL.....	16
2.1 Introducción.....	16
2.2 Sistemas de transmisión de televisión usados en el Ecuador.....	18
2.2.1 Televisión Analógica en Ecuador	19
2.2.2 Televisión Digital en Ecuador	20
2.2.3 Frecuencias atribuidas a las transmisiones.....	22
2.2.4 Otras transmisiones de televisión (IPTV)	24

2.3	Especificaciones Técnicas de los receptores para Televisión Analógica y Digital.....	25
2.4	Espacios Blancos de Tv en Ecuador y otros países.....	26
2.5	Radio Definida por Software.....	27
2.5.1	RTL-SDR.....	30
CAPÍTULO 3.....		32
3.	METODOLOGÍA Y MODELAMIENTO.....	32
3.1.	Introducción.....	32
3.2.	Descripción del escenario.....	32
3.2.1.	Escenario espacial.....	32
3.2.2.	Escenario frecuencial.....	35
3.3.	Adquisición de datos.....	37
3.3.1.	Sistema de adquisición de datos.....	37
3.3.2.	Parámetros de configuración para adquisición de datos... ..	38
3.3.3.	Procedimiento para adquisición de datos.....	39
3.4.	Validación de datos con analizador de espectro.....	40
3.5.	Evaluación de disponibilidad de canales.....	42
3.5.1.	Manejo inicial de datos.....	43
3.5.2.	Análisis temporal, análisis de canales individuales y adyacentes.....	46
3.5.3.	Análisis temporal de disponibilidad.....	47
CAPÍTULO 4.....		49
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	49
4.1	Modelamiento estadístico de canales singulares.....	52
4.2	Modelamiento estadístico de canales contiguos.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		60
BIBLIOGRAFÍA.....		62
ANEXOS.....		65

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

1.1 Introducción.

En la sociedad actual, el desarrollo tecnológico y los avances en las distintas áreas del saber hacen que se consuman más recursos tanto para poner a prueba la tecnología inalámbrica como para implementarla. Es por esto que siempre se busca optimizar recursos o buscar alternativas que conlleven a un mejor desempeño y una mejor calidad de servicio para los usuarios.

El reglamento de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones define los recursos de las telecomunicaciones como servicios que están destinados a facilitar la transmisión y recepción de signos, señales, textos, videos, imágenes, sonidos o información de cualquier naturaleza, para satisfacer las necesidades de telecomunicaciones de los abonados, clientes y usuarios [1].

Sin embargo, en la actualidad es notorio el incremento de usuarios y dispositivos electrónicos, lo que trae como consecuencia, una disminución en la calidad de los servicios de telecomunicaciones desplegados en el espectro radioeléctrico, siendo por consecuencia una limitante para la evolución de nuevas tecnologías debido a los problemas de saturación de canales y de las regulaciones optadas sobre la operación del espectro concesionado [2].

1.2 Exposición de la problemática.

Lo expuesto, tiene relación con los objetivos trazados para que la Sociedad de la Información [18], se beneficie con alternativas que permitan brindar un mejor servicio a los clientes y disminuir así el problema como la brecha digital.

Es por esto que, con el fin de organizar y normalizar el uso del espectro electromagnético, distintos organismos han establecido normas tanto universales e intrínsecas con el fin de alcanzar sus objetivos, algunos países han logrado promoverlas mejor y han alcanzado una mejor utilización del espectro.

El espectro radioeléctrico está siendo subutilizado, debido a migraciones de sistemas de transmisiones como por ejemplo los canales que terminan su ciclo de transmisión en sistema analógico para hacerlo en sistema digital, liberando canales dentro de la banda de televisión. Las futuras tecnologías requieren de un lugar adecuado para su implementación y despliegue con la intención de ofrecerle al usuario una variedad de recursos y experiencia de conectividad eficaz.

1.3 Identificación de la problemática.

En nuestro país el órgano regulador del sector de las telecomunicaciones ARCOTEL [1], basa sus normas en la legislación establecida por la UIT (Unión Internacional de las Telecomunicaciones), con lo que se definen los usos que se dan a los diferentes rangos del espectro electromagnético.

Los servicios que se dan al público en general se encuentran normalmente en las bandas 850 MHz y 1900 MHz, para los casos de 3G y para otras tecnologías como LTE, 1700 MHz y 2100 MHz. Estas bandas son conocidas como bandas Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT, por sus siglas en inglés) [1]. En la actualidad es un hecho que estas bandas están copadas de usuarios, y se estima además un incremento a mediano plazo en el número de dispositivos por usuario.

Buscando constantemente mejorar la eficiencia del espectro e implementar nuevas tecnologías inalámbricas que permitan el uso óptimo del mismo.

En la banda UHF-TV, la cual comprende las frecuencias desde 512 MHz hasta 698 MHz [1], destinadas para televisión abierta, tanto analógica como digital, se presenta que en ciertas zonas o escenarios no son utilizados algunos canales de este rango de frecuencias.

Esto puede darse por algunas razones, una de ellas puede ser que las potencias de los transmisores de los canales emitidos no tengan alcance a estas zonas, o por el escenario que pueda presentarse, ya que la señal pierde potencia por varios factores característicos de propagación de señales electromagnéticas, así como por reflexiones que afecta a la intensidad de la señal propagada, liberando algunos canales que son los denominados canales subutilizados dentro de la banda UHF-TV.

El espectro radioeléctrico es un recurso de alta importancia donde se despliegan los diferentes servicios de telecomunicaciones, estando estos en constante desarrollo o evolución tecnológica, por consecuencia, las necesidades crecen a diario por parte de las operadoras por ampliar el portafolio de servicios que poseen. Al no existir una correcta distribución de frecuencias en el espectro, provoca que este recurso intangible se agote lentamente, siendo una limitante para el desarrollo de las comunicaciones móviles.

1.4 Justificación.

Ante los problemas mencionados, se buscan alternativas de solución como son: Sistemas basados en Radio Definida por Software (SDR), Radio Cognitiva (RC) y Acceso Dinámico al Espectro (ADE) [3]. Estas soluciones buscan tener una administración eficiente del espectro y cubrir las necesidades de futuras tecnologías.

El concepto de Radio Cognitiva es una de las alternativas que tiene mayor acogida en varios países, y de la cual se han realizado estudios [3]. La ventaja

primordial de la radio cognitiva es que cuenta con capacidad de Acceso Oportunista al Espectro (OSA), es decir, es un sistema que se prevé podrá aprovechar los huecos espectrales de manera oportuna y temporal que se presenten en las bandas licenciadas, en este caso la banda UHF-TV; con la condición de que no este uso no interfiriese en la operación para la cual se destinó inicialmente estas frecuencias.

Este estudio presenta la opción de utilizar bandas en las que actualmente se esté transmitiendo otra tecnología pero que no esté siendo utilizada al máximo de su capacidad.

Durante este proyecto se evaluará la posibilidad de implementar distintas tecnologías inalámbricas en las bandas de televisión UHF-TV (512 MHz – 698 MHz) mediante equipos de fácil uso y económicamente accesibles al público en general. Para esta clase de investigaciones es común utilizar equipos de alta gama, sin embargo, la novedad del mismo es usar equipos que trabajan eficazmente en las bandas seleccionadas y son accesibles para el público en general, lo cual ayuda a que este proyecto contribuya en el desarrollo de próximas investigaciones.

1.5 Solución.

En busca de brindar servicios de telecomunicaciones de calidad y tener una adecuada implementación de tecnologías de transmisión en el espectro radioeléctrico, se analizará la disponibilidad espectral en los canales de la banda UHF-TV por medio del diseño de algoritmos, sistemas de medición y procesamiento de datos.

Este sistema realizará una adquisición de datos y posteriormente procederá a la síntesis de los mismos para caracterizar el comportamiento y estado actual de estos canales. Finalmente, en base a los datos obtenidos se procederá a

determinar la capacidad de la banda para implementar servicios de telecomunicaciones inalámbricos de manera oportunista.

1.6 Objetivos.

1.6.1 Objetivo General

- Determinar la disponibilidad espectral de los canales de la banda UHF-TV en escenario indoor de un edificio en el centro de la ciudad.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Medir los niveles de potencia dentro de una edificación de los canales de la banda UHF-TV mediante la utilización de una radio definida por software (SDR).
- Diseñar un algoritmo para determinar el estado del canal en la banda UHF-TV en un escenario indoor del centro de Guayaquil.
- Determinar la disponibilidad espectral de canales individuales y conjuntos que conforman la banda UHF-TV en un escenario indoor de un edificio en el centro de la ciudad.
- Analizar la implementación de distintas tecnologías inalámbricas en base a la disponibilidad espectral en la banda UHF-TV y de los requerimientos que deben cumplirse para ser implementados.

1.7 Metodología.

En base a los objetivos propuestos, se seguirá un plan de acción el cual tiene como primer objetivo seleccionar un edificio de una altura considerable para que de esta manera cumpla con las especificaciones establecidas para el proyecto.

Una vez seleccionado el edificio, se procederá a realizar las mediciones en el interior de cada piso, que tendrá un tiempo de duración de 7 días durante 24 horas en cada uno de los 3 pisos. Se procurará realizar estas mediciones en las

mismas condiciones espaciales para cada caso, para que la caracterización de los canales sufra la mínima desviación por las variaciones del entorno.

El edificio tiene 11 pisos, las mediciones que se realizarán serán en 3 pisos del mismo, los cuales serán en la planta baja, la planta media y finalmente en la última planta.

Los datos serán adquiridos mediante la implementación de un dispositivo Radio Definido por Software (SDR, por sus siglas en inglés), el cual será el RTL-SDR, puesto que una de las ventajas que tiene este dispositivo es su bajo costo y su flexibilidad. En conjunto con este dispositivo se utilizará la herramienta digital MATLAB para la toma de los niveles de potencia de la señal de televisión tanto analógica como digital que llegan a cada piso seleccionado del edificio.

Estas mediciones se irán almacenando tanto en base de datos como en tablas con lo que ejecutaremos un análisis de la disponibilidad de asignación de tecnologías en los 31 canales de la banda UHF-TV.

Al terminar las mediciones y tener los datos recopilados, se procederá a implementar un algoritmo que determine el estado de cada canal de la banda UHF-TV (Anexo O), haciendo uso de parámetros como la sensibilidad de los equipos para captar las señales de televisión tanto analógica como digital, así como también las potencias promedio de los canales censados, para establecer el estado de cada canal y por medio de esto, concertar si existen canales conjuntos disponibles.

Para realizar lo anterior mencionado, se obtendrá una matriz que contenga los valores de SNR de cada canal, diferenciando los escenarios frecuenciales (canal digital o analógico) y determinando un piso de ruido y nivel de señal en cada canal. Luego, se realizará una comparación variando el nivel umbral de SNR desde 4 hasta 10, determinando una matriz de disponibilidad espectral.

Finalmente, en base a los datos obtenidos se evaluará la capacidad del sistema para implementar servicios de telecomunicaciones inalámbricas, es decir, cuanto ancho de banda se encuentra disponible para desplegar servicios.

1.8 Alcance.

Este proyecto tiene como fin determinar si es factible la implementación de diferentes tecnologías inalámbricas en los canales de la banda de frecuencia UHF-TV, usando tecnología de bajo costo. Para ello se implementará un SDR (Software Defined Radio) con un RTL-SDR dongle R820T2 DVB-T sintonizador de TV conjuntamente con un algoritmo desarrollado en el Software Matlab.

Estas mediciones se realizarán en un escenario de urbano denso lo que implica una gran concentración de usuarios, sin embargo, las mediciones no se realizarán en escenario de exteriores, sino que se seleccionara un edificio de tamaño considerable, es decir, que tenga más de 8 pisos, para efectuar las mediciones en el interior del mismo, en los tres pisos seleccionados.

Estas mediciones pueden consistir en medir un piso por semana, pero para hacer un estudio más detallado y preciso del comportamiento de estos canales, se realizarán mediciones en los tres pisos de manera simultánea durante 7 días seguidos ininterrumpidamente. Se diseñará un algoritmo en MATLAB, que hará un barrido del rango de frecuencias a evaluar, por medio del cual obtendremos los valores de las potencias realizadas para el posterior análisis.

De las mediciones efectuadas y los resultados obtenidos se procederá a realizar un análisis para determinar la presencia de huecos espectrales variando el escenario de medición, a fin de establecer si se puede implementar en los mismos, tecnologías inalámbricas.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE MUNDIAL.

2.1 Introducción.

Como ya se ha detallado previamente, esta problemática se presenta en todos los países del mundo, por lo que no es causa de sorpresa encontrar que otros grupos de investigación hayan realizado estudios de tal manera que se pueda ofrecer una amplia gama de servicios de comunicaciones que requieren mayor consumo espectral. Dado esto, se comenzaron a desarrollar nuevas teorías y conceptos con el objetivo de darle un mejor uso al espectro electromagnético y brindar servicios de comunicaciones inalámbricas en entornos que sean considerados urbanos con gran concentración de usuarios.

La necesidad de mejorar el ancho de banda para garantizar la calidad de los servicios se plantea como solución a investigar conceptos más avanzados y sobre el cual se desarrollan varios estudios como son la radio cognitiva [3] y la asignación oportunista al espectro (OSA por sus siglas en inglés), que toman en consideración entre otras cosas los huecos espectrales (i.e White spaces) de bandas que están siendo usadas en la actualidad como lo son las bandas de televisión UHF-TV, sobre las cuales se ha basado el presente proyecto.

Estos conceptos de OSA y Radio Cognitiva se han venido desarrollando como propuestas para los entornos urbanos densos [19], en lo que se propone implementar tecnologías inalámbricas en los canales subutilizados de la banda mencionada con la condición de no interferir en los servicios que se encuentran operativos en canales contiguos y tener un servicio permanente de calidad.

De estos estudios se puede concertar que el concepto de Radio Definida por Software jugará un papel importante en el manejo de las tecnologías que se desarrollarán en el futuro. Sin embargo, al hablar de Radio Definida por Software

podemos hablar de equipos tanto de costo elevado como equipos de bajo costo y accesibles a todas las personas [4], como en el caso que se presenta en este proyecto.

Tal como se ha hecho en el estudio detallado en [4], estas investigaciones tienen como fin encontrar una solución que sea viable, es decir de un costo reducido y eficiente; utilizando pocos recursos con el fin de suplir las necesidades de las empresas de comunicaciones móviles [20]. La estrategia que se propone es la Radio definida por Software, en el cual se ha realizado varios estudios en diferentes universidades del mundo.

Otros proyectos como el realizado en Colombia en el 2015 por el grupo de investigación INVTEL, de la Universidad Santo Tomas, no realizaron mediciones exhaustivas de sectores del espectro, sino que definieron propuestas de diseños de sistemas de Radio Definida por Software para realizar caracterizaciones de ciertas bandas del espectro como se especifica en [20], donde se realizó una caracterización de la banda IMT del espectro radioeléctrico, y basado en los resultados obtenidos se estableció un procedimiento a seguir para poder desarrollar plataformas de Radio Definida por Software mediante el uso de sistemas USRP, en conjunto con herramientas como MATLAB y GNU Radio.

Otros de los estudios donde se analizó la disponibilidad espectral para implementar tecnologías móviles en canales de la banda de televisión fueron realizados en México, en el año 2016 por la Academia de Ingeniería en Monterrey, Nuevo León [2]. En dicha investigación se presentó la factibilidad de un sistema de comunicación de radio cognitivo que tiene como función principal usar los espacios blancos de TV para proveer servicios de banda ancha. Concibiendo un sistema para tener conectividad eficiente y la expansión del acceso de banda ancha utilizando Redes Inalámbricas de Área Regional (WRAN) bajo la norma IEEE802.22 para radios cognitivos [2].

2.2 Sistemas de transmisión de televisión usados en el Ecuador.

En la actualidad en el Ecuador se sigue planificando el proceso de apagón analógico en el cual se desea migrar las transmisiones analógicas a transmisiones digitales con lo que cesarían las emisiones de televisión analógica para dar paso únicamente a la televisión digital terrestre [1]. Esto implicaría que la población ecuatoriana en general debe adquirir un televisor que tenga el sintonizador del estándar ISDBT-Tb o ISDB-T Internacional, los cuales ya se han venido distribuyendo en el mercado ecuatoriano desde hace un tiempo atrás.

Este cambio se ha venido aplazando desde hace tiempo, ya que anteriormente estuvo previsto para finales del año 2016, por motivos dados en [1] se postergó el apagón analógico hasta finales del 2018.

Este proceso de transición ya fue llevado a cabo por países como Estados Unidos en el 2009 [2] y Japón en el año 2011 [3], además se empezó a realizar en España en el 2010 y se preveía que en América Latina empezaría en el año 2012, sin embargo, esto no se cumplió en todos los países de América Latina, como es el caso nuestro.

A pesar que se espera que el sistema de televisión usado en Ecuador sea únicamente de TDT, este proceso llevará un tiempo en completarse, principalmente debido a que no se desea afectar a los usuarios finales con un cambio brusco de transmisión [22].

Al principio, la transmisión utilizada para las señales de televisión fue la transmisión analógica, los parámetros técnicos y características que se debían cumplir venían regularizados por entidades como la actual ARCOTEL [18], que normalmente toma recomendaciones dadas por organismos internacionales como son la UIT y la NTSC.

También se establecieron normas legales para estas transmisiones siendo la más importante las bandas de frecuencias que se podían usar para la transmisión tanto analógica como digital. Se definieron bandas para televisión tanto VHF como UHF, siendo estas bandas [4], para televisión VHF la banda I, que iba desde 54 a 72 MHz y de 76 a 88 MHz, y la banda III, que iba desde 174 a 216 MHz; mientras que para televisión UHF se establecieron las bandas IV y V las cuales comprendían para la primera de 500 a 608 MHz y de 614 a 644 MHz y para la segunda de 644 a 686 MHz.

Las únicas bandas a las que se les debe de tener una consideración especial para su uso es la banda 608-614 MHz dado que esta banda (canal 37) esta atribuida a titulo primario al servicio de Radioastronomía, así como los canales 19 y 20, los cuales están reservados para el Estado ya que se utilizaran principalmente para la migración a Televisión Digital [4].

2.2.1 Televisión Analógica en Ecuador

En Ecuador, el sistema de transmisión de televisión usado es la señal analógica que es un sistema presentado por el Comité Nacional de servicios de Televisión (NTSC, por sus siglas en inglés) [5], dicho sistema ha sido empleado en América del Norte, América Central, en muchos países de América del Sur y países de Asia [5].

Este sistema de transmisión de televisión que utiliza un canal de radiofrecuencia se encuentra conformado por la portadora de audio y la de video. El ancho de banda de un canal de televisión en Ecuador es de 6 MHz es decir que utiliza el sistema M (525 líneas) [6], acatando las especificaciones técnicas por la UIT y FCC.

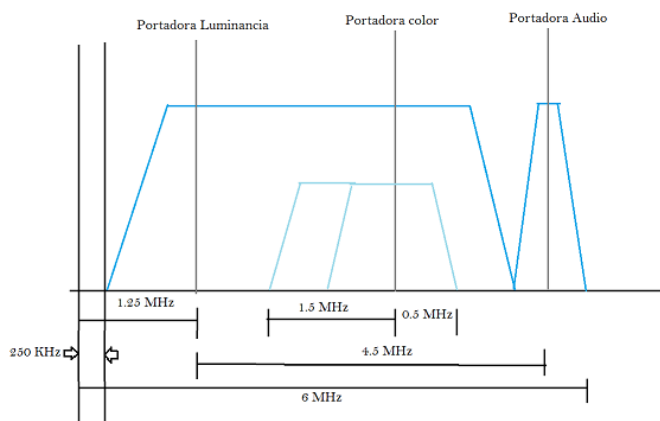


Figura 2.1: Estructura del espectro de señal de televisión NTSC.

La señal de televisión analógica se encuentra formado por dos componentes (Figura 2.1) [5]:

- Audio: Este componente solo tiene una portadora, la cual consume aproximadamente 0.25 MHz. Esta portadora es modulada en frecuencia (FM) a una distancia de 4.5 MHz de la portadora de video de acuerdo al sistema NTSC, con un rango de desviación de la frecuencia central de ± 25 KHz.
- Video: Este componente con un ancho de banda de 4.2 MHz se encuentra formado por la portadora de luminancia, color o cromancia y parámetros de sincronización. La primera portadora que es la de luminancia modulada en amplitud la cual representa la intensidad de luz en las imágenes, la segunda portadora que es la de color modulado en cuadratura indica el color de estas.

2.2.2 Televisión Digital en Ecuador

Actualmente, en Ecuador la transmisión digital mejora la imagen y sonido, con la oportunidad de ver mayor número de canales y de manera

simultánea (Figura 2.2), además de ofrecer múltiples servicios, los cuales tendrán la oportunidad de ser interactivos [7].

Es decir, existe una comunicación bidireccional permitiendo que los usuarios logren enviar información a los servidores digitales.

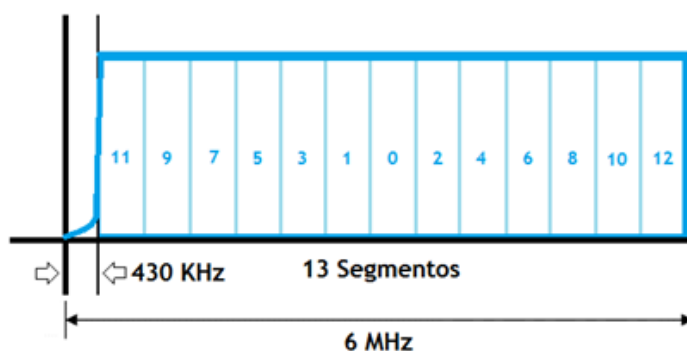


Figura 2.2: Estructura del espectro de señal de Televisión Digital Terrestre.

Es un gran paso para el país que pueda contar con este sistema de transmisión, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) adaptó el estándar de televisión digital ISDB-T INTERNACIONAL (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial) para el Ecuador mediante la resolución No. 084-05- CONATEL-2010 del 25 de Marzo de 2010 [8].

En nuestro país se tenía previsto la implementación para finales del mes de junio del 2017, pero razones dadas en [1] se tuvo que postergar para junio del 2018, se pronostica que para este tiempo se logre alcanzar al menos el 90% de la población se encuentre lista para recibir la señal digital.

Para TDT existen algunos estándares que son utilizados en diferentes partes del mundo como son [7], [5]:

- *ATSC*: Primer estándar adoptado por la FCC en 1995. Fue adoptado por México, Canadá, Estados Unidos y Corea del Sur. Existen estándares derivados para televisión digital terrestre que son: ATSC (cable), ATSC 2.0, ATSC 3.0, ATSC M/H (móvil)
- *DVB*: Estándar para transmisión digital desarrollado en Europa, se ha desarrollado varias versiones que dependen del medio de transmisión: DVB-C (cable), DVB-S (satélite), DVB-T (terrestre). Este último adoptado por más de 40 países del mundo, usado para las transmisiones de TDT.
- *ISDB-T*: Estándar con algunas características similares a DVB, desarrollado en Japón. Además de ha desarrollado versiones para (ISDB-S) satélite, (ISDB-C) cable y (ISDB-T) terrestre.
- *ISDB-Tb*: Es el estándar brasileño siendo una adaptación del japonés ISDB-T [9].

Siendo el estándar ISDB-T o ISDB-Tb implementado en Ecuador para la sintonización de TDT en el país.

2.2.3 Frecuencias atribuidas a las transmisiones

Los canales de frecuencias que se procederá a analizar son aquellos destinados para la transmisión tanto de televisión analógica como de televisión digital, y es por esta razón que para conocer cuáles son estos canales se hará uso del Cuadro Nacional de Frecuencias presentado por la Arcotel, el cual indica que para la radiodifusión de señales de Televisión se destinan los siguientes canales para cada banda (Tabla 1).

Tomando en consideración los siguientes aspectos:

- El canal 37 se encuentra reservado para la radioastronomía.
- Este estudio se encuentra destinado para los canales que se encuentran en la banda UHF-TV.

	Canal	Borde Inferior	Portadora de Video	Portadora de Audio	Borde Superior
Banda VHF (frecuencias in MHz)	2	54	55.25	59.75	60
	3	60	61.25	65.75	66
	4	66	67.25	71.75	72
	5	76	77.25	81.75	82
	6	82	83.25	87.75	88
	7	174	175.25	179.75	180
	8	180	181.25	185.75	186
	9	186	187.25	191.75	192
	10	192	193.25	197.75	198
	11	198	199.25	203.75	204
	12	204	205.25	209.75	210
	13	210	211.25	215.75	216
	Banda UHF (frecuencias in MHz)	21	512	513.25	517.75	518
22		518	519.25	523.75	524
23		524	525.25	529.75	530
24		530	531.25	535.75	536
25		536	537.25	541.75	542
26		542	543.25	547.75	548
27		548	549.25	553.75	554
28		554	555.25	559.75	560
29		560	561.25	565.75	566
30		566	567.25	571.75	572
31		572	573.25	577.75	578
32		578	579.25	583.75	584
33		584	585.25	589.75	590
34		590	591.25	595.75	596
35		596	597.25	601.75	602
36		602	603.25	607.75	608
37		608	609.25	613.75	614
38		614	615.25	619.75	620
39		620	621.25	625.75	626
40		626	627.25	631.75	632
41		632	633.25	637.75	638
42		638	639.25	643.75	644
43		644	645.25	649.75	650
44		650	651.25	655.75	656
45		656	657.25	661.75	662
46		662	663.25	667.75	668
47		668	669.25	673.75	674
48		674	675.25	679.75	680
49		680	681.25	685.75	686
50		686	687.25	691.75	692
51		692	693.25	697.75	698

Tabla 1: Distribución de la banda VHF y UHF para la televisión [6]

En junio de 2017, el ente regulador de las telecomunicaciones en Ecuador, Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), presentó un listado de estaciones de radiodifusión y televisión que se encuentran concesionadas y activas, con fecha de corte de mayo de 2017.

A partir de estos documentos se conoce cuáles son los canales de la banda UHF-TV que están siendo utilizados en la ciudad de Guayaquil, y cuáles son sus características, de las cuales se presentan algunas de ellas a continuación, considerando también que en la categoría Tipo, 'M' significa Matriz de transmisión, mientras que 'R' significa Repetidora (Anexo B).

2.2.4 Otras transmisiones de televisión (IPTV)

Ha evolucionado rápidamente los sistemas de transmisión de televisión con el propósito de brindar servicios de calidad. Desde el sistema análogo al sistema digital, siendo la digitalización una solución actual en la calidad de videos e imágenes, mejorando la experiencia televisiva que se puede ofrecer al usuario.

Los equipos de transmisión han evolucionado permitiendo la implementación de la arquitectura del Internet Protocol Television (IPTV) (Figura 2.3), esta tecnología se basa en video-streaming. La IPTV envía solo el canal requerido por el usuario, permitiendo preservar el ancho de banda en las redes. Otra de las características destacada es acceder con múltiples dispositivos a contenidos televisivos, esto quiere decir que no se limitará en observar los contenidos en la televisión, sino en un teléfono inteligente o un computador [10].

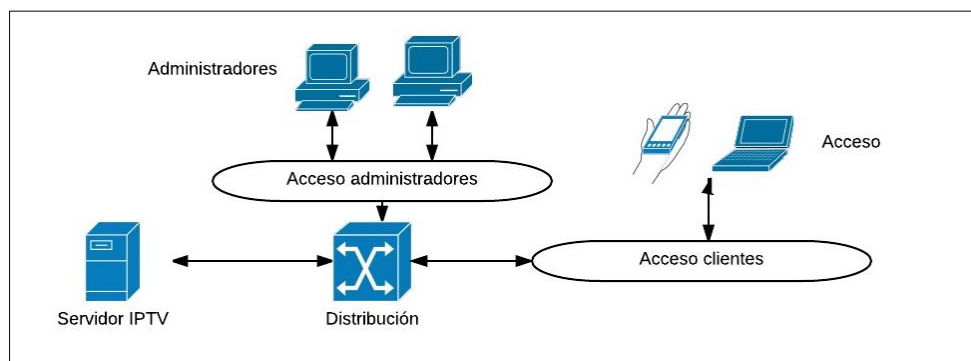


Figura 2.3: Arquitectura de IPTV [10].

2.3 Especificaciones Técnicas de los receptores para Televisión Analógica y Digital.

Para realizar el análisis de la disponibilidad espectral que tienen los canales de la banda UHF-TV, es necesario conocer cuáles son los límites o umbrales de señal para los receptores de televisión tanto digital como analógico.

Es por este motivo que se recurre al ARIB, Association of Radio Industries and Business, con el fin de conocer cuál es el umbral que establecieron para Televisión Digital Terrestre, mientras que para conocer los valores necesarios para que los receptores de televisión analógica funcionen, se hará uso de las recomendaciones dadas por la UIT para las características de los receptores de los sistemas de televisión PAL/SECAM/NTSC.

Por lo anteriormente mencionado, para la Televisión Digital Terrestre se acogerá lo establecido por la ARIB, el cual designa que las características de la unidad sintonizadora o receptor para recibir 13 segmentos o una unidad de sintonización (receptor) para recibir un segmento situado en la parte central de los 13 segmentos debe satisfacer las siguientes especificaciones:

- Nivel de entrada mínimo: -75 dBm o inferior (valor objetivo)
- Nivel de entrada máximo: -20 dBm o superior.

Mientras que para la Televisión Analógica se acata el valor determinado por la UIT (Anexo C), el cual designa que el receptor para televisión analógica debe tener como nivel de entrada mínimo -65 dBm, valor que puede variar dependiendo del país y región donde se encuentre uno (Anexo D).

2.4 Espacios Blancos de Tv en Ecuador y otros países.

En busca de tener un buen uso del espectro radioeléctrico, se ha realizado varios estudios en Ecuador con el fin de tener un incremento en la eficiencia del espectro, lo cual significaría tener un mayor número de usuarios a velocidades de datos superiores por canal radioeléctrico y una arquitectura basada en paquetes, una reducción de los costos, una gran capacidad para datos inalámbricos de banda ancha, menor latencia es decir mayor capacidad de respuesta de internet y de las aplicaciones multimedia.

Para tener la capacidad de dar el servicio de datos por medio de los espacios en blancos, se comienza con el apagón analógico en el territorio ecuatoriano y las creaciones de regulaciones por la ARCOTEL (Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones). Se plantea cubrir áreas geográficas que actualmente carecen de acceso de Red, conservando la calidad de servicio.

En Azuay se ha realizado estudios sobre la viabilidad de implementación de esta tecnología, ya que ayudaría a tener coberturas a zonas que se encuentran alejadas a una infraestructura de red [11]. La tecnología TVWS (Anexo A) es una oportunidad para las zonas rurales tener acceso una conexión inalámbrica a Internet [21], debido a que la señal UHF es una señal de baja frecuencia puede viajar sin problemas por medio de follajes y en terrenos dificultosos, sin ser necesario tener una infraestructura de comunicación desde el origen hasta el destino que se desea dar el servicio de telecomunicaciones [12].

Algunos países ya tienen un marco regulatorio que permite el uso de esta tecnología, el cual establece el comportamiento de los usuarios que utilizan las bandas no licenciadas.

Estos son los organismos que regularizan la TVWS en algunos de los países del mundo (Tabla 2).

ORGANISMO	PAÍS
BNETZA	Alemania
FICORA	Finlandia
Ofcom	Reino Unido
PTS	Suecia
FCC	Estados Unidos
KCC	Korea
iDEA	Singapore
CEPT	Unión Europea

Tabla 2: Organismos reguladores alrededor del mundo

2.5 Radio Definida por Software.

Para el desarrollo del concepto de la radio definida por software, SDR, es importante tener en cuenta la definición de los equipos radio, los cuales son definidos como un sistema o dispositivo que incorpora tecnología inalámbrica para transmisión o recepción de radiación electromagnética con fines de transferencia de información [13].

Teniendo esto presente, la radio definida por software, SDR, fue definida por el Foro SDR en conjunto con el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos,

IEEE, como un dispositivo radio en el cual parte de las funcionalidades asociadas a la capa física de comunicaciones, como son la transmisión y recepción radio, están definidas mediante software [13].

El desarrollo de la tecnología SDR, es impulsado principalmente por las aplicaciones que se le puede dar, como son entre otras:

Desarrollo de radio cognitiva: Los sistemas que cuenten con dispositivos SDR pueden analizar la disponibilidad espectral para hacer uso de espacios espectrales subutilizados. Esto significa que al notar que el usuario no hace uso de su segmento de espectro concesionado, lo toma prestado hasta que el usuario implemente alguna tecnología o haga uso de su espectro.

Uso eficiente de recursos espectrales: El SDR puede adaptar su comportamiento dependiendo de la situación o condiciones que enfrente. Teniendo la posibilidad de modificar la forma de onda usada para sacar el mayor provecho a una métrica clave. Suponiendo dos escenarios, en el primero el dispositivo contara con un bajo nivel de batería por lo que el dispositivo seleccionara una onda de baja potencia. Mientras que en otro escenario se desea descargar un archivo lo más rápido posible, entonces el equipo hará uso de una forma de onda de alto rendimiento. Al tener la posibilidad de trabajar con la onda apropiada para cada situación, las radios pueden tener un mayor rendimiento y por ende darle una mejor experiencia de usuario [14].

Enseñanza e investigación: Debido al bajo costo que representan estos equipos en general, y a las funcionalidades del mismo, estos dispositivos resultan óptimos para desarrollar estudios y análisis con una mayor fidelidad que mediante simulaciones [14].

Algunos de los dispositivos SDR disponibles en el mercado son:

- ADAT ADT
- Airspy R2/Mini
- AOR AR-2300
- Bitshark Express RX
- BladeRF
- FUNcube Dongle/DonglePro+
- Hunter SDR
- LimeSDR
- Lunaris-SDR
- RTL-SDR (R820T-RTL2832U)

Estos SDR se diferencian, principalmente en 6 aspectos:

- *Costo*: Valor económico del dispositivo.
- *Rango de frecuencias*: Rango de frecuencias que el dispositivo SDR puede sintonizar.
- *Resolución del ADC*: Calidad de la señal receptada, ya que mientras se tenga mayor resolución de ADC será mejor la captura de datos. Esto debido a que más resolución significa más rango dinámico, menor nivel de ruido, mayor sensibilidad cuando hay señales fuertes y una mejor capacidad de discernir señales débiles.
- *Ancho de banda instantáneo*: Tamaño del fragmento de RF disponible en tiempo real.
- *RX/TX*: Capacidad del dispositivo SDR de realizar recepción y transmisión.
- *Preselectores*: Presencia de filtros analógicos en el extremo frontal, “front end”, para la reducción de interferencias fuera de banda.

2.5.1 RTL-SDR



Figura 2.4: RTL-SDR DVB-T, DAB, FM SDR [13].

El RTL-SDR es uno de los dispositivos SDR más económicos presentes en el mercado (Figura 2.4), usado tanto por radioaficionados como por investigadores y desarrolladores, debido a las ventajas que posee [15].

El RTL-SDR presenta varias funcionalidades, pero la función más importante que tiene es la capacidad de escanear el espectro en un rango de frecuencia específico [14]. Debido a esta capacidad y el costo que tiene, este dispositivo también se lo conoce como “RTL2832U, DVB-T SDR, RTL dongle”, o el “Radio Definido por Software de \$20”.

De la capacidad de funcionar como un escáner de radio de banda ancha, se derivan varias aplicaciones, entre las cuales, las más importantes son:

- Analizador de espectro.
- Escáner de conversaciones de radio de trunking.
- Escuchar conversaciones no encriptadas de la Policía / Vigilantes / Ambulancia / Fuego / EMS.
- Indicador de figura de ruido.
- Aplicaciones para radio astronomía.
- Receptor y decodificador de señales GPS.
- Receptor de radio FM.
- Receptor de radio VHF amateur.

El rango de frecuencia del RTL-SDR depende del sintonizador que esté integrado en el dispositivo (Tabla 3), siendo capaz de ir desde 22 MHz hasta 2200 MHz.

Sintonizador	Rango de frecuencias
Elonics E4000	52 – 2200 MHz con una brecha entre 1100 MHz a 1250 MHz (puede variar)
Rafael Micro R820T/2	24 – 1766 MHz (Puede aumentar de aproximadamente 13 a 1864 MHz)
Fitipower FC0013	22 – 1100 MHz
Fitipower FC0012	22 – 948.6 MHz
FCI FC2580	146 – 308 MHz y 438 – 924 MHz

Tabla 3: Sintonizadores del RTL-SDR

Las demás características del RTL-SDR no dependen del sintonizador con el que cuenten, teniendo [15]:

- Resolución de ADC de 8 bits.
- Impedancia de 75 Ohmios.
- Costo aproximado de \$20.
- Capacidad de recepción, no de transmisión.
- Ancho de banda de Recepción instantánea de 3.2 MHz (2.4 MHz estable)

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA Y MODELAMIENTO.

3.1. Introducción.

De acuerdo a los objetivos, problemáticas y de los estudios realizados acerca de la disponibilidad de canales de la banda UHF-TV detalladas en los capítulos anteriores.

Este capítulo se procederá a detallar el escenario espacial y frecuencial, es decir describirá el lugar físico a realizar las mediciones y a la banda de frecuencia a evaluar. Además del procedimiento usado para la validación de los datos obtenidos, de las expresiones matemáticas en donde permiten realizar la respectiva manipulación de datos para finalmente realizar un modelamiento estadístico de acuerdo a las condiciones establecidas para la evaluación de disponibilidad de los canales.

3.2. Descripción del escenario.

Para el desarrollo de este trabajo, se procedió a realizar las mediciones en un escenario interior en una zona con gran densidad poblacional, y que cuente con edificaciones de gran tamaño, requiriendo que la altura mínima del mismo sea de 8 pisos y evaluar la disponibilidad de los canales en la banda UHF-TV, como ya se mencionó en el alcance del proyecto.

3.2.1. Escenario espacial

El edificio seleccionado se encuentra ubicado en las calles Machala 1002 y Miguel Hurtado. El edificio denominado “El Coral”, cuenta con sótano,

planta baja, mezzanine, y 9 plantas altas. Además, se encuentra rodeado de otros edificios de altura considerable (Figura 3.1).

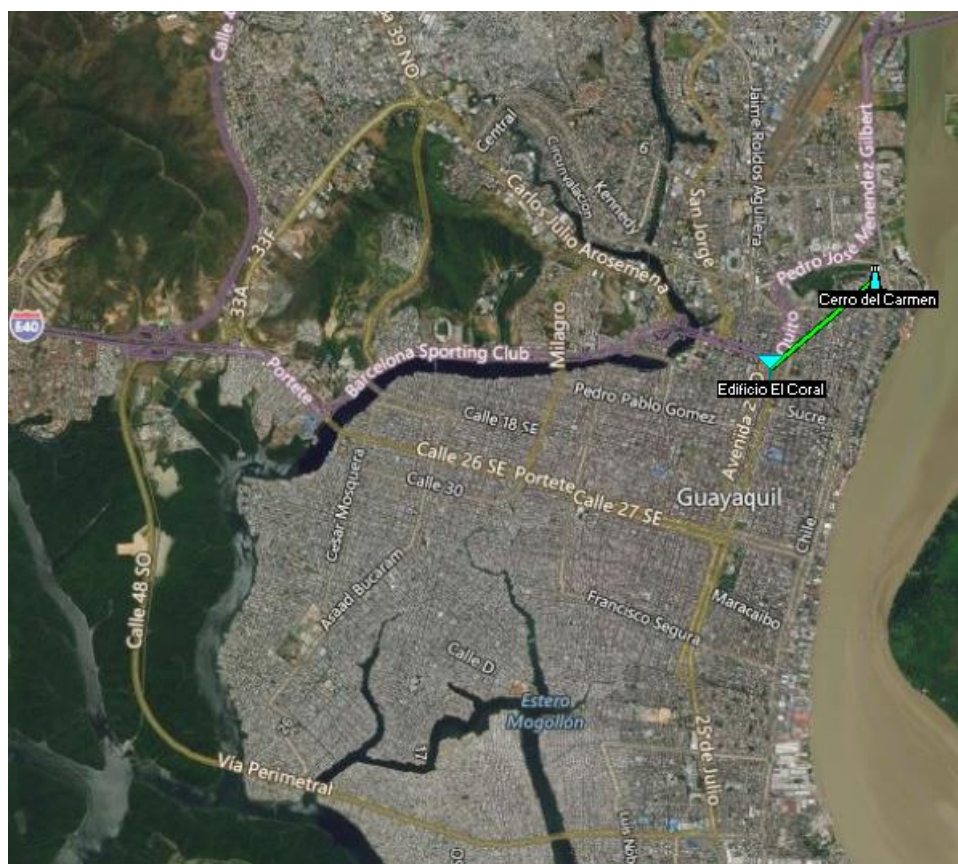
La edificación se encuentra en las coordenadas de Latitud -2.190066 , Longitud -79.890238 , lo que vendría a representar Latitud $2^{\circ} 11' 24.2''$ S y Longitud $79^{\circ} 53' 24.9''$ O (Figura 3.2 (a)), otra de las características geográficas del escenario donde se encuentra el edificio es su geografía plana, casi a nivel del mar.

La última característica resulta importante al entablar enlaces con las antenas transmisoras, que generalmente se encuentran en la punta de los cerros “El Carmen” y “Azul”.

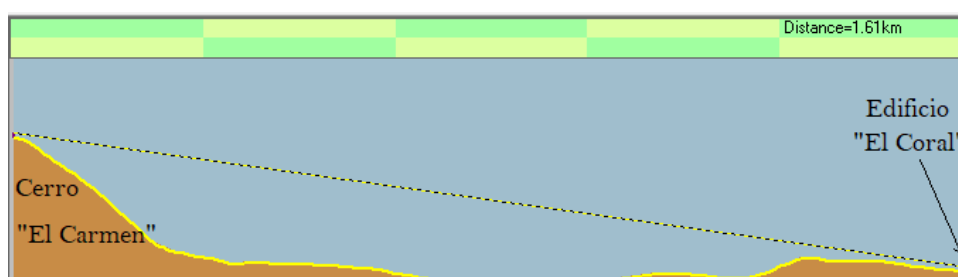


Figura 3.1: Captura del edificio “El Coral”.

El edificio se encuentra a una distancia relativamente pequeña de los transmisores de televisión digital terrestre encontrados en el cerro de “El Carmen” (Figura 3.2 (b)), los cuales se encuentran las coordenadas de Latitud -2.180564 y Longitud -79.87918 , lo que representaría $02^{\circ} 10' 50.0''$ S de Latitud, $079^{\circ} 52' 45.1''$ O.



(a)



(b)

Figura 3.2: Distancia entre los escenarios de transmisión y recepción de señal. (a) Figura obtenida de mapas satelitales, (b) Representación de la línea de vista desde el ámbito únicamente geográfico, sin considerar edificios. Fuente: Radio Mobile, 2017.

Dicho enlace tiene una distancia de separación de aproximadamente 1.62 Kilómetros, y se encuentra geográficamente sin ningún elemento que obstruya la línea de vista (Figura 3.2), sin embargo, debido a la existencia de edificios a su alrededor, la potencia recibida decae. Dado principalmente por las pérdidas de penetración de paredes, pisos, ventanas y puertas que se encuentren presente en la línea de vista.

Lo anterior nos lleva a plantearnos la hipótesis de que, en pisos más altos, donde la señal llegue de forma más directa, es decir, sin traspasar más obstáculos, se tendrá menor disponibilidad espectral, mientras que, en los pisos inferiores, donde la señal se atenúa por las pérdidas ya mencionadas se tendrá mayor disponibilidad espectral.

3.2.2. Escenario frecuencial

La banda a realizar el barrido espectral es la banda UHF-TV (512–698) MHz, que se forma con canales de 6 MHz de ancho de banda. El número total de canales dentro de esta banda especificada es de 31 canales, comenzando desde el canal 21 y terminando en el canal 51. En este segmento del espectro es posible encontrar dos sistemas de transmisión como son los sistemas de transmisión analógica y digital, sin embargo, es necesario tener como consideración especial que el canal 37 está reservado para radioastronomía [6].

Al realizar los barridos de frecuencias podemos notar que la distribución de los canales digitales y analógicos se da de forma alternada, es decir, que a lado de un canal analógico se presenta un canal digital o viceversa, comenzando como por ejemplo con el canal 21 que es de transmisión digital, el canal 22 de transmisión analógico, y en su mayoría siguiendo este tipo de distribución frecuencial. Para tener un mejor conocimiento de los sistemas establecidos en este espacio frecuencial, se hace uso del

documento de la ARCOTEL donde se indica la concesión de los canales y cuál es su rango de servicio.

El comportamiento de la máscara de un canal digital (Figura 3.3), teniendo un ancho de banda de 6 MHz lo cual considera una banda de guarda de 430 KHz, con el propósito de evitar interferencias de transmisiones con otros canales. Este sistema cuenta con la banda de guarda y 13 segmentos, los cuales tienen un ancho espectral de 428 KHz. La modulación en el canal digital es OFDM, que transmite hasta 432 portadoras por segmento moduladas con el propósito de tener una propagación de señal nítida.

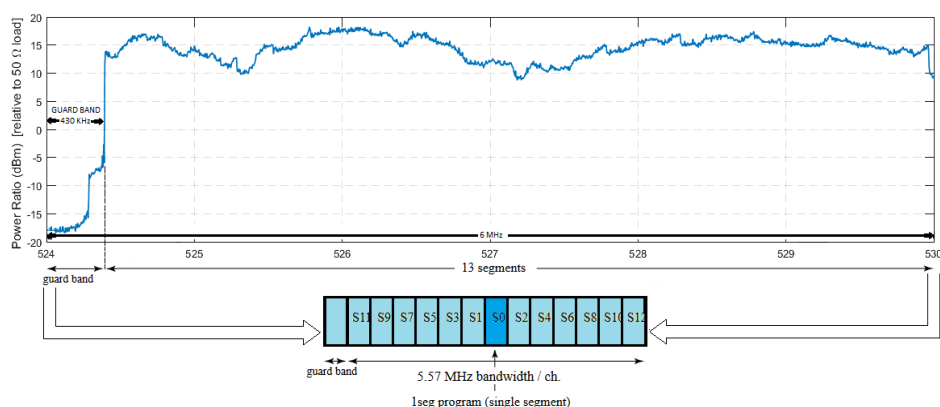


Figura 3.3: Máscara de un canal digital.

El comportamiento de la máscara de un canal analógico (Figura 3.4), que tiene un ancho de banda de 6 MHz, dentro de lo cual se encuentran 3 portadoras que son la de luminancia, cromancia y de audio. Al igual que la máscara de transmisión digital, esta máscara también cuenta con una banda de guarda de 250 KHz. Es importante denotar que en el desarrollo de este proyecto se pudo notar que la única portadora que tenía una desviación considerable era la de audio, manteniéndose dentro de los parámetros establecidos por la ARCOTEL. La señal que hemos considerado para nuestro estudio es la portadora de luminancia, ya que

es la portadora de imagen y es la de potencia más alta comparada con el resto de portadoras mencionadas.

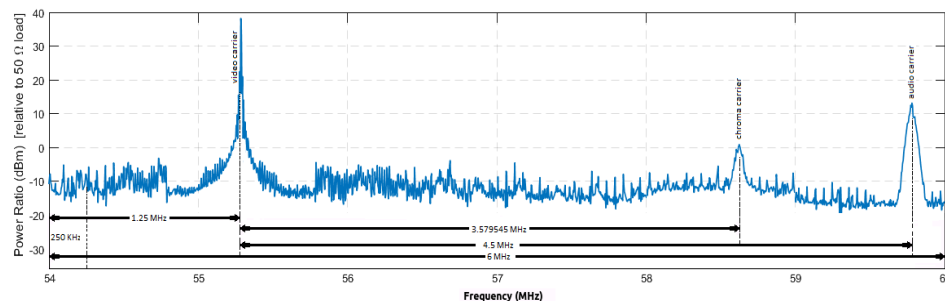


Figura 3.4: Máscara de un canal analógico.

3.3. Adquisición de datos.

3.3.1. Sistema de adquisición de datos

Para realizar la evaluación de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz dentro del escenario espacial detallado anteriormente, es necesario realizar la captura o adquisición de datos por medio de un sistema de radiofrecuencia que tenga la capacidad de obtener los datos de los canales individualmente.

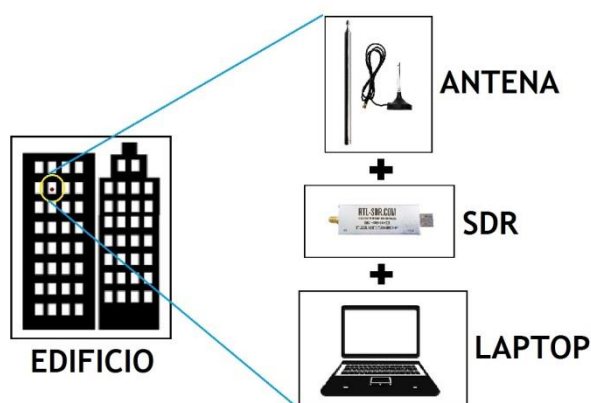


Figura 3.5: Representación del sistema de medición realizado para la toma de datos.

El esquema de medición está formado por una laptop, una antena y una Radio Definida por Software (i.e SDR) (Figura 3.5).

La Laptop permite el almacenamiento y el procesamiento de los datos de cada medición, además que por medio del software (MATLAB) instalado en el equipo se puede establecer las configuraciones y el monitoreo del barrido que se realiza por frecuencia.

Se conecta el SDR a la laptop por uno de los puertos USB's disponibles, el SDR seleccionado ha sido el RTL2832U, el mismo que permite receptor frecuencias desde 500 Khz a 1,766 Ghz con un margen dinámico de recepción.

3.3.2. Parámetros de configuración para adquisición de datos

Para la adquisición de los niveles de potencia por medio del sistema empleado se tomaron en consideración diversos factores, los mismos que dependen tanto de las características físicas del RTL como de la distribución espectral determinada por la ARCOTEL para la banda UHF-TV.

Es importante tener en consideración que cuando se varían los parámetros de configuración establecidos (Tabla 4), los valores obtenidos en las mediciones de los canales sensados variarán.

Los parámetros que se pueden variar sin interferir en el propósito del proyecto de una manera notoria son la ganancia del RTL y la frecuencia de muestreo que se tiene, a su vez el algoritmo implementado en Matlab, en base a los parámetros de configuración ingresados, realiza un cálculo para obtener otros parámetros de configuración como son el número de

sintonizaciones a realizar para completar el barrido espectral deseado, entre otros.

Parámetro	Valor
Ancho de banda UHF-TV	186 MHz (512-698 MHz)
Ancho de banda por canal	6 MHz
Canal y frecuencia inicial	21 (512 MHz)
Canal y frecuencia final	51 (698 MHz)
Número de canales	31
Frecuencia de muestreo	2 MHz
Tiempo de muestreo por canal	3,87 s
Ganancia del RTL	40 dBm
Potencia umbral	-65 dBm
SNR umbral	4 a 10 dB

Tabla 4: Parámetros de configuración

3.3.3. Procedimiento para adquisición de datos

Al contar con el sistema de medición a emplear y establecer los parámetros de medición se procedió a desplegar los equipos en los lugares físicos establecidos, es decir, los pisos donde se realizarán las mediciones.

Luego se procede a ejecutar el algoritmo de medición, el cual se mantenía ciclado en un “loop” (iteración hasta cumplir la condición de salida) (Figura 3.6), donde adquiere los niveles de potencia, al completar el barrido se guarda los datos en matrices y tablas en Matlab y Excel. Este procedimiento también se mantenía iterado por lo que se puede decir que era un “loop dentro de un loop”.

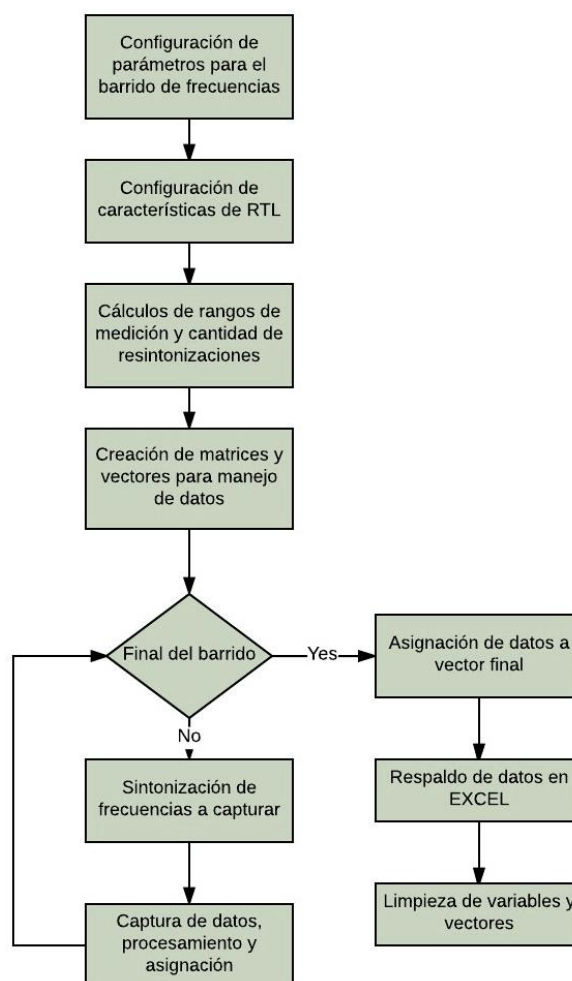


Figura 3.6: Representación del diagrama de flujo de la toma de datos.

3.4. Validación de datos con analizador de espectro.

El objetivo del presente proyecto es evaluar la disponibilidad espectral de la banda UHF-TV, sin embargo, para cumplir con nuestro cometido es necesario realizar una validación de los niveles de potencia que se obtienen por medio del sistema utilizado.

La validación de los datos obtenidos se realizará de manera experimental, haciendo uso de equipos de gama alta, cuya función y precisión vienen definidas

por sus respectivos fabricantes. Es importante notar que la validación del funcionamiento del RTL-SDR ya ha sido realizada en otros estudios, y que nos enfocaremos únicamente en obtener un margen para adicionar o disminuir los niveles obtenidos para minimizar las variaciones por las ganancias de los equipos y demás variaciones que se encuentren presentes en el sistema.

El estudio realizado en [16] demuestra que este dispositivo es una alternativa eficiente para realizar análisis espectrales en tiempo real. El procedimiento implementado para la validación de los datos que se capturaban por medio del sistema basado en el RTL-SDR, se detalla a continuación:

- 1) Mediante el uso del equipo generador RF Agilent ESG 4433B, se generó una señal a 500 Mhz con una potencia de 10 dBm, y se la transmitió por medio de una antena multibanda de ganancia unitaria.
- 2) Haciendo uso del equipo analizador espectral Agilent ESA E4404B y de una antena multibanda se adquieren los niveles de potencia a una distancia de 1 metro de la antena transmisora.
- 3) Se coloca el sistema analizador basado en el RTL-SDR a una distancia de 1 metro de la antena transmisora, considerando que ambos sistemas de adquisición deben de tener las mismas condiciones físicas, es decir, ambos tener línea de vista hacia la antena transmisora.
- 4) Los niveles de potencia adquiridos por los sistemas se guardan en una matriz de datos y se procede a repetir el experimento variando la distancia a la que se encuentran los equipos. Las distancias a las que se repiten los pasos 2 y 3 son 5 y 10 metros.
- 5) Se repetirán los pasos del 1 al 4, con la consigna de variar el nivel de potencia generado por el generador RF 4433B, de 10 dBm a 15 dBm y luego a -10 dBm.
- 6) Finalmente se repetirán estos los pasos del 1 al 5, pero variando esta vez la frecuencia a la que se transmiten las señales, siendo las frecuencias de transmisión 600 MHz y 700 MHz.

- 7) Se compararán los datos obtenidos en las matrices y en base a la diferencia entre los datos del RTL y del SDR, se obtiene una constante o valor de ganancia que adicionar para cada canal de la banda UHF-TV.

3.5. Evaluación de disponibilidad de canales.

Una vez validado los datos adquiridos detallado en inciso anterior, el procedimiento implementado para la evaluación de la disponibilidad se puede definir por medio de etapas, las cuales se detallan a continuación (Figura 3.7). Es importante recordar que para este análisis se realizó un análisis previo para simplificación de datos, el cual se explica en el siguiente punto.

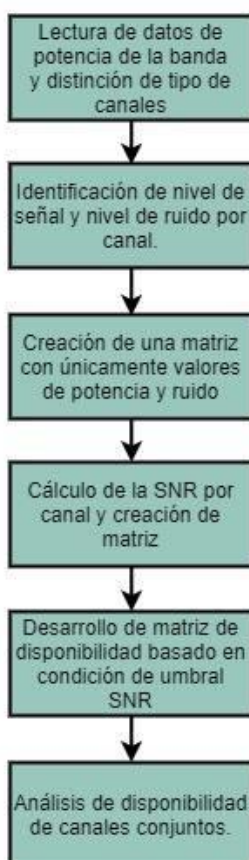


Figura 3.7: Representación del diagrama de flujo del análisis de disponibilidad.

Para la evaluación de la disponibilidad espectral por canal, es necesario tomar en cuenta la cantidad de datos obtenidos tanto por barrido como por día de medición ejecutado, además es necesario diferenciar los tipos de escenarios frecuencial que se encuentran.

Debido a esto se realiza un manejo inicial de datos donde se reducen la cantidad de datos basado en parámetros como el tipo de tecnología transmitida (TV analógica o Televisión Digital Terrestre) luego se procede a evaluar los canales con respecto a parámetros como relación señal a ruido mínima para establecer la disponibilidad de cada uno de los canales.

3.5.1. Manejo inicial de datos

Considerando el tamaño de las matrices obtenidas luego de las mediciones ejecutadas, se plantea una simplificación de los mismos, puesto que por barrido se tenían 768 datos por canal, lo que conlleva a tener 23808 datos por barrido. Esto en conjunto con la cantidad de barridos efectuados por día, que fueron 720 barridos, ya que, se efectuaban 30 barridos por hora, o un barrido cada dos minutos, dando una cantidad grande de datos. Por este motivo se reduce la cantidad de datos basándose principalmente en el tipo de escenario frecuencial presente en el canal, ya que dependiendo de esto se determina donde se encuentran las señales deseadas y como sacar el piso de ruido del mismo.

La ARCOTEL indicó la actual distribución espectral para los canales de televisión analógico y digital, con lo que nos podemos guiar para la reducción de datos, ya que como se mencionó en el capítulo 2, las máscaras de estos canales son distintas, además de que en canales analógicos nos concentraremos en las portadoras de luminancia o video.

Para todos los canales de la banda UHF-TV se desea tener dos valores, el nivel de potencia receptado y el piso de ruido del canal. Teniendo esto en consideración, para el canal digital se determina el piso de ruido sacando un promedio a los valores presentes en la banda de guarda del canal, es decir, los primeros 430 KHz, mientras que el valor de potencia receptado se obtiene al promediar los valores obtenidos en los 5.57 MHz restantes, es decir los 13 segmentos donde se transmite programación.

Esto se representaría de la siguiente manera:

$$P_X = \frac{1}{p} \sum_{i=m}^n P_i \quad (3.1)$$

Por ende, en base a lo anterior en la ecuación (3.1) para el caso de la potencia de ruido (P_N), m tomaría el valor de 1, n y p tendrían el valor de 56. Mientras que, para el caso de la potencia de señal ($P_{BS \rightarrow SDR}$), m tomaría el valor de 57, n tomaría el valor de 768 y p tendría el valor de 712.

Es de considerar además que debido a que los canales digitales no tienen variaciones en sus máscaras, para el cálculo de las demás potencias de los canales se agrega a la fórmula un factor que indique el número del canal a evaluar en la ecuación (3.2). Sin embargo, este número no correspondería al número del canal en la banda espectral, sino al orden del canal medido, representando para este caso el canal 21 el primer canal, el canal 22 representaría el canal 2 para nuestra fórmula y así consecuentemente hasta el canal 51 que representa el canal 31. Esta variable ingresará a la fórmula tomando el nombre de "ch", de la siguiente manera:

$$P_X = \frac{1}{p} \sum_{i=m+(768*(ch-1))}^{n+(768*(ch-1))} P_i \quad (3.2)$$

En el caso de un canal analógico, el valor del piso de ruido se lo obtiene promediando los valores de los primeros 750 KHz del canal, y desde la frecuencia 1.75 MHz hasta 3 MHz del canal, considerando que la frecuencia inicial del canal el inicio de la cuenta para estos valores.

Para el valor de la componente de video o luminancia, se procede a ubicarnos a 1.25 MHz del inicio del canal y buscar el valor más alto a 100 KHz desde este punto, esto debido a que se pueden presentar desviaciones en la portadora de video. Se procede a promediar los valores dentro de los 55 KHz de banda ancha, ubicando como el centro de la banda ancha la frecuencia del valor más alto encontrado.

Esto se puede expresar de una manera parecida a la del canal digital, siendo para el caso de la potencia de ruido (P_N):

$$P_N = \frac{1}{p} \left[\sum_{i=m+(768*(ch-1))}^{n+(768*(ch-1))} P_i + \sum_{f=o+(768*(ch-1))}^{q+(768*(ch-1))} P_f \right] \quad (3.3)$$

En la ecuación (3.3) al igual que en el canal digital se puede generalizar para todos los casos siendo ch el número del canal en cuestión, m tomaría el valor de 1, n tomaría el valor de 96, o tomaría el valor de 225, mientras que tomaría el valor de 384 y finalmente p tendría el valor de 256.

El factor más importante para esta reducción es que en la portadora de video o luminancia pueden darse desviaciones que afectarían si ejecutásemos un algoritmo sin considerar esta desviación, por lo que encontrar el valor central desde donde sacar el promedio se realizó

manualmente. Sin embargo, al hallar este valor de frecuencia se promedia los 38 valores anteriores al mismo, junto con los 38 valores siguientes y este valor se divide para 77.

Al completar esta reducción se obtiene 62 valores por barrido, lo que corresponde a 2 valores por canal, los cuales serían, el valor del piso de ruido y el valor de la potencia del mismo en un instante de tiempo.

3.5.2. Análisis temporal, análisis de canales individuales y adyacentes

Para la evaluación de la disponibilidad de los canales se compara el valor de la relación señal a ruido de cada canal con valores umbrales establecidos en un rango entre 10 y 4 [17].

Por ende, se procede a desarrollar una matriz en la cual se tengan los valores de la SNR de cada canal para cada instante de tiempo como se indica en la ecuación (3.4), siendo esto:

$$SNR = P_{BS \rightarrow SDR} - P_N \quad (3.4)$$

La matriz obtenida entonces tendría los valores de SNR diferenciando que cada valor mostrado es para un canal e instante específico (Tabla 5).

Ch 21	Ch 22	Ch 23	...	...	Ch 50	Ch 51
12	8	13	...	...	5	4
10	6	10	...	...	10	4
...
...
9	10	7	...	...	7	6

Tabla 5: Matriz genérica de los valores SNR para cada canal en distintos instantes de tiempo.

Posteriormente, al tener esta matriz se procede a comparar los valores de la misma con los umbrales establecidos para determinar la disponibilidad espectral como se indica en la ecuación (3.5). Por ende, por canal se obtiene uno de los dos valores que representarían el estado del canal.

$$DISPONIBILIDAD DE CANAL = \begin{cases} 1; & SNR < \lambda \\ 0; & SNR \geq \lambda \end{cases} \quad (3.5)$$

Donde el número "1" representa disponibilidad, mientras que el número "0" implica que el canal está ocupado en ese determinado instante de tiempo (Tabla 6). Teniendo una matriz del siguiente tipo:

Ch 21	Ch 22	Ch 23	...	...	Ch 50	Ch 51
1	0	1	...	...	1	1
0	0	1	...	...	0	1
...
...
1	1	0	...	...	1	1

Tabla 6: Matriz de disponibilidad de canales en distintos instantes de tiempo.

3.5.3. Análisis temporal de disponibilidad

El análisis de la disponibilidad espectral se realizará para cada instante de tiempo medido, es decir, se evaluará la disponibilidad espectral que existe en la muestra tomada cada dos minutos.

Esta evaluación considerará la cantidad de canales disponibles en el determinado instante, también se considerará la cantidad de canales conjuntos disponibles.

Basándonos en la matriz de disponibilidad que se tiene, se obtiene la cantidad de canales libres para un instante de tiempo al contar todos los valores que tengan el valor de uno como se indica en la ecuación (3.6), o

en su defecto se suman todos los valores de la fila que represente un instante de tiempo, esto ya que los valores de la misma son 1 o 0.

$$\text{Canales disponibles}_{\text{singulares}} = \sum_{i=1}^{31} V_i \quad (3.6)$$

En la ecuación (3.7) que es para los canales conjuntos, se procede a sumar siempre y cuando la condición de que el canal consecutivo esté disponible, o se puede determinar una regla que implique la suma de la multiplicación entre los canales consecutivos. En la ecuación (3.8) que equivaldría a la anterior sería la suma del valor mínimo presente entre los valores de los canales.

$$\text{Canales disponibles}_{2\text{-consecutivos}} = \sum_{i=1}^{30} V_i * V_{i+1} \quad (3.7)$$

$$\text{Canales disponibles}_{2\text{-consecutivos}} = \sum_{i=1}^{30} \text{MIN}(V_i, V_{i+1}) \quad (3.8)$$

Al replicar estas ecuaciones, acondicionando para cada caso se obtendría la cantidad de canales consecutivos que se puede llegar a tener en un determinado instante de tiempo.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DESCRIPTIVO.

El procedimiento aplicado se detalló en el capítulo 3, donde los datos adquiridos y la manipulación respectiva, da resultados que permite determinar la disponibilidad espectral en la banda UHF-TV.

Del análisis temporal de los datos, se obtiene el comportamiento espectral de la banda UHF-TV presente en los pisos elegidos. Estos comportamientos espectrales de los pisos (Figura 4.1), donde se podrán apreciar las máscaras de los canales digitales y analógicos; además de los niveles de potencia y de ruido de cada canal. Se evidencia que los comportamientos en el piso 8 y la planta baja (Figura 4.1 (a) y (c)), tienen una variabilidad en los niveles de potencia, teniendo niveles de potencia mayores en el piso 8, y niveles muy bajos de potencia en la planta baja debido a las pérdidas mencionadas en capítulos anteriores.

La mayoría de canales presentes en el piso 8 ya no se evidencian en la planta baja, esto quiere decir que a medida que se desciende a realizar la medición en el edificio los niveles de potencias de los canales se atenúan debido a pérdidas de propagación por paredes, ventanas y pisos. Mientras que en el piso 3 se observa poca variación en el comportamiento de los canales (Figura 4.1 (b)), es decir, que, si hay presencia de señales de televisión en el área, pero igualmente se evidencia disminución en los niveles de potencias comparando con los niveles de potencia en el piso 8 (Figura 4.1 (a)), es decir que los valores de potencias presentan atenuación por estar 5 pisos abajo.

Al continuar descendiendo se compara que los niveles de potencias de los canales que se presentan en la planta baja (Figura 4.1 (c)), en comparación con el piso 3 (Figura 4.1 (b)), pierden potencia, afirmando que se pierde potencia al descender en

el edificio. Los resultados que se obtienen de estas graficas serán manipuladas con el propósito de obtener y analizar el SNR de cada canal dentro de la banda UHF-TV.

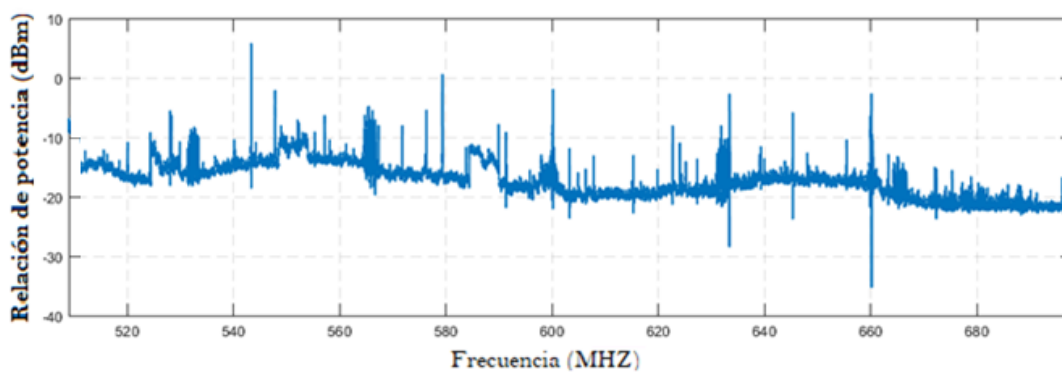
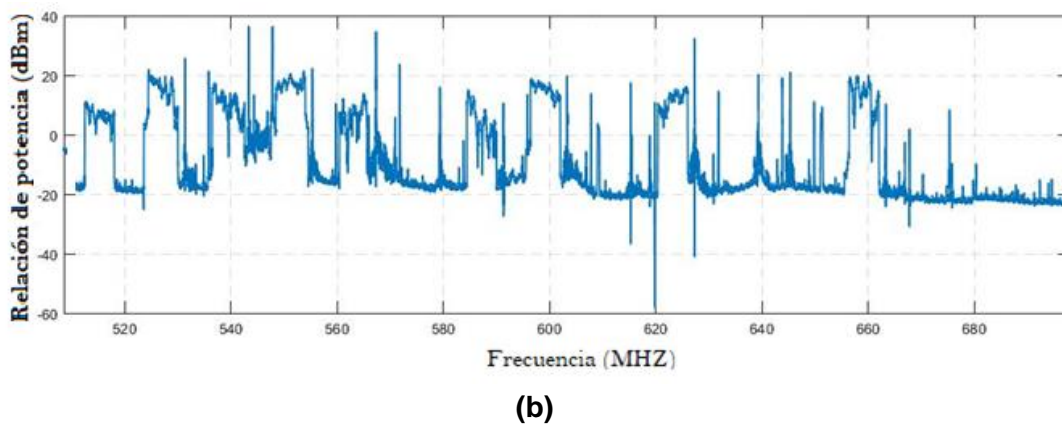
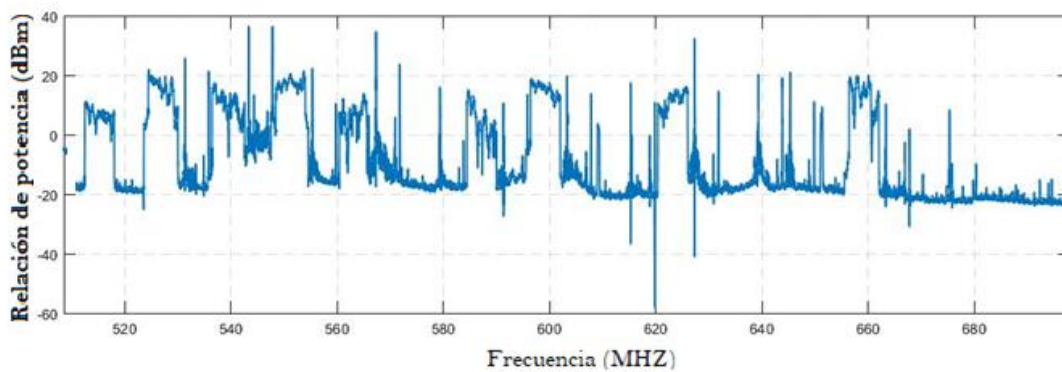


Figura 4.1: Espectro de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz de la (a) piso 8, (b) piso 3 y (c) planta baja.

Luego de tener los niveles de potencia y conocer el comportamiento espectral de los mismos, se procedió a generar una matriz que contenga los datos de la relación señal a ruido de cada canal en cada instante de tiempo.

A partir de esta matriz se procede a graficar los valores mediante un cuadro de colores (Anexo E), el cual tiene una escala de valores que va de 0 a 20, que representan de azul a rojo. Sin embargo, es importante tener en cuenta la existencia de instantes de tiempo en donde el nivel de relación señal a ruido es superior a 20 dB, pero la representación de estos valores toma el máximo valor que vendría a ser el rojo. Esto se realiza para que todos los pisos tengan la misma escala y poder hacer una comparación entre los mismos.

Al igual que en las gráficas de comportamiento espectral anteriores, se puede apreciar que la relación señal a ruido decae al pasar del piso 8 al piso 3, y finalmente a la planta baja, siendo esta última la que presenta los valores más pequeños.

Subsecuentemente, se procedió a generar las matrices de disponibilidad variando los umbrales con los que se comparan para conocer la disponibilidad espectral de los canales. Esto mediante la comparación entre la relación señal a ruido del canal con el umbral establecido y dependiendo de la relación que se presente se determinara si está disponible u ocupado el canal.

El umbral usado para la elaboración de las matrices tiene un valor de 8 dB (Anexo F), que se encuentra dentro del rango establecido por la UIT y el estudio de comparación de mediciones para determinar la ocupación del espectro usando Radio Definida por Software RTL-SDR con un acercamiento convencional de analizador de espectro [17]. Sin embargo, es importante tener en cuenta que al variar este umbral aumentará o disminuirá la cantidad de canales disponibles en cada instante de tiempo.

La interpretación de esta matriz viene dada por los colores que contiene la misma, y que representan los valores 1 y 0 (Anexo F). Como se indica en la leyenda que la acompaña el color negro indica que el canal está ocupado, mientras que el color blanco

indica que el canal está disponible.

Al igual que en las gráficas anteriores, se puede apreciar una variación en los comportamientos al descender de piso, siendo en este caso que la disponibilidad aumenta al pasar del piso 8 al piso 3, y finalmente a la planta baja, siendo esta última la que presenta la mayor disponibilidad.

4.1 Modelamiento estadístico de canales singulares.

Al terminar la adquisición y procesamiento de los datos conseguidos de acuerdo con la metodología aplicada en el presente proyecto, se ha logrado determinar la disponibilidad canales para cada piso variando el umbral de SNR.

Se ha logrado determinar la disponibilidad espectral por piso (planta baja, piso 3 y piso 8) (Anexo G), el mismo que representa el comportamiento de disponibilidad de los 31 canales por piso para diferentes umbrales de SNR del edificio ubicado en una zona de alta densidad urbana en un tiempo determinado.

Para determinar la disponibilidad por piso se ha variado los umbrales de SNR (SNR=4;6;8;10) con el propósito de observar el comportamiento de disponibilidad en los diferentes escenarios frecuenciales (Anexo G). La CDF en el piso 8 tiene distintas curvas que representan la disponibilidad de canales de acuerdo a los umbrales de SNR, donde se aprecia que para umbrales de SNR=4 y SNR=6 hay poca disponibilidad de canales, caso contrario se observa para umbrales de SNR=8 y SNR=10 donde la disponibilidad de canales aumenta, llegando a tener para el umbral de SNR=10 la mayor disponibilidad de canales con una media de 9 canales disponibles, esto significa que 54 MHz de espectro se encuentra disponible para implementar un futuro servicio.

De igual manera la CDF en el piso 3 se observa gráficas de disponibilidad, con la diferencia que para los distintos umbrales de SNR la disponibilidad aumenta a diferencia de la disponibilidad del piso 8, para el umbral de SNR=10 también existen el mayor número de canales disponibles siendo la media de 11 canales, queriendo decir que 66 MHz pueden ser utilizados en el espectro.

Para el análisis con la CDF en la planta baja se observa el comportamiento de disponibilidad para diferentes umbrales de SNR, donde la disponibilidad de canales aumentan comparados en los pisos anteriores descritos, teniendo una media de 19 canales para el umbral de SNR=4, una media de 28 canales para el umbral de SNR=6 y para los umbrales de SNR=8 y SNR=10 una media de 30 canales, esto quiere decir que la mayor parte de la banda UHF-TV (512-698)MHz establecida se encuentra disponible esto se debe debido a que la planta baja del edificio es un cuarto bien cerrado donde las señales se atenúan considerablemente ya llegando al receptor con muy baja potencia resultando complicado sintonizar los canales de la banda UHF-TV.

Para el modelamiento estadístico de los datos se emplea la Normal debido a que los datos cumplen con la característica de esta distribución (Figura 4.2), donde se detalla en la curva en azul el comportamiento experimental de los datos teniendo de una forma idealizada un comportamiento de una acumulada normal, que ayuda a determinar la disponibilidad de canales probabilísticamente. La CDF permite obtener el porcentaje de probabilidad de tener un cierto número de canales disponibles en un tiempo momentáneo de acuerdo con el escenario establecido (Anexo H).

Para el manejo de la función de densidad probabilidad, PDF, se realizó un proceso similar al seguido para el modelamiento de la CDF, haciendo comparaciones entre modelos estadísticos con nuestros datos empíricos, estableciendo que el modelo que presentaba una mayor similitud en su comportamiento y valores es el modelo de probabilidad normal.

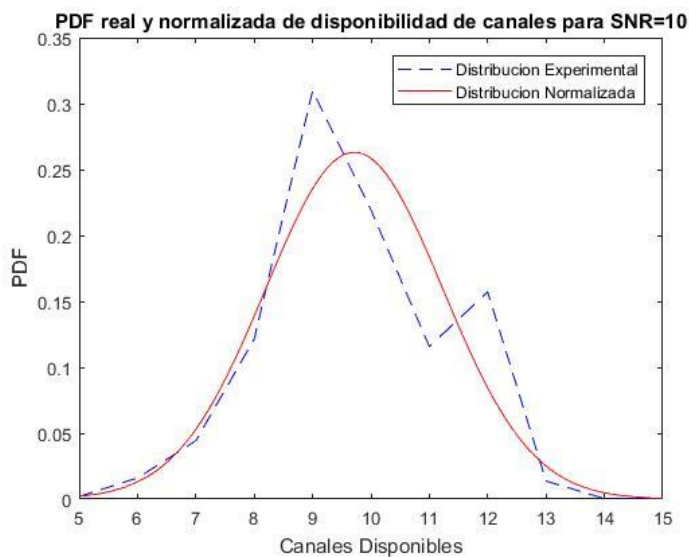
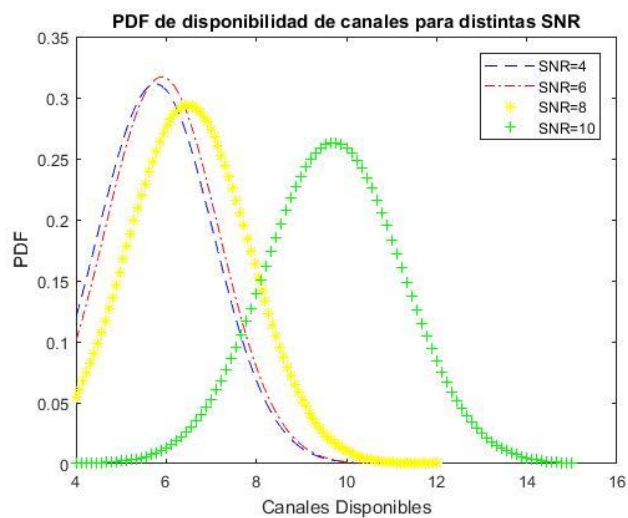


Figura 4.2: Modelamiento estadístico para umbral de SNR=10 en piso 8.

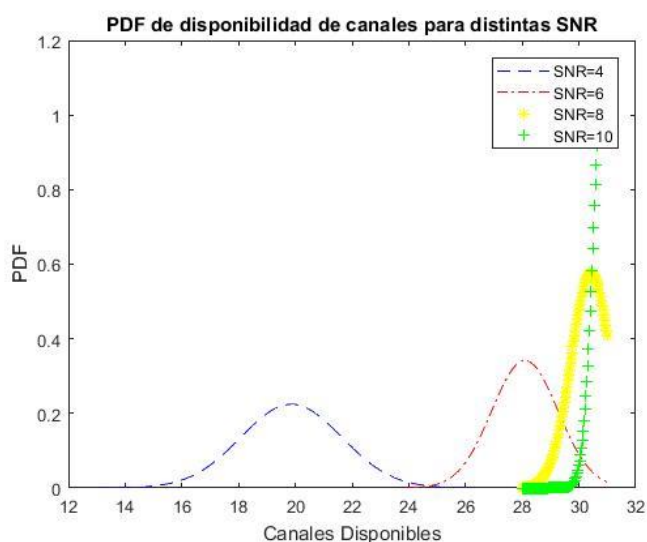
A partir de esta distribución se puede hacer análisis comparativos entre los distintos niveles de umbral que se establecían e incluso entre los pisos en los que se realizaron las mediciones.

Los modelos de distribución estadísticas nos permiten además tener conocimientos de valores como media, varianza, desviación estándar para continuar con análisis sobre los comportamientos de los mismos. Al igual que para la CDF se realizan las comparaciones al variar los niveles de umbral para cada piso (Figura 4.3).

A partir de los datos modelados podemos apreciar que al aumentar el nivel umbral el número de canales disponible para cada instante de tiempo incrementa, sin embargo, lo que es más notorio es que al descender de piso la disponibilidad aumenta. Esta variación en los niveles de señal de la planta baja se debe a diversos factores, como se ha mencionado anteriormente como son las pérdidas por penetración de pisos y paredes y por el escenario que presentaba la planta baja.



(a)



(b)

Figura 4.3: PDF de disponibilidad de canales para distintas SNR (a) del piso 8, (b) planta baja.

Se puede apreciar que en el piso 8 (Figura 4.13 (a)), la máxima cantidad de canales que se tienen disponibles en un instante de tiempo puede oscilar entre 6 y 10 (5.7679 y 9.7141) canales, esto al variar el nivel umbral para determinación de existencia de señal.

Así mismo, se aprecia que para el piso 3 (Anexo H), la máxima cantidad de canales que se tienen disponibles en un instante de tiempo puede oscilar entre 7 y 11 (6.7960 y 11.1341), esto al variar el nivel umbral para determinación de existencia de señal.

Sin embargo, la disponibilidad que se presenta en la planta baja (Figura 4.3 (b)), es mucho mayor que la que se tiene en los demás pisos, esta disponibilidad indica que la máxima cantidad de canales que se tienen disponibles en un instante de tiempo puede oscilar entre 20 y 31 (19.8598 y 30.8611) canales, esto al variar el nivel umbral para determinación de existencia de señal.

4.2 Modelamiento estadístico de canales contiguos.

Al igual que para canales simples, es importante considerar cuantos canales contiguos se pueden llegar a tener en un instante de tiempo, con lo cual podemos llegar a conocer que tecnologías se pueden implementar en estos espacios.

Por este motivo se han desarrollado análisis de disponibilidad para 2, y 3 canales conjuntos en los pisos 8, 3 y la planta baja, lo anterior debido a que cuando se realizan análisis para una mayor cantidad de canales conjuntos la probabilidad es inferior al 1%, siendo nula en la mayoría de casos.

Sin embargo, para la planta baja se realizaron una mayor cantidad de análisis llegando hasta 6 canales conjuntos (Anexo N), la causa de lo expuesto anteriormente es principalmente que los niveles de potencias son inferiores comparados a los demás pisos.

De los análisis mencionados se muestra el modelamiento para canales conjuntos variando el SNR, en la planta baja, debido a la gran disponibilidad espectral en la banda UHF-TV que se ha obtenido como resultado de la adquisición de datos:

Para 2 canales conjuntos (Figura 4.4):

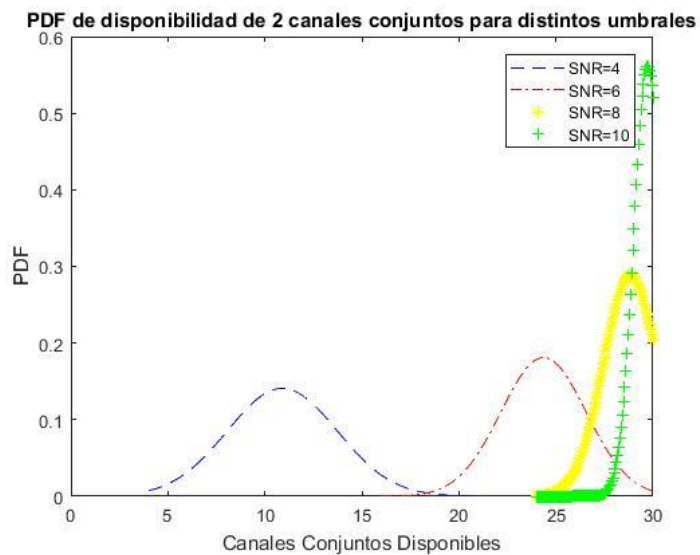


Figura 4.4: PDF de disponibilidad de 2 canales conjuntos para distintas SNR de la planta baja.

Para 3 canales conjuntos (Figura 4.5):

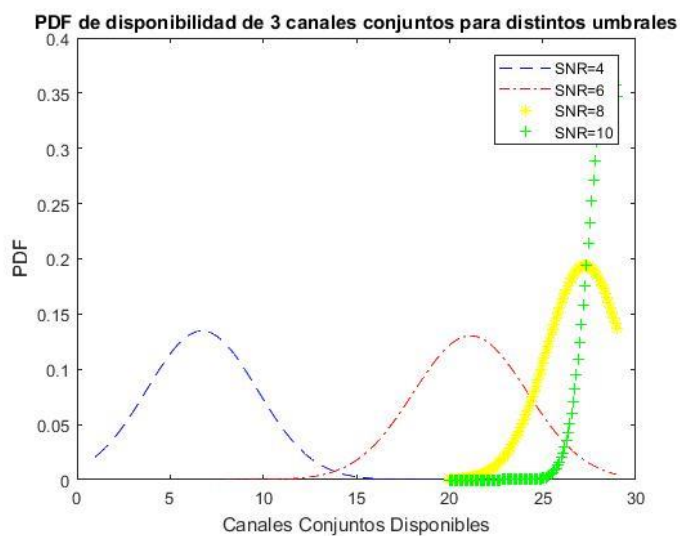


Figura 4.5: PDF de disponibilidad de 3 canales conjuntos para distintas SNR de la planta baja.

Para 4, 5 y 6 canales conjuntos en la planta baja (Anexo K).

Mediante las evaluaciones anteriores, y las gráficas obtenidas se ha logrado determinar la disponibilidad espectral de 2 canales conjuntos (Figura 4.4) y 3 canales conjuntos (Figura 4.5) para la planta baja. Además de modelar estadísticamente el comportamiento para el resto de los pisos para 2 canales conjuntos (Anexo I) y 3 canales conjuntos (Anexo J), donde se representa la función de densidad de probabilidad de la disponibilidad conjunta de los 31 canales por piso para diferentes umbrales de SNR del edificio ubicado en una zona de alta densidad urbana en un tiempo determinado.

La PDF de disponibilidad de canales para distintos umbrales de SNR de la planta baja (Anexo K), pero variando la cantidad de canales conjuntos de 4 canales, 5 canales y 6 canales. Al igual que en los canales singulares, para determinar la disponibilidad por piso se ha variado los umbrales de SNR ($SNR=4;6;8;10$) con el propósito de observar el comportamiento de disponibilidad en los diferentes escenarios frecuenciales.

Adicional al análisis para la función de densidad de probabilidad (PDF), se realizó la función de distribución acumulada (CDF) en los mismos escenarios que los efectuados para el análisis anterior, donde:

La CDF para 2 canales conjuntos (Anexo L), 3 canales conjuntos (Anexo M) en todos los pisos y para 4, 5 y 6 canales conjuntos en la planta baja (Anexo N).

El análisis anterior nos permite conocer la probabilidad de tener hasta una cantidad de canales conjuntos disponibles en un instante de tiempo, como por ejemplo en la CDF del piso 8 para 2 canales conjuntos se observa una probabilidad del 60% que existan hasta 4 grupos de 2 canales conjuntos disponibles (Figura 4.6), lo cual indica que se pueden usar 4 espacios espectrales de 12 MHz, pero es importante recalcar que estas graficas también se refieren tener menos de las mismas, y que 2 canales conjuntos distintos pueden referirse

a los conformados por los canales singulares 4 y 5, como 5 y 6, es decir que sean 3 canales conjuntos pero al separarse puedan considerarse como dos.

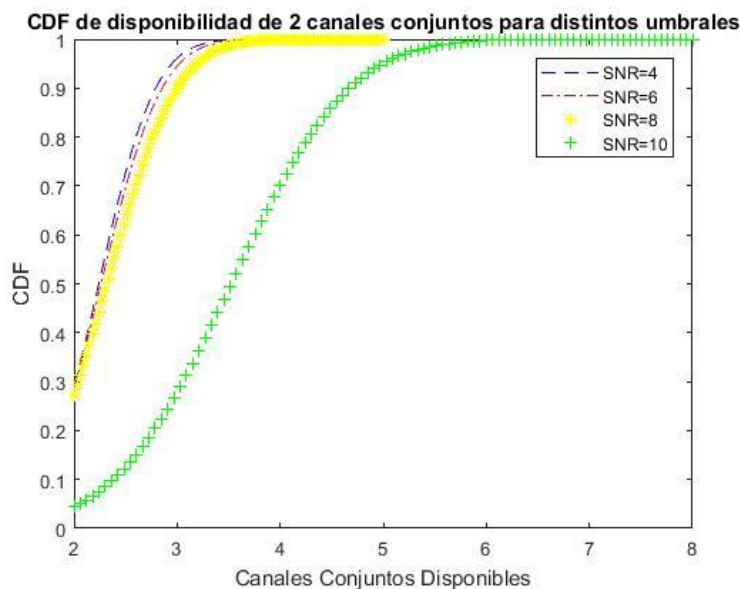


Figura 4.6: CDF de disponibilidad de 2 canales conjuntos para distintas SNR del piso 8,

De los esquemas anteriores se puede definir que la cantidad de canales conjuntos que se pueden obtener en los pisos 8 y 3 solo son de 2 y 3 canales singulares, pero que en la planta baja se puede llegar a tener hasta los 31 canales disponibles en un instante de tiempo.

Además de aumentar la probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos al descender de pisos en el edificio, por ende, las limitantes de tecnologías inalámbricas que se den en el piso 8 debido a ocupación de espectro van disminuyendo a medida que se desciende.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró la captura de los niveles de potencia de cada canal de la banda UHF-TV por medio del RTL-SDR de forma eficaz, con lo cual se realizó el análisis del comportamiento espectral en los pisos del edificio que se estableció desde el inicio del proyecto.

Existe mayor disponibilidad espectral en la banda UHF-TV a medida que se descende en el edificio, debido principalmente a las pérdidas por penetración de pisos y paredes y por las reflexiones que en el trayecto de la señal se presentan provocando la anulación de la misma.

Al establecer un nivel umbral de SNR de 4 dB, en promedio existen 6 canales disponibles, lo cual representa 30 MHz subutilizados en el piso 8, de los cuales 3 de ellos son contiguos lo que equivale a obtener 18 MHz. Esta disponibilidad resulta óptima para implementar nuevos servicios de telecomunicaciones basados en sistemas de radio cognitiva. Además, en el piso 3 y planta baja, la disponibilidad promedio es de 7 y 20 canales respectivamente.

Es importante recalcar que al escoger el umbral más alto de SNR, 10 dB, la disponibilidad aumenta tanto que incluso en la planta baja existe una disponibilidad casi total del espectro en la mayoría del tiempo siendo la disponibilidad promedio de los 31 canales analizados.

Se realizó el diseño de algoritmos para las diferentes etapas del proyecto y con el mismo se procedió a realizar la evaluación espectral para determinar en primer lugar la presencia de huecos o espacios espectrales en la banda UHF-TV, y la probabilidad de tener un determinado ancho de banda libre en un tiempo determinando, con lo que finalmente se demuestra la posibilidad de implementación de tecnologías basadas en OSA.

Este proyecto es una aportación al comportamiento espectral en un escenario de interiores en una zona urbana densa de Guayaquil, para que futuros estudiantes o profesionales puedan tener un conocimiento previo o puedan recopilar más trabajos y de esta manera sea posible establecer un modelo estándar para

determinar la probabilidad de disponibilidad de canales en la banda UHF-TV en el presente escenario.

Se evidencia que la liberación de frecuencias en la banda UHF-TV debido a la migración de sistemas por parte de los canales televisivos, de sistemas analógicos a sistemas de transmisión digital terrestre es una ventaja que representa un aporte importante para el desarrollo de los servicios de telecomunicaciones en el país, permitiendo la competitividad de las Pymes situadas en el mercado.

Para tener una mayor precisión en el comportamiento de los canales es recomendable aumentar el tiempo de medición, y comparar el comportamiento del canal en los mismos días para identificar comportamientos del espectro en el escenario interior seleccionado.

Al desarrollar investigaciones de este tipo es importante tener en cuenta las características del edificio, como pueden ser el material con el que están contruidos, las dimensiones de las paredes y pisos, grosor de los mismos, y verificar que los pisos de la edificación tengan características similares para lograr hacer proyecciones y determinar constantes de atenuación de la señal al pasar de un piso a otro.

Así como se recomienda incrementar los lapsos de medición para tener mejor precisión en las mismas, se debería variar las ubicaciones o instalaciones, siempre y cuando se cumplan las mismas características con lo cual se podría comparar los valores y determinar el comportamiento del espectro en el entorno.

Para investigaciones que mantengan la línea de trabajo con equipos RTL es importante considerar la eficacia del equipo en diferentes condiciones físicas como la temperatura tanto del ambiente como del equipo, el tiempo que el equipo puede funcionar de manera continua sin presentar fallas o pérdida de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. F. ". Universo", "Cambio de televisión analógica a digital en Ecuador se aplazó hasta el 2018", 12 Junio 2017.
- [2] R. U. Garcia, "Un largo camino hacia la liberación de espectro", *TELOS*, pp. 41-49, 2009.
- [3] B. N. o. t. M. o. I. A. a. C. (MIC), "Japan Completed Analog Switch Off in Terrestrial Television Broadcasting Successfully," *MIC COMMUNICATIO S NEWS*, vol. 22, pp. 1-3, 29 July 2011.
- [4] C. N. d. R. y. T. (CONARTEL), "NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE CANALES (Resolución No. 1779-CONARTEL-01)," 2001..
- [5] C. P. Vega, "Introducción a los Sistemas Transmisores de TV,» de *Transmisión de Televisión*", 2005, pp. 1-34.
- [6] A. D. R. Y. C. D. L. T. (ARCOTEL), "NORMA TECNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSION TELEVISION ANALOGICA," 2015.
- [7] J. B. Carrillo Auquilla y D. D. Freire Riera, "DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE CON LA NORMA ISDB-Tb,» de *PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES - ELECTRÓNICA Y REDES DE INFORMACIÓN*", Quito, 2014.
- [8] C. N. D. T. (CONATEL), "RESOLUCIÓN 084-05-CONATEL-2010," 2010.
- [9] L. C. D. Javier, "Características y Funcionalidades de la Televisión Digital para ser aplicadas en el Ecuador", Quito, Ecuador.

- [10] C. BORJA y D. PEÑA, "ANÁLISIS E IMPACTO DE LA INCORPORACIÓN DE IPTV SOBRE UNA RED GPON", UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA CUENCA, CUENCA, 2014.
- [11] J. L. D. L. F. G. J. P. I. Oswaldo S. Peñaherrera, "TV White Spaces. A Case Study in Ecuador", *IEEE*, pp. 198-203, 2017.
- [12] P. Flynn, "White Space – Potentials and Realities", *TEXAS INSTRUMENTS*, pp. 1-7, 2013.
- [13] S. FORUM, "SDRF Cognitive Radio Definitions", 2007.
- [14] E. Grayver, "Implementing Software Defined Radio", Springer, 2012.
- [15] FORUM, "RTL-SDR.COM", 2017. [En línea]. Available: <https://www.rtl-sdr.com/>. [Último acceso: 25 Agosto 2017].
- [16] M. M. I. Md. Habibur Rahman, "A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit using", *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering*, pp. 185-188, 2016.
- [17] N. R. M. M. M. A. & M. Z. A. Fanan, "Comparison of Spectrum Occupancy Measurements using Software Defined Radio RTL-SDR with a Conventional Spectrum Analyzer approach.", *23rd Telecommunications forum TELFOR 2015*, pp. 200-203, 2015.
- [18] A. d. R. y. C. d. I. T. (ARCOTEL), "REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ORGANICA DE TELECOMUNICACIONES," 2016
- [19] I. H. Paz Penagos, I. M. C. Bohórquez, I. D. E. Rodríguez, I. D. O. Maldonado y I. L. Sánchez, "Tecnología radio cognitiva en la banda ultra high frequency (UHF)", *Tecnura*, vol. 18, nº 39, pp. 138-151, 2014.
- [20] M. M. Espinoza Buitrago, I. V. Castro Ramírez, I. I. Díaz Pardo, I. M. Gonzáles Moreno, I. C. Villate Barrera y I. G. Roncacio Q., "Propuesta de diseño de un

radio definida por software para la caracterización de la banda IMT", *Colombiana de Tecnologías Avanzada*, vol. 2, nº 26, pp. 48 - 53, 2015.

[21] C. V. Rosales, "La explotación de espacios blancos de televisión en México", *Academia de Ingeniería*, p. 26, 2016.

[22] P. F. S. Jácome, Artist, "*Análisis de los estándares de televisión digital terrestre (TDT) y pruebas de campo utilizando los equipos de comprobación técnica de la superintendencia de telecomunicaciones*", Escuela Politécnica Nacional Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones.

ANEXOS

ANEXO A: ABREVIATURAS

ABNT: Asociación Brasileña de Normas Técnicas

ARIB: Association of Radio Industries and Businesses

ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones

ATSC: Comité de Sistemas de Televisión Avanzada (Advanced Television Systems Committee), estándar de televisión digital adoptado en Canadá, México, Estados Unidos y Corea del Sur.

BW: Ancho de Banda

CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones

dB: decibelio

dBd: decibel relativo al dipolo de media onda

dBuV/m: decibel relativo a 1 micro Voltio/metro

DVB: Radiodifusión de video digital (Digital Video Broadcasting), estándar de televisión digital desarrollado en Europa.

DTMB: Television Multimedia Broadcasting (Digital Terrestrial/ Television Multimedia Broadcasting), estándar de televisión digital desarrollado en la República Popular China

FCC: Federal Communications Commission

FEC: Corrección de errores hacia adelante (Forward Error Correction)

Hz: Hertzio (ciclo/segundo)

ISDB-T: Radiodifusión Digital Terrestre de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Broadcasting -Terrestrial), estándar de televisión digital desarrollado por Japón.

ISDB-Tb: la b indica las modificaciones al estándar hechas en Brasil

kHz: kilo Hertz

kW: kilo Vatio

M.E.R.: Tasa de Error de Modulación

MHz: Mega Hertz

mW: mili Vatio

NTSC: Comité del Sistema Nacional de Televisión (National Television System Committee), estándar de televisión analógica.

OSA: Acceso al espectro de manera oportunista

OFDM: Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

P.E.R.: Potencia Efectiva Radiada

QAM: Modulación de amplitud en cuadratura (Quadrature Amplitude Modulation)

RF: Radiofrecuencia (Radio-Frequency)

SDR: Radio definido por Software

TDT: Televisión Digital Terrestre

UHF: Ultra alta frecuencia (Ultra High Frequency)

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

uW: micro Vatio

VHF: Muy alta frecuencia (Very High Frequency)

W: Vatio.

ANEXO B: LISTA DE LAS TELEVISORAS ABIERTAS DE GUAYAQUIL

Categoría	Nombre Estación	Canal	Tipo	Enlace
TELEVISION ABIERTA	CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION	2	M	LINEA FISICA
TELEVISION ABIERTA	RED TELESISTEMA (R.T.S)	4	M	RADIOELECTRICO/S ATELITAL
TELEVISION ABIERTA	TELEAMAZONAS GUAYAQUIL	5	M	LINEA FISICA
TELEVISION ABIERTA	ECUADOR TV	7	R	SATELITAL
TELEVISION ABIERTA	TELEVISION DEL PACIFICO	8	R	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	10	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	TELEVICENTRO -TVC (CANAL 5 VHF)	11	R	ENLACE DEDICADO PUNTO A PUNTO
TELEVISION ABIERTA	CANAL UNO	12	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	ECUADOR TV	21	R	SATELITAL
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION	23	M	LINEA FISICA
TELEVISION ABIERTA	CANELA TV	24	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	RED TELESISTEMA (R.T.S)	25	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	TV+ (TEVEMAS)	26	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TELEAMAZONAS GUAYAQUIL TV DIGITAL	27	M	LINEA FISICA
TELEVISION ABIERTA	ASOMAVISION	28	R	RADIOELECTRICO
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TC TELEVISION	29	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	COSTANERA TV (RTU)	30	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	TELERAMA	32	R	RADIOELECTRICO

TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	CANAL UNO	33	M	ENLACE RADIOELECTRICO/ DEDICADO
TELEVISION ABIERTA	CANAL INTIMAS	34	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TV+ (TEVEMAS)	35	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	TELEVISION SATELITAL	36	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	RED TV ECUADOR	38	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TELEVISION SATELITAL	39	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	ESPOL TV	40	M	ENLACE DEDICADO PUNTO A PUNTO
TELEVISION ABIERTA	UCSG TELEVISION	42	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	EDUCA	43	R	ENLACE DEDICADO/ENLACE SATELITAL
TELEVISION ABIERTA	CARAVANA TELEVISION	44	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION ABIERTA	ABC TV	46	M	RADIOELECTRICO
TELEVISION DIGITAL TERRESTRE	TELEVISION DEL PACIFICO	47	R	ENLACE DEDICADO PUNTO A PUNTO
TELEVISION ABIERTA	EL CIUDADANO TV	48	R	SATELITAL

B.1: Resumen del listado de estaciones de televisión abierta para la ciudad de Guayaquil

ANEXO C: RENDIMIENTO DEL RECEPTOR PARA RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

Características de la unidad sintonizadora

La unidad sintonizadora para el receptor debe ser capaz de recibir las bandas de frecuencia asignadas para la radiodifusión de televisión digital terrestre (C.1)

Canal de Transmisión	Frecuencia Central
UHF ch 13	473 + 1/7 MHz
UHF ch 14	479 + 1/7 MHz
UHF ch 15	485 + 1/7 MHz
...	...
UHF ch 61	761 + 1/7 MHz
UHF ch 62	767 + 1/7 MHz

C.1: Asignación de frecuencias centrales de los canales de transmisión

Para la radiodifusión analógica terrestre, la proporción de hogares atendidos por la recepción comunitaria (para estructuras de unidades múltiples) es actualmente casi la mitad de todos los hogares, y se prevé que esta proporción continúe aumentando. Dado que las bandas utilizables para muchas de estas instalaciones de cable no cubren hasta la banda UHF, los canales UHF se convierten a canales vacíos en los canales VHF, MID y SHB. Entonces se espera que el rango de frecuencia de recepción cubra las bandas de frecuencias mostradas, para los receptores, en particular los receptores estacionarios, que pueden usar para la recepción de la comunidad.

Debido a que aún no se han determinado los detalles del uso de la banda VHF después de la terminación de la radiodifusión analógica el 25 de julio de 2011, la posible interferencia de la onda de radio utilizada para los servicios de radiodifusión (excluyendo la televisión) y los servicios móviles (telecomunicaciones, uso público, uso de negocios en general) en la banda VHF se refiere a la retransmisión que implica la conversión de frecuencia en la banda VHF.

Métodos de medición

Las mediciones del nivel de entrada y la relación de protección deben realizarse utilizando los respectivos sistemas de medición especificados a continuación

- Para una fuente de señal digital, se debe utilizar un generador de señal estándar con una relación C / N de 40 dB o más.
- Para las mediciones de la relación de protección, el nivel de entrada de la onda deseada (digital) debe ser lo suficientemente alto como para asegurar una relación C / N de 35 dB o más para la interferencia co-canal. Para la interferencia de canal adyacente, el nivel de entrada de la onda deseada (digital) al receptor debe ser -65 dBm.
- Para la señal analógica debe utilizarse un patrón de prueba de la barra de colores para la señal de vídeo y audio monoaural de 1 kHz con 100% de modulación para la señal de audio.
- El nivel fuera de banda de la fuente de señal (es decir, un nivel fuera de la anchura de banda de un canal de 6 MHz) debe ser de -60 dB o menos. El nivel fuera de banda de la señal analógica NTSC debe ser -70 dB o menos en comparación con el nivel de pico de la señal de vídeo, con el fin de evitar la interferencia co-canal en la medición de la interferencia de canal adyacente.
- Para mediciones de potencia de señales digitales, el cuadrado medio de la raíz del nivel de señal debe medir una anchura de banda de la señal OFDM de 5,7 MHz; Para las señales analógicas, se debe medir el nivel de sobrepunto para la señal de video.
- Los parámetros de transmisión de OFDM deben consistir en un único modo jerárquico de 64QAM y un índice de código interno de 7/8.
- Los valores representativos para el modo, la relación de intervalo de guarda y el intervalo de tiempo deben ser Modo 3, 1/8, y no hay intercalación de tiempo, respectivamente. Toda combinación posible de parámetros de transmisión debe cumplir con las especificaciones.
- El BER (tasa de error de bit) debe ser igual a 2×10^{-4} después de la corrección de código interno y antes de la corrección de RS.

Nivel mínimo de entrada

En 1999, el Comité Técnico para el Establecimiento de la Estación Terrestre de Radiodifusión del Consejo de Tecnología de Telecomunicaciones presentó un informe en el que se especificaba una relación CN requerida de 22 dB cuando se utilizaban 64 QAM y una tasa de convolución de 7/8 como parámetros de transmisión CN tal que la tasa de error de bit después de la corrección de código interno se convierte en 2×10^{-4} . Con el sistema de medición anterior, el nivel de entrada mínimo se describe a continuación, ya que el ruido externo es insignificante.

Usando los símbolos:

K: Constante de Boltzmann (= $1,38 \times 10^{-23}$)

T: Temperatura medida (= 300 K)

B: Ancho de banda de ruido (= 5,7 MHz)

NF: Figura del ruido del receptor (dB)

DCN: deterioro del equipo receptor (dB)

Obtenemos:

Nivel mínimo de entrada (dBm)

$$= CN \text{ (dB)} + 10 \log (kTB) + NF \text{ (dB)} + DCN \text{ (dB)}$$

$$= 22 - 136.271 + 30 \text{ (dBW} \rightarrow \text{dBm Conversión)} + NF \text{ (dB)} + DCN \text{ (dB)}$$

$$= -84,271 + NF \text{ (dB)} + DCN \text{ (dB)}$$

En este caso, suponiendo que el receptor NF y el deterioro del equipo receptor totalizan 9,3 dB, el nivel de entrada mínimo se convierte en -75 dBm. Sin embargo, se consideró posible que el nivel de entrada mínimo de -75 dBm fuera un valor demasiado estricto basado en la compatibilidad con la característica de modulación cruzada requerida por la estipulación de la relación de supresión de interferencia de canal adyacente y más allá de los niveles razonablemente alcanzables para un consumidor.

Por lo tanto, está clasificado como un valor deseado, que puede necesitar utilizar "refuerzo de bajo ruido" para permitir la recepción a una intensidad de campo eléctrico de 60 dB μ V / m en toda el área de servicio. Se espera que un receptor que satisfaga

el valor deseado será comercialmente práctico no más tarde de la hora en que comienza la emisión de televisión digital terrenal.

A título de referencia, los resultados de las simulaciones de la relación CN requerida se muestran a continuación para todas las combinaciones posibles del esquema de modulación y el factor de codificación del código de convolución estipulado para la radiodifusión terrenal digital.

ANEXO D: CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES DE TELEVISIÓN QUE RESULTAN ESENCIALES PARA LA PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN PAL/SECAM/NTSC

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a)** que los sistemas de televisión convencionales se utilizan desde hace mucho tiempo.
- b)** que las características de los receptores de televisión que resultan esenciales para la planificación de frecuencias están perfectamente determinadas para los diversos sistemas de televisión PAL/SECAM/NTSC;
- c)** que dichas características continúan mejorándose;
- d)** que las características indicadas en **c)** han servido de base para establecer los parámetros y métodos de planificación utilizados en la Segunda Reunión de la Conferencia Administrativa Regional para la planificación de la radiodifusión de TV (AFBC (2));
- e)** que los sistemas de televisión convencionales continuarán utilizándose aún durante un considerable periodo de tiempo;
- f)** que la CEI tiene responsabilidades relativas a las normas aplicables a los receptores de televisión, a los métodos de medición y a las definiciones,

recomienda

- 1** que las características de los receptores de televisión indicadas (Anexo C), se utilicen como base para la planificación de frecuencias.
- 2** que las características señaladas, se consideren como información sobre las características de calidad de funcionamiento de los receptores utilizados por algunas administraciones. Se insta a las demás administraciones a que proporcionen información similar.

Características de los receptores de televisión

Muchas de las características de los receptores de televisión se determinan a la vez por su definición, su método de medición y los valores numéricos normalmente medidos en la práctica.

La calidad de la imagen y del sonido recibidos depende de las características de todo el sistema de televisión desde el estudio hasta la pantalla o el altavoz del receptor.

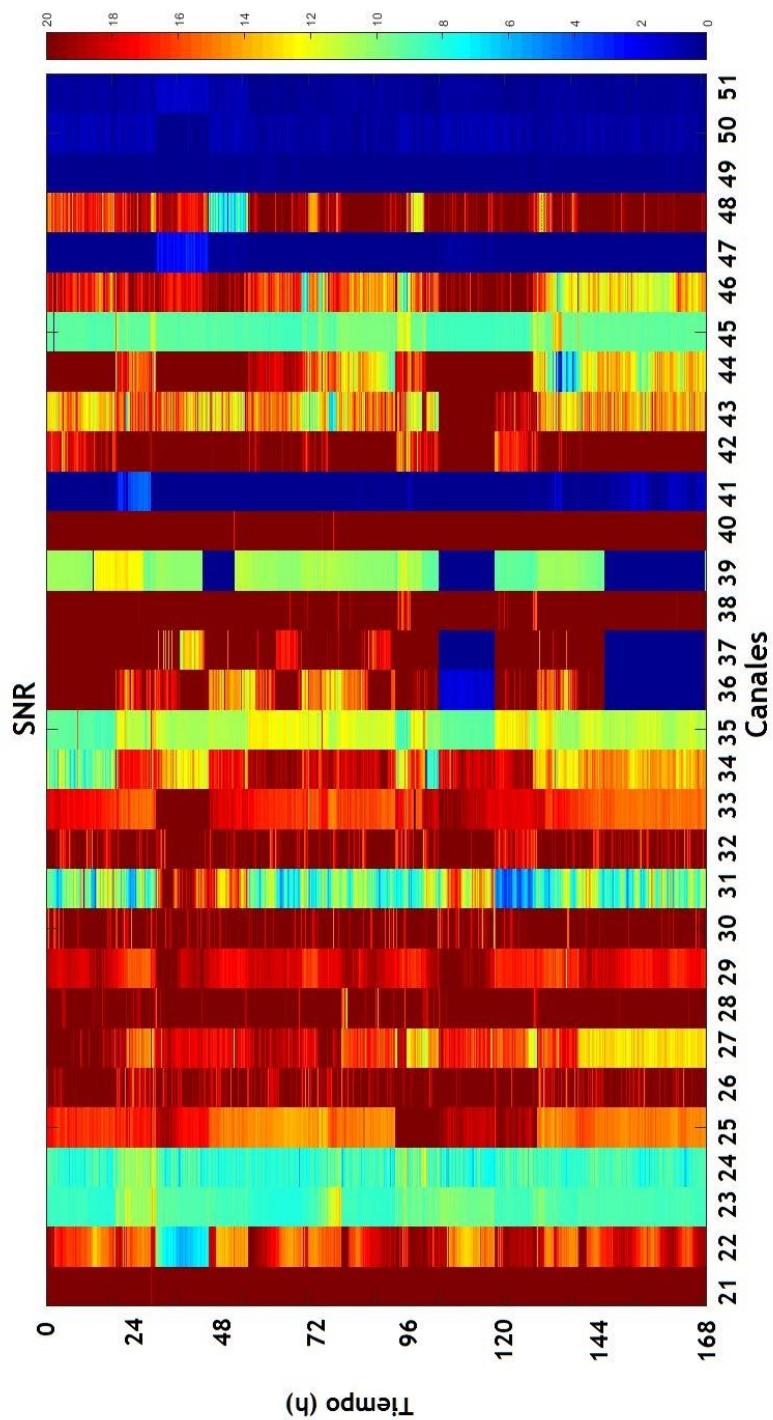
Se llama la atención sobre la importancia que tiene la participación efectiva de los representantes del UIT-R en los trabajos de la CEI, especialmente en materia de definiciones y métodos de medición de las características de los receptores de televisión (Subcomité 12A). Tal información es importante para la planificación y para obtener una calidad satisfactoria del sistema de televisión en su conjunto, desde la fuente de imagen hasta el receptor.

Además de las características mencionadas, las relativas a las interferencias provocadas por los receptores de televisión deben conformarse a las Recomendaciones pertinentes del CISPR.

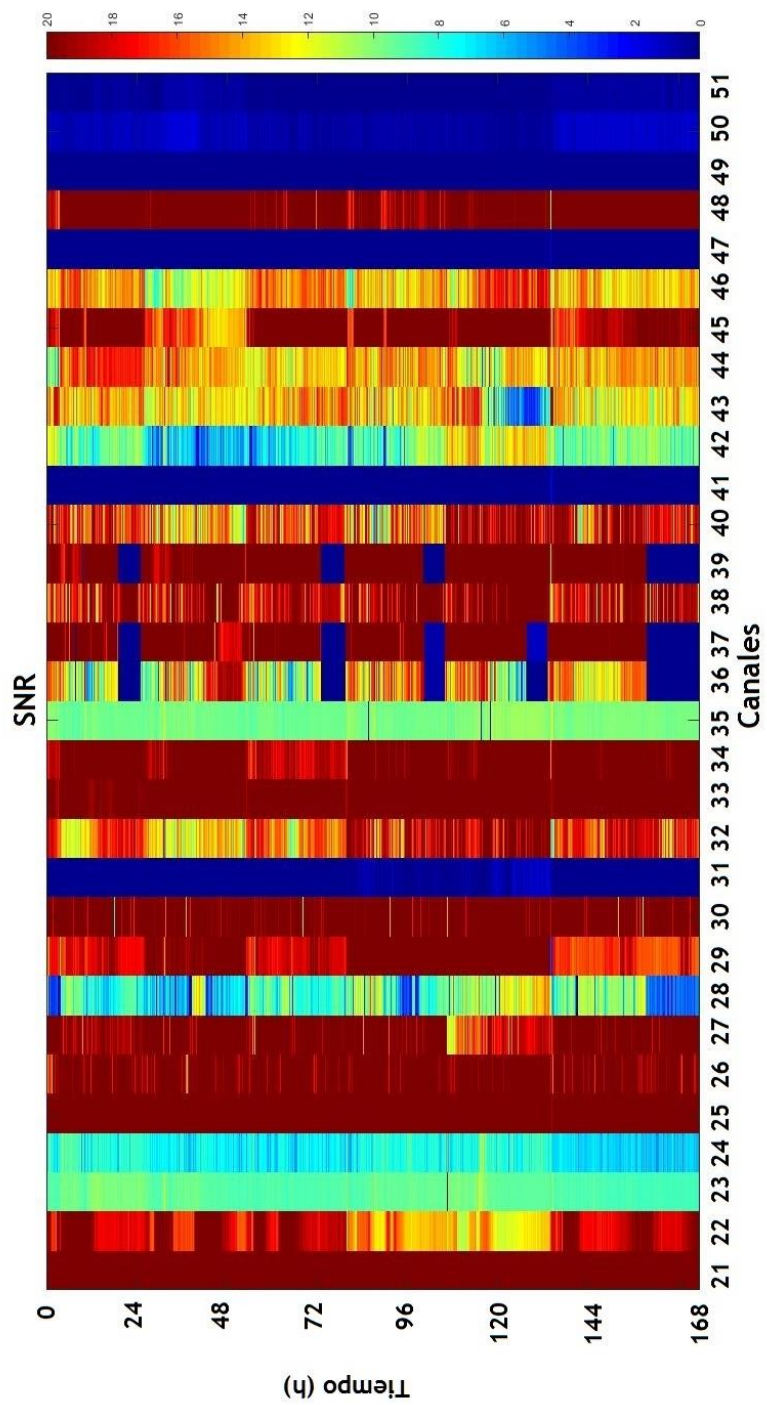
La multiplicidad de valores de la frecuencia intermedia provoca un aumento del costo de receptores, sobre todo de los destinados a las regiones fronterizas de países que utilizan normas de radiofrecuencia diferentes.

La recepción de programas de televisión de normas diferentes puede requerir hasta cinco pares de valores de frecuencia intermedia y, por consiguiente, otros tantos tipos de receptores multinormas.

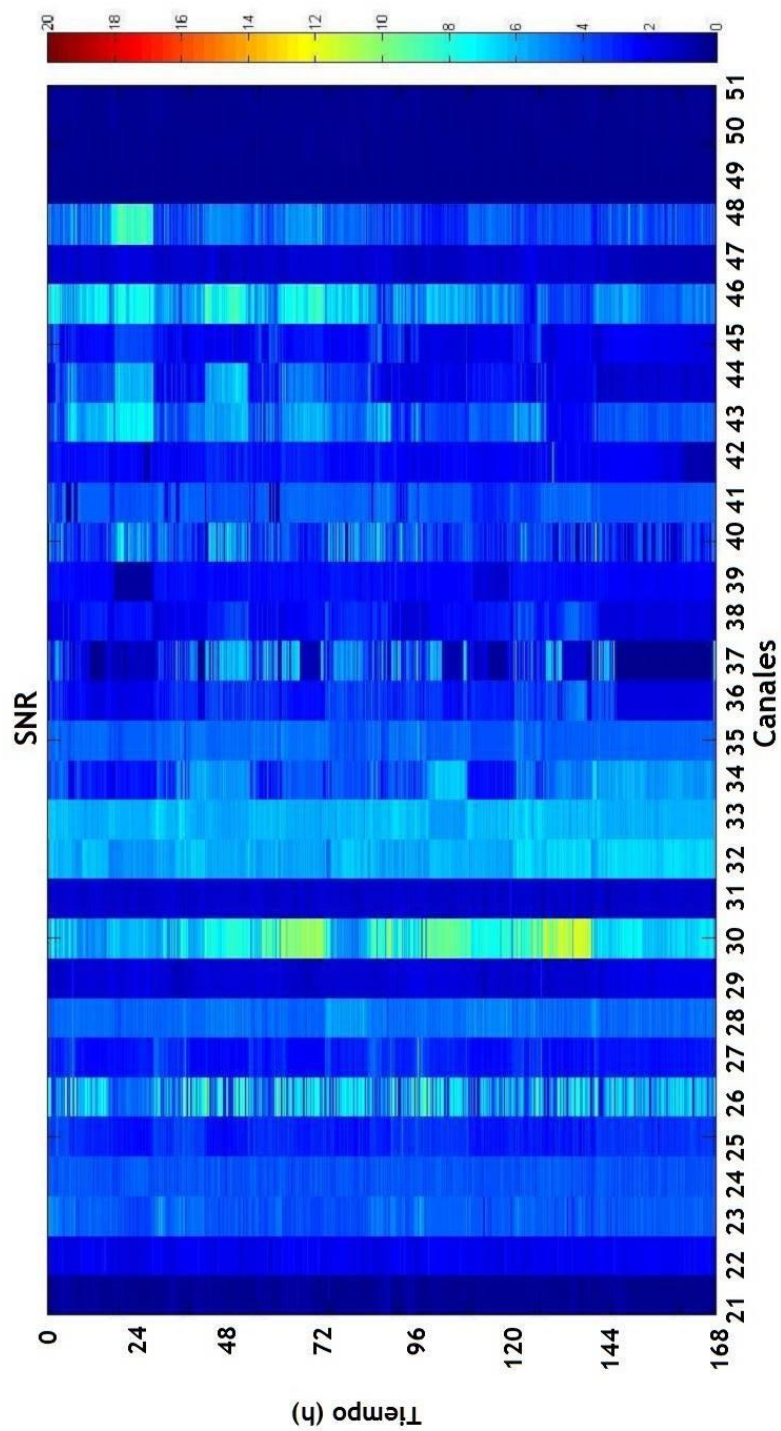
**ANEXO E: CUADROS DE COLORES DE SNR DE LA BANDA DE FRECUENCIA
UHF-TV (512-698) MHZ**



E.1: Cuadro de colores de la SNR de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz del piso 8.

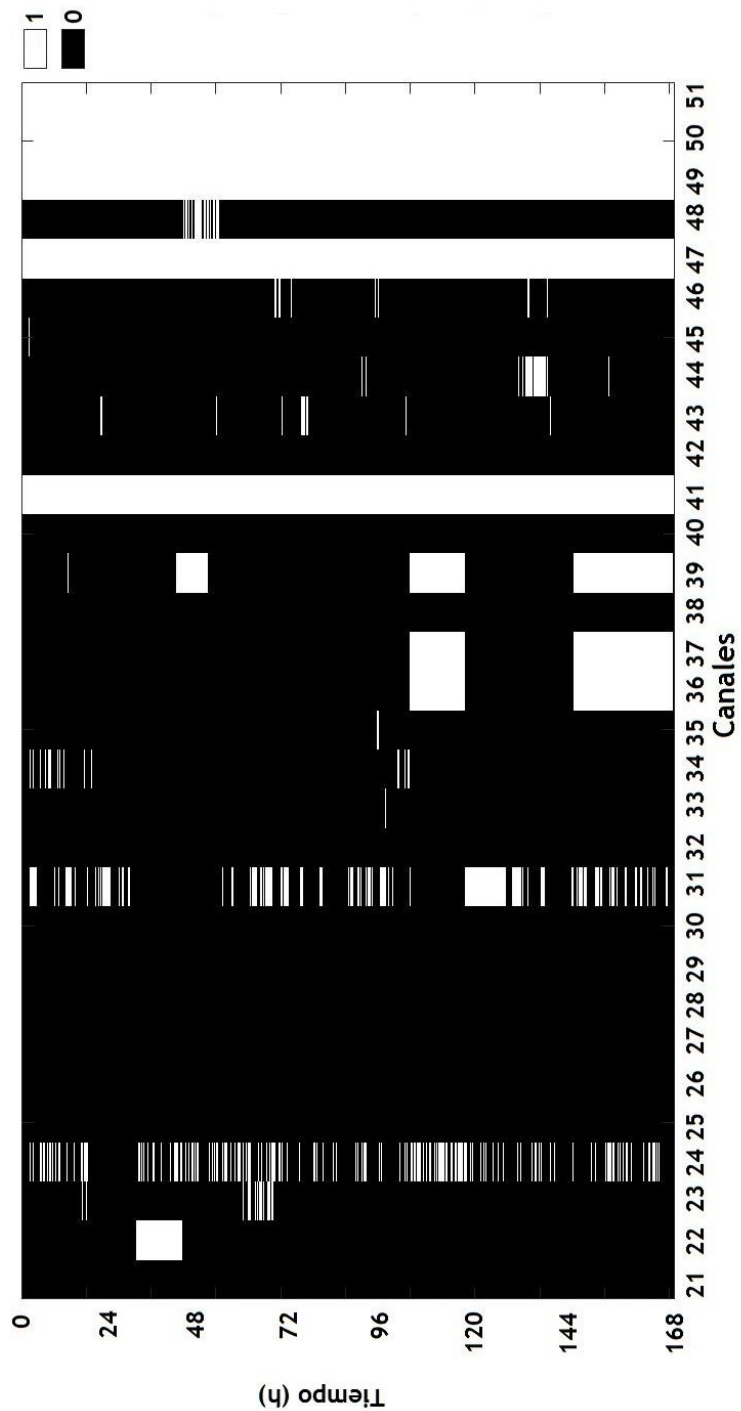


E.2: Cuadro de colores de la SNR de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz del piso 3.

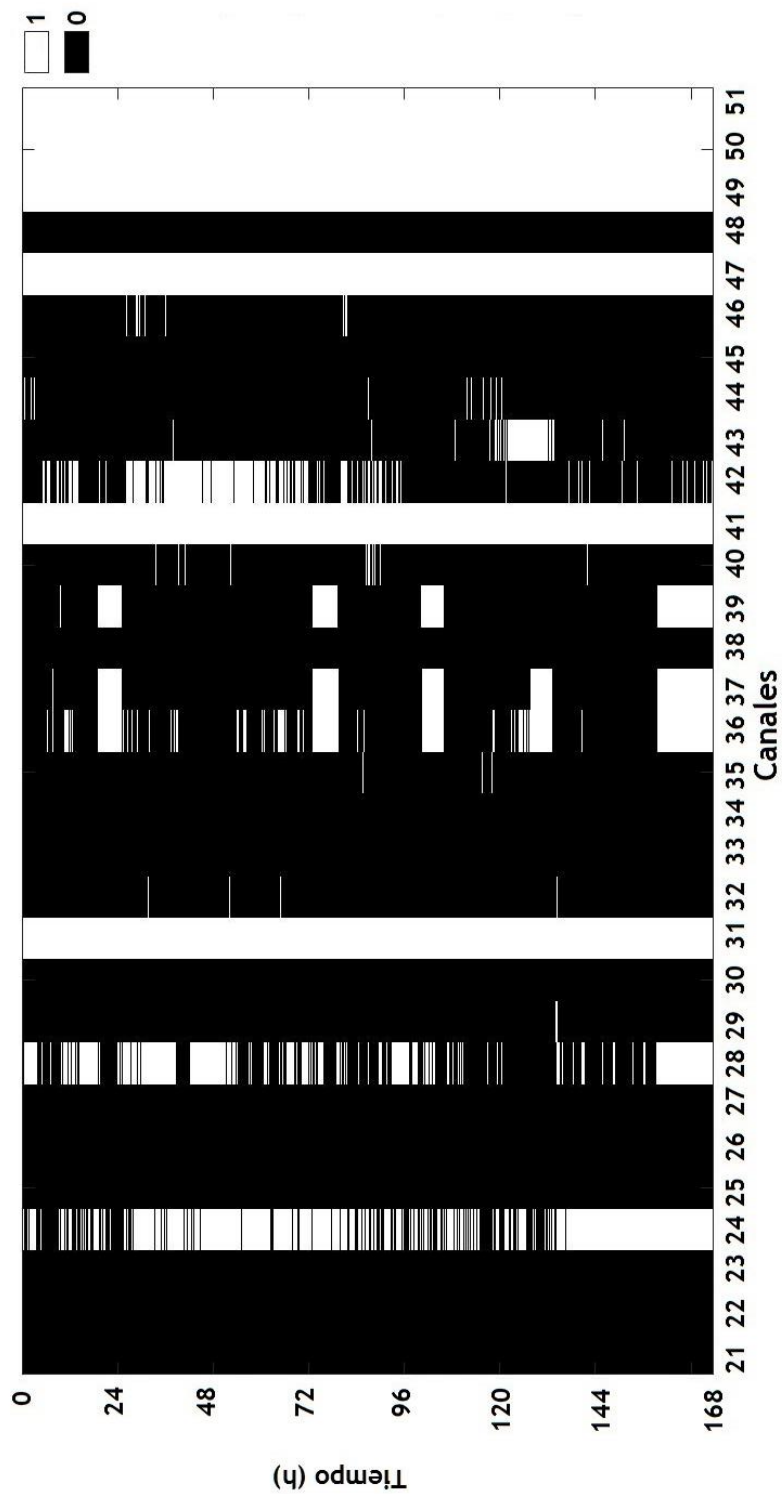


E.3: Cuadro de colores de la SNR de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz de la planta baja.

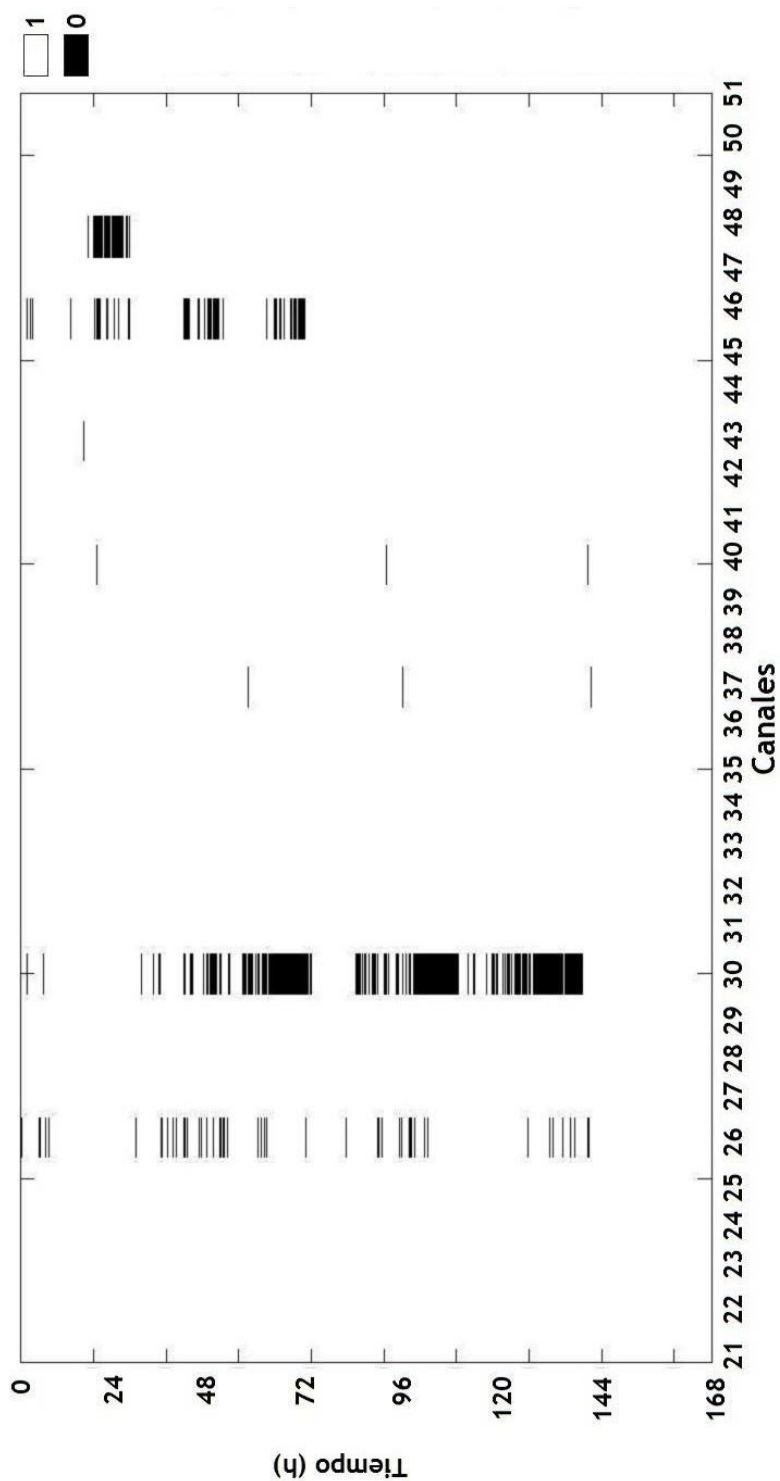
ANEXO F: CUADRO DE DISPONIBILIDAD ESPECTRAL DE LA BANDA DE FRECUENCIAS UHF-TV (512-698) MHZ



F.1: Cuadro de disponibilidad espectral de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz del piso 8.

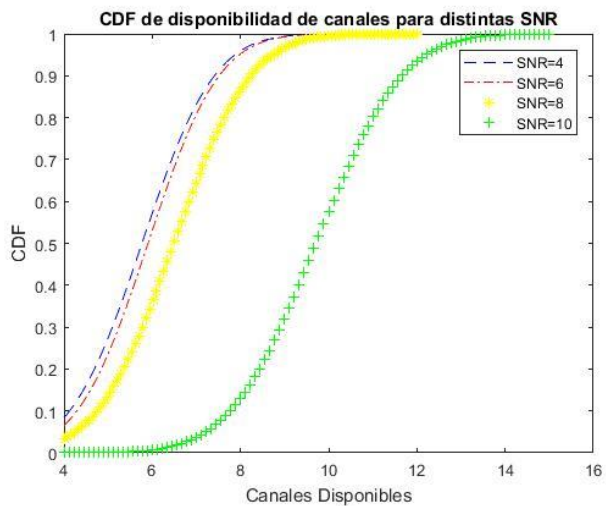


F.2: Cuadro de disponibilidad espectral de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz del piso 3.

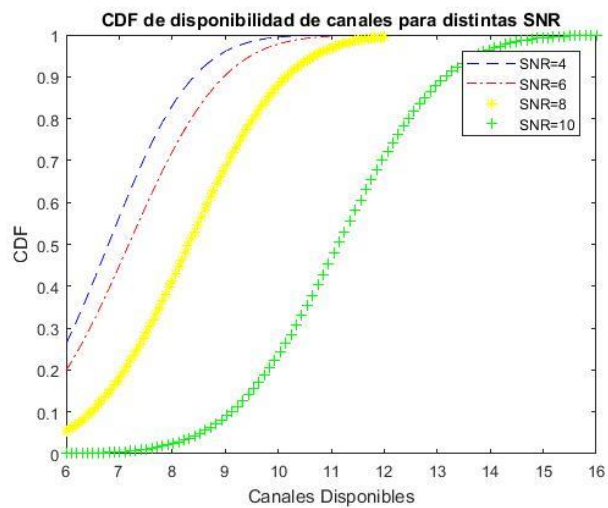


F.3 Cuadro de disponibilidad espectral de la banda de frecuencias UHF-TV (512-698) MHz de la planta baja.

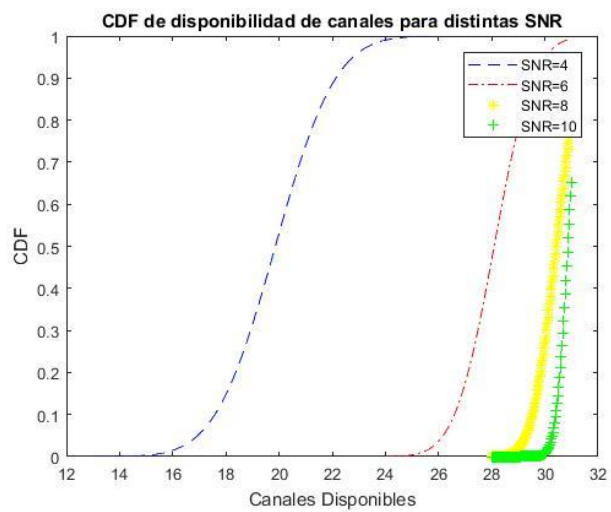
ANEXO G: CDF'S DE DISPONIBILIDAD DE CANALES PARA DISTINTAS SNR



G.1: CDF de disponibilidad de canales para distintas SNR del piso 8.

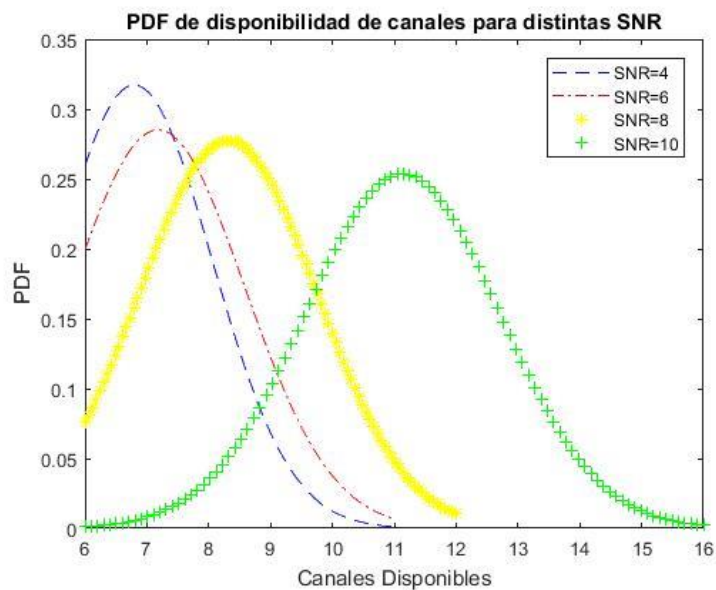


G.2: CDF de disponibilidad de canales para distintas SNR del piso 3.



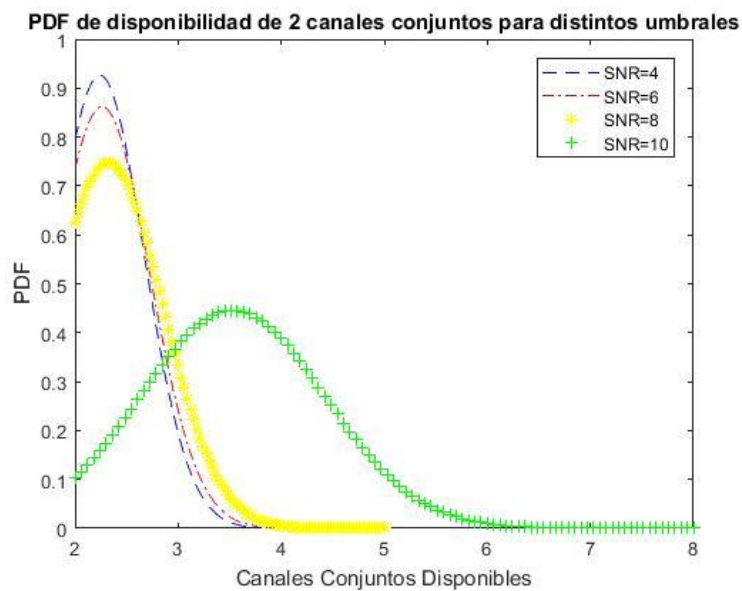
G.3: CDF de disponibilidad de canales para distintas SNR planta baja.

ANEXO H: PDF DE DISPONIBILIDAD DE CANALES VARIANDO EL SNR

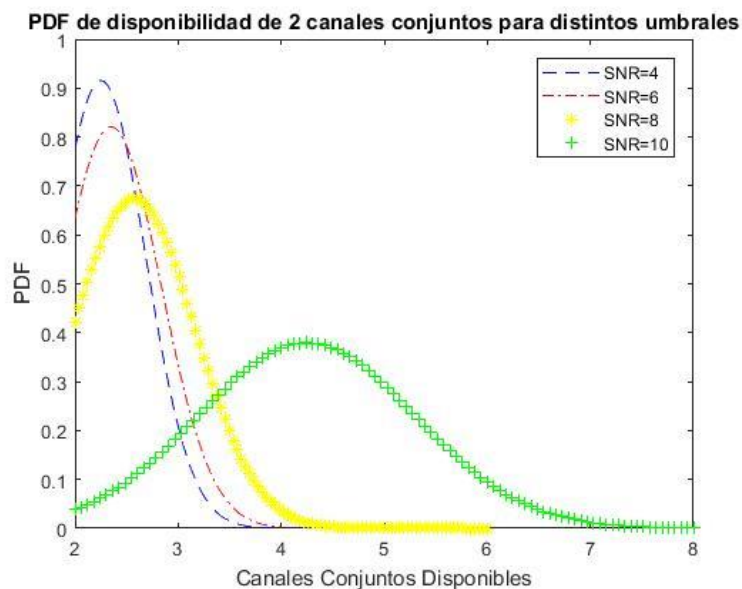


H.1: PDF de disponibilidad de canales variando el SNR del piso 3.

ANEXO I: PDF DE DISPONIBILIDAD DE 2 CANALES CONJUNTOS PARA DISTINTAS SNR

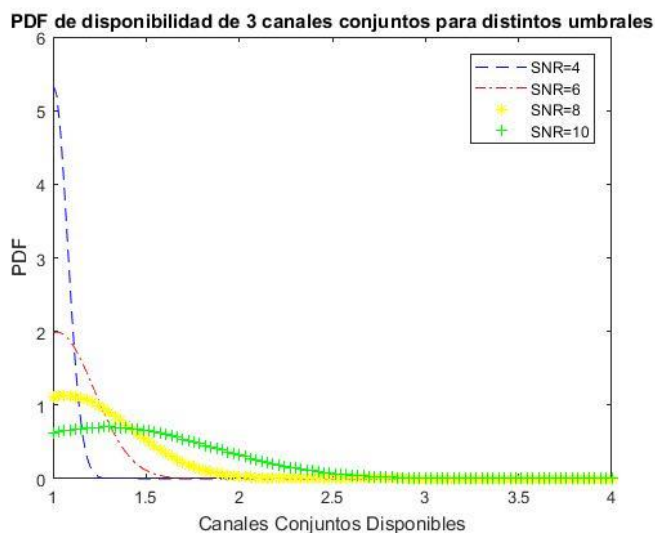


I.1: PDF de disponibilidad de 2 canales conjuntos para distintas SNR del piso 8.

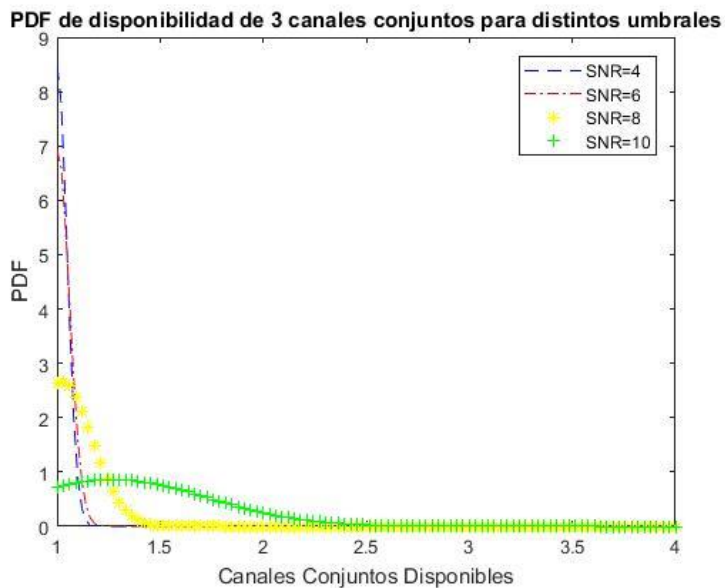


I.2: PDF de disponibilidad de 2 canales conjuntos para distintas SNR piso 3.

ANEXO J: PDF DE DISPONIBILIDAD DE 3 CANALES CONJUNTOS PARA DISTINTAS SNR

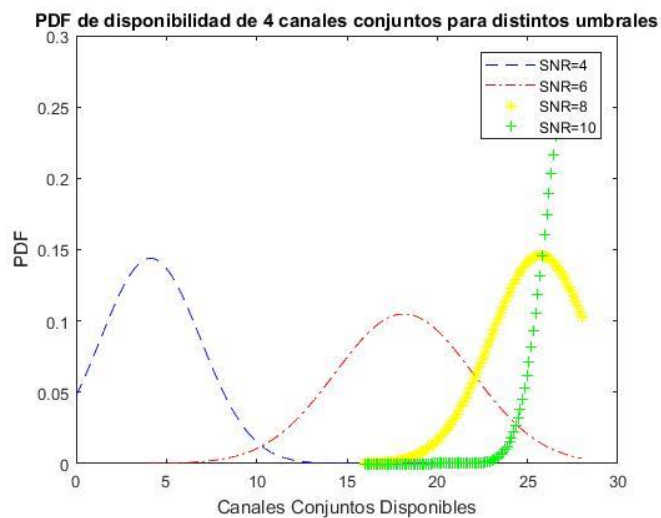


J.1: PDF de disponibilidad de 3 canales conjuntos para distintas SNR del piso 8.

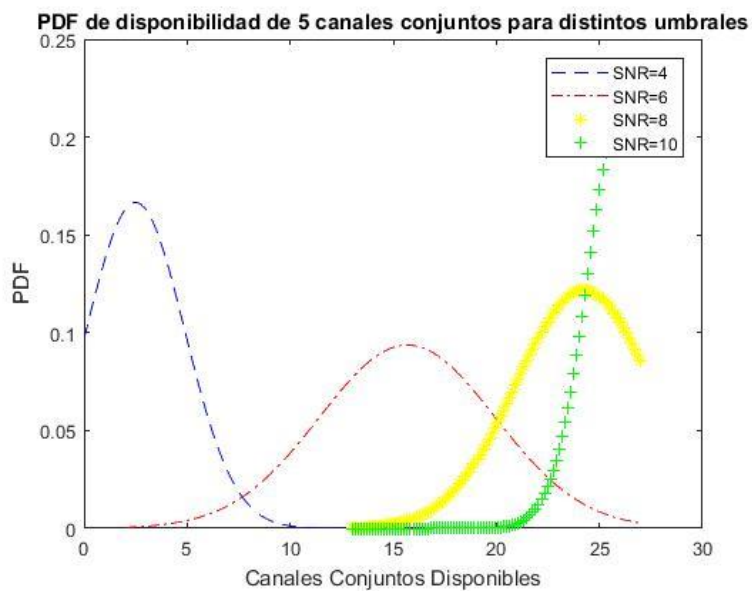


J.2: PDF de disponibilidad de 3 canales conjuntos para distintas SNR del piso 3.

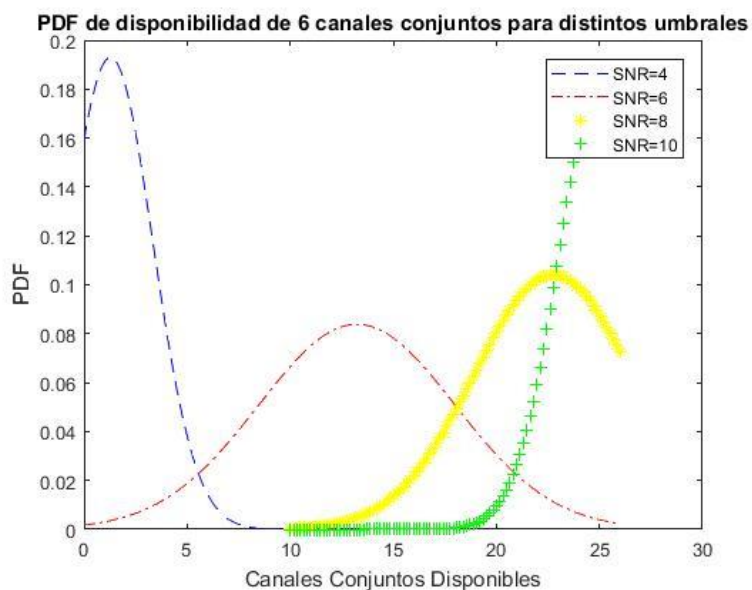
ANEXO K: PDF DE DISPONIBILIDAD DE CANALES CONJUNTOS PARA DISTINTAS SNR



K.1: PDF de disponibilidad de canales conjuntos para distintas SNR en la planta baja para 4 canales.

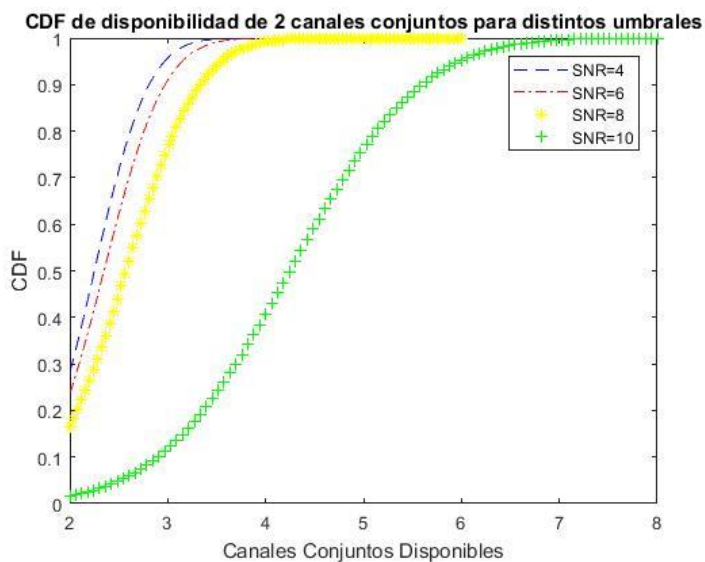


K.2: PDF de disponibilidad de canales conjuntos para distintas SNR en la planta baja para 5 canales.

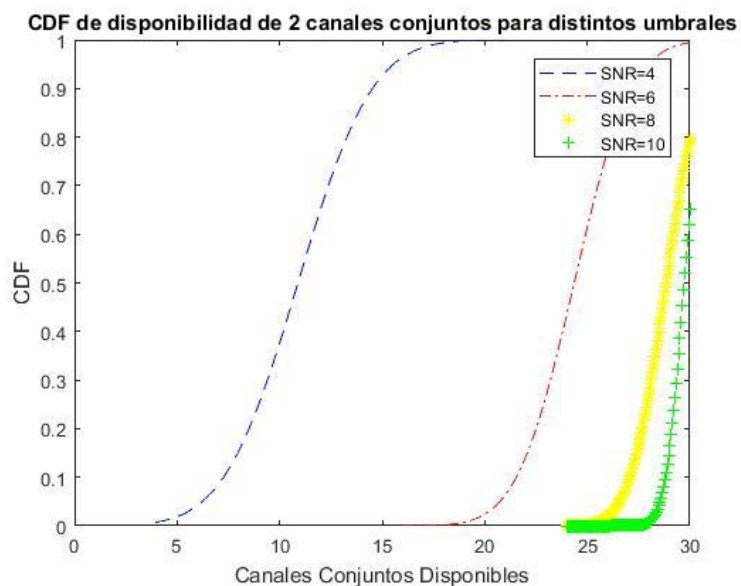


K.3: PDF de disponibilidad de canales conjuntos para distintas SNR en la planta baja para 6 canales.

ANEXO L: CDF DE DISPONIBILIDAD DE 2 CANALES CONJUNTOS PARA DISTINTAS SNR

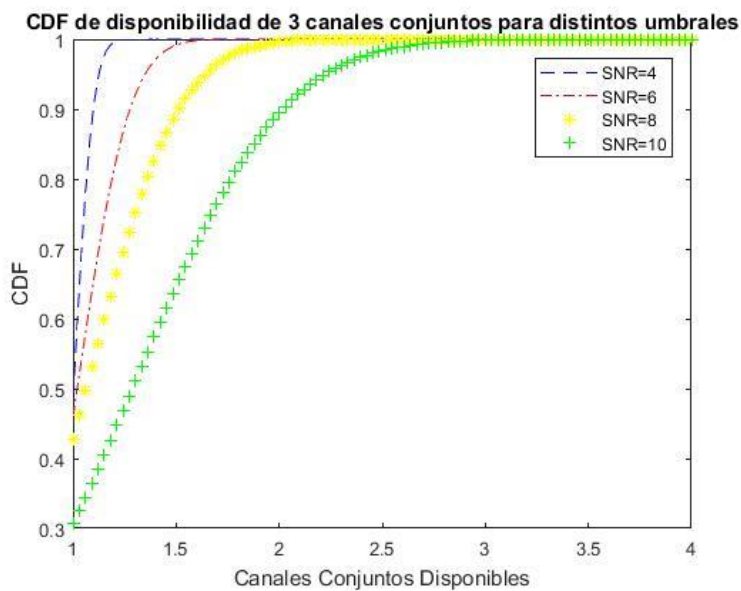


L.1: CDF de disponibilidad de 2 canales conjuntos para distintas SNR del piso 8.

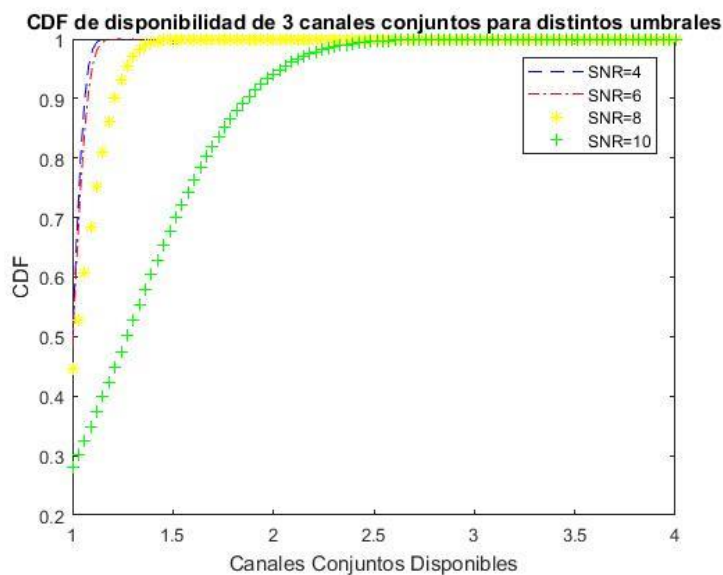


L.2: CDF de disponibilidad de 2 canales conjuntos para distintas SNR para el piso 3.

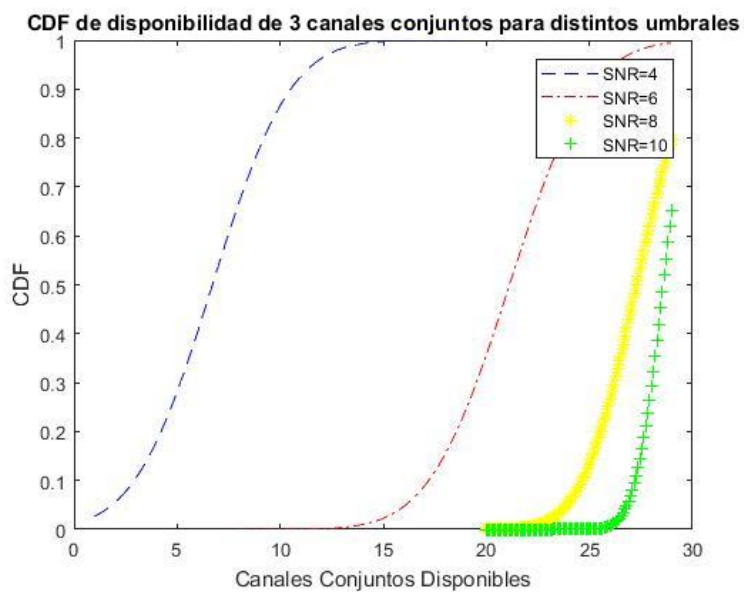
ANEXO M: CDF DE DISPONIBILIDAD DE 3 CANALES CONJUNTOS PARA DISTINTAS SNR



M.1: CDF de disponibilidad de 3 canales conjuntos para distintas SNR del piso 8.

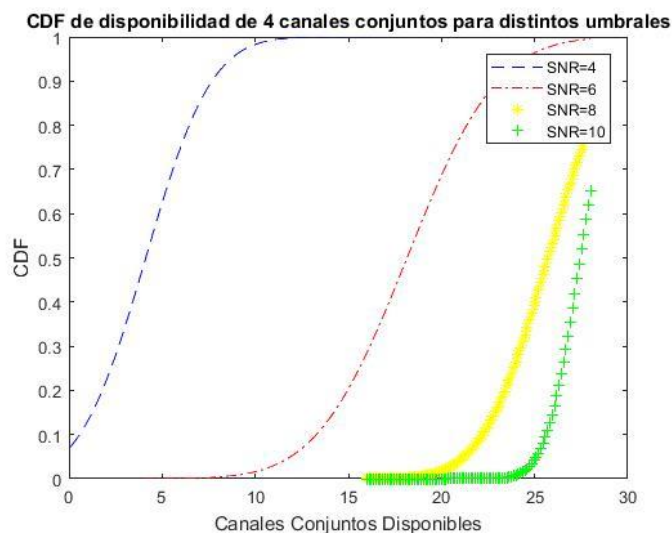


M.2: CDF de disponibilidad de 3 canales conjuntos para distintas SNR del piso 3.

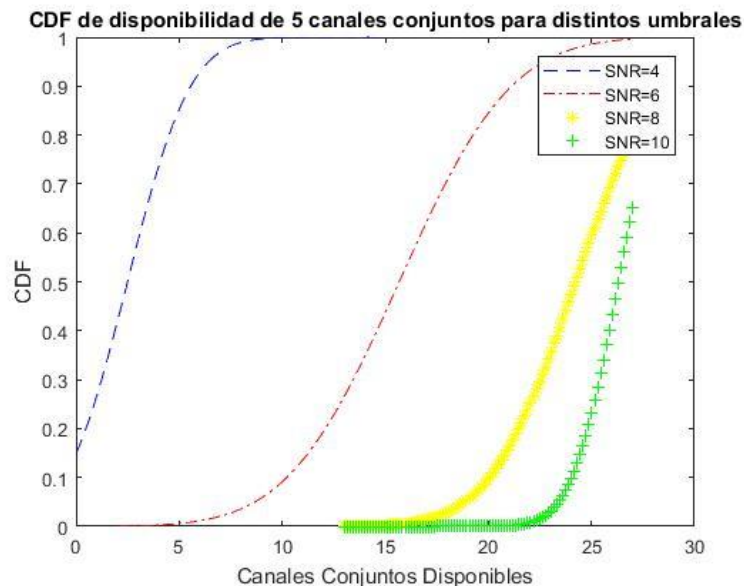


M.3: CDF de disponibilidad de 3 canales conjuntos para distintas SNR de la planta baja.

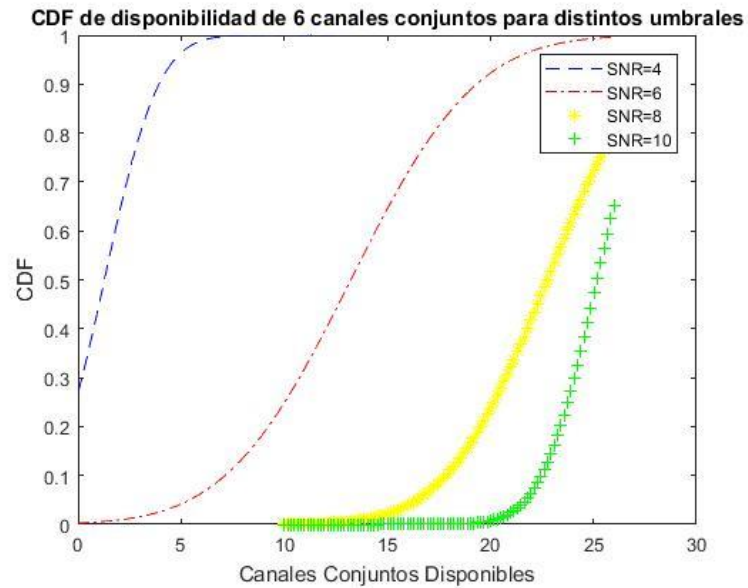
ANEXO N: CDF DE DISPONIBILIDAD DE CANALES CONJUNTOS PARA DISTINTAS SNR EN LA PLANTA BAJA



N.1: CDF de disponibilidad de canales conjuntos para distintas SNR en la planta baja para 4 canales.



N.2: CDF de disponibilidad de canales conjuntos para distintas SNR en la planta baja para 4 canales.



N.3: CDF de disponibilidad de canales conjuntos para distintas SNR en la planta baja para 6 canales.

ANEXO O: CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN

DISTRIBUCIONES MATLAB PDF Y CDF

```
f=xlsread('C:\Users\Luis
Miguel\Documents\Tesis\final2\SNR8.xlsx','Sheet3','A2:A5041');
media=mean(f);
minimo=min(f);
maximo=max(f);
desv=std(f);
x2=linspace(minimo,maximo);
y2=normpdf(x2,media,desv);
x1=minimo:1:maximo;
y1=[];
y4=normcdf(x2,media,desv);
y3=[];
```

```

total=numel(f);
previo=0;
for a=minimo:1:maximo
b=0;
c=0;
d=previo;
for i=1:1:total
if f(i)==a
b=b+1;
end
end
c=b/total;
y1=[y1 c];
y3=[y3 c+d];
previo=c+d;
end
figure,plot(x1,y1,'b--',x2,y2,'r')
xlabel('Canales Disponibles');
ylabel('PDF');
title('PDF real y normalizada de disponibilidad de canales para SNR=4');
legend('Distribucion Experimental','Distribucion Normalizada');
figure,plot(x1,y3,'b--',x2,y4,'r')
xlabel('Canales Disponibles');
ylabel('CDF');
title('CDF real y normalizada de disponibilidad de canales para SNR=4');
legend('Distribucion Experimental','Distribucion Normalizada');

```

DISTRIBUCIONES NORMALIZADAS VARIAS SNR

```

a=xlsread('C:\Users\Luis
Miguel\Documents\Tesis\final2\SNR3.xlsx','Sheet3','A2:A3619');

```

```
b=xlsread('C:\Users\Luis
Miguel\Documents\Tesis\final2\SNR3.xlsx','Sheet3','D2:D3619');
c=xlsread('C:\Users\Luis
Miguel\Documents\Tesis\final2\SNR3.xlsx','Sheet3','G2:G3619');
d=xlsread('C:\Users\Luis
Miguel\Documents\Tesis\final2\SNR3.xlsx','Sheet3','J2:J3619');
media1=mean(a);
minimo1=min(a);
maximo1=max(a);
desv1=std(a);
x1=linspace(minimo1,maximo1);
y1=normpdf(x1,media1,desv1);
y2=normcdf(x1,media1,desv1);
media2=mean(b);
minimo2=min(b);
maximo2=max(b);
desv2=std(b);
x2=linspace(minimo2,maximo2);
y3=normpdf(x2,media2,desv2);
y4=normcdf(x2,media2,desv2);
media3=mean(c);
minimo3=min(c);
maximo3=max(c);
desv3=std(c);
x3=linspace(minimo3,maximo3);
y5=normpdf(x3,media3,desv3);
y6=normcdf(x3,media3,desv3);
media4=mean(d);
minimo4=min(d);
maximo4=max(d);
desv4=std(d);
x4=linspace(minimo4,maximo4);
```

```

y7=normpdf(x4,media4,desv4);
y8=normcdf(x4,media4,desv4);
figure,plot(x1,y1,'b--',x2,y3,'r-',x3,y5,'y*',x4,y7,'g+')
xlabel('Canales Disponibles');
ylabel('PDF');
title('PDF de disponibilidad de canales para distintas SNR');
legend('SNR=4','SNR=6','SNR=8','SNR=10');
figure,plot(x1,y2,'b--',x2,y4,'r-',x3,y6,'y*',x4,y8,'g+')
xlabel('Canales Disponibles');
ylabel('CDF');
title('CDF de disponibilidad de canales para distintas SNR');
legend('SNR=4','SNR=6','SNR=8','SNR=10');

```

CUADRO DE SNR

```

f=xlsread('C:\Users\Luis Miguel\Documents\Tesis\final2\SNR3.xlsx','Sheet 1');
colormap jet;
imagesc(f)
caxis ([0 20]);
colorbar

```

CUADRO DE DISPONIBILIDAD

```

f=xlsread('C:\Users\Luis Miguel\Documents\Tesis\final2\SNR3.xlsx','Sheet2');
colormap gray;
imagesc(f)
caxis ([0 1]);
colorbar

```