



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE CANALES EN LA BANDA UHF-TV DIGITAL (512 – 698 MHZ) EN UNA EDIFICACIÓN DE UNA ZONA URBANA DENSA Y MODELADO ESTADÍSTICO PARA EL POSIBLE USO DE SISTEMAS CON ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO (OSA) ”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

JUAN CARLOS ESPINOZA CONTRERAS

JONATHAN ANDRÉS SANTOS MACAO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado salud, fuerza y sabiduría para llegar a esta etapa de mi vida, gracias por ayudarme a cumplir mi sueño y poderlo compartir con las personas que más amo en la vida mi familia, a mis padres por haberme enseñado a no rendirme y por siempre estar conmigo apoyándome en todo, a mi novia Mirka y a mis hermanos por siempre darme ánimos y a mis amigos que compartieron conmigo todos estos años de ardua lucha y dedicación para cumplir nuestras metas.

Juan Carlos Espinoza Contreras

Agradezco a Dios por haberme dado salud y toda la sabiduría que me permitió haber llegado hasta aquí, a mi madre Angelita por ser el pilar fundamental en esta etapa de mi vida ya que siempre ha estado para ayudarme en los todos obstáculos que se me han presentado.

Agradezco a mis familiares y todas aquellas personas que me rodean las cuales siempre me dieron consejos y creyeron en mí.

Agradezco también a mis profesores y por supuesto a mis compañeros que a lo largo de mi carrera fueron de gran apoyo para así formarme como un profesional con sólidos conocimientos y valores.

Jonathan Andrés Santos Macao

DEDICATORIA

El proyecto se lo dedico a Dios por darme la oportunidad de ser un profesional y cumplir una etapa más en mi vida, y también se lo dedico a mis padres, pero en especial a mi madre Yelly Contreras gracias por ser mi inspiración, mi luz y mi guía, gracias por ayudarme y por enseñarme a luchar siempre por mis sueños y por estar presente en cada logro de mi vida, eres la mejor.

Juan Carlos Espinoza Contreras

Dedico este trabajo a mi madre Angelita quien siempre ha estado en los momentos difíciles que se me han presentado y por haberme enseñado el valor del esfuerzo y perseverancia.

A mi familia, mi hermano Xavier y mi tío Miguel quienes siempre han estado dándome consejos, a mis sobrinos Michael y Ariana quienes son como mis hijos, y a todos mis amigos y personas cercanas que han estado presente en cada uno de los pasos que he dado.

Gracias a todos por su apoyo incondicional.

Jonathan Andrés Santos Macao

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Msc. Washington Medina

PROFESOR EVALUADOR

.....
Msc. César Yépez

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"

.....
Juan Carlos Espinoza Contreras

.....
Jonathan Andrés Santos Macao

RESUMEN

A mediados de la década de los 90 en el Ecuador se dio el nacimiento de las primeras compañías celulares, las cuales dieron paso a una nueva generación de comunicación inalámbrica, que con el pasar de los años ha ido incrementando en gran magnitud, tanto así que en la actualidad es una de las tecnologías que más se usa en los hogares debido a los importantes beneficios que puede ofrecer. Otra de tecnología de uso muy frecuente en la actualidad son las redes WLANs, las cuales tienen una alta aceptación en las residencias y zonas comerciales generando así un incremento de puntos de acceso, lo cual provoca un desvanecimiento en los servicios brindados por las WLANs, además del incremento en niveles de interferencia entre puntos de acceso. A lo largo de los últimos 5 años se ha notado un incremento bastante fuerte en lo que se refiere a tecnologías y dispositivos usados en las comunicaciones inalámbricas, estos dos aspectos son de mucha relevancia al enfocarnos a la conocida escasez del espectro radioeléctrico, ya que para que se establezca la comunicación se necesita tener espacio dentro del espectro, y es así que debido a la gran cantidad de usuarios que utilizan estos tipos de tecnología el espectro sufre un congestionamiento. Es así que ante esta problemática se propone descongestionar el espectro realizando estudios basados en el aprovechamiento espacial y temporal del espectro radioeléctrico conocido como acceso oportunista al espectro (OSA), el cual es un conjunto de técnicas y mecanismos que monitorean y detectan las porciones de espectro que no están siendo utilizadas para que de esta manera puedan ser reutilizados por nuevos usuarios sin causar interferencia con los usuarios licenciados. Para poder utilizar tecnologías con propiedades de OSA, se necesita determinar y modelar la disponibilidad que exista en el espectro radioeléctrico con miras a detectar segmentos de espectro que estén disponibles.

Es así que el presente trabajo tiene como objetivo realizar un modelamiento estadístico de la disponibilidad que pueda existir en los canales de la banda UHF para un posible uso de tecnologías con características OSA.

En el capítulo 1 se especifican los objetivos del proyecto integrador, justificación, metodología y alcance, en el capítulo 2 se detalla el estado del arte, el cual se basa

en describir las características, beneficios y sistemas que podrían hacer uso de los espacios en blancos disponibles en la banda UHF-TV digital. En el capítulo 3 se especifica el escenario donde se realizó el estudio, además de las características que tiene cada uno de los elementos que conforman el sistema de medición. Para este estudio solo se hará un enfoque en los canales de TV digital de la banda UHF, censando los niveles de potencia en cada uno de ellos, estas mediciones se las realizaron dentro de una edificación ubicado en la zona céntrica de Guayaquil. Y finalmente, en el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos, modelamiento de la posible disponibilidad que existe en los canales de la banda en estudio, conclusiones y además las recomendaciones que puedan permitir el aprovechamiento del espectro radioeléctrico de manera eficiente en la banda UHF-TV digital.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ABREVIATURAS	x
CAPÍTULO 1.....	1
1. Planteamiento del Problema	1
1.1 Problema a Resolver	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivos Generales	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Justificación	3
1.4 Metodología	4
1.5 Alcance	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. Estado del Arte.....	6
2.1 Espectro Radioeléctrico y Situación Actual en el Ecuador	7
2.1.1 Espectro Radioeléctrico	7
2.1.2 Asignación de bandas	9
2.1.3 Gestión de Frecuencias	11
2.1.4 Espectro destinado para televisión en el Ecuador	13
2.2 Interferencias de los canales de televisión	14
2.2.1 Interferencia Cocanal	14
2.2.2 Interferencia entre canales Adyacentes	15
2.3 Televisión Digital	16
2.3.1 Beneficios de la Televisión Digital	17

2.3.2	Factores de la Televisión Digital	18
2.4	Acceso Dinámico al Espectro (DSA).....	31
2.4.1	Acceso Oportunista al Espectro (OSA).....	32
2.4.2	Radio Cognitiva (RC).....	33
CAPÍTULO 3	.....	34
3.	Escenario y Proceso de Medición	34
3.1	Descripción y ubicación geográfica del escenario	34
3.2	Descripción del proceso de medición	37
3.3	Análisis de las potencias	39
3.4	Algoritmo utilizado para la medición	40
3.5	Modelamiento Probabilístico	43
CAPÍTULO 4	.....	46
4.	Análisis de Datos y Experimentación.....	46
4.1	Ubicación geográfica y duración de la medición.....	46
4.2	Parámetros de configuración	47
4.3	Análisis de datos del escenario	48
4.3.1	Análisis de los Niveles de Potencia	49
4.3.2	Análisis de los Niveles de Disponibilidad.....	54
4.3.3	Modelamiento estadístico de los datos	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	71
BIBLIOGRAFÍA	.....	73
ANEXOS	.....	78

ABREVIATURAS

OSA:	Acceso Oportunista al Espectro
UHF:	Frecuencia Ultra Alta
CDF:	Función de Distribución Acumulada
PDF:	Función Densidad de Probabilidad
KS TEST:	Prueba de Kolmogorov-Smirnov
ITU:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
ARCOTEL:	Agencia de Control y Regulación de Telecomunicaciones
COFDM:	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DSA:	Acceso Dinámico al Espectro
RC:	Radio Cognitiva
USRP:	Universal Software Radio Peripheral
Pr:	Potencia recibida por el analizador espectral
Pant:	Potencia recibida por la antena
Lc:	Perdida generada por cables
Lcont:	Perdida generada por los conectores
Gant:	Ganancia de antena
Gusrp:	Ganancia del equipo USRP
λ:	Umbral de recepción en la banda UHF-TV Digital

CAPÍTULO 1

1. Planteamiento del Problema

1.1 Problema a Resolver

En los últimos años el avance que han tenido las telecomunicaciones a nivel mundial ha permitido que los países obtengan beneficios a partir del uso de los medios de acceso inalámbrico, los cuales representan vías de accesos a servicios de internet, televisión, telefonía, entre otros [1].

Este desarrollo tecnológico ha logrado que los países de América latina puedan acceder a estos nuevos dispositivos para así abarcar a la mayoría de las poblaciones y hacer el respectivo uso de los mismos, como es el caso de la televisión digital [2].

La evolución de la televisión al formato digital mejora la calidad del sonido e imagen, ofrece un mayor número de canales y permite la inclusión de numerosos servicios interactivos. Las posibilidades tecnológicas que nos brinda esta nueva generación al renovar los televisores, tiene como propósito mejorar el ocio en el hogar justificando las expectativas y el apoyo incondicional de la industria de electrónica de consumo al proceso de digitalización [1].

Estas nuevas tecnologías nos permiten recibir y transmitir información sin límites de velocidad por medio de sus mejoras en sus redes de telecomunicación; pero el incremento del uso de la tecnología ha provocado escasez del espectro por la alta concentración de dispositivos, ocasionando problemas de congestión en las bandas de operación y un deterioro en la calidad del servicio que brindan [3].

Estudios han comprobado que una de las causas fundamentales de que ocurra escasez del espectro radioeléctrico, está relacionada con el nivel de potencia recibido provocado por las zonas geográficas donde se encuentran ubicados los diversos dispositivos inalámbricos [8].

Por lo general, la mayor parte de estos servicios de telecomunicaciones están ubicados en las zonas urbanas porque el nivel económico de las ciudades, es más elevado en comparación con las zonas rurales y por ende tienen más facilidades de adquirir estos dispositivos.

En conclusión, la falta de coordinación de las nuevas tecnologías por el uso del espectro y la problemática que genera la escasez de canales, producido por el uso excesivo de dispositivos en una determinada zona geográfica, ocasionan un elevado nivel de interferencia, afectando a la velocidad de trasmisión y a su vez provocando una reducción en el área de cobertura y un aumento de latencia [4].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Analizar la disponibilidad de los canales de TV Digital en la banda UHF, para determinar y modelar el nivel de ocupación en una zona urbana densa.

1.2.2 Objetivos Específicos

Medir los niveles de potencia de los canales de la banda UHF-TV Digital en una edificación ubicado en una zona urbana.

Analizar el grado de eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico de los canales de la banda UHF-TV Digital en la edificación.

Verificar si existen segmentos de banda disponibles en los canales UHF-TV Digital, para que puedan ser reutilizados y asignados a otros canales con problemas de congestión.

Determinar modelos probabilísticos para analizar si los canales de banda UHF-TV Digital están disponibles u ocupados.

1.3 Justificación

La indagación y verificación del comportamiento del uso espectro radioeléctrico es uno de los objetivos de haber realizado estudios sobre la disponibilidad de canales en la banda UHF-TV digital; ya que existe la posibilidad de realizar diseños de sistemas de cobertura como WI-FI, los mismos que pueden ser utilizados en el interior de edificaciones, debido a que estos sistemas son utilizados en este tipo de escenarios donde su factor limitante es la escasez de canales en la banda 2,4 GHz [4], [7], la cual es provocada por la gran demanda en el incremento del espectro usado, ocasionado por la gran cantidad de dispositivos activos en dicha banda, y por lo consiguiente los canales asignados para la operación de estos dispositivos tengan que ser ajustados, para poder cumplir con todos los requerimientos antes expuestos [1].

Una de las soluciones que se plantea es usar el acceso oportunista al espectro (OSA), cuyo objetivo es resolver problemas de tráfico en los dispositivos inalámbricos [5].

El acceso oportunista al espectro (OSA), permite el desarrollo de este tipo de tecnologías de una manera eficiente para que usuarios de bandas no licenciadas puedan acceder a segmentos que no están siendo usados en las bandas licenciadas, para luego explotarlos y usarlos. Uno de los sistemas inalámbricos que utiliza OSA es la radio cognitiva [6].

El uso de acceso oportunista al espectro (OSA) con sistemas de radio cognitiva, está enfocado en que las futuras redes de comunicación inalámbricas satisfagan la demanda del espectro requerido y se visualizan como la solución óptima a la aparente escasez actual del espectro [6], ya que permiten la identificación de los espacios en blanco que no están siendo utilizados, con el fin de proporcionar información sobre el estado actual de las bandas de frecuencia, verificando si se encuentran disponibles u ocupadas [7].

Este trabajo tiene como propósito fundamental estudiar la banda de TV Digital en UHF, para verificar si existen espacios en blancos o segmentos

de bandas en una determinada edificación, la cual se encuentra ubicada geográficamente en una zona urbana densa. La disponibilidad de los espacios en blancos que tenga un canal en la banda UHF, serán monitoreados con un equipo de medición, el cual se encargara de tomar y almacenar los respectivos datos, para luego determinar por medio de métodos probabilísticos, si la banda está ocupada o si se encuentra disponible para que puedan ser reutilizadas [8], [9].

En el Ecuador hay muy pocos antecedentes de que se haya realizado estos tipos de estudios; pero se espera que con el pasar del tiempo se los pueda emplear, para así acabar con el problema de escasez del espectro y por ende mejorar la calidad de servicio que brindan los dispositivos inalámbricos.

1.4 Metodología

La metodología que se utiliza para el desarrollo del proyecto, está basada en la medición de los canales de la banda UHF-TV digital mediante el uso de un algoritmo y los equipos USRP (del inglés Universal Software Radio Peripheral) y la antena Sirio SD 3000, usados para medir y almacenar los niveles de potencia en la banda UHF-TV, en una edificación ubicada en una zona densa de la ciudad de Guayaquil.

El análisis del comportamiento del espectro se realiza mediante la simulación de un algoritmo usando el software LABVIEW, el cual será configurado para obtener el tiempo de muestreo por canal.

Una vez obtenida la información de los datos capturados en las mediciones realizadas durante un mes en los 3 pisos de una edificación, se procede a verificar los niveles de disponibilidad en los canales de la banda UHF-TV Digital usando métodos probabilísticos de prueba.

Finalmente, se utilizan varios modelos probabilísticos [10] para el análisis de disponibilidad de canales, usando la potencia de umbral como referencia, para determinar si los canales están disponibles u ocupados.

Luego, mediante las gráficas de función de densidad acumulada (CDF) y la función de densidad de probabilidad (PDF) y con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS Test), se verifica si los modelos utilizados son válidos o no.

1.5 Alcance

El alcance de este proyecto es muy extenso debido a que la tecnología sigue mejorando con el pasar del tiempo y las empresas necesitan más ancho de banda, para así lograr satisfacer la demanda de los nuevos dispositivos que salen al mercado.

De acuerdo a los diversos seguimientos que se han realizado en diferentes bandas de frecuencias, para buscar segmentos disponibles, una de las bandas que más ha sido tomada en consideración, debido a sus excelentes propiedades de propagación es la de TV [8]. Por lo cual, se ha venido realizando estudios acerca del uso del espectro en una banda específica UHF-TV digital para verificar que segmentos de los canales de bandas licenciadas están libres o con un menor grado de ocupación [8], cuyo fin es reutilizar las frecuencias disponibles para un uso más eficiente del espectro. Además existe la posibilidad de mejorar los problemas de interferencias entre los dispositivos de un mismo canal mediante la creación de nuevos modelos de sistemas usando acceso oportunista el espectro [5]. Estos modelos de propagación podrían ser utilizados por las edificaciones para evitar aquellos problemas de accesibilidad que provocan pérdida de información y hacen que la conexión inalámbrica sea lenta [7].

Una vez que se tiene claro el panorama del problema a resolver y los objetivos del proyecto, es de bastante importancia tener conocimientos básicos y teóricos sobre las tecnologías implicadas. Además cabe recalcar que cada país tiene sus respectivos entes reguladores, que son los encargados de la asignación de bandas licenciadas y debemos saber cuáles son las normativas que se rigen actualmente en el Ecuador, ya que se van a realizar estudios e investigaciones en diferentes ambientes de dicho país [11].

CAPÍTULO 2

2. Estado del Arte

En el transcurso de los años la tecnología digital ha ido evolucionando a pasos acelerados hasta llegar a tener, canales de televisión y productoras completamente digitales. Estas tecnologías han ido cambiando y mejorando con el objetivo de satisfacer y cumplir con todos los requerimientos para un óptimo desarrollo en términos de calidad de servicio [1].

La televisión es una de las tecnologías que se ha renovado para mejorar la calidad de servicio brindado al cliente. El traspaso de TV análoga a TV digital se lo realizó para cubrir con todos aquellos problemas de transmisión y rendimiento, debido a que en la TV análoga las señales que se transmiten suelen llegar con problemas de interferencias y carecen de buena resolución. En la TV digital las señales tanto de audio y video, son transmitidas a los diversos usuarios, ya sea por cable, aire o satélite, con una óptima resolución, ofreciendo a sus usuarios un mejor audio estéreo y a su vez se mejora notablemente la calidad de la imagen, la cual será proyectada en la pantalla sin interferencias, y por ende no se observará doble imagen o visión borrosa [2].

Aunque las tecnologías se han ido renovando constantemente, las asignaciones de las bandas para el uso del espectro radioeléctrico han estado fijas durante un largo tiempo, y con el aumento del uso de dispositivos inalámbricos, se ha verificado que la disponibilidad del espectro es ineficiente, debido a que no se ha adaptado al ingreso de estas nuevas tecnologías en el mercado actual [5].

El esquema de concesión de frecuencias es uno de los factores que limita a que el uso del espectro no sea homogéneo, por lo cual durante un largo tiempo se ha estado gestionando la asignación del espectro radioeléctrico disponible, para poder reutilizarlo por otros sistemas no licenciados que necesitan esos segmentos de esas bandas, pero debido a que este esquema es fijo, los sistemas inalámbricos no pueden operar en otra banda que no sea la asignada, porque su rango de trabajo ya fue establecido para un uso específico [11].

Una de las maneras de mejorar la utilidad del espectro radioeléctrico es cambiando el esquema de concesión de frecuencias de una asignación fija a una asignación dinámica [11]. Las asignaciones dinámicas permiten obtener una mayor eficiencia en los sistemas usando acceso oportunista al espectro (OSA) con sistemas de radio cognitiva, dado que conceden que usuarios de bandas no licenciadas (usuarios secundarios) puedan acceder a los espacios en blanco que no están siendo usados en las bandas licenciadas para corroborar si existe disponibilidad en un canal [5].

2.1 Espectro Radioeléctrico y Situación Actual en el Ecuador

Debido a que el espectro radioeléctrico ha mejorado formidablemente gracias al proceso de digitalización de la televisión, ha surgido la necesidad de definir de forma más precisa y detallada, el nivel de ocupación de la porción de espectro asignado para la televisión digital en el Ecuador [12].

El espectro radioeléctrico debe ser utilizado de la manera más correcta y eficiente, para que los avances tecnológicos de los últimos tiempos tengan beneficios a partir de uso.

Cada país hace uso del espectro de la forma más favorable posible; pero siempre cumpliendo de acuerdo a las leyes y reglamentos del plan de frecuencias de Radiocomunicaciones decretado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) [13].

2.1.1 Espectro Radioeléctrico

El espectro permite el crecimiento tecnológico del sector de la información y de las comunicaciones, con la finalidad de que los ciudadanos puedan acceder y adaptarse, para ser parte de la sociedad de la información.

En la actualidad el espectro radioeléctrico tiene un buen alcance, debido a que una gran cantidad de nuevos dispositivos tecnológicos

de telecomunicaciones, requieren tener acceso a él y ante la creciente demanda se ha producido problemas de congestión, por lo cual hay que tener claro que el espectro es un recurso natural, y no tiene el carácter de renovable sino más bien limitado, y es considerado como un bien de dominio público y su propiedad es exclusivamente del Estado [12].

El estado ecuatoriano es el responsable de distribuir el espectro en diferentes bandas y sub-bandas para ofrecer servicios de telecomunicaciones; pero cada frecuencia del espectro consta de diversas propiedades físicas y de propagación, una de ellas es la atenuación de la señal, la misma que establece un límite en la distancia de transmisión y en su cobertura. Por lo tanto, se puede concluir que a frecuencias menores disminuye la atenuación y se obtiene una mayor capacidad en las señales, logrando superar los impedimentos de coberturas en la transmisión [13], [16].

Para poder transmitir cualquier tipo de información con contenidos de audio, voz y datos, y video, se requiere operar en una banda de frecuencias que haya sido definida para un trabajo específico, por lo cual se ha venido asignando las bandas de frecuencias a servicios de telecomunicaciones ya establecidos como servicios de radiodifusión, servicios de radiocomunicaciones y televisión [13].

La asignación del uso del espectro se la realiza mediante una previa solicitud del interesado, el cual debe cumplir una serie de requisitos pertinentes y aprobar el informe realizado por la Agencia de Control y Regulación de Telecomunicaciones (ARCOTEL) [15].

El ARCOTEL es la entidad encargada de ejercer la regulación y las comprobaciones técnicas del espectro radioeléctrico, cuyo objetivo es garantizar que los diversos servicios de telecomunicaciones estén libres de interferencias [15].

En conclusión, se sitúa al espectro radioeléctrico como un elemento que permite influir en el crecimiento social y económico de un país,

cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, ofreciéndoles nuevas oportunidades mediante la creación de puestos de trabajo.

2.1.2 Asignación de bandas

Conforme al Reglamento de Radiocomunicaciones escrita por la ITU, el espectro radioeléctrico está dividido en diferentes bandas de frecuencias desde la más baja hasta la más alta (Ver tabla 1).

NOMBRE	SIMBOLO	BANDA ITU
Extremely-Low Frequency	ELF	1
Super-Low Frequency	SLF	2
Ultra- Low Frequency	ULF	3
Very-Low Frequency	VLF	4
Low-Frequency	LF	5
Medium-Frequency	MF	6
High-Frequency	HF	7
Very-High Frequency	VHF	8
Ultra-High Frequency	UHF	9

Super-High Frequency	SHF	10
Extremely-High Frequency	EHF	11

Tabla 1: bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico [14], [16]

En este documento solo estudiaremos la banda de frecuencia UHF para televisión. Las frecuencias ultra altas (UHF), son bandas del espectro radioeléctrico que abarcan el rango de frecuencias de 512 – 698 MHz, y son uno de los servicios más utilizados por los canales de televisión tanto locales como internacionales para emitir la televisión digital [14]; pero también se utiliza para transmitir otros servicios de telecomunicaciones (Ver figura 2.1).

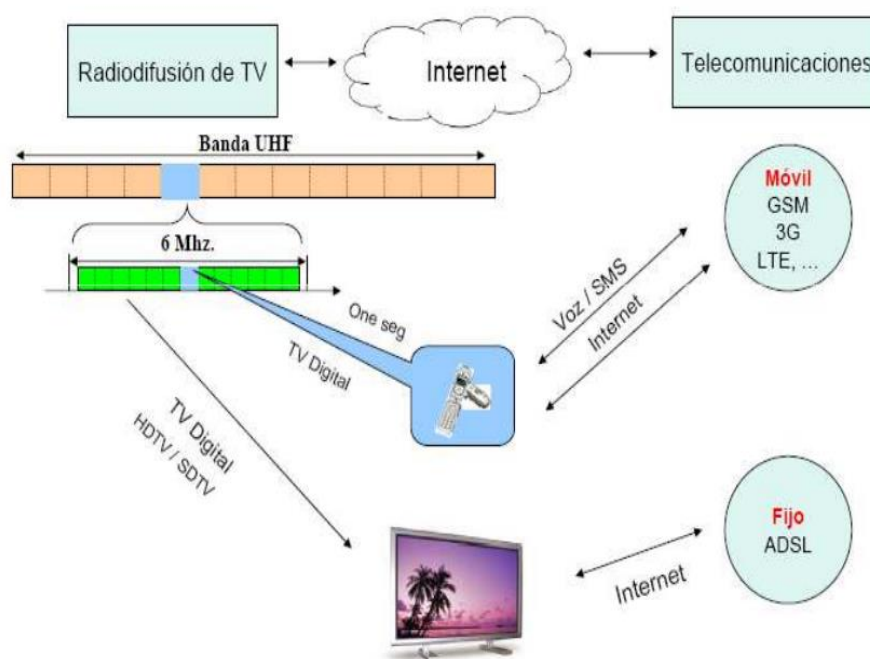


Figura 2.1 servicios de la banda UHF [22]

2.1.3 Gestión de Frecuencias

La gestión de frecuencias es una labor estatal que tiene como propósito fundamental, garantizar la explotación eficaz del espectro y así poder brindar considerables servicios de telecomunicaciones libres de interferencias perjudiciales, para que los usuarios puedan disfrutar de servicios de comunicaciones precisos y eficientes [16].

Para una oportuna gestión del espectro, al estado le corresponde cuidar que el uso que se le está dando al espectro radioeléctrico sea el adecuado y que se realice para fomentar el desarrollo económico y social del país, y así mejorar el bienestar y seguridad de la población ecuatoriana [12].

De acuerdo al reglamento de radiocomunicaciones para la gestión de frecuencias del espectro radioeléctrico dispuesto por la ITU, se distribuye al mundo en regiones, mediante la atribución de frecuencias logrando así establecer un margen de utilidad del espectro con respecto a cada región [16].

La distribución del espectro en el mundo está delimitado por zonas las cuales forman 3 regiones que a su vez están compuestas de algunos países, en la figura 2.2 se puede observar cómo están repartidas las regiones [14].

La Región 1 comprende: África, Europa, El Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas de la ex-Unión Soviética.

La Región 2 comprende toda América.

La Región 3 encierra el resto del mundo es decir el continente de Asia y Oceanía.

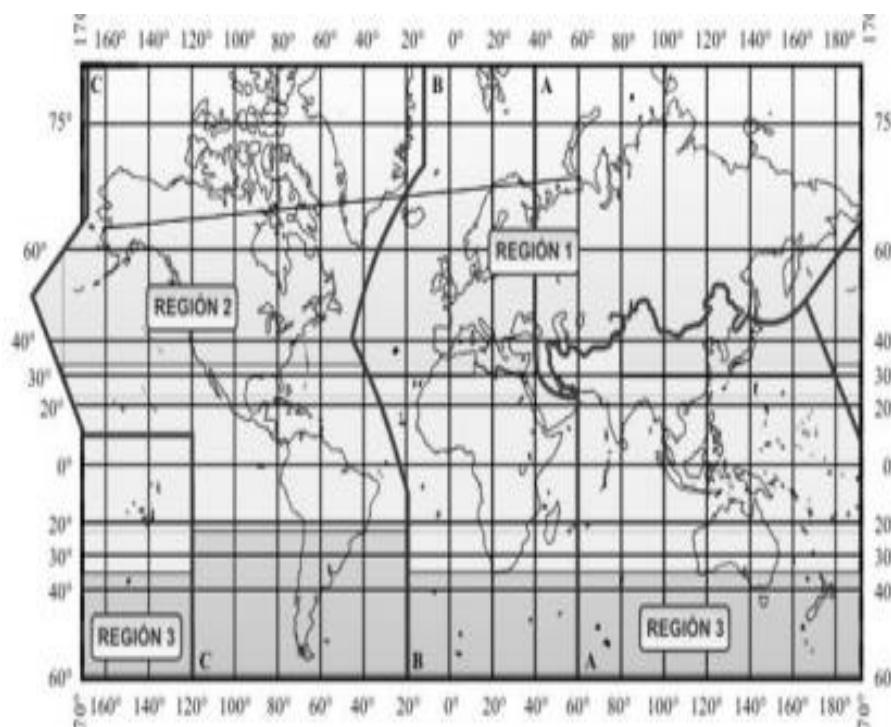


Figura 2.2: Máscara de transmisión del sistema ISDB-Tb [14]

La atribución de frecuencias ha asignado diferentes rangos de operación para el servicio de televisión digital, por lo cual las bandas IV, y V de UHF varían su frecuencia de acuerdo su región (Ver tabla 2).

	REGION 1	REGION 2	REGION 3
BANDA	Rango de Frecuencias [MHz]		
IV	470 - 582	470 – 582	470 – 582
V	582 - 960	582 – 890	582 – 960

Tabla 2: Rangos de Frecuencias de Acuerdo a Regiones [15]

2.1.4 Espectro destinado para televisión en el Ecuador

Una vez expuestos diversos temas que están relacionados con el espectro radioeléctrico como su definición, control, asignación y gestión, nos enfocaremos en la porción del espectro radioeléctrico utilizado para el sistema de televisión abierta en el Ecuador.

○ **Bandas de frecuencias y distribución de canales**

En el Ecuador las bandas de TV digital que han sido establecidas por la ITU para el servicio de televisión abierta en la banda UHF, se dividen en 16 canales de 6 MHz de ancho de banda, de la siguiente manera como se muestra en la tabla 3:

Banda de Radio ITU	Frecuencias (MHz)	Canales
	500-608	21,23,25,27,29,33,35
UHF	614-644	39,40,41
	644-698	43,45,47,49,50,51

Tabla 3: Bandas asignadas para televisión digital en el Ecuador [15]

El canal 37 no forma parte de las bandas asignadas para TV digital dado que el estado definió que su uso es exclusivamente para brindar servicios de radioastronomía.

○ **Grupos de canales**

Las bandas de frecuencias se encuentran saturadas debido a que no es factible la asignación de canales por las interferencias entre canales adyacentes, por lo cual se dividieron a los canales en grupos

según las zonas geográficas para la asignación de canales [16] (Ver tabla 4)

UHF	
GRUPOS	CANALES
G1	21,23,25,27,29,33,35
G3	39,41,43,45,47,49
G4	40

Tabla 4: Grupos de Canales UHF [15], [16], [19]

2.2 Interferencias de los canales de televisión

Las interferencias son el resultado de emisiones y radiaciones en los sistemas de radiocomunicaciones que se presentan como atenuaciones, que provocan la pérdida de información en el proceso de recepción. Los tipos de interferencias que existen y afectan a los canales de televisión son los siguientes:

2.2.1 Interferencia Cocanal

Son producidas por la presencia de señales de diferentes dispositivos que operan en el mismo ancho de banda de un canal y que se interfieren entre sí, provocando pérdidas de datos y problemas en la recepción de la señal. Estas interferencias hacen que las comunicaciones se corten y que la calidad de servicio brindado por determinados canales sea de baja calidad [17].

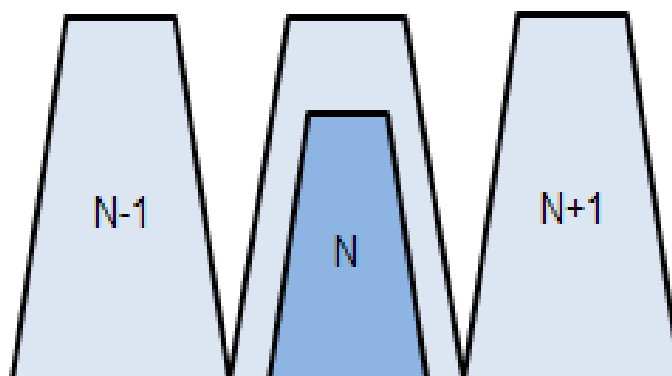


Figura 2.3: Interferencia Cocanal

2.2.2 Interferencia entre canales Adyacentes

Son producidas por la presencia de señales de diferentes canales que operan en la misma frecuencia de trabajo y que se interfieren entre sí, provocando que la información que es receptada de un canal se pueda ver afectados por la señal de otro canal (Ver Figura 2.4) [17], [18].

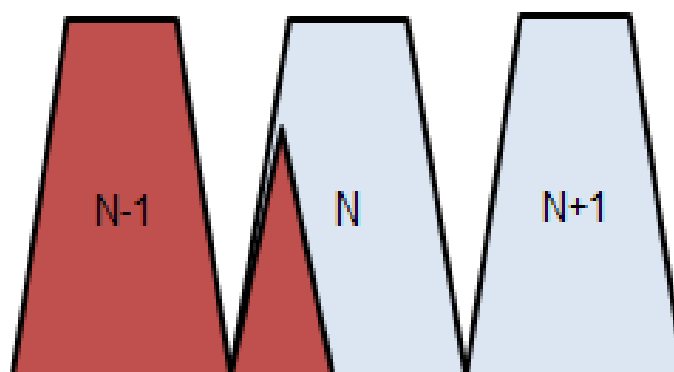


Figura 2.4: Interferencia entre canales adyacentes

2.3 Televisión Digital

El progreso que ha tenido la tecnología en el área de las telecomunicaciones no cesa y con ello, el aumento por la demanda del espectro se vuelve notorio, y si a esto se le suma las múltiples ventajas y características técnicas que nos brinda el proceso de digitalización de la televisión, conducen a un análisis indispensable, de una nueva estrategia en la repartición de los canales en el espectro y con ello, la consecuente liberación de una parte del mismo, que será de gran importancia para el sector de las telecomunicaciones [21].

La televisión digital se describe como una nueva técnica que permite difundir imágenes y sonidos con mejor calidad mediante señales digitales, cuyo fin es optimizar la transmisión y recepción de señales de televisión para brindar un mejor servicio a los usuarios y a la vez obtener mejores beneficios económicos. Los métodos de codificación, comprensión y modulación, permiten transmitir un mayor número de canales con distintos tipos de resolución en la imagen y con el mismo ancho de banda usado por los sistemas de TV análoga [21] (Ver Figura 2.5).



Figura 2.5: Comparación de la TV digital con la TV analógica [13]

Los aspectos técnicos que tienen los sistemas de TV digital sobre los de TV analógica, le conceden tener un nivel de superioridad, dado que tienen una alta flexibilidad de funcionamiento, ofrecen una excelente calidad de imagen y sonido, y proponen una mejora en la eficiencia del uso espectro. Y es exactamente este último aspecto que da lugar a la llegada del dividendo digital [19], [20], [21].

El dividendo digital se define como la porción de espectro radioeléctrico liberado como resultado del proceso de digitalización de la televisión, el mismo que será usado por otros sistemas de telecomunicaciones para obtener un mayor alcance y ofrecer servicios con excelente calidad.

2.3.1 Beneficios de la Televisión Digital

La TV digital brinda los siguientes beneficios:

- Permiten la recepción móvil y portátil.
- Permiten una recepción de buena calidad, dado que la resolución de su imagen se mejora notablemente.
- Aumenta la demanda de programas interactivos y servicios multimedia.
- Utilizan redes de frecuencia única para mejorar la eficiencia del uso del espectro.
- Soporta el acceso a servicio de internet por medio del uso del canal de retorno.
- Permite visualizar un mayor realismo en los contenidos acompañados de excelentes sonidos envolventes.
- No tiene interferencias entre canales adyacentes ni interferencias cocanal.

En la siguiente figura 2.6 se podrá observar más detalladamente como es transmitida la TV digital para obtener tales beneficios.

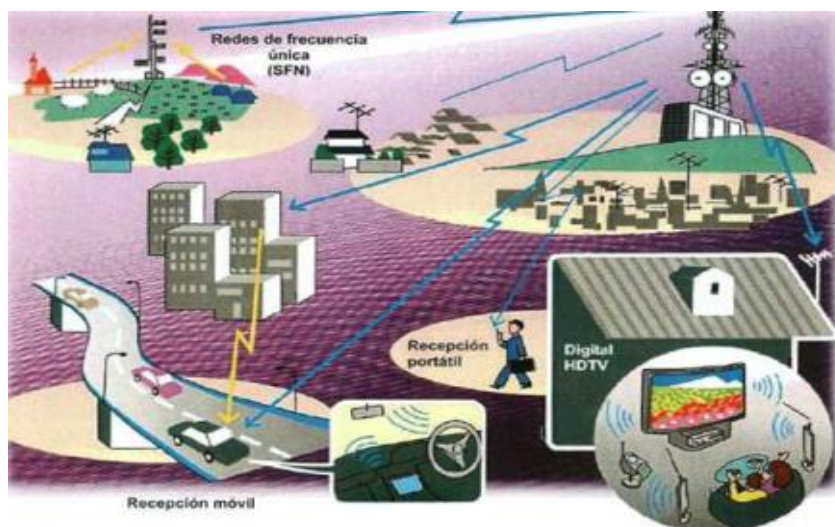


Figura 2.6: Transmisión de TV digital [20]

2.3.2 Factores de la Televisión Digital

La televisión digital depende de varios factores que se detallan a continuación:

- **Factor Técnico**

Debido a las múltiples características técnicas que hoy en día existen en varios estándares para la transmisión de televisión digital, hizo que el Estado Ecuatoriano realizara pruebas en todo el país para verificar a través del ARCOTEL, cuál de los estándares de televisión conduce a una mejor eficiencia del espectro, para brindar servicios de buena calidad con excelente imagen y sonido [21].

Como resultado de su verificación el Ecuador eligió el estándar japonés – brasileño ISDB-Tb que es la versión mejorada del estándar ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting), dado que este estándar permite tener más subcanales dentro de los 6Mhz de ancho de banda (Ver Figura 2.7).

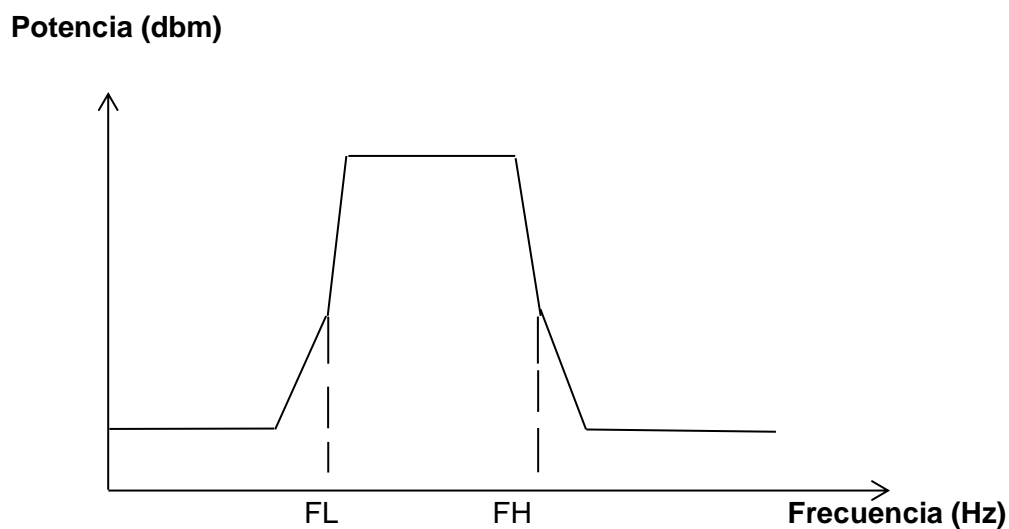


Figura 2.7: Máscara de transmisión del sistema ISDB-Tb [10]

Las características más importantes del estándar ISDB-Tb para televisión digital son (Ver Tabla 5):

Características Técnicas de ISDB-T Internacional

Imagen	4:3, 16:9
Formato	SDTV, HDTV, LDTV
Utilización efectiva del uso de Frecuencias	Red de Frecuencia única (SFN)
Codificación	COFDM
Portadoras	Multiportadoras
Ancho del canal	6MHz
Bandas usadas para TV digital	UHF

Tabla 5: Características Técnicas del Estándar ISDB-Tb [22], [26]

Las características que nos ofrece el estándar Japonés- Brasileño ISDB-Tb se las describe a continuación:

- **Alta calidad en audio y video**

Su calidad es más nítida y su excelente audio son elementos que hacen más atractiva a la televisión digital y están asociados a una técnica de compresión.

Esta técnica se encarga de eliminar algunos datos para tener una mayor compresión y así brindar a los usuarios un buen servicio con excelente resolución y un buen estéreo. Los canales podrán transmitir imágenes en formato panorámico de 16:9 en lugar del formato convencional de 4:3 acercándose al formato usado en los cines, acompañados con sonidos envolventes libres de interferencias y ruidos impulsivos [20], [22] (Ver Figura 2.8).



Figura 2.8: Calidad y formato de las imágenes [13]

- **Redes de Frecuencia Única (SFN)**

Las redes de frecuencia única son aquellas que permiten mejorar la eficiencia del uso del espectro mediante la propagación uniforme de la potencia de transmisión, puesto que emiten la misma señal sin interferencias cocalal ni adyacentes en todo el canal de frecuencia, logrando así abarcar grandes áreas de cobertura con una red de transmisiones de bajo nivel de potencia, cuyo fin es obtener una cobertura más confiable, para poder brindar un mejor servicio a los usuarios (Ver Figura 2.9).



Figura 2.9: Red de frecuencias única (SFN) [19]

La mejoría de la eficiencia del uso del espectro con señales SFN se logra mediante la utilización de 13 db menos de energía que las señales MFN (Red de frecuencia múltiple) que es la señal utilizada por la televisión analógica, además tienen una mayor duración de símbolo y a diferencia de la TV análoga poseen bandas de guarda que permiten que la información que es enviada por medio de las subportadoras, sea receptada sin ruidos ni interferencias [19], [25], [26].

○ Transmisión

Para su transmisión se utiliza la tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), la cual divide al espectro disponible en multiportadoras para distribuir los datos digitales en portadoras tanto en tiempo como frecuencia [23], [24], [25].

El sistema OFDM utiliza una técnica de multiplexación que divide el dominio de frecuencia de una canal en subbandas y el dominio del tiempo en pequeños intervalos de tiempo (Ver Figura 2.10), para luego distribuir la información en una gran cantidad de subportadoras la cuales están separadas entre sí [26].

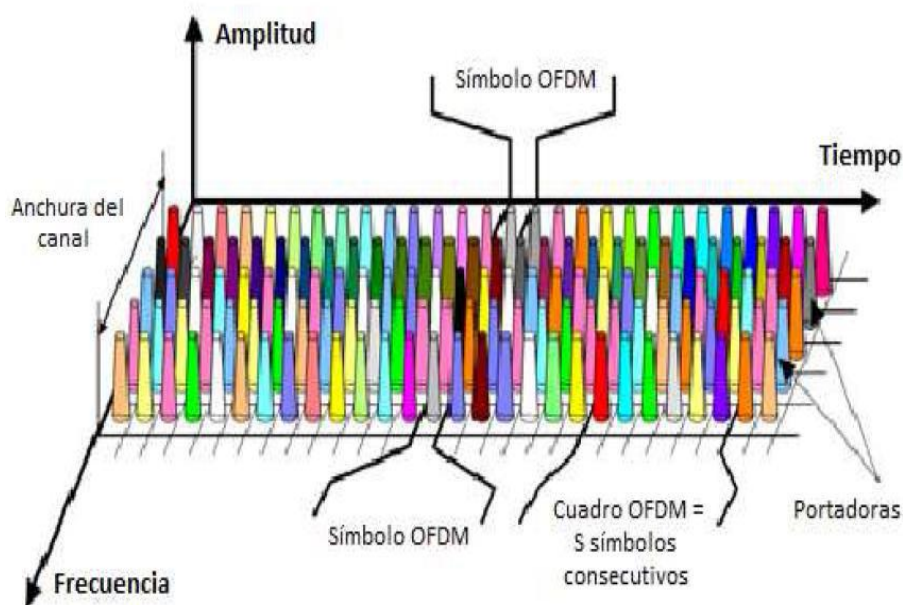


Figura 2.10: Distribución de portadoras [29], [30]

Las subportadoras son ortogonales y transmitidas de manera simultánea, y cada subportadora es modulada de forma independiente. Los tipos de modulación empleados son QPSK, 16QAM, 64QAM, en Anexos se explica sus características.

La modulación que utiliza el estándar ISDB-Tb es COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), que es una técnica de modulación mejorada basada en OFDM, que modula los datos en multiportadoras ortogonales, en donde cada una de las portadoras se encuentran modulada en amplitud y fase, además tiene mayor protección contra errores, dado que posee una tasa de símbolos muy baja mejorando la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico [30], [32] (Ver Figura 2.11).

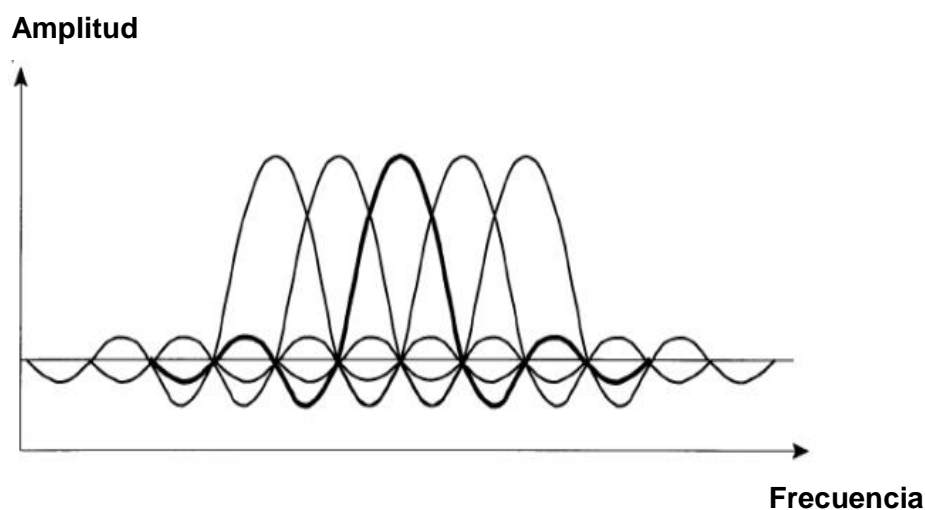


Figura 2.11: Modulación COFDM [32]

El estándar ISDB-Tb utiliza un entrelazamiento temporal conocido como Time Interleaving [24]. Esta técnica se usa para mejorar la calidad de las transmisiones y permite la corrección de errores para evitar la interferencia multi-path que es producida por la presencia de edificios o montañas entre otros impedimentos geográficos, también se encarga de disminuir los niveles de interferencia de los ruidos producidos por factores ambientales, efectos de intermodulación y por los canales adyacentes [23], [24], [28] (Ver Figura 2.12).

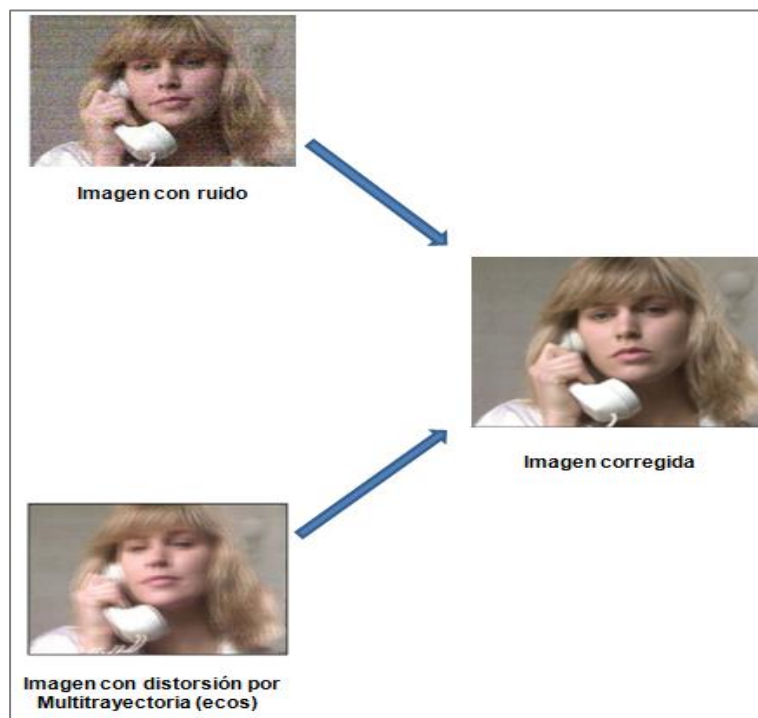


Figura 2.12: imagen corregida sin interferencias [22]

La modulación COFDM nos permite obtener una transmisión jerárquica, mediante la división del ancho de banda de un canal en 14 segmentos, de los cuales 13 son utilizados para ofrecer servicios de recepción fija, portátil y móvil y el segmento restante es dividido en 2 partes para evitar la interferencia entre canales adyacentes [28].

La transmisión jerárquica permite transmitir toda la información de manera simultánea tanto para recepción fija como para recepción móvil, y así luego organizarla en 3 capas denominadas A, B, C.

Las capas jerárquicas están compuestas por uno o más segmentos dependiendo del ancho de banda del servicio que se va a ofrecer. Los diferentes servicios que están organizados en las capas jerárquicas se detallan a continuación:

La capa A esta destinada para ofrecer servicios de TV de baja definición (LDTV) que son utilizados por los teléfonos móviles u otros medios de pantalla reducida.

La capa B está destinada para ofrecer servicios de TV de alta definición (HDTV).

La capa C está destinada para ofrecer servicios de definición estándar (SDTV).

En la siguiente figura 2.13 se puede apreciar de mejor manera los servicios que son transmitidos en las capas jerárquicas.

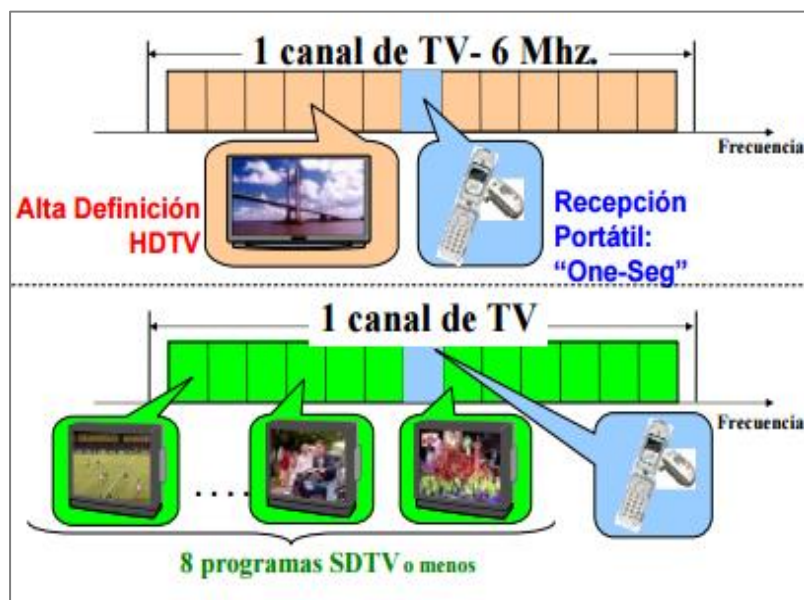


Figura 2.13: Estructura segmentada de un canal [22]

- **Ancho de banda**

El estándar ISDB-Tb mediante la técnica de modulación OFDM, es el único medio capaz de transmitir diferentes parámetros de una señal y además abarca más canales dentro del ancho de banda

de 6Mhz, para luego agrupar las portadoras en los 13 segmentos disponibles para transmisión.

En estos 13 segmentos solo se puede abarcar un máximo de 3 servicios, y están enumerados del 0 al 12, el cero es el segmento central, y es utilizado para servicios móviles y portátiles, y los 12 segmentos restantes son utilizados para servicios de recepción fija, los segmentos impares están ubicados a la izquierda y los segmentos pares están ubicados a la derecha del segmento central [31].

El ancho de banda de los segmentos que se utilizan para la transmitir la información son de 428,57 KHz (Ver Figura 2.14):



Figura 2.14: Ancho de banda segmentado [28]

Cada segmento de banda tiene un ancho de banda de 428,57 KHz, los cuales fueron calculados de la siguiente manera (Ver Ecuación 2.1):

$$AB_{seg} = \frac{AB_{canal}}{N^{\circ} Seg} \quad (2.1)$$

$$AB_{seg} = \frac{6Mhz}{14}$$

$$AB_{seg} = 428,57 KHz$$

Dónde:

AB_{seg} : Es el ancho de banda de cada segmento.

ABcanal: Es el ancho de banda de un canal.

El ancho de banda total que utiliza un canal para la transmisión de televisión digital es de 5,57 MHz (Ver Figura 2.15):



Figura 2.15: Ancho de banda utilizado para transmisión [26]

El cálculo del ancho de banda total de 5,57 MHz, se dedujo de la siguiente manera (Ver Ecuación 2.2):

$$AB_{total} = AB_{seg} \times N^{\circ} \text{ Seg} \quad (2.2)$$

$$AB_{total} = 428,57 \text{ Khz} \times 13$$

$$AB_{total} = 5,57 \text{ Mhz}$$

Dónde:

ABtotal : Es el ancho de banda total utilizado por los 13 segmentos para transmitir los diferentes servicios.

ABseg : Es el ancho de banda de cada segmento.

N° Seg : Es el número de segmentos.

El segmento que no es utilizado para brindar los servicios de recepción fija, móvil y portátil, es dividido en 2 partes y se la

denomina banda de guarda y es utilizada para evitar la interferencia entre canales adyacentes (Ver Figura 2.16).

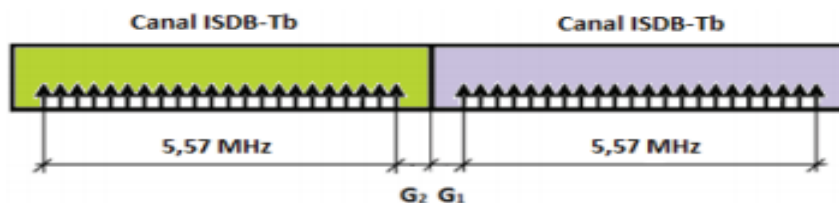


Figura 2.16: Bandas de guarda [26], [28]

○ Interactividad

La interactividad es la capacidad de ofrecer múltiples servicios de televisión, permitiendo que los televidentes puedan observar diferentes contenidos audiovisuales y también puedan explorar nuevas maneras de hacer televisión incluyendo los servicios públicos, servicios comerciales, y servicios sociales. Una de las ventajas de la interactividad es que el propio usuario es quien elige que programas interactivos desea ver o no, y cuando lo desea ver, abriendo así la posibilidad de que el espectador pueda participar e influir en los programas de televisión.

Los programas interactivos son aquellos que permiten que el usuario pueda acceder por medio de un aparato de televisión, para influir en los contenidos televisivos que se deben transmitir y cuales se deben suprimir, lo cual implica que debe existir una bidireccionalidad entre el televidente y la empresa televisiva [16], [33].

La interactividad mejora aún más, mediante el uso del canal de retorno que permite ver contenidos adicionales para navegar por ellos, usando al televisor como un interfaz de salida mediante el

uso de una línea telefónica, ADSL o un modem para poder tener acceso a internet (Ver Figura 2.17).



Figura 2.17: Uso del canal de retorno [13]

- **Frecuencias Útiles para el Estándar ISDB-T**

Las bandas de frecuencias que son las óptimas para transmitir el servicio de televisión digital son:

Banda UHF: Para una correcta y precisa operación de la televisión digital se utilizan los canales 21 – 49.

Banda UHF: son considerados también para el uso de televisión digital los canales 50 – 69.

- **Factor Económico**

La economía Ecuatoriana se beneficiara notablemente del dividendo digital, dado que producirá grandes ganancias al sector de las telecomunicaciones y permitirá que el país obtenga grandes beneficios a partir de su uso.

El valor de este elemento es muy elevado debido a que muchas empresas de telecomunicaciones, dueños de empresas televisivas y servicios de banda ancha desean usar las bandas que quedaran disponibles para utilizarlas en nuevos servicios. Las empresas de telecomunicaciones requieren las bandas que quedaran disponibles, para ofrecer servicios con más cobertura en ambientes de interiores, los dueños de empresas televisivas para brindar servicios con mejor calidad y definición, y los servicios de banda ancha para ofrecer servicios de cuarta generación como televisión móvil [16].

Por lo tanto, el dividendo digital es un elemento que nos permitirá obtener grandes beneficios económicos, el mismo que si es gestionado y distribuido de una manera correcta, será de gran importancia para el desarrollo tecnológico del país.

- **Factor Social**

En la actualidad, la televisión digital es un medio de comunicación que ofrece grandes mejorías en la forma de ver televisión con contenidos en alta definición, debido a los nuevos formatos empleados como HD y sus sonidos envolventes que nos brindan la satisfacción de disfrutar las diferentes programaciones en la comodidad de nuestro hogar.

Pero la inclusión de la TV digital a la sociedad exige una gran demanda con respecto a la programación transmitida por los canales de televisión, dado que los espectadores desean programas con contenidos educativos, informativos, y de sano entretenimiento [16].

Los contenidos que ofrece la televisión digital son unos de los factores fundamentales, ya que permiten materializar las ideas de un proyecto, mediante programas creativos y originales con el fin de atraer y entretener a los espectadores [13].

Entre los contenidos que ofrece la televisión digital destacan las películas, series tanto de ficción como animadas, documentales, programas de concurso y farándula, documentales, realitys, novelas, noticieros entre otros. Pero también la TV digital mediante el uso de acceso a banda ancha nos permite ofrecer nuevos servicios como el correo electrónico, gobierno electrónico, educación a distancia, TV banco, programas de entretenimiento entre otros.

2.4 Acceso Dinámico al Espectro (DSA)

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado, por esta razón día a día se están desarrollando nuevas tecnologías para así poder darle un uso eficiente a este recurso, principalmente aquellas que son usadas para el acceso dinámico al espectro radioeléctrico.

El acceso dinámico al espectro nos permite explorar este recurso de manera dinámica bajo ciertas condiciones específicas que dependen no solo de la arquitectura de red sino también de la banda de frecuencia a la cual se va a acceder [38]. Para lograr que el uso del recurso espectral sea de manera eficiente se lo puede hacer al momento de asignar canales, ya que en esa asignación se puede aprovechar las características de inteligencia y reconfigurabilidad ofrecida por las nuevas tecnologías de radio. Una de las tecnologías que se enfoca en este tema de inteligencia y de reconfigurabilidad es la Radio Cognitiva (CR) la cual tiene implicaciones técnicas muy variadas [37].

Esta técnica de acceso dinámico al espectro tiene tres modelos los cuales se encuentran especificados en la Figura 2.18.

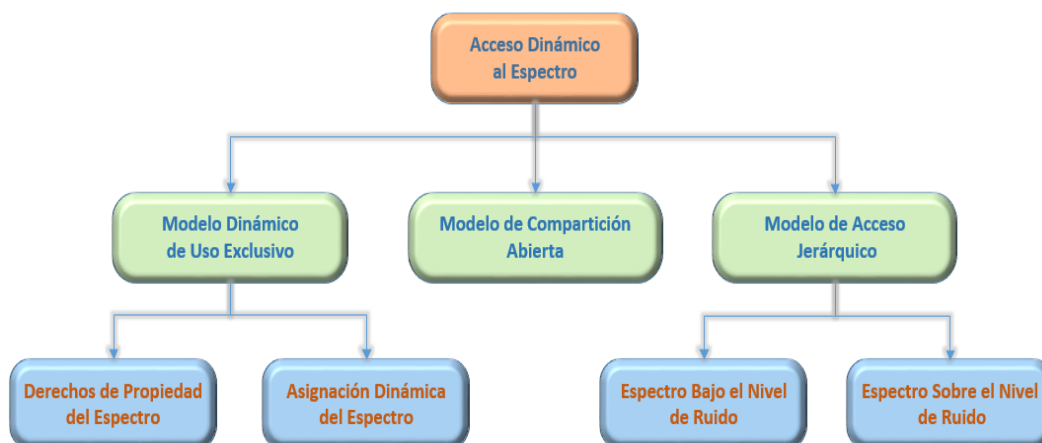


Figura 2.18: Acceso dinámico al espectro [38]

2.4.1 Acceso Oportunista al Espectro (OSA)

OSA es uno de los modelos que constituyen el acceso dinámico al espectro (DSA). El cual se basa una serie de alternativas las cuales buscan reducir la ineficiencia que existe en el uso del espectro radioeléctrico. Este modelo fue propuesto por primera vez por Mitola [36], [37] y posteriormente fue analizado por el programa DARPA next generation (XG) del cual se derivó el término OSA.

Este modelo sigue un esquema jerárquico, en el cual los usuarios secundarios pueden acceder a porciones espectrales que no están siendo utilizados por los usuarios primarios (usuarios licenciados) sin causar interferencia. Para que los usuarios primarios y secundarios puedan operar en la misma banda, Mitola establece que es necesario implementar un conjunto de operaciones por parte de los usuarios secundarios llamado Ciclo Cognitivo [36]. Por esta razón es que OSA es considerada una aplicación muy importante debido a que utiliza técnicas de radio cognitiva para operar [34], y de esta manera ofrece la posibilidad de compartir el canal inalámbrico de forma oportunista con usuarios que tienen licencia.

2.4.2 Radio Cognitiva (RC)

La radio cognitiva es un sistema que tiene la capacidad de cambiar sus parámetros de operación y adaptarse a ellos una vez que ha censado los parámetros de su entorno [35]. La radio cognitiva puede definirse como una comunicación inalámbrica que tiene la capacidad de detectar los canales que no están siendo utilizados, para que mediante esta vía se pueda realizar la comunicación sin interferir a los otros usuarios que son aquellos que tienen licencia para utilizar esa parte del espectro. Una de las características principales de la radio cognitiva es que los dispositivos con tecnología RC deben tener la capacidad de recibir la información del ambiente en el que opera, ya que con esta información se puede seleccionar la frecuencia de operación y la modulación más apropiada para una buena comunicación [6].

Los dispositivos con tecnología RC pueden reconocer el medio en el que están operando y a su vez utilizar los segmentos de frecuencias disponibles, esto de forma independiente a los servicios que se ofrezcan en determinado ancho de banda. Por ejemplo si con el pasar de los años se llegara a tener dispositivos que detecten que uno o varios canales de la banda UHF o WiFi no están siendo utilizados, y a su vez una llamada móvil no se haya podido ejecutarse, mediante la radio cognitiva se podría reencaminar la llamada por medio de los canales de UHF o WiFi para así establecer la comunicación.

CAPÍTULO 3

3. Escenario y Proceso de Medición

En los capítulos anteriores se hizo un enfoque y se mostró con mayores detalles los antecedentes, la evolución, el alcance y las problemáticas que presentan los diferentes sistemas de telecomunicaciones en el medio actual.

Por lo cual, en este capítulo se procederá a realizar una descripción con todos los detalles necesarios del escenario, en el cual se realizará el estudio de este proyecto, tomando en cuenta los sistemas de telecomunicaciones que operan actualmente en la banda UHF-TV digital.

Además se explicará el proceso de medición a realizarse para la adquisición de datos, indicando claramente las especificaciones técnicas tanto del software como de los equipos utilizados para el monitoreo del espectro asignado a este estudio.

También se incluirán algunas expresiones matemáticas para poder realizar los cálculos correspondientes que definirán los parámetros correctos a utilizar en este estudio.

3.1 Descripción y ubicación geográfica del escenario

Para que este proyecto en estudio se pueda realizar de manera correcta y así obtener beneficiosos resultados, se necesita que el escenario de trabajo se encuentre ubicado en una zona urbana, donde la característica principal sea tener una gran cantidad de edificios a su alrededor además de ser densamente comercial y poblado.

Es así que las mediciones fueron tomadas en un edificio ubicado en la zona norte de Guayaquil donde existe una alta concentración de oficinas empresariales, lugar que resulta muy atractivo para los servicios de telecomunicaciones debido a la alta densidad de usuarios que existe en este lugar (Ver Figura 3.1).



Figura 3.1: Zona Urbana Densa

En el gráfico anterior se puede apreciar una alta densidad de edificaciones, escenario del cual se puede esperar una utilización muy alta del espectro radioeléctrico, esto debido a la existencia y concentración de múltiples sistemas de comunicaciones inalámbricas, lo cual es característico de las zonas urbanas.

Para el estudio y desarrollo de este proyecto las mediciones se realizaron en 3 lugares estratégicos dentro del edificio (planta baja, planta media y planta alta), los equipos utilizados se colocaron dentro de una de las oficinas que existen en cada piso. Esto generará que no haya línea de vista entre el transmisor y los equipos de trabajo, los cuales sirven para monitorear y adquirir datos del rango de frecuencia asignado a este proyecto (Ver Figura 3.2).



Figura 3.2: Lugares de estudio en el edificio

Una de las principales características de la propagación de señales en interiores es el desvanecimiento de dicha señal, esto debido a la presencia de paredes, ventanas, muros, puertas, equipos de oficinas, etc.

Las señales recibidas por los equipos son encaminado hacia un análisis en base a los niveles de potencia del servicio de UHF-TV digital, de tal manera que aquellos datos recibidos deben ser comparados con el nivel de potencia mínimo aceptado por el servicio de televisión digital en la banda UHF, esto con el fin de determinar si existe disponibilidad en los canales analizados.

Se espera obtener como mínimo un promedio de 60000 datos por cada canal de UHF-TV digital, para así lograr una correcta estimación al momento de comparar los datos obtenidos con un modelo estadístico, y así deducir de manera óptima la existencia de disponibilidad en el rango espectral analizado.

3.2 Descripción del proceso de medición

Para poder realizar este proyecto es necesario implementar un sistema de medición que está compuesto de tres etapas las cuales son: etapa de recepción de señal, etapa de captura y procesamiento, y etapa de análisis y control (Ver Figura 3.3).



Figura 3.3: Sistema de Medición

Etapa de recepción de señal

En esta primera etapa es donde se realiza la recepción de la señal, para la cual se procedió a utilizar una antena SIRIO SD 3000 N. Este tipo de antena no tiene ningún problema en recibir señales en el rango de trabajo asignado (banda UHF TV digital), debido a que su rango de frecuencia de operación es de 300 a 3000 MHz.

Otras de las características importantes de esta antena es que tiene un patrón de radiación omnidireccional y además está elaborada de acero inoxidable, nylon y latón cromado, lo cual la hace resistente a condiciones climáticas pésimas (Ver Figura 3.4).



Figura 3.4: Antena Sirio SD-3000 N [39]

Etapas de captura y procesamiento

Para realizar la captura de los datos (valores de potencia) recibidos en la primera etapa del sistema de medición, se utilizará un equipo lógico programable llamado USRP-N210, el cual no solo captura sino que también procesa y guarda los datos obtenidos por la antena mediante el programa LabView (Ver Figura 3.5).



Figura 3.5: USRP-N210 [40]

La comunicación entre la antena y nuestro equipo USRP-N210 se lo realiza a través de un cable Wilson 400, cuya característica principal es poseer un

ultra baja pérdida, esto con el fin de recibir la señal de la manera más óptima posible.

El dispositivo USRP posee una gran versatilidad para realizar cambios en su frecuencia de operación, por lo cual se puede obtener el posible censado de los valores de potencia por cada canal.

La captura y procesamiento de datos serán tomadas por 24 horas durante 10 días en cada piso, esto con el fin de obtener las 60000 muestras necesarias para para la correcta elaboración de nuestro estudio.

Etapas de análisis y control

Esta etapa está compuesta por un ordenador que es el encargado de recibir los datos que fueron capturados y procesados por el USRP mediante la vía Gigabit Ethernet.

Es así que utilizando la herramienta labview se puede extraer los datos obtenidos por el USRP, de tal forma que aquellos datos sean guardados en un archivo Excel. Cabe recalcar que por cada canal se generara un archivo Excel con el mínimo número de datos necesarios para el correcto desarrollo del estudio

Esta última etapa se encarga de verificar que los datos censados y obtenidos en la medición sean los correctos, para así poder tener un control sobre el buen funcionamiento del sistema de medición.

3.3 Análisis de las potencias

Para lograr un correcto análisis, se debe tomar en cuenta que los valores de potencia recibidos por el USRP deben ser los mismos valores de potencia que llegan a la antena directamente del transmisor.

Sin embargo esto no es verdad debido a que existen factores los cuales generan pérdidas como los cables y conectores, pero gracias al amplificador interno del USRP, estas pérdidas son compensadas como se puede apreciar en la siguiente ecuación 3.1:

$$Pr = Pant + Gant - Lc - Lcont + Gusrp \quad (3.1)$$

En la ecuación 3.1 se pueden apreciar los parámetros Pr y Pant, donde se espera que estos dos parámetros sean aproximadamente iguales para un correcto análisis.

Pr : Es el valor de potencia recibida por el equipo USRP justo después del amplificador del mismo.

Pant: Es el valor de potencia recibido por la antena SIRIO SD 3000N procedente del transmisor.

Gant: Es aquella ganancia proporcionada por la antena y se encuentra desde 0 a 2.15 (dB).

Lc: Es aquella pérdida que se genera en los cables cuando la señal atraviesa por ellos al conectar la antena con el equipo USRP.

Lcont: Es la pérdida producida por los conectores que son utilizados en el sistema de medición.

Gusrp: Es la ganancia que posee el equipo USRP que viene definido por el amplificador interno que tiene este equipo.

3.4 Algoritmo utilizado para la medición

El objetivo del algoritmo que será utilizado en este estudio es monitorear el rango de frecuencias de la banda UHF-TV digital, y a su vez obtener el nivel de potencia que existe en cada canal de la banda en mención, por tal razón se procede a configurar dicho algoritmo en el equipo USRP.

Para poder inicializar el algoritmo se deben tomar en cuenta ciertos parámetros necesarios que serán detallados a continuación: el rango de frecuencias a ser analizado es de 512 MHz a 698 MHz y se utiliza la frecuencia central de cada canal, los canales de la banda UHF-TV digital tienen el mismo ancho de banda cuyo valor es de 6 MHz, pero también se

deben tomar en cuenta el número de canales de la banda asignada, la ganancia del equipo USRP, dirección IP, el tiempo de inicio que es la hora fijada para el inicio de la captura de datos medidos, y tiempo de muestreo por canal.

Al ejecutarse el algoritmo se establecerá una conexión entre el equipo USRP y el ordenador, una vez concretada esta conexión el algoritmo ejecutará automáticamente una serie de instrucciones, para el cual fue construido. Una vez que el algoritmo ha finalizado, se genera automáticamente un archivo Excel que contendrá los niveles de potencia por cada canal analizado. Para un mayor entendimiento del algoritmo en la figura 3.6 se explica detalladamente mediante un diagrama de flujo las instrucciones que ejecuta.

El primero de todos los pasos es la parametrización del equipo USRP, y una vez configurados los parámetros antes mencionados, se procede a inicializar el programa para que de manera automática se vayan ejecutando las instrucciones. En primera instancia se inicializan dos contadores, uno para los canales y otro para el tiempo de muestreo por cada canal. Luego el programa procederá a escanear canal por canal los niveles de potencia existentes. Mientras transcurre el tiempo T_s en cada canal seleccionado para la medición, los diversos valores de potencias adquiridos son guardados en una variable de manera temporal, con el fin de obtener el máximo valor de potencia para posteriormente almacenar dicho valor en el archivo Excel que se genera por cada canal, al final de este procedimiento el contador se actualiza de tal manera que en la siguiente iteración se ejecute el mismo procedimiento pero en el siguiente canal.

Este proceso se sigue ejecutando hasta que el contador llegue a su máximo valor N , donde N es el número de canales que se analizarán en este estudio, cuando esto sucede el contador se reinicia y el proceso se sigue ejecutando de manera continua. De esta manera la única forma de detener el algoritmo es que el estado del programa sea cambiado por el usuario (Stop=1).

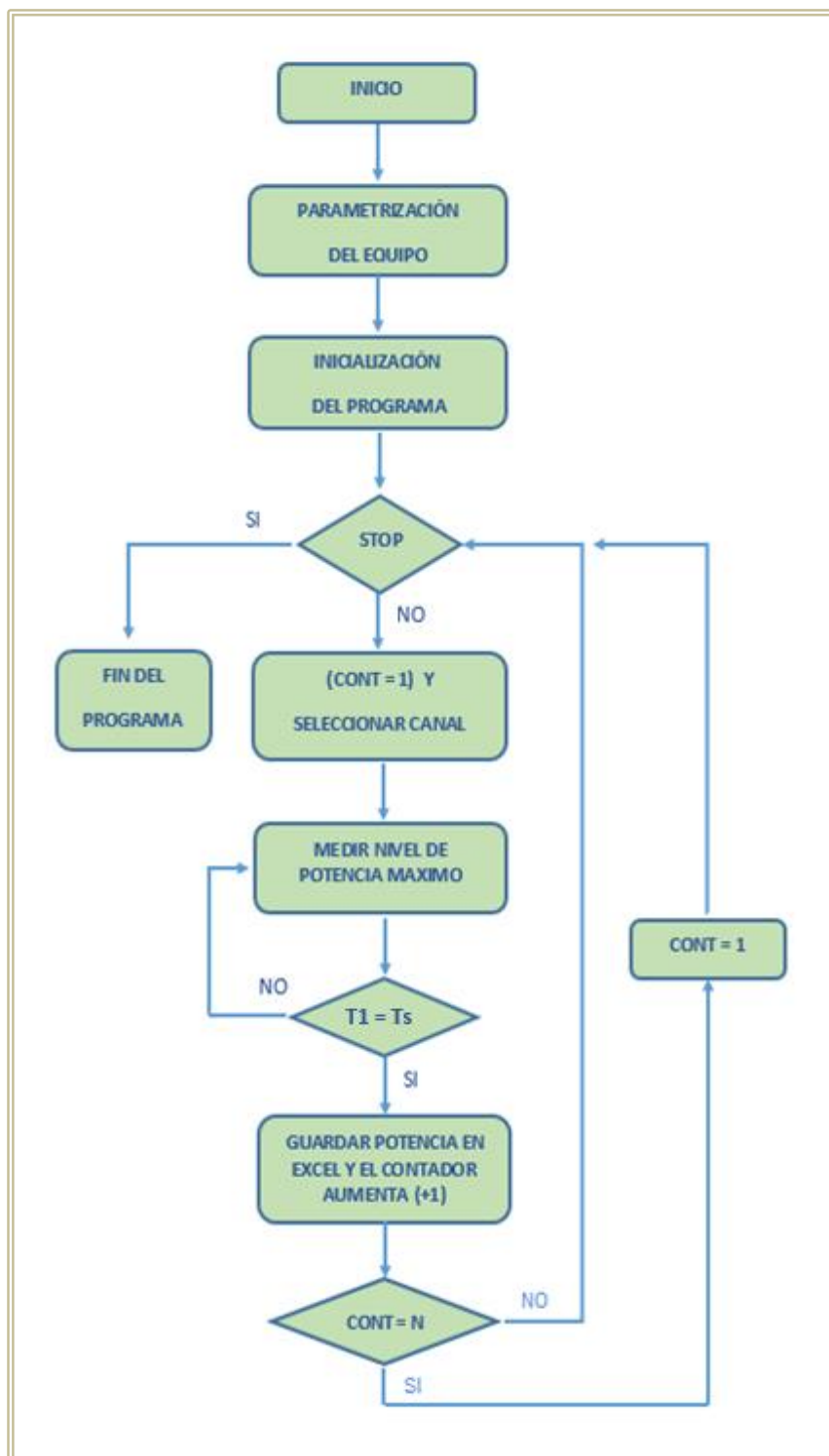


Figura 3.6: Algoritmo utilizado para la medición

3.5 Modelamiento Probabilístico

Una vez analizado el escenario de estudio se procede a realizar un modelamiento Estadístico con los datos que fueron obtenidos durante la medición, los cuales pertenecen a la banda UHF-TV digital. Para realizar este modelado se debe saber si los datos obtenidos por el sistema de medición tienen un comportamiento estocástico, es decir los datos que son receptados por los equipos tienen una variación de forma aleatoria a medida que transcurre el tiempo. Los datos obtenidos por el equipo medición muestran diversos valores de potencia (X) (Ver Ecuación 3.2), los cuales se encuentran por encima o por debajo de la sensibilidad de recepción de la banda UHF-TV digital ($\lambda = -77$ dbm).

$$X = [X_1, X_2, X_3, \dots, X_n] \quad (3.2)$$

Una vez que establecen las características que posee la potencia recibida, se procede a determinar el estado de dicho valor de potencia, para así realizar un mejor análisis de los datos. Esto se lo obtiene a través del siguiente argumento matemático:

$$X = 0 ; \text{ si } X_i \geq \lambda \quad (3.3)$$

$$X = 1 ; \text{ si } X_i < \lambda \quad (3.4)$$

La variable X_i descrita en la ecuaciones 3.3 y 3.4, determina el estado del canal en un tiempo determinado T_s con respecto a la potencia de umbral de la banda UHF-TV digital, los mismos que indican que si $X=1$ se encuentra disponible caso contrario se encuentra ocupado.

Una vez que se conoce el estado de cada canal analizado, es posible determinar un modelo estadístico que permita representar la disponibilidad

que pueda existir en los canales analizados en un determinado intervalo de tiempo. Por lo cual, se plantean 3 posibles distribuciones estadísticas para el modelado estadístico, las mismas que se definen a continuación:

Distribución Gamma

Esta distribución es utilizada para modelar variables que nos describen el tiempo en el que un determinado evento ha sucedido n veces, además es una distribución de probabilidad continua que posee dos parámetros importantes a considerar los cuales son α y β . La función de densidad de la distribución gamma [10] está dada por (Ver Ecuación 3.5):

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (3.5)$$

Donde $\alpha, \beta > 0, X > 0$.

En la ecuación 3.6 se observa la función gamma $\Gamma(\alpha)$ la cual está definida de la siguiente manera (Ver Ecuación 3.6):

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)! \quad (3.6)$$

La media y la varianza de una distribución gamma se expresa de la siguiente manera (Ver Ecuaciones 3.7 y 3.8):

$$\mu = \alpha\beta \quad (3.7)$$

$$\sigma^2 = \alpha\beta^2 \quad (3.8)$$

Distribución Beta

Es una distribución de probabilidad continua definida para una variable aleatoria X que está comprendida $[0,1]$, además consta dos parámetros α y β . La función de densidad de la distribución beta [10] está dada por (Ver Ecuación 3.9):

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\beta)\Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} (1 - X)^{\beta-1} \quad (3.9)$$

Donde $\alpha, \beta > 0$ y $X > 0$.

La media y la varianza de una distribución beta se expresa de la siguiente manera (Ver Ecuaciones 3.10 y 3.11):

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \quad (3.10)$$

$$\sigma^2 = \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)} \quad (3.11)$$

Distribución Kumaraswamy

Es una distribución de probabilidad continua definida para una variable aleatoria X en el intervalo $[0,1]$, su comportamiento es muy similar a la distribución beta pero mucho más fácil de usar debido a la forma cerrada que tiene su función de densidad. La función de densidad de la distribución kumaraswamy [10] está dada por (Ver Ecuación 3.12):

$$f(x) = \alpha\beta X^{\alpha-1}(1 - X^\alpha)^{\beta-1} \quad (3.12)$$

Donde $\alpha, \beta > 0$ y $X > 0$.

CAPÍTULO 4

4. Análisis de Datos y Experimentación

En este capítulo se presentan los parámetros que serán utilizados en la configuración de los equipos, para la medición de los niveles de potencia espectral de la banda UHF- TV digital, para luego procesar los datos que serán previamente analizados, con el fin de determinar la existencia de disponibilidad temporal en ciertos canales de dicha banda, y así obtener un modelo estadístico que permita resolver los problemas de escasez del espectro radioeléctrico. También se describirá la ubicación geográfica del escenario utilizado para las mediciones.

4.1 Ubicación geográfica y duración de la medición

Dado los requerimientos del proyecto integrador, el escenario utilizado para las mediciones es un edificio, el mismo que debe estar situado en una zona urbana densa de la ciudad de Guayaquil. La ubicación del edificio según las coordenadas son (Latitud: $2^{\circ}9'49.45''S$ y Longitud: $79^{\circ}53'50.92''O$) (Ver Figura 4.1).

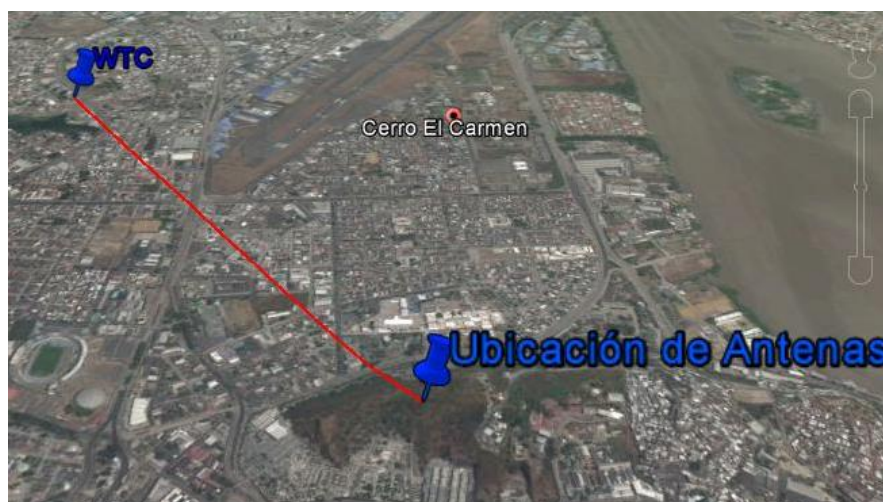


Figura 4.1: Ubicación geográfica del escenario de estudio

El edificio consta de 16 pisos y para realizar las respectivas mediciones de los niveles de potencia del uso del espectro, se eligieron el piso 1, piso 9 y piso 16 con el objetivo de verificar si existe disponibilidad en los canales de la banda UHF-TV digital.

4.2 Parámetros de configuración

De acuerdo a los capítulos anteriores la banda asignada para el estudio es la banda UHF-TV digital en el Ecuador, la misma que está comprendida entre 512 – 698 MHz y cada canal de esta banda tiene 6MHz de ancho de banda (Ver tabla #).

Parámetros	Valores
Ancho de banda, BW	512 – 698 MHz
Ancho de banda del canal, Δf	6 MHz
Frecuencia Inicial, f_0	512 MHz
Frecuencia Inicial, f_N	698 MHz
Canal Inicial, Ch_1	21
Canal Final, Ch_N	51
Números de canales, N	16

Número de muestras, N_s	1000
Potencia Umbral, λ [41]	-77 dbm
Tiempo de captura por canal, T_c	0,24 seg
Tiempo de muestreo por canal, T_s	13,68 seg

Tabla 6: Parámetros de configuración

En la tabla 8 se muestra el tiempo de capturas por canal (T_c) que es el tiempo empleado por cada canal para efectuar la captura de los datos, el tiempo de muestreo por canal (T_s) que es el tiempo de demora un canal en tomar las muestras, el número de muestras de los canales (N_s) el cual es utilizado para determinar la disponibilidad. Estos parámetros de configuración del USRP permitirán determinar la granularidad de la disponibilidad, para así verificar si los canales de la banda UHF-TV digital tiene espacios en blancos disponibles.

4.3 Análisis de datos del escenario

En el capítulo 3 se explica que el proceso de medición en la edificación consta de una etapa de captura y procesamiento, en esta etapa los datos son capturados en el piso 1, piso 9 y piso 16 en el tiempo de duración de 10 días por piso, para luego ser procesados mediante el uso de los programas Matlab y Excel, una vez procesados estos datos son previamente analizados para elegir 3 casos donde los canales están disponibles, intermitentes y ocupados, con el objetivo de verificar si en aquellos canales

existe una disponibilidad temporal. A continuación se detallan los resultados de las mediciones en los pisos de la edificación en la banda UHF-TV digital.

4.3.1 Análisis de los Niveles de Potencia

En las figuras 4.2, 4.3, 4.4, se muestran los niveles de potencias de los datos obtenidos mediante las mediciones en el piso 1, piso 9 y piso 16. Los niveles de potencia están definidos mediante colores, el rojo representa que un canal tiene elevado niveles de potencia (ocupado) y el azul representa que un canal tiene bajos niveles de potencia (disponible).

En la figura 4.2 que corresponde a los niveles de potencia obtenidos en el piso 1, se puede apreciar que los últimos 7 canales que son el 41, 43, 45, 47, 49, 50 y 51, se encuentran disponibles debido a que muestran un color azul oscuro ($PR_{ANT} \approx -88$ dbm). De igual manera existen canales como el 29 y 39, donde su nivel de potencia es elevado ($PR_{ANT} \approx -40$ dbm) y sus segmentos se muestran de color amarillo, y si se lo compara con el umbral de la banda UHF-TV digital ($\lambda = -77$ dbm), se puede concluir que están poco disponibles.

También existen canales donde sus segmentos se tornan de colores celestes y azules, eso significa que sus niveles de potencias se encuentran variando por encima y por debajo del umbral de referencia ($PR_{ANT} = -77$ dbm), lo cual implica que por pequeños instantes de tiempo dichos canales estarán disponibles, pero también estarán ocupados. Cuando un canal tiene dicho comportamiento se dice que se encuentre en estado intermitente.

En la figura 4.3 se observa que los datos obtenidos en el piso 9 muestran que los canales tienen niveles de potencias más elevados en comparación con el piso 1 (-35 dbm $\leq PR_{ANT} \leq -55$ dbm), provocando que en la mayor parte del tiempo estos canales se encuentren ocupados y con poca disponibilidad.

El aumento de los niveles de potencia se representa por medio de segmentos amarillos más intensos los canales que tienen este comportamiento son el 21 y 29, pero también los canales 33 y 39 tienen el mismo comportamiento con la excepción que por instantes de tiempo muestran un nivel de disponibilidad excelente; mientras tanto, hay canales en donde su nivel de intermitencia ha aumentado, dado que muestran una tonalidad celeste como es el caso del canal 23, 35 y 40. Los canales en donde el tiempo de disponibilidad es más considerable son el 41 y 43, y aunque los canales 45, 47, 49, 50 y 51 muestran un nivel de intermitencia durante un corto lapso de tiempo, estos canales también son considerados como disponibles porque la tonalidad de sus segmentos es en su mayor parte azul.

En la figura 4.4, se puede visualizar que los niveles de potencia de los canales obtenidos durante las mediciones en el piso 16 son elevados para ciertos canales, como es el caso de los canales 21 y 29, los cuales tienen pocos segmentos disponibles, debido a que su nivel de potencia ($-25 \text{ dbm} \leq PR_{ANT} \leq -45 \text{ dbm}$) está por encima de la potencia de umbral, su tonalidad es amarilla y naranja. Otro canal que ha estado ocupado es el canal 39 y se puede notar que a excepción de los dos pisos anteriores este se encuentra disponible durante un corto periodo de tiempo, de igual manera el canal 33 se encuentra ocupado, pero con bajo niveles de potencia que indican una excelente disponibilidad durante unos lapsos de tiempo. Los canales 23 y 40 se encuentran en estado de intermitencia con niveles de potencia cerca del umbral y en su mayor parte del tiempo están poco disponibles; mientras tanto, los canales 41, 43, 45, 47, 49, 50 y 51 permanecen con niveles bajos de potencia, lo cual indica que hay una excelente disponibilidad.

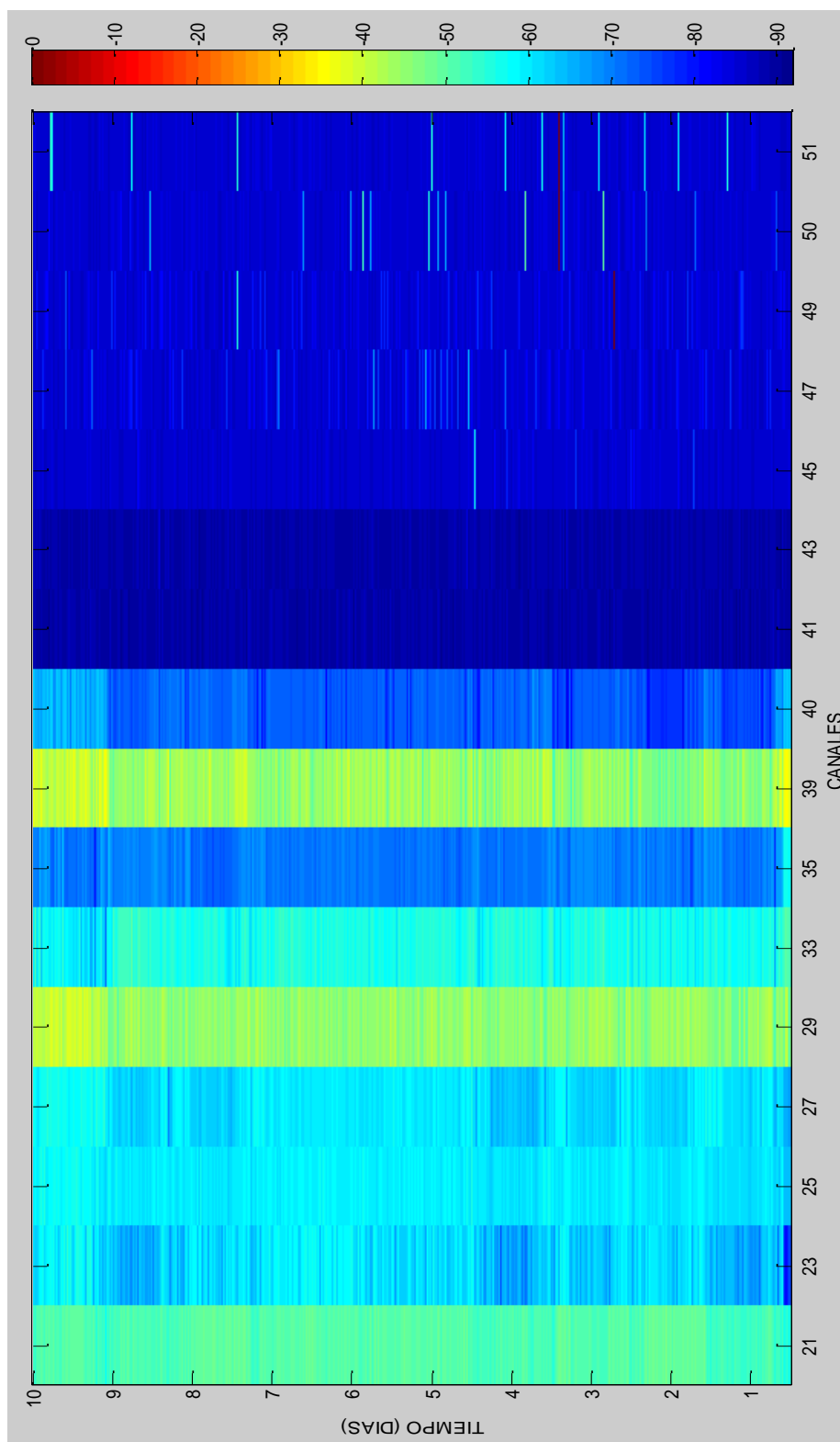


Figura 4.2: Niveles de potencia obtenidos en el piso 1

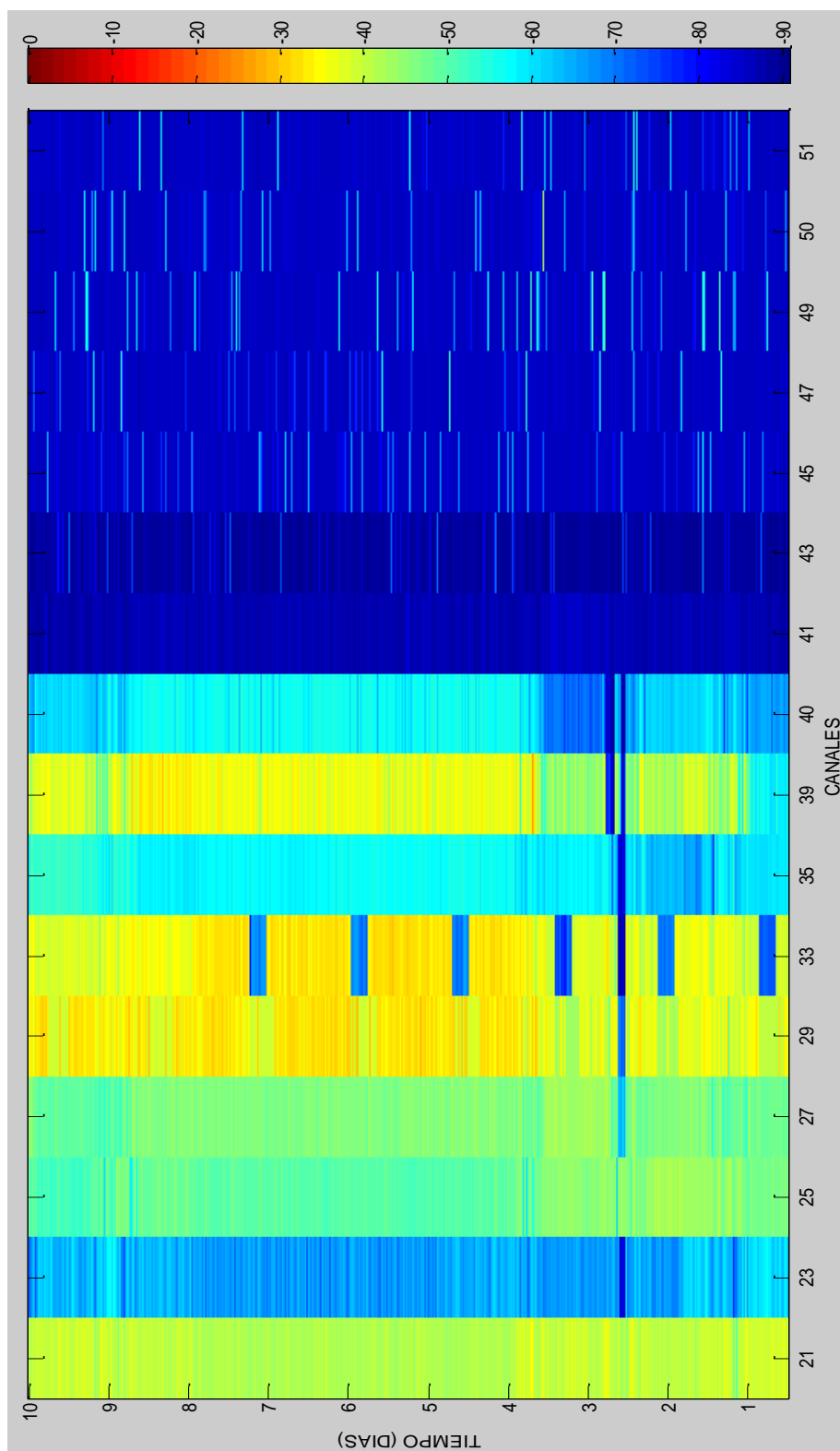


Figura 4.3: Niveles de potencia obtenidos en el piso 9

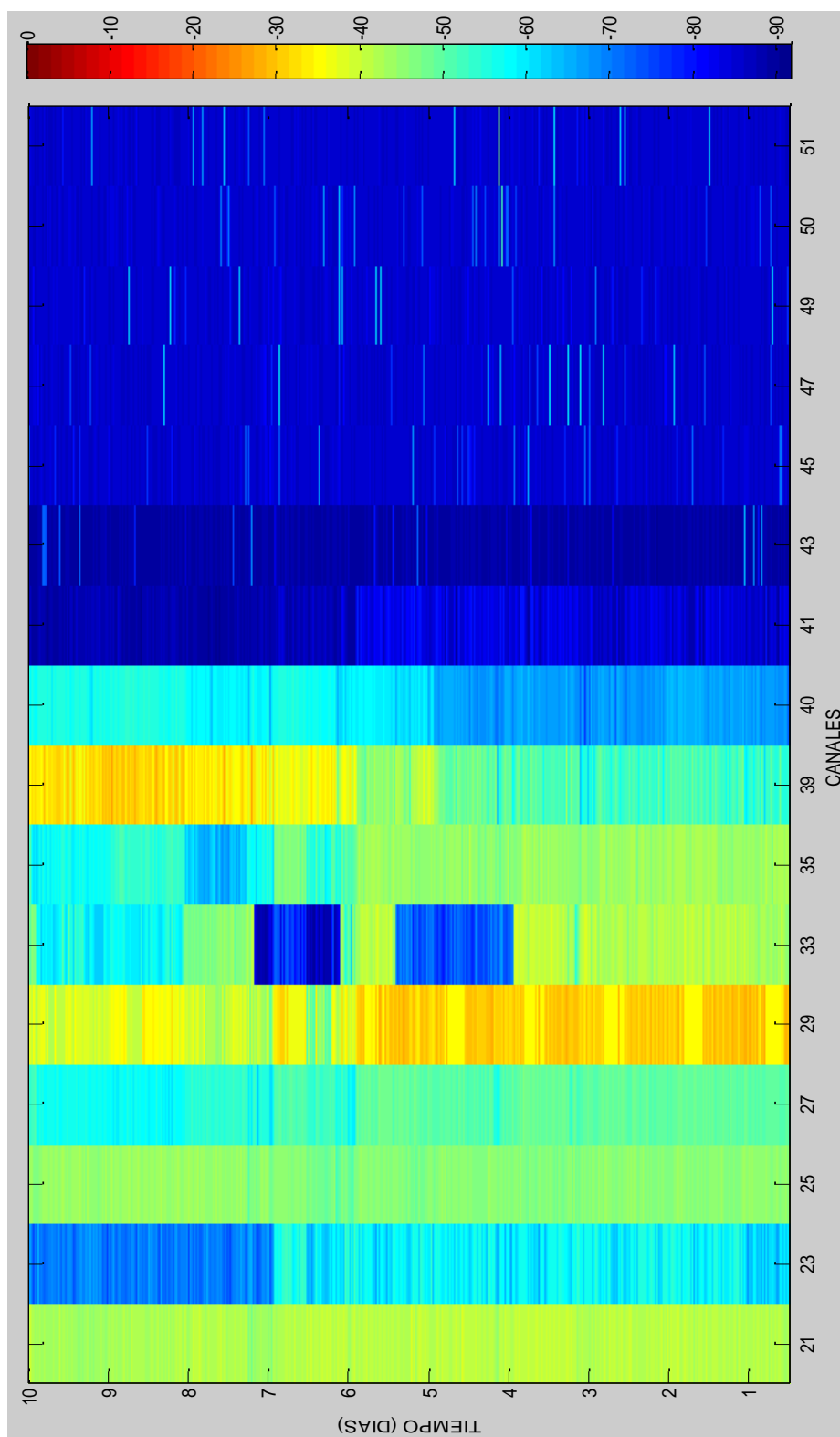


Figura 4.4: Niveles de potencia obtenidos en el piso 16

4.3.2 Análisis de los Niveles de Disponibilidad

Una vez que se analiza el comportamiento de los niveles de potencia de los datos obtenidos durante las mediciones de los canales en los diferentes pisos de la edificación, se procede a realizar una matriz de disponibilidad utilizando la granularidad que para este caso es de 22, con el objetivo de analizar el porcentaje de disponibilidad en los diferentes canales de la banda UHF-TV digital. La disponibilidad se la verifica mediante la tonalidad de los segmentos, si está de color rojo es disponible y si esta de color azul está ocupado.

La figura 4.5 muestra los porcentajes de disponibilidad de los canales en el piso 1, por consiguiente se puede observar que la disponibilidad en los canales 41, 43, 45, 47, 49, 50 y 51 es muy alta, ya que muestran una tonalidad rojiza oscura; mientras tanto, los canales 21, 25, 27, 29, 33 y 39 presentan un nivel de ocupación elevado, dado que sus segmentos tienen una tonalidad azul, esto implica que la disponibilidad en estos canales es muy baja. Otro canal que también tiene una tonalidad azul es el 35, pero se diferencia de los otros, debido a que tiene una pequeña franja disponible.

Hay 2 canales donde su nivel de disponibilidad se encuentra variando, estos canales son el 23 y 40. En el canal 23 existe un lapso de tiempo donde su tonalidad es de color rojo y naranja lo que indica que está muy disponible, aunque la mayor parte del tiempo carece de disponibilidad, debido a que su tonalidad es de color azul. A diferencia del canal 23 ya mencionado anteriormente, en el canal 40 existe más porcentaje de disponibilidad ($1 \leq PR_{Disp} \leq 0,58$), ya que consta con tonalidades que se encuentran más cerca del umbral de disponibilidad ($PR_{Disp}=1$).

En la figura 4.6 se muestra los porcentajes de disponibilidad de los datos obtenidos en el piso 9, y se puede observar que la disponibilidad va decayendo para ciertos canales como es el caso de los canales 23 y 40 que ahora muestran menos segmentos

disponibles. Los canales 41 y 43 siguen con excelente disponibilidad y aunque en los canales 45, 47, 49, 50 y 51 se muestran pequeñas franjas de color amarillo, no es impedimento para que estos canales sigan teniendo una buena disponibilidad. Por otra parte los canales que siguen teniendo bajo porcentaje de disponibilidad son el 21, 25, 27 y 29; mientras tanto, el canal 33 y 39 presentan cierta variación debido a que en la planta baja se encontraba como canales poco disponibles, pero ahora por un corto periodo de tiempo presenta una excelente disponibilidad. En cambio en el canal 35 se tiene un poco más de disponibilidad en comparación con el piso analizado anteriormente.

Y para finalizar en la figura 4.7 se observa que los porcentajes de disponibilidad del piso 16, en comparación con los pisos mencionados anteriormente se puede establecer que los canales 41, 43, 45, 47, 49, 50 y 51 pueden ser utilizados completamente para brindar otros servicios, ya que siempre se encuentran disponibles. Además, se puede verificar que los canales 23 y 40 aumentan su nivel de ocupación debido a que pierden franjas disponibles cuando se cambia a pisos de más altura. El canal 33 presenta intervalos de disponibilidad excelentes en comparación con los otros pisos y los canales 21, 25, 27, 29 y 35 presenta niveles muy bajos de disponibilidad ($PR_{Disp} \approx 0$).

En conclusión, la mayoría de los canales pueden ser utilizados para desarrollar sistemas con OSA, a excepción de los canales 21, 25, 27 y 29, los cuales se encuentran ocupados en su totalidad durante las mediciones en todos los pisos, por lo cual no pueden ser utilizados para brindar más servicios de los que tienen ya asignados.

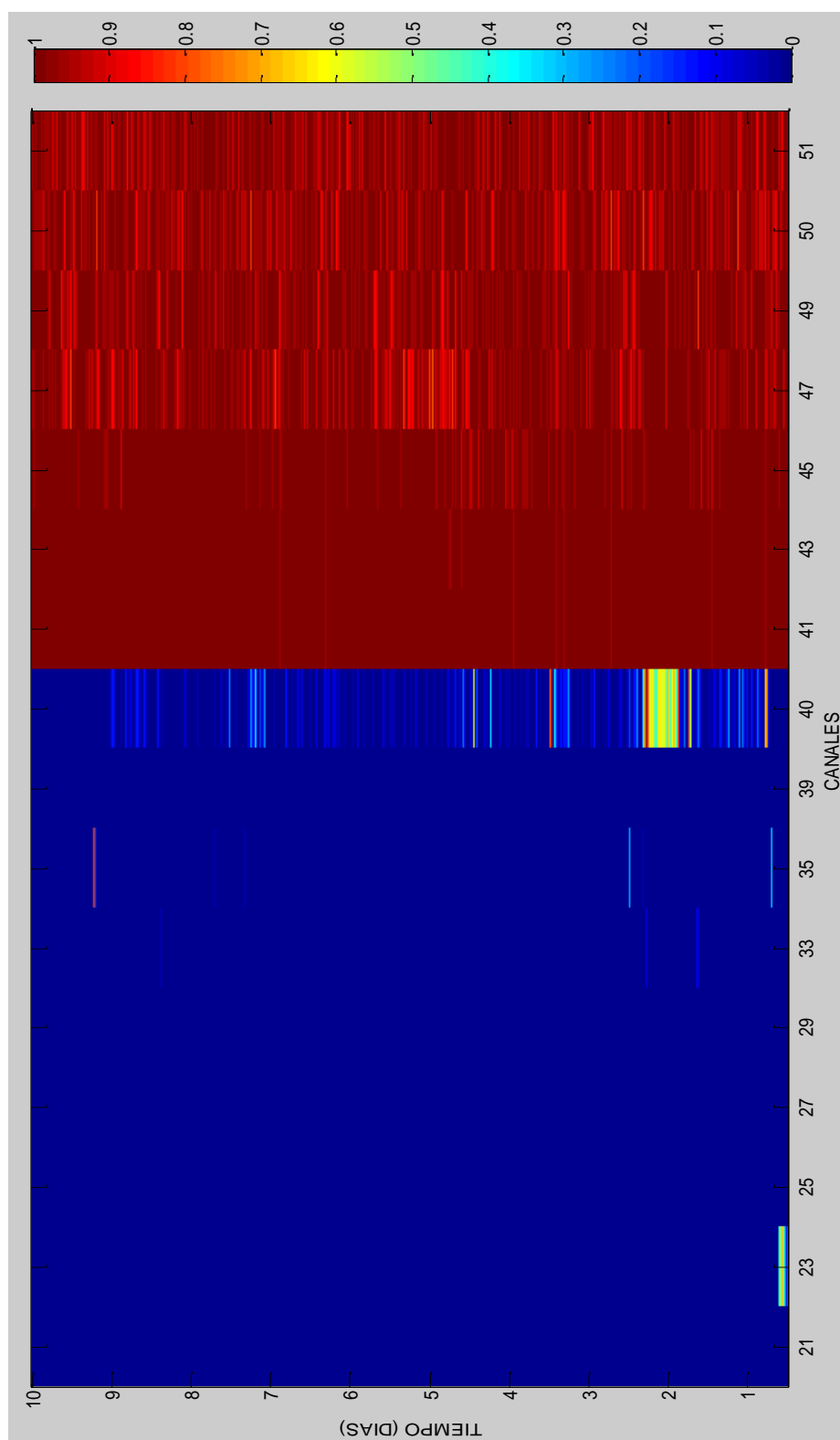


Figura 4.5: Niveles de disponibilidad obtenidos en el piso 1

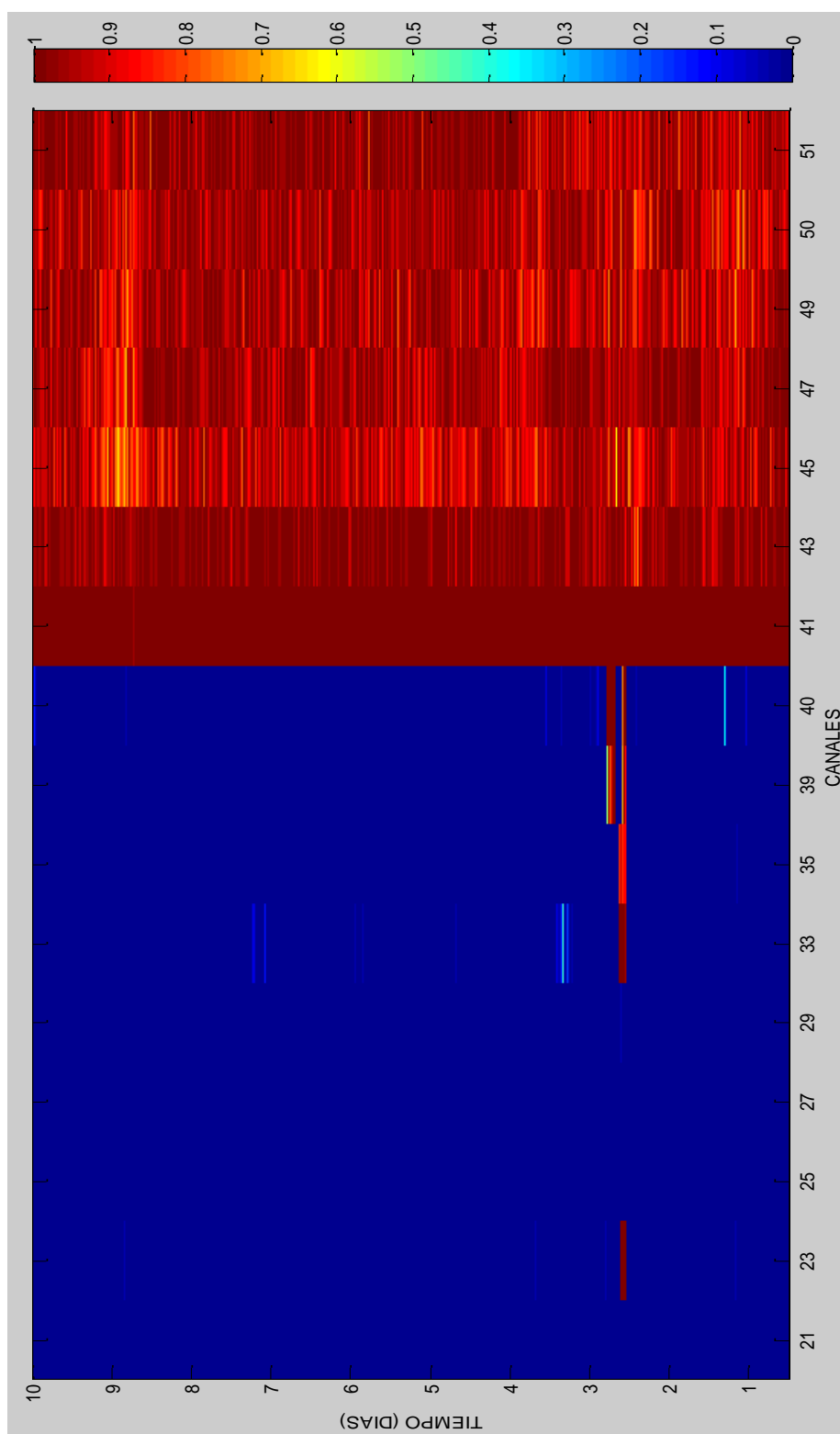


Figura 4.6: Niveles de disponibilidad obtenidos en el piso 9

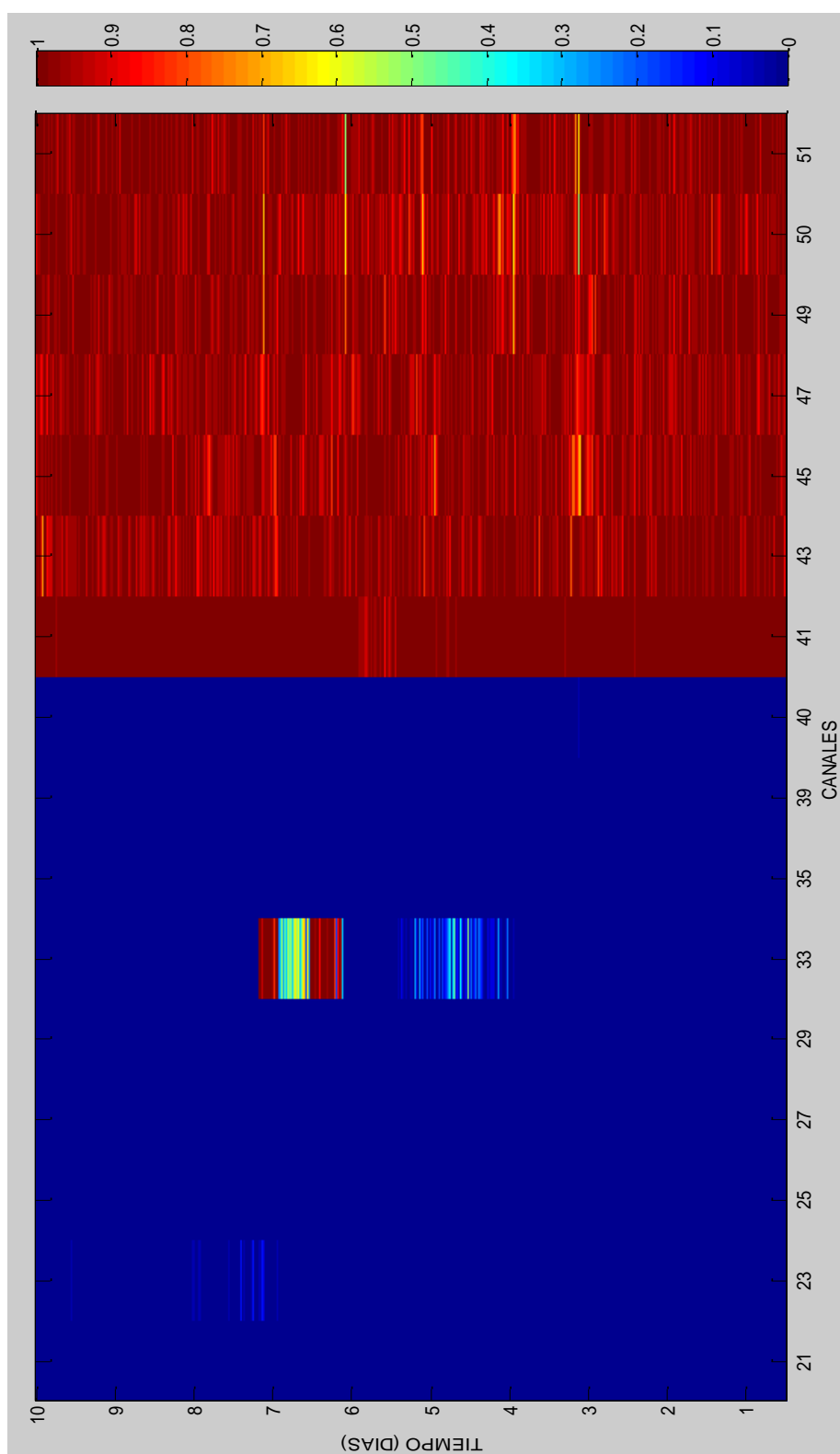


Figura 4.7: Niveles de disponibilidad obtenidos en el piso 16

4.3.3 Modelamiento estadístico de los datos

Una vez ya terminado el análisis de los datos se procede a realizar un análisis general de toda la banda en el piso 1, piso 9 y piso 16 donde se efectuaron las mediciones.

En la figura 4.8 se puede observar la gráfica de disponibilidad de todos los canales de la banda UHF-TV digital, los cuales fueron medidos en 3 pisos diferentes de una edificación, dando como resultado la CDF del número de canales que se encuentran disponibles en un determinado tiempo. Las gráficas representan la disponibilidad de espectro no usado en los pisos, la misma que se calcula usando la media de los datos obtenidos durante la medición, a cada piso se le ha asignado un color para diferenciarlo de los otros. La gráfica de color azul representa a los canales disponibles en el piso 1, la gráfica de color verde representa a los canales disponibles en el piso 9 y la gráfica de color rojo a los canales disponibles en el piso 16.

De acuerdo a los datos obtenidos en el piso 1 se tiene una media de 7 canales disponibles (42 MHz) y una desviación estándar de disponibilidad de 0,44 para así tener un rango de espectro disponible entre 39-44 MHz con un 87,45% de probabilidad de ocurrencia.

En el caso del piso 9 se obtuvo una media de alrededor de 7 canales disponibles (42 MHz) y una desviación estándar de disponibilidad de 0,72 para así obtener un rango de espectro disponible entre 36-45 MHz con un 74,44% de probabilidad de ocurrencia.

En la gráfica de los datos obtenidos en el piso 16 se obtuvo una media de 7 canales disponibles (42 MHz) y una desviación estándar de disponibilidad de 0,56 para así tener un rango de espectro disponible entre 38-45 MHz con un 86,78% de probabilidad de ocurrencia.



Figura 4.8: Disponibilidad temporal entre los pisos

Una vez ya analizadas las gráficas de disponibilidad de los canales en el piso 1, piso 9 y piso 16, se puede concluir que el piso donde existe un mayor ancho de banda de espectro disponible es el piso 9. Pero también se observa que los rangos de disponibilidad no están muy alejados, debido a que sus medias son casi idénticas y para cada piso hay alrededor de 7 canales disponibles.

Mediante los resultados que se obtuvieron con las gráficas de disponibilidad de los pisos, se elegirán 3 canales para realizar un modelamiento estadístico, por lo cual se eligieron las distribuciones mencionadas en el capítulo 3 que son la gamma, beta y kumaraswamy, debido a que son las que más se asemejan a las gráficas de los datos obtenidos durante las mediciones en los pisos.

Los canales elegidos para realizar el modelamiento son el canal 23 que se encuentra con un nivel de baja disponibilidad, el canal 40 que se encuentra en estado de intermitencia y el canal 45 que tiene una excelente disponibilidad. El siguiente paso es verificar cuál de las distribuciones es la que presenta una mejor eficiencia para el modelado de disponibilidad de los 3 canales escogidos.

En las figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17 se muestran las CDF de los canales 23, 40 y 45 en los pisos 1, 9 y 16.

PISO 1

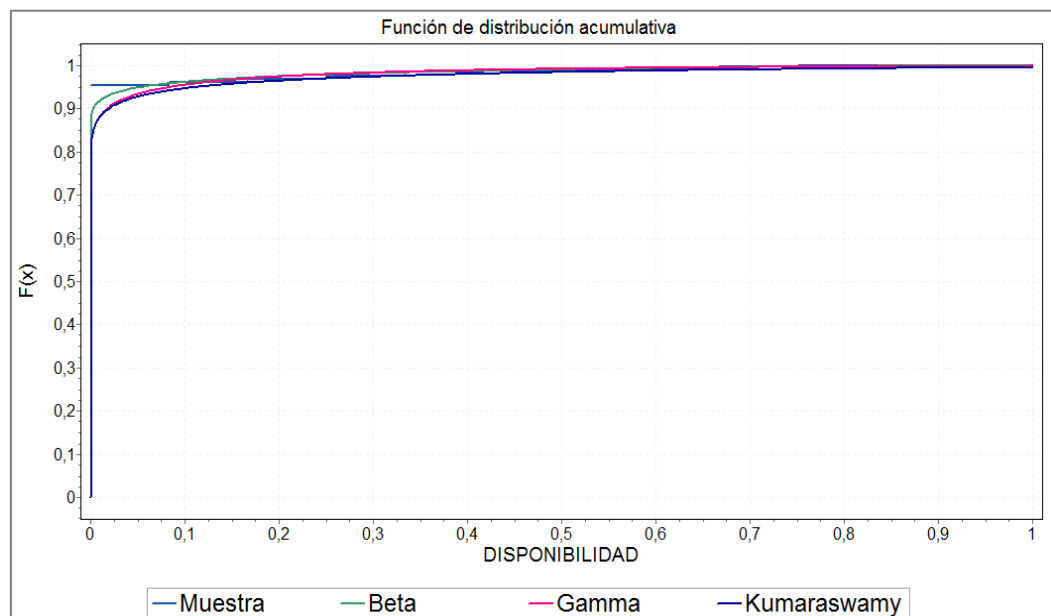


Figura 4.9: Modelado estadístico del canal 23

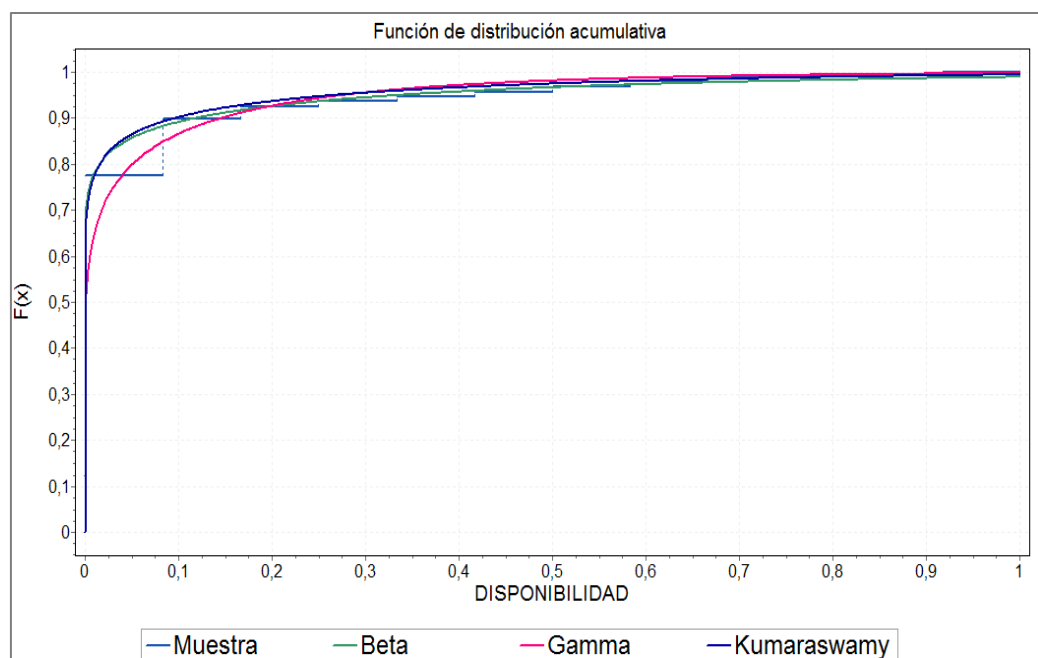


Figura 4.10: Modelado estadístico del canal 40

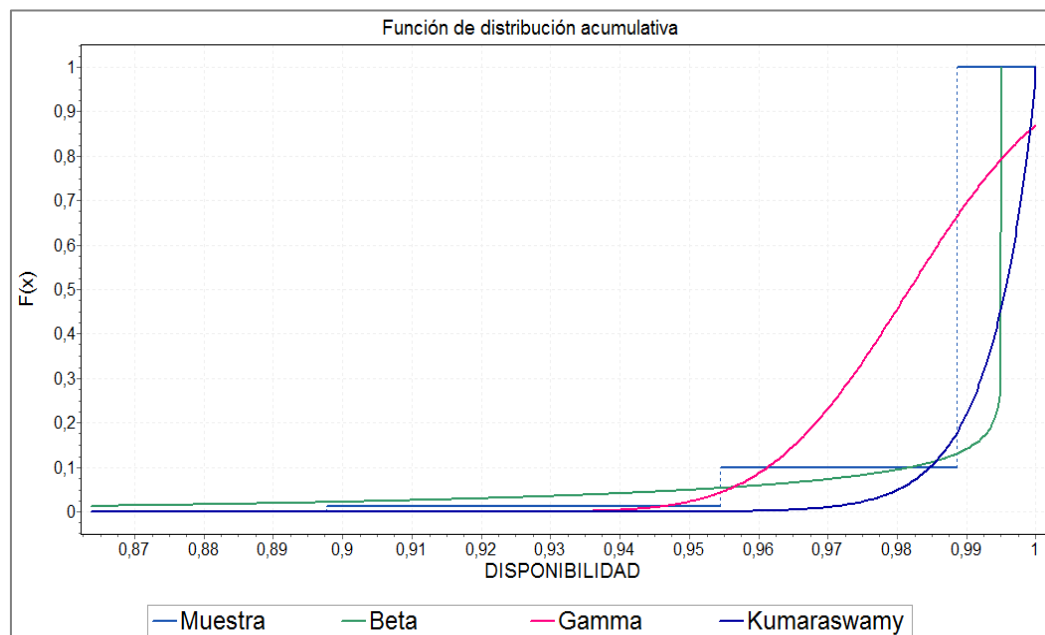


Figura 4.11: Modelado estadístico del canal 45

PISO 9

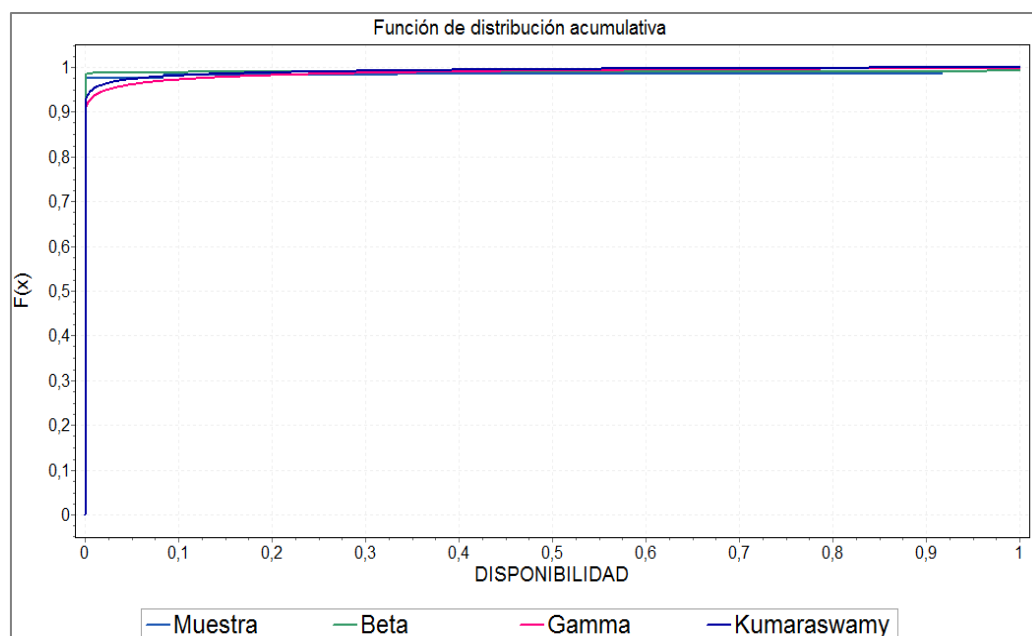


Figura 4.12: Modelado estadístico del canal 23

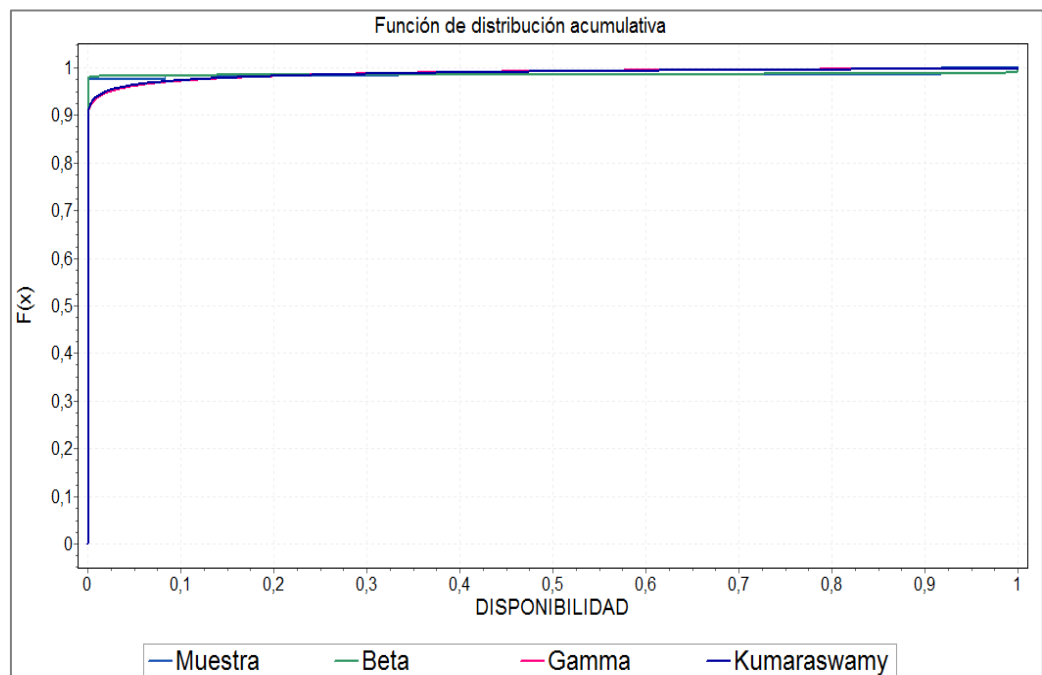


Figura 4.13: Modelado estadístico del canal 40

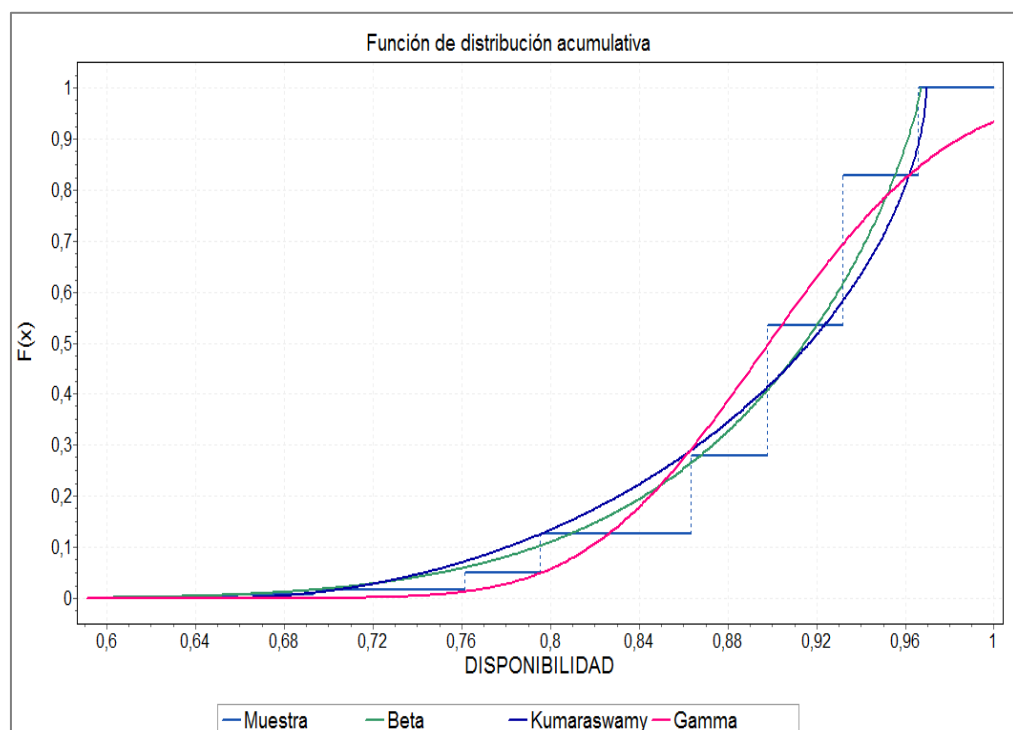


Figura 4.14: Modelado estadístico del canal 45

PISO 16

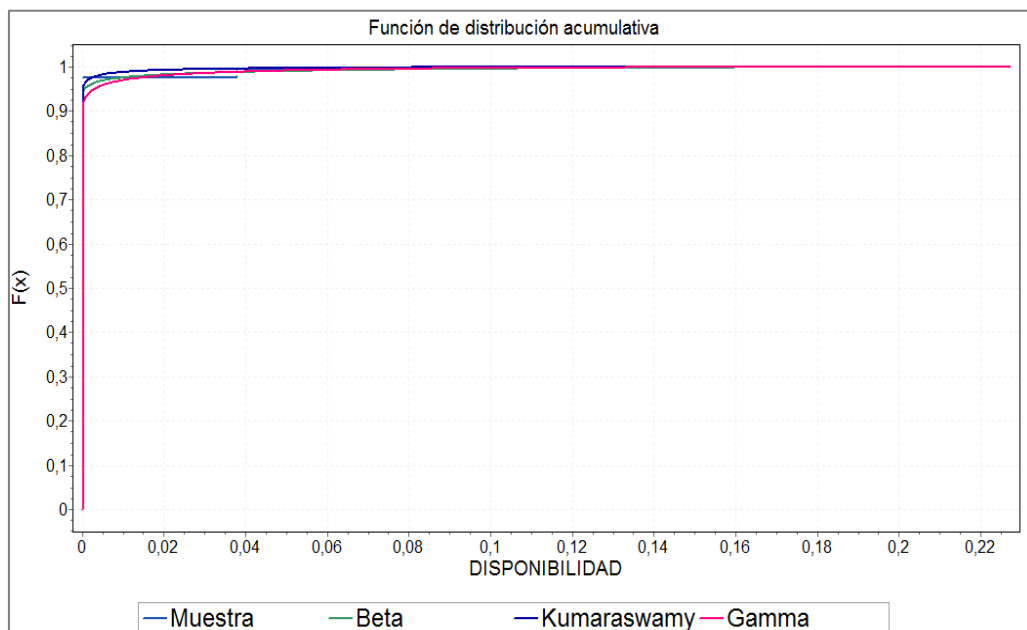


Figura 4.15: Modelado estadístico del canal 23

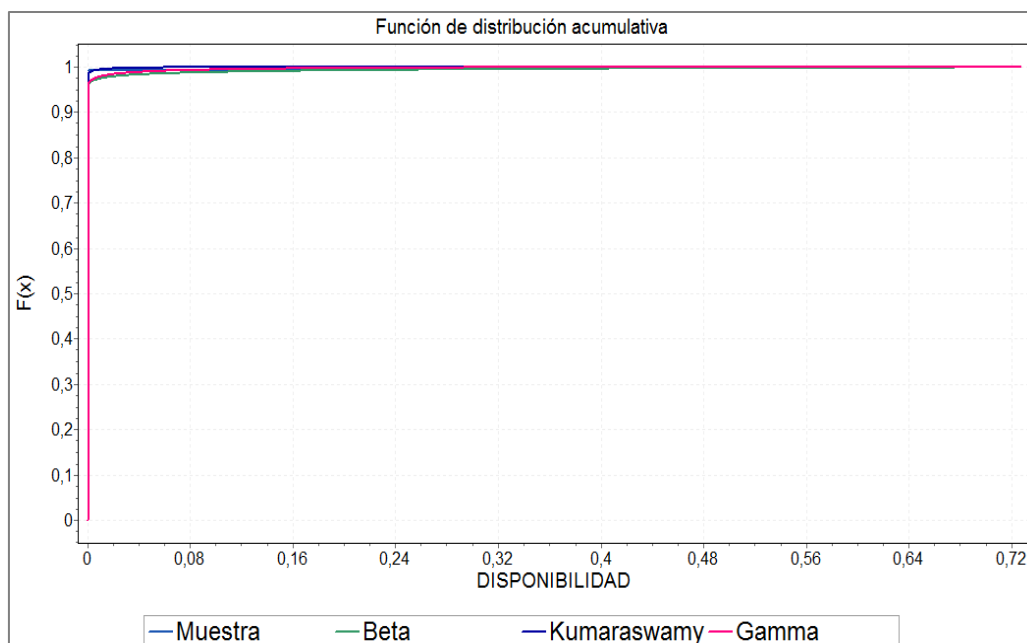


Figura 4.16: Modelado estadístico del canal 40

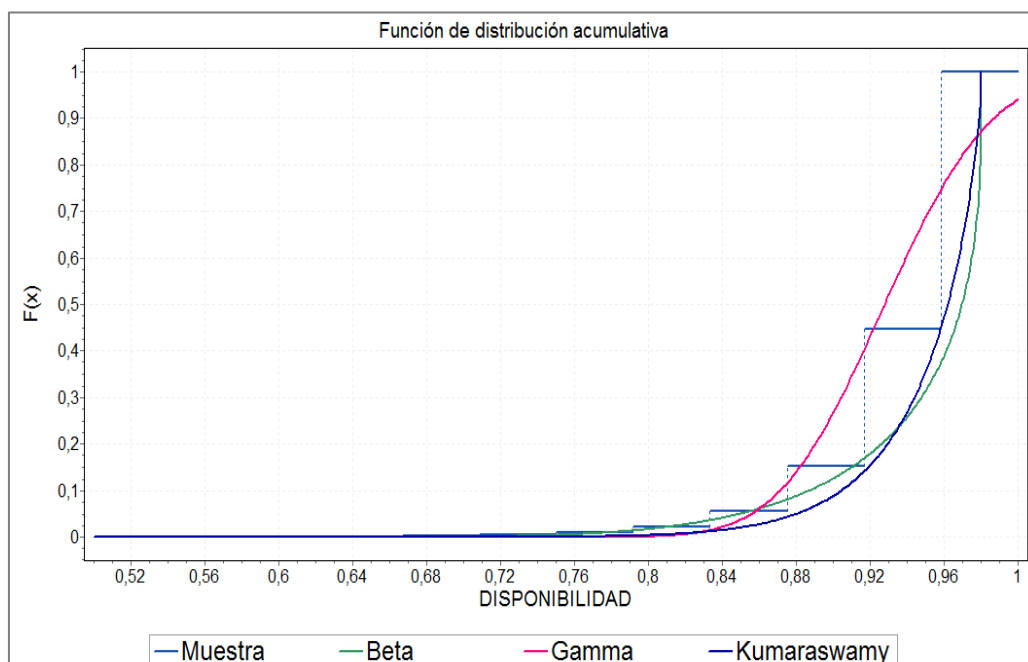


Figura 4.17: Modelado estadístico del canal 45

Al analizar las CDF de los canales en el piso 1, piso 9 y el piso 16 se puede verificar que las distribuciones kumaraswamy y beta son las dos posibles soluciones para el modelamiento de los canales de la banda UHF-TV digital. Pero, debido a que la distribución beta tiene una media de disponibilidad un poco mayor en todos los pisos fue elegida para realizar el modelamiento estadístico (Ver Anexos).

En la ecuación (3.9) del capítulo 3, se muestra la función de densidad de probabilidad de la distribución beta, la misma que está comprendida entre 0 y 1 y sus parámetros α , β deben ser positivos. Estos parámetros permiten cambiar el comportamiento de la PDF.

Para calcular los valores de α y β se deben usar la media y varianza de los datos obtenidos en las mediciones. Los valores de μ y σ^2 son obtenidos con el software easyfit usado para graficar las CDF de los canales 23, 40 y 45.

Para realizar las gráficas del modelado estadístico de disponibilidad en los canales 23, 40 y 45 en los 3 pisos, se necesita conocer los parámetros α y β . Estos valores se muestran en Anexos.

En la figuras 4.18, 4.19 y 4.20 se observan las CDF de los datos obtenidos en las mediciones (líneas roja, azul, verde) y del modelo estadístico beta (líneas roja, azul, verde segmentadas) en los pisos 1, 9 y 16 en los cuales se puede observar que existe una similitud con las CDF y el modelo propuesto en los canales 23, 40 y 45. En el canal 23 y 40 se observa que su disponibilidad es muy baja y su parámetro α es cercano a cero. En cambio, el canal 45 tiene una excelente disponibilidad y su parámetro α es elevado.

Finalmente se realiza una prueba de bondad de ajuste llamada Kolmogorov-Smirnov a todos los canales, para comprobar matemáticamente si la distribución utilizada es fiable para el modelamiento estadístico (Ver Anexos).

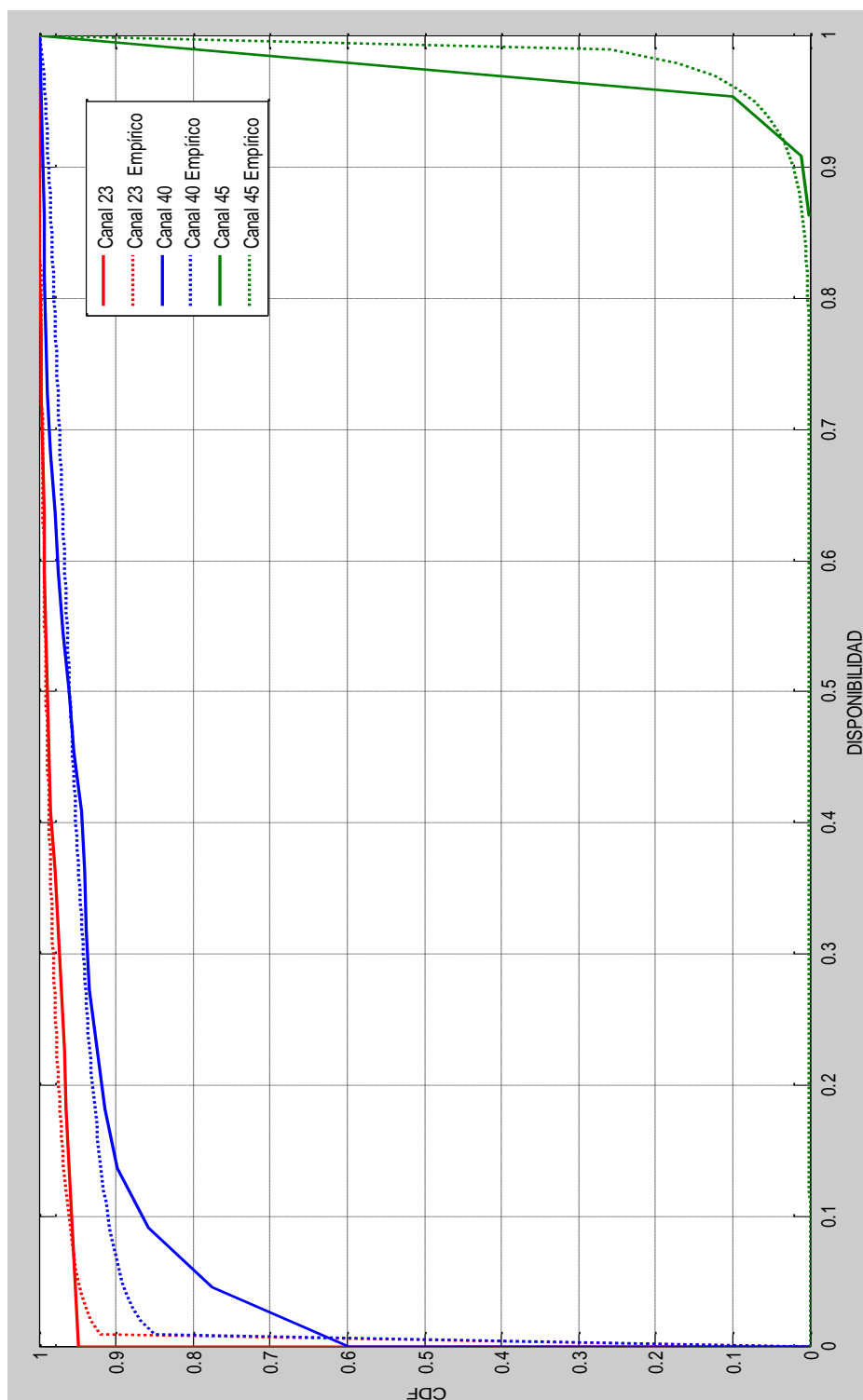


Figura 4.18: Modelamiento estadístico de la disponibilidad de los canales de la banda UHF-TV digital en el piso 1

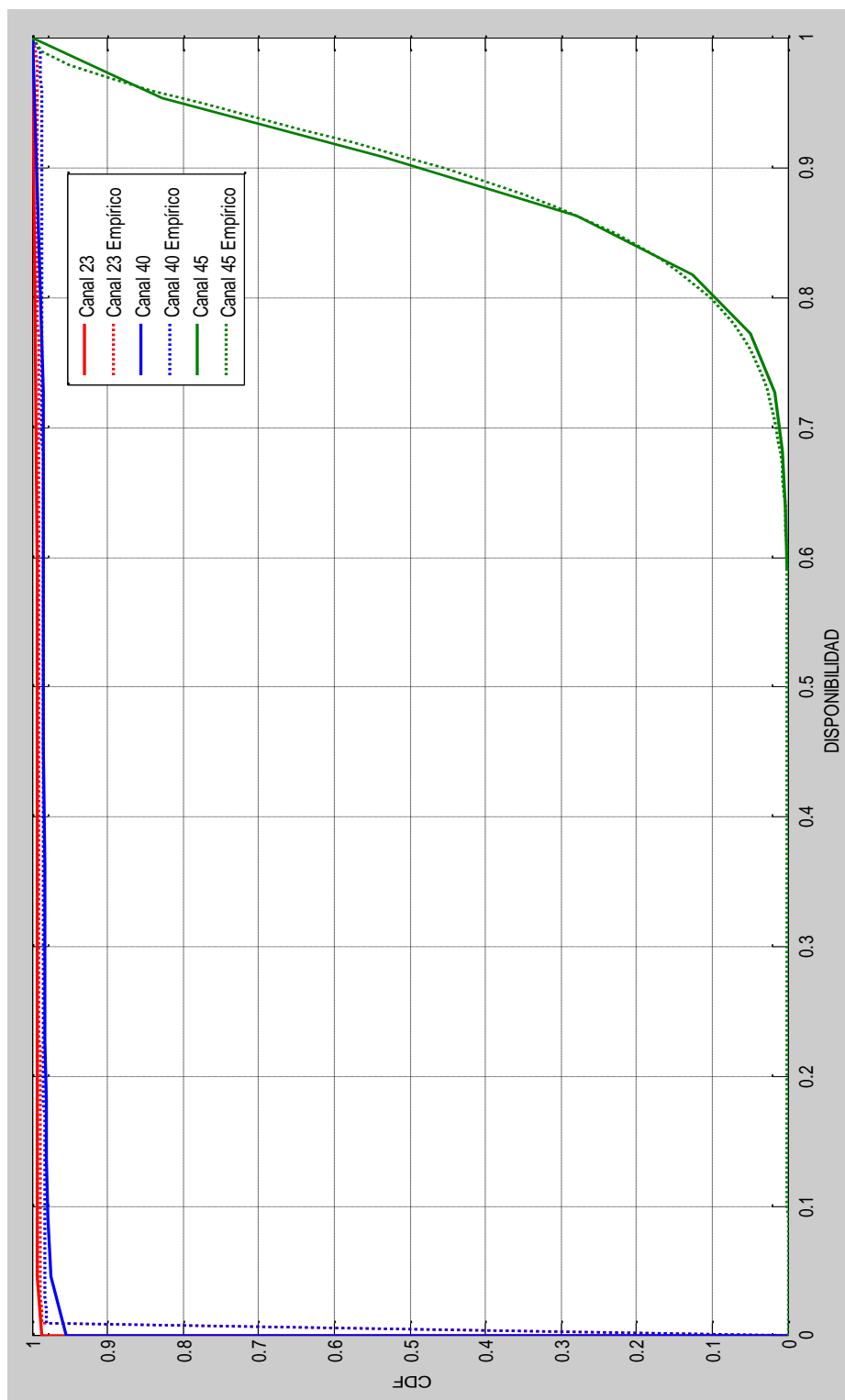


Figura 4.19: Modelamiento estadístico de la disponibilidad de los canales de la banda UHF-TV digital en el piso 9

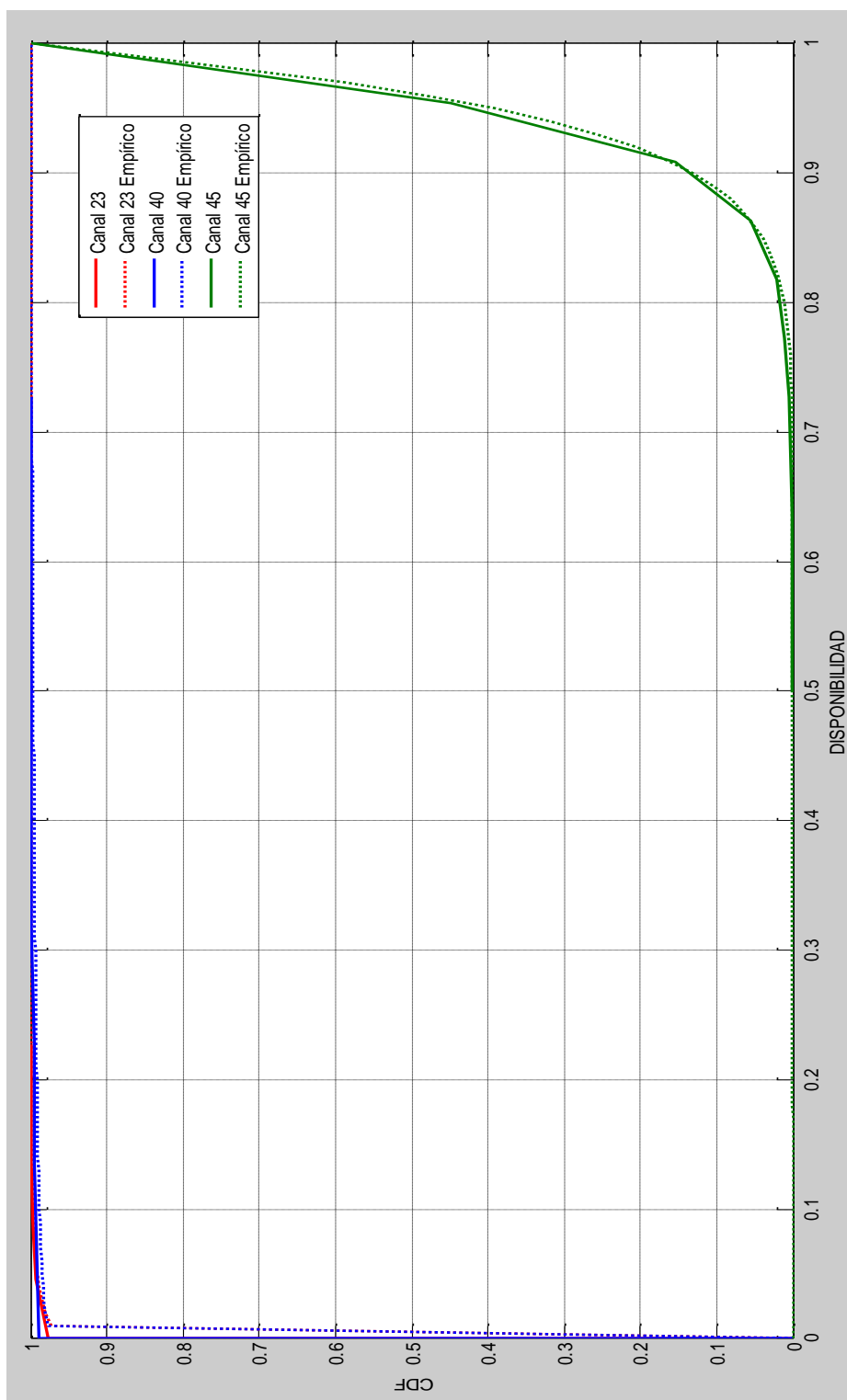


Figura 4.20: Modelamiento estadístico de la disponibilidad de los canales de la banda UHF-TV digital en el piso 16

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El nivel de disponibilidad de los canales 21, 25, 27 y 29, es extremadamente bajo en los 3 pisos ($PR_{Disp} \approx 0$), por lo tanto, estos canales no presentan segmentos de bandas disponibles para ser reutilizados por otros servicios.
2. La disponibilidad en ciertos canales disminuye conforme se aumenta el nivel de altura como es el caso de los canales 23, 35, 39 y 40, en cambio, en el canal 33 sucede lo contrario, aumenta su nivel de disponibilidad. Además, se puede establecer que los canales que se encuentran desde el 41-51 presentan una excelente disponibilidad.
3. En comparación con los 3 pisos, el canal 40 presenta una mayor variación en su nivel de disponibilidad durante las mediciones, dado que en el piso 1 se encuentra intermitente, en el piso 9 se encuentra disponible por unos instantes de tiempo y en el piso 16 se encuentra con bajo nivel de disponibilidad casi nulo.
4. Existe un mayor rango de espectro disponible en el piso 9, debido a que posee un rango de disponibilidad entre 36-45 MHz en un 74.44% del tiempo.
5. El modelado estadístico de los canales de la banda UHF-TV digital se lo puede realizar usando la distribución beta o kumaraswamy, debido a que sus CDF son las que más se asemejan a la CDF de las muestras.
6. Los resultados de la prueba KS realizada al modelado estadístico de los canales de la banda UHF-TV digital, muestra que es fiable utilizar la distribución beta, debido a que se acepta su modelamiento en la mayoría de los pisos.

Recomendaciones

1. Para tener mejores resultados es recomendable que el análisis de la disponibilidad se lo realice en una mayor cantidad de pisos dentro de la edificación, para que de esta manera el modelamiento estadístico sea más preciso.
2. Para obtener datos más precisos al momento de realizar las mediciones, se debe utilizar una antena que tenga una ganancia bastante alta, y también utilizar cables que no generen muchas pérdidas, ya que de esta forma se puede evitar que los datos tengan mucho ruido al momento de realizar las capturas.
3. Se debe tomar en cuenta que en el Ecuador, el apagón analógico se iniciara a finales del año 2016, por lo que se recomienda realizar un nuevo estudio dentro de la misma edificación donde se realizaron las mediciones, para así poder obtener nuevos resultados mediante el modelamiento estadístico de la disponibilidad de los canales en la banda UHF de televisión digital.
4. Al realizar el modelado estadístico de los canales se debe tener presente que la función densidad de probabilidad (PDF) como a la función densidad acumulada acumulada (CDF) de las muestras, se deben asemejar a las PDF Y CDF de las distribuciones a utilizar para que haya un correcto modelado y así evitar que al efectuar la prueba KS se rechace su validez.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Pérez, J. Banegas, C. Esquerré, J. Gual, L. Lada, C. López, C. Miras, R. Palacio, J. Luis Redondo, M. Rotondo, J. Castellano, M. Escalante, V. Ruano, E. Ontiveros, “Televisión Digital”, Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones (GAPTEL), Madrid, España, Marzo 2005.
- [2] B. G. Moreno, & J. C. Salazar, “Estudio y Análisis de factibilidad para la implementación de la televisión digital terrestre (TDT) en el Ecuador”. Tesis de ingeniería, Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2011.
- [3] Ericsson Mobility Report, June 2015, ERICSSON.
- [4] J. Pierre De Vries, Ljiljana Simic, Andreas Achtzehn, Petrova, and Petri Mahonen. The emperor has no problem: Is Wi-Fi spectrum really congested? In TPRC 41: The 41st Research Conference on Communication, Information and Internet Policy, March 2013.
- [5] D. Ospina, A. F. Ocampo, R. Hincapié, “Aplicación de esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en ambientes inalámbricos heterogéneos”, Telecom e Infor, Vol. 1, No. 1, p. 49 – 71, Enero – Junio, 2011.
- [6] D. A. Segura, “Análisis de factibilidad para la utilización de cognitive radio (radio cognoscitiva) en las radiocomunicaciones necesarias para casos de emergencia en el Ecuador”. Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.
- [7] P. Balh, R. Chandra, T. Moscibroda, R. Murty, R. Welsh. White space networking with Wi-Fi like Conectivity. In SIGCOMM, 2009.
- [8] A. Domingo, B. Bellalta, M. Oliver. White Spaces in UHF band: Catalonia case study and impact of the Digital Dividend [online]. Disponible en: http://www.dtic.upf.edu/~bbellalt/TVWhiteSpaces_Catalonia.pdf.
- [9] C. Gómez, (2013, julio 3-5). TV White Spaces – Managing the spaces or better managing inefficiencies [online]. Disponible en:

https://www.itu.int/en/ITU-T/Conferences/GSR/Documents/presentation_Session_1_Gomez_TVWS.pdf.

[10] C. J. Zapata, "Análisis probabilísticos y simulación", Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2010.

[11] J. L. Gómez, "Modelado de la disponibilidad de canales de la banda UHF-TV para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA) en una zona urbana". Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015.

[12] A. Llanos, "Gestión del espectro radioeléctrico," Serie Magister vol. 138, Quito: Corporación Editora Nacional, 2013.

[13] W. E. Martínez, "Análisis del espectro radioeléctrico, modificación, asignación y optimización durante la transmisión de televisión analógica a digital terrestre en el Ecuador". Tesis de Ingeniería, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2013.

[14] I. Viteri, M. Macías, "Medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencias asignados a servicios fijos-móvil (335- 400 MHz) de la banda UHF del espectro radioeléctrico en la Fiec, campus Prosperina". Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015.

[15] Resolución No. 1779-CONARTEL-01, Norma Técnica para el servicio de televisión analógica y plan de distribución de canales [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>.

[16] M. C. Zaidán, "Análisis del dividendo digital resultante de la migración de la televisión analógica a digital en el Ecuador". Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010.

[17] M. A. Rico, D. C. Contreras, E. San Juan, "Interference in Broadcasting Systems in Colombia Border Areas" Ingenium, vol. 15, n.º30, pp. 50-66, octubre, 2014.

- [18] C. Rodríguez, M. Sánchez, J. Alonso, F. Pérez, “Los problemas de las interferencias entre canales en la implantación de la TV digital terrenal en España”, Madrid, Mayo 2014.
- [19] M. G. Carrión, “Estudio para la implementación de una estación de TV digital en la Universidad Nacional de Loja”. Tesis de ingeniería, Facultad de Ingenierías, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, 2014.
- [20] A. Calero, C. Villacrés, “Análisis y estudio de ingeniería para la selección del estándar de televisión digital más apropiado para Ecuador bajo la supervisión de la SUPERTEL”. Tesis de Ingeniería, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2009.
- [21] G. Cevallos, “Estudio del estándar adoptado para la televisión digital terrestre en el Ecuador”. Tesis de Ingeniería, Facultad de educación técnica para el desarrollo, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2014.
- [22] C. Gallegos, (2009, Mayo). Características técnicas del ISDB-T [online]. Disponible en: <file:///C:/Users/HEW/Desktop/session3.pdf>.
- [23] H. Furuta, (2009, Julio 31). Tecnologías de transmisión del ISDB-T sus ventajas y aplicaciones [online]. Disponible en:
http://www.dibeg.org/news/2009/0907Bolivia_ISDB-T_seminar/presentation3.pdf.
- [24] Y. Takahashi, (2007, Junio). Sistemas de transmisión [online]. Disponible en: [http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDBT_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system\(spanish\)rev1.pdf](http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDBT_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system(spanish)rev1.pdf).
- [25] R. Sotelo, D. Duran, J. Joskowicz, “Sistema de Transmisión ISDB-T”, Septiembre 2011.
- [26] P. A. Collaguazo, F. E. Puco, “Propuesta de un protocolo y pruebas orientado a la homologación de Set- Top Box para ISDB-Tb”. Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2014.
- [27] N. Pisciotta, “Sistema ISDB-Tb”, Septiembre 2010.

- [28] R. Jarrín, C. Morejón, "Diseño de una red de frecuencia única para un canal de televisión en la banda UHF con la norma ISDB-Tb para la zona geográfica P". Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2012.
- [29] I. W. Feijóo, "Estudio comparativo y panorama futuro de las plataformas de transmisión de televisión digital". Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011.
- [30] A. Gutierrez, M. Cochancela, "Diseño de un laboratorio de televisión digital para transmisión de señales con multiprogramación, contenidos interactivos y guía electrónica de programación (EPG)". Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2013.
- [31] A. V. Saca, "Análisis de cobertura del sistema de televisión digital terrestre para el canal 47 en la ciudad de Quito". Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, Ecuador, 2013.
- [32] R. Sotelo, "Características de las distintas modulaciones empleadas en la TV digital", Tesis de Doctorado, Universidad de Vigo, Montevideo, Uruguay, 2006.
- [33] E. Prado, R. Franquet, M. T. Soto, X. Ribes, D. F. Quijada, "Functional Typology of Interactive Television and Applications for Interaction with the Tv Set", *Zer*, Vol. 13, No. 25, p. 11 – 35, Septiembre, 2008.
- [34] Qing Zhao; Lang Tong; Ananthram Swami; Yunxia Chen, "Decentralized cognitive MAC for opportunistic spectrum access in ad hoc networks: A POMDP framework," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* , vol.25, no.3, pp.589-600, April 2007.
- [35] I. F. Akyldiz, L. Won-Yeol, V. Mehmet C. y M. Shantidev, «A Survey on Spectrum Management in Cognitive Radio Networks,» *IEEE COMMUNICATIONS*, pp. 40-48, April 2008.
- [36] J. Mitola, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications," in *Proc. IEEE Int. Workshop Mobile Multimedia Communications*, 1999, pp. 3–10.

- [37] J. Mitola, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio," Ph.D. dissertation, KTH Royal Inst. of Technol., Stockholm, Sweden, 2000.
- [38] Q. Zhao and B. Sadler "A Survey of Dynamic Spectrum Access" IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 24 No 3 pp. 79-89, May 2007.
- [39] Truckerswereld. Scanner Basis Antennes [online]. Disponible en: <https://www.truckerswereld.nl/basis-scanner-antennes/>
- [40] National Instruments. USRP (Universal Software Radio Peripheral) [online]. Disponible en: <http://www.ni.com/sdr/usrp/esa/#>
- [41] Sociedad Brasileña de Ingeniería de Televisión, 2013. Pruebas de interferencia de la señal LTE en la recepción de TV digital en la banda UHF [online]. Disponible en: <http://www.set.org.br/tecnologia/CONSIDERACIONES%20DE%20LA%20SET%20SOBRE%20LOS%20TESTES%20DA%20MACKENZIE%20DE%20INTERFER%3%8ANCIA%204G%20LTE%20EN%20LA%20TV%20DIGITAL.pdf>.

ANEXOS

Etiquetas de fila	Cuenta de 0,545454545	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)
0		2856	0,94852209	0,94852209	0
0,045454545		15	0,00498173	0,95350382	0,9488
0,090909091		12	0,00398539	0,95748921	0,9597
0,136363636		12	0,00398539	0,96147459	0,9678
0,181818182		9	0,00298904	0,96446363	0,9724
0,227272727		9	0,00298904	0,96745267	0,9768
0,272727273		9	0,00298904	0,97044171	0,9797
0,318181818		15	0,00498173	0,97542345	0,9827
0,363636364		12	0,00398539	0,97940883	0,9848
0,409090909		18	0,00597808	0,98538691	0,987
0,454545455		6	0,00199269	0,98737961	0,9886
0,5		6	0,00199269	0,9893723	0,9904
0,545454545		4	0,00132846	0,99070076	0,9916
0,590909091		4	0,00132846	0,99202923	0,9931
0,636363636		2	0,00066423	0,99269346	0,9943
0,681818182		5	0,00166058	0,99435404	0,9952
0,727272727		5	0,00166058	0,99601461	0,9963
0,772727273		5	0,00166058	0,99767519	0,997
0,818181818		2	0,00066423	0,99833942	0,9979
0,863636364		2	0,00066423	0,99900365	0,9985
1		3	0,00099635	1	1
Total general	3011			estadístico Ks	0,00934733
				dato obtenido por tabla	0,02970518
				Hipotesis	Acepta

Anexo 1: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 23 Piso 1

0	0	1800	0,59780804	0,59780804	0	0,59780804
0,045454545	0,045454545	532	0,17668549	0,77449353	0,881	0,10650647
0,090909091	0,090909091	250	0,08302889	0,85752242	0,9091	0,05157758
0,136363636	0,136363636	121	0,04018598	0,89770841	0,9148	0,01709159
0,181818182	0,181818182	52	0,01727001	0,91497842	0,9223	0,00732158
0,227272727	0,227272727	30	0,00996347	0,92494188	0,927	0,00205812
0,272727273	0,272727273	27	0,00896712	0,933909	0,9311	0,002809
0,318181818	0,318181818	11	0,00365327	0,93756227	0,9355	0,00206227
0,363636364	0,363636364	8	0,00265692	0,9402192	0,9394	0,0008192
0,409090909	0,409090909	16	0,00531385	0,94553305	0,9422	0,00333305
0,454545455	0,454545455	28	0,00929924	0,95483228	0,9456	0,00923228
0,5	0,5	16	0,00531385	0,96014613	0,9488	0,01134613
0,545454545	0,545454545	23	0,00763866	0,96778479	0,9513	0,01648479
0,590909091	0,590909091	23	0,00763866	0,97542345	0,9543	0,02112345
0,636363636	0,636363636	12	0,00398539	0,97940884	0,9566	0,02280884
0,681818182	0,681818182	15	0,00498173	0,98439057	0,9596	0,02479057
0,727272727	0,727272727	11	0,00365327	0,98804384	0,9621	0,02594384
0,772727273	0,772727273	9	0,00298904	0,99103288	0,9653	0,02573288
0,818181818	0,818181818	4	0,00132846	0,99236134	0,9679	0,02446134
0,863636364	0,863636364	4	0,00132846	0,99368981	0,9653	0,02838981
0,909090909	0,909090909	4	0,00132846	0,99501827	0,9679	0,02711827
0,954545455	0,954545455	6	0,00199269	0,99701096	0,9803	0,01671096
1	1	9	0,00298904	1	1	0
Total general	Total general	3011		estadístico Ks		0,10650647
				dato obtenido por tabla		0,02970518
				Hipotesis		Rechaza

Anexo 2: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 40 Piso 1

Etiquetas de fila	Cuenta de 1	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)
0,863636364	3	0,00099635	0,00099635	0,0086	0,00760365
0,909090909	33	0,01095981	0,01195616	0,0267	0,01474384
0,954545455	265	0,08801063	0,09996679	0,0772	0,02276679
1	2710	0,90003321	1	1	0
Total general	3011			estadístico Ks	0,02276679
				dato obtenido por tabla	0,02970518
				Hipotesis	Acepta

Anexo 3: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 45 Piso 1

Etiquetas de fila	Cuenta de 0	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)
0	2850	0,98786828	0,98786828	0	0,987868284
0,045454545	12	0,00415945	0,99202773	0,9883	0,00372773
0,090909091	1	0,00034662	0,99237435	0,989	0,00337435
0,272727273	1	0,00034662	0,99272097	0,9901	0,002620971
0,590909091	1	0,00034662	0,99306759	0,9913	0,001767591
1	20	0,00693241	1	1	0
Total general	2885			estadístico Ks	0,00372773
				dato obtenido por tabla	0,030346925
				Hipotesis	Acepta

Anexo 4: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 23 Piso 9

Etiquetas de fila	Cuenta de 0,136363636	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)
0	2755	0,95493934	0,95493934	0	0,954939341
0,045454545	57	0,01975737	0,97469671	0,9827	0,008003293
0,090909091	13	0,00450607	0,97920277	0,9832	0,003997227
0,136363636	6	0,00207972	0,9812825	0,9837	0,002417504
0,181818182	1	0,00034662	0,98162912	0,9839	0,002270884
0,227272727	1	0,00034662	0,98197574	0,9842	0,002224263
0,272727273	1	0,00034662	0,98232236	0,9844	0,002077643
0,318181818	2	0,00069324	0,9830156	0,9846	0,001584402
0,363636364	2	0,00069324	0,98370884	0,9847	0,000991161
0,454545455	1	0,00034662	0,98405546	0,9851	0,001044541
0,5	1	0,00034662	0,98440208	0,9852	0,00079792
0,590909091	1	0,00034662	0,9847487	0,9855	0,0007513
0,727272727	1	0,00034662	0,98509532	0,9861	0,001004679
1	43	0,01490468	1	1	0
Total general	2885			estadístico Ks	0,008003293
				dato obtenido por tabla	0,030346925
				Hipotesis	Acepta

Anexo 5: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 40 Piso 9

Etiquetas de fila	Cuenta de 0,818181818	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)	
0,590909091	2	0,00069324	0,00069324		0,0011	0,000406759
0,636363636	4	0,00138648	0,00207972		0,0039	0,001820277
0,681818182	13	0,00450607	0,00658579		0,0098	0,003214211
0,727272727	31	0,01074523	0,01733102		0,0281	0,010768977
0,772727273	95	0,03292894	0,05025997		0,0603	0,010040035
0,818181818	219	0,07590988	0,12616984		0,1433	0,017130156
0,863636364	440	0,152513	0,27868284		0,2655	0,013182842
0,909090909	737	0,25545927	0,53414211		0,514	0,020142114
0,954545455	847	0,28665511	0,82079723		0,8056	0,015197227
1	497	0,17920277	1		1	0
Total general	2885			estadístico Ks		0,020142114
				dato obtenido por tabla		0,030346925
				Hipotesis		Acepta

Anexo 6: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 45 Piso 9

Etiquetas de fila	Cuenta de 0,090909091	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)	
0	2795	0,9765898	0,9765898		0	0,9765898
0,045454545	49	0,01712089	0,99371069		0,9908	0,00291069
0,090909091	9	0,00314465	0,99685535		0,9962	0,00065535
0,136363636	6	0,00209644	0,99895178		0,9979	0,00105178
0,181818182	2	0,00069881	0,99965059		0,9989	0,00075059
0,227272727	1	0,00034941	1		1	0
Total general	2862			estadístico Ks		0,00291069
				dato obtenido por tabla		0,03046862
				Hipotesis		Acepta

Anexo 7: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 23 Piso 16

Etiquetas de fila	Cuenta de 0	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)	
0	2829	0,9884696	0,9884696		0	0,988469602
0,045454545	7	0,00244584	0,99091544		0,9848	0,006115444
0,090909091	5	0,00174703	0,99266247		0,9877	0,004962474
0,136363636	4	0,00139762	0,9940601		0,9899	0,004160098
0,181818182	4	0,00139762	0,99545772		0,9912	0,004257722
0,227272727	1	0,00034941	0,99580713		0,9925	0,003307128
0,272727273	5	0,00174703	0,99755416		0,9933	0,004254158
0,318181818	4	0,00139762	0,99895178		0,9941	0,004851782
0,363636364	1	0,00034941	0,99930119		0,9947	0,004601188
0,636363636	1	0,00034941	0,99965059		0,9977	0,001950594
0,727272727	1	0,00034941	1		0,9983	0,0017
Total general	2862			estadístico Ks		0,006115444
				dato obtenido por tabla		0,03046862
				Hipotesis		Acepta

Anexo 8: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 40 Piso 16

Etiquetas de fila	Cuenta de 1	FO	FOR	Fer	ABS(Fer-For)
0,5	1	0,00034941	0,00034941	0	0,000349406
0,545454545	1	0,00034941	0,00069881	0	0,000698812
0,636363636	1	0,00034941	0,00104822	0,0001	0,000948218
0,681818182	5	0,00174703	0,00279525	0,0004	0,002395248
0,727272727	6	0,00209644	0,00489168	0,0016	0,003291684
0,772727273	18	0,00628931	0,01118099	0,0051	0,006080992
0,818181818	30	0,01048218	0,02166317	0,019	0,002663173
0,863636364	98	0,03424179	0,05590496	0,0512	0,004704962
0,909090909	280	0,09783368	0,15373864	0,1645	0,010761356
0,954545455	842	0,29419986	0,4479385	0,4301	0,017838505
1	1580	0,5520615	1	1	0
Total general	2862			estadístico Ks	0,017838505
				dato obtenido por tabla	0,03046862
				Hipotesis	Acepta

Anexo 9: Prueba de kolmogorov – Smirnov Canal 45 Piso 16

Modulación de las portadoras	Características	N° de Símbolos	Uso común
QPSK	Es una versión de la modulación de frecuencia en la fase de la onda portadora, se modula para codificar los bits de información digital en cada cambio de fase, consta de 4 estados y puede codificar 2 bits por símbolo.	4	Recepción portátil, LDTV
16-QAM	Combinación de modulación en fase y amplitud, cada estado cuenta con 4 bits por símbolo.	16	Fija: Antena interna SDTV
64-QAM	Combinación de modulación en fase y amplitud, cada estado cuenta con 4 bits por símbolo	64	Fija: Antena externa HDTV

Tabla 7: Tipos de modulaciones [27], [29]

Distribución	Piso 1	Piso 9	Piso 16
Kumaraswamy	$\mu = 0,01531$ $\sigma^2 = 0,00902$	$\mu = 0,0085$ $\sigma^2 = 0,00441$	$\mu = 6,3558E-4$ $\sigma^2 = 4,9918E-5$
Beta	$\mu = 0,01563$ $\sigma^2 = 0,00675$	$\mu = 0,0091$ $\sigma^2 = 0,0082$	$\mu = 0,00157$ $\sigma^2 = 1,6108E-4$

Tabla 8: Medias y Varianzas de disponibilidad del canal 23 en los pisos de medición

Distribución	Piso 1	Piso 9	Piso 16
Kumaraswamy	$\mu = 0,04346$ $\sigma^2 = 0,0219$	$\mu = 0,01358$ $\sigma^2 = 0,00899$	$\mu = 0,00249$ $\sigma^2 = 4,6838E-4$
Beta	$\mu = 0,05429$ $\sigma^2 = 0,03691$	$\mu = 0,01478$ $\sigma^2 = 0,01372$	$\mu = 0,00512$ $\sigma^2 = 0,00255$

Tabla 9: Medias y Varianzas de disponibilidad del canal 40 en los pisos de medición

Distribución	Piso 1	Piso 9	Piso 16
Kumaraswamy	$\mu = 0,98736$ $\sigma^2 = 6,786E-5$	$\mu = 0,89352$ $\sigma^2 = 0,00531$	$\mu = 0,94981$ $\sigma^2 = 0,00116$
Beta	$\mu = 0,98784$ $\sigma^2 = 7,214E-4$	$\mu = 0,89349$ $\sigma^2 = 0,00482$	$\mu = 0,94915$ $\sigma^2 = 0,00204$

Tabla 10: Medias y Varianzas de disponibilidad del canal 45 en los pisos de medición

Canal	Piso 1	Piso 9	Piso16
23	$\alpha = 0,01963$	$\alpha = 0,00089$	$\alpha = 0,01371$
	$\beta = 1,239$	$\beta = 0,0969$	$\beta = 8,7188$
40	$\alpha = 0,02123$	$\alpha = 0,0009$	$\alpha = 0,00511$
	$\beta = 0,3698$	$\beta = 0,0599$	$\beta = 0,99293$
45	$\alpha = 15,46$	$\alpha = 16,74$	$\alpha = 21,506$
	$\beta = 0,19031$	$\beta = 1,99$	$\beta = 1,15$

Tabla 11: Parámetros de la distribución beta para el modelado en los pisos

Canal	D_n	Prueba KS
23	0,00934733	Acepta
40	0,10650647	Rechaza
45	0,02276679	Acepta

Tabla 12: Prueba de Kolmogorov-Smirnov en el Piso 1 con 99% de confiabilidad

Canal	D_n	Prueba KS
23	0,00372773	Acepta
40	0,00800329	Acepta
45	0,02014211	Acepta

Tabla 13: Prueba de Kolmogorov-Smirnov en el Piso 9 con 99% de confiabilidad

Canal	D_n	Prueba KS
23	0,00291069	Acepta
40	0,00611544	Acepta
45	0,01783851	Acepta

Tabla 14: Prueba de Kolmogorov-Smirnov en el Piso 16 con 99% de confiabilidad