



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN, MODELAMIENTO Y DETERMINACIÓN DE LA
DISPONIBILIDAD DE CANALES DE TV ANALÓGICA DE LA
BANDA UHF (512 MHZ – 698 MHZ) EN UN ESCENARIO INDOOR
EN UN EDIFICIO EN EL NORTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELÉCTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

VANESSA ISABEL CAMPOVERDE RAMÍREZ

GIAN ANDREI ARÍZAGA AMAYA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por permitirme llegar a este mundo, mi profundo agradecimiento a mis padres por haberme apoyado siempre, ya que gracias a su aporte he llegado a cumplir una de mis metas. Al Ms. Jorge Gómez por ser mi tutor y brindarme su ayuda constante poder desarrollar de mejor manera este proyecto. Finalmente a la universidad por haberme formado profesionalmente y enseñado a desenvolverme de la mejor manera en el ámbito laboral.

Vanessa Campoverde Ramírez

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por cada día de vida, a mis Padres por brindarme siempre su apoyo y darme fuerzas para seguir adelante. A mi familia por sus consejos y aprecio. Expreso mi gratitud a mis maestros de ESPOL por transmitirme sus conocimientos y haberme guiado durante mi vida universitaria. De manera especial al Ms. Jorge Gómez mi infinito agradecimiento por su valiosa colaboración para la realización de éste proyecto. A mis amigos por su confianza y lealtad en este arduo camino para llegar a ser un profesional.

Andrei Arízaga Amaya

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a, mis padres Carmen e Iván, a quienes con inmenso amor han sabido inculcarme valores y han sido mi pilar fundamental. A mi hermana Mélody y sobrino Emiliano quienes forman parte importante en mi vida. A mis abuelitos Mercedes, Teresa (+), Abel (+) y José quienes han sido mis segundos padres y por el amor que me brindan.

Gian Andrei Arízaga Amaya

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Jorge Luis Gómez Ponce, Mag.

PROFESOR EVALUADOR

.....
Francisco Vicente Novillo Parales, PhD.

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"

.....

Gian Andrei Arízaga Amaya

.....

Vanessa Isabel Campoverde Ramírez

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en determinar la disponibilidad de canales en la Banda UHF de televisión analógica, con el fin de reutilizar el espectro radioeléctrico. En el primer capítulo se describe un breve antecedente sobre la temática, los objetivos del proyecto, la metodología para el desarrollo del mismo y su alcance.

En el segundo capítulo se emite una breve explicación sobre la Interferencia en el sistema de televisión, conceptos de Dynamic Spectrum Access (DSA), Espacios en Blanco (TVWS) y se menciona ciertos estudios realizados en otros países acerca de esta problemática.

En el capítulo tres se realiza una descripción del escenario incluyendo características y localización geográfica. Como parte de la metodología, inciso que se incluye en este capítulo, se realiza el sensado de la señal de TV en cada piso por un lapso de tiempo, capturando los niveles de potencia de dicha señal para compararlas con el nivel umbral del sistema TV-UHF analógico y luego proceder a encontrar el estado en cada instante de tiempo y con ello la disponibilidad de los canales en cada piso. Se muestra también el sistema de medición utilizado, el algoritmo y como se procedió al modelamiento estadístico de los datos.

Finalmente en el último capítulo se muestran los resultados mediante gráficas de los datos obtenidos en el capítulo anterior, cumpliendo con los objetivos propuestos inicialmente.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
CAPÍTULO 1	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Metodología.....	5
1.6 Alcance.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
2. ESTADO DEL ARTE MUNDIAL.....	7
2.1 Televisión analógica.....	8
2.1.1 Características de televisión analógica	8
2.1.2 Interferencia al sistema de televisión	11
2.2 Control de interferencias en el Ecuador.	13
2.3 Dynamic Spectrum Access (DSA).....	16
2.4 Espacio en blanco de televisión (TVWS).	19
2.5 Estudios realizados sobre el uso eficiente del espectro.	20

CAPÍTULO 3.....	24
3. METODOLOGÍA Y MODELAMIENTO.	24
3.1 Descripción del escenario.....	24
3.2 Metodología aplicada en el escenario.	25
3.3 Algoritmo.	28
3.4 Modelamiento de datos estadísticamente.	29
CAPÍTULO 4.....	32
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
4.1 Localización geográfica del escenario.....	32
4.2 Parámetros de configuración.....	33
4.3 Análisis de los resultados.	34
4.3.1 Análisis temporal de los datos.....	35
4.4 Modelamiento estadístico.....	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	56

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El espectro radioeléctrico es de gran valor económico y social, por lo que es considerado un recurso natural limitado; por tal motivo, los cambios regulatorios en el sector de las radiocomunicaciones se hacen presente con el único propósito de asegurar su uso y gestión eficiente [1].

Considerando que el espectro radioeléctrico es ocupado por sistemas que brindan servicios inalámbricos en rápido crecimiento junto con el despliegue de nuevas tecnologías, y el uso de innovadores sistemas de telecomunicaciones, se requiere ocupar una porción o segmento del espectro radioeléctrico para poder transmitir sus datos o contenidos, por lo que el requerimiento de la reutilización del espectro se hace presente. Un claro ejemplo de lo que está por venir es el internet de las cosas, donde cualquier dispositivo electrónico podrá conectarse a internet para de una u otra manera mejorar la calidad de vida de las personas [2].

Nuevas maneras de como hallar espectro radioeléctrico, de entre las cuales se encuentra en consecuencia DSA y OSA, las que requieren zonas de espectro que no están siendo usadas para poder brindar mayor cobertura. En este contexto, en el Ecuador se va a producir un cambio de televisión analógica a digital llamado "Apagón Analógico", el cual va a liberar segmentos del espectro radioeléctrico de televisión. Lo novedoso de este nuevo sistema de televisión digital es que utiliza mecanismos que optimizan de mejor manera el ancho de banda. Todo lo antes mencionado se puede considerar como un gran beneficio y oportunidad para plantear diseños de nuevos sistemas que se puedan implementar de tal manera que trabajen correctamente en dichos espacios libres [3].

Por otra parte, organismos regulatorios de las telecomunicaciones, como la FCC de Estados Unidos, han publicado recientemente las normas reguladoras para el uso de radio cognitiva del espacio en blanco en el espectro de TV. Estas nuevas reglas proporcionan una oportunidad, pero también introducen una serie de problemas técnicos. Los desafíos requieren el desarrollo de las tecnologías cognitivas de radio como de detección de espectro, así como nuevo PHY (Protocolo de Capa Física) inalámbrico y diseños de la capa MAC. Estos desafíos incluyen la detección del espectro de ambas señales de televisión y señales de micrófonos inalámbricos, el funcionamiento ágil de frecuencia, geo-localización, requisitos de máscaras espectrales rigurosas; y por supuesto la capacidad de proporcionar un servicio confiable en el espectro sin licencia y que cambia dinámicamente [4].

Un factor que afecta la transmisión es la interferencia, debido a los canales adyacentes en la banda de televisión. Para mitigar este problema los canales de TV se encuentran separados por una banda de guarda, es decir existen espacios en blanco "White Spaces" [5] entre canales e incluso entre bandas.

La idea inicial es que estos espacios en blanco o TVWS ("TV White Spaces") podrían ser usados por usuarios no licenciados, o usuarios secundarios para usarse con dispositivos de menor potencia conocidos como los WSD ("White Space Devices"), emitiendo en la misma frecuencia [6], formando sistemas de corto alcance.

1.2 Planteamiento del problema

Hoy en día el espectro radioeléctrico está siendo subutilizado en todo el mundo [7-9]. Entre las bandas del espectro que están siendo subutilizadas destaca la banda de frecuencias UHF-TV. Debido a las características que presenta el sistema de televisión analógico,

existen ciertas porciones y canales del espectro radioeléctrico que nos están siendo utilizados.

Por las razones antes expuestas, existen actualmente resoluciones de órganos regulatorios de Estados Unidos (FCC) y Reino Unido (OFCOM) que permiten el acceso a porciones del espectro de televisión no utilizados. Dichas resoluciones han anunciado grandes expectativas para el valor práctico de los espacios en blanco en el espectro de televisión (TVWS) para una exploración secundaria; debido al gran potencial de estas bandas para proporcionar a largo plazo el acceso de banda ancha inalámbrico [10], ya que las futuras redes inalámbricas dependen de la disponibilidad del espectro.

Con el propósito de desarrollar tecnologías y de estimar el comportamiento de sistemas existentes se da lugar a la búsqueda de nuevas alternativas para el buen uso del espectro radioeléctrico [11].

1.3 Justificación

Por los problemas antes mencionados, se está introduciendo el concepto de sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA, en sus siglas en inglés) [12], basando su funcionamiento en la técnica Radio cognitiva (RC), la cual se desarrolla mediante una serie procesos que forman el ciclo cognitivo [13]. El ciclo cognitivo empieza con el sensado del espectro, el cual consiste en supervisar las bandas disponibles en el espectro y luego detectar los agujeros o *White Spaces* del espectro [14].

El acceso oportunista ofrece un conjunto de alternativas que pretende reducir los problemas de ineficiencia en el uso del espectro radioeléctrico ocasionados por los procedimientos actuales de administración, asignación y demanda de tal recurso [12].

Por tal motivo, el presente trabajo se basa en realizar el sensado del espectro radioeléctrico en escenarios interiores de un edificio que se

encuentra en una zona urbana de la ciudad de Guayaquil, ya que la disponibilidad puede ir variando a medida que se escala en los pisos de un edificio [15], obteniendo de esta manera no solo resultados de disponibilidad en el tiempo sino también en el espacio.

Además, se aprovecha las zonas de sombra que pueden existir dentro de estos escenarios indoor, las cuales son consecuencia del debilitamiento de la señal por el traspaso de obstrucciones, paredes, ventanas y pisos [16].

Estas mediciones de los niveles de potencia de dichas señales dentro de un edificio de la ciudad de Guayaquil, tiene como finalidad realizar un modelamiento estadístico de los canales y poder determinar qué tan disponibles se encuentran, cumpliendo así con los objetivos específicos que se ha planteado.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Determinar la disponibilidad de canales en escenarios indoor en un edificio del norte de la ciudad de Guayaquil de la banda UHF (512 MHz hasta 698 MHz) de televisión.

1.4.2 Objetivos específicos

- Medir niveles de potencia en la banda UHF de televisión Analógica en el interior de un edificio mediante la utilización de una radio definida por Software (SDR).
- Comparar los datos obtenidos de cada canal con el nivel de potencia referencial de la banda UHF de televisión.
- Calcular mediante la relación del estado instantáneo y el número de muestras el porcentaje de disponibilidad del espectro.

- Modelar estadísticamente el comportamiento del sistema para conocer el patrón real que tiene dicho sistema en dicha zona urbana.

1.5 Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos, se ha planteado realizar las mediciones en 3 puntos claves de un edificio localizado en una zona urbana: planta baja, planta media y planta alta. Con ello se obtendrán mediciones referenciales de la banda UHF dentro del edificio; y así poder identificar qué modelo estadístico se ajusta al comportamiento de la señal del sistema UHF-TV en el escenario. Para ello, hemos implementado un SDR (Software Defined Radio) utilizando como herramienta Labview que conjuntamente con un USRP se medirá los niveles de potencia de la señal de televisión analógica en la banda UHF por un periodo de 10 días en cada piso, cuyas medidas se irán almacenando en una base de datos. Esta base de datos incluirá los niveles de potencias picos de cada uno de los 14 canales que conforman la banda UHF para el servicio de radiodifusión de televisión. Una vez finalizadas las mediciones se procederá al análisis y estudio de los resultados, aplicando métodos estadísticos.

1.6 Alcance

Al determinar si es altamente factible la implementación de un nuevo sistema de telecomunicaciones en la banda UHF para televisión, se podrá usar dicha banda para sistemas de telecomunicaciones ya existentes que ocupen un ancho de banda reducido, mejorando así la calidad de servicio a sus consumidores.

En el mundo, grupos de trabajo han desarrollado nuevos estándares como el IEEE 802.22 para WRAN, IEEE 802.11af, White-Fi, así como también Wi-Far, que es una especificación desarrollada por la White

Space Alliance. Todos estos estándares o especificaciones tienen un mismo objetivo, el cual es el uso de espacios blancos del espectro confinado al servicio de radiodifusión de televisión sin causar interferencias entre los mismos. Por tal motivo, el hacer un estudio de la disponibilidad de canales en nuestro país servirá para que estos estándares sean puestos a prueba y aplicados en el Ecuador a corto plazo [17].

Finalmente, esta investigación puede ser la iniciativa para que nuevos grupos de trabajo se sumen al estudio del uso eficiente del espectro, no sólo en ambientes indoor en un edificio, sino también en otros ambientes donde el uso del espectro radioeléctrico puede diferir. Dicho análisis servirá de forma directa al órgano regulador en cuanto a la redistribución de las bandas de frecuencia.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE MUNDIAL

El sector de radiocomunicaciones tiene como objetivo garantizar la utilización eficaz, equitativa, racional y económica de los canales de frecuencias del espectro radioeléctrico por todos los servicios de radiocomunicaciones. Según la UIT se utilizan radiofrecuencias en diferentes dominios para mejorar la eficiencia en la ocupación de frecuencias y en el uso del espectro, entre ellos está el dominio de la frecuencia, el dominio del tiempo, el dominio de la amplitud, el dominio de la modulación, el dominio del espacio, etc [18].

En el Ecuador, la banda UHF que está asignada para servicios de telefonía móvil como es el caso de la banda 850 MHz, está copada debido a la gran demanda de usuarios que este servicio representa. Dada la necesidad y el compromiso de las operadoras en el Ecuador por brindar un mejor servicio, la agencia reguladora ha dado apertura a la banda de 700 MHz [19].

La banda de 700 MHz se encuentra dentro del rango de señales de frecuencia UHF, las cuales han sido sujeto de muchas investigaciones para ver el consumo del espectro radioeléctrico en varios países del mundo [7-9], y con ello han llegado a la conclusión que gran parte del espectro en las frecuencias UHF para el servicio de radiodifusión de televisión está siendo subutilizadas. Por lo antes descrito, se puede apreciar que la asignación espectral sigue un esquema estático, perteneciendo dicha concesión a un sistema de telecomunicación predeterminado, sin el derecho a que otro sistema pueda operar por un lapso de tiempo aun cuando un canal está desocupado.

Dado los hechos antes expuestos, mejorar el uso del espectro radioeléctrico es de vital importancia en la actualidad, por lo que hoy en día la búsqueda de espacios en blanco se ha convertido en una opción viable para enfrentar la escasez de frecuencias, permitiendo que un usuario secundario pueda transmitir a una frecuencia siempre y cuando esta no esté ocupada, o el

usuario primario no este transmitiendo, para no interferir en sus comunicaciones.

2.1 Televisión analógica

2.1.1 Características de televisión analógica

El sistema de televisión actualmente en el Ecuador se encuentre en una etapa transitiva, ya que para el año 2016 se dará por completo el denominado apagón analógico y se dará paso a la televisión digital en todo el Ecuador. Todo aquello se ha realizado mediante un proceso para no afectar al usuario final con el cambio brusco de sistema, por tal motivo hasta en la actualidad se están dando conjuntamente los servicios de televisión digital y televisión analógica, promoviendo así el futuro uso del nuevo sistema.

A continuación se presenta ciertas características y normativas de lo que es y será el sistema de televisión analógica en la historia de nuestro país:

- El ancho de banda del canal es de 6 MHz en televisión analógica [20].
- Las señales en el sistema de televisión analógica se transmiten con modulaciones AM/FM [21]. En la figura 2.1 se puede observar un pequeño esquema de como viaja la señal hacia el usuario final (televisor).

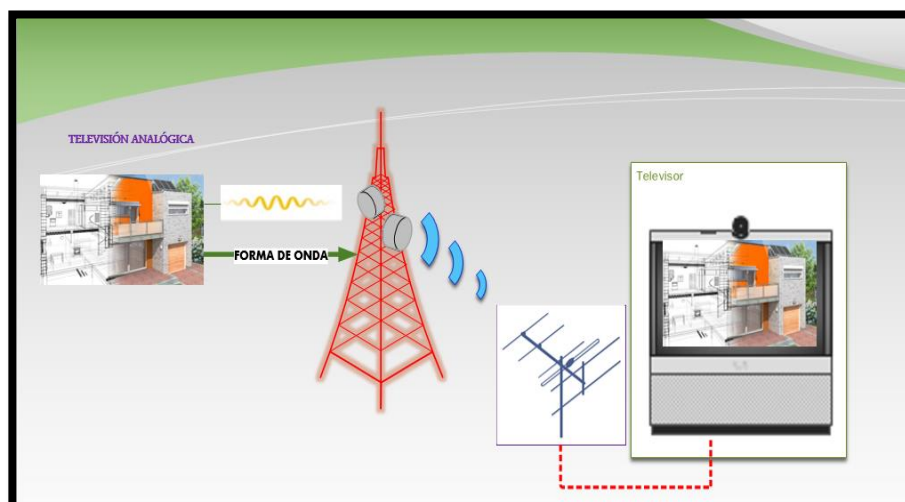


Figura 2.1: Televisión analógica

- En la televisión analógica se tiene un programa por canal, con teletexto como servicio interactivo.
- La ARCOTEL indica que los sistemas de televisión analógica utilizan tres portadoras dentro de los 6 MHz de ancho de banda, una portadora para la información de video, otra para el color y la tercera para el sonido [20].

La forma del espectro de un canal de una señal de televisión analógica medida en tiempo real se muestra en la figura 2.2, tomando como ejemplo el canal 24 nótese que la señal analógica tiene 2 componentes, la primera es la señal de video cuya portadora se encuentra en 531,25 MHz y la segunda es la señal de audio cuya portadora se encuentra centrada en 535,75 MHz. Su frecuencia central se encuentra en $533 \text{ MHz} + 1/7$.

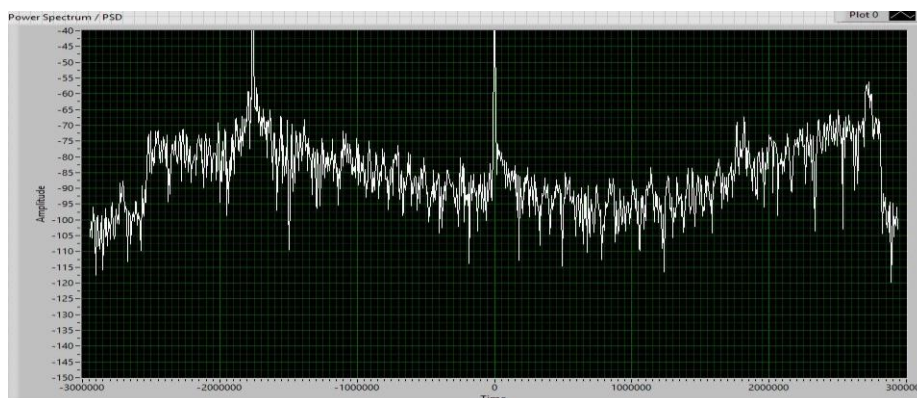


Figura 2.2: Espectro de un canal analógico

El esquema de modulación de transmisión del espectro de un canal de televisión definido por la NTSC (National Television System Committee - Comisión Nacional de Sistema de Televisión) se puede apreciar en la figura 2.3, donde se indica que un canal de televisión ocupa un ancho de banda de 6 MHz, existen 3 portadoras que conforman el espectro la señal de televisión: portadora de luminancia, portadora de color, que constituyen la señal de video y portadora de audio.

La señal de video es modulada en amplitud y se trasmite entre 500 kHz y 5,45 MHz por encima del límite inferior del canal. La portadora de luminancia se encuentra a 1.25 MHz por encima del límite inferior del canal. La portadora de color es modulada en amplitud de cuadratura (QAM) por las señales de crominancia con portadora suprimida, está 3,579545 MHz por encima de la portadora de luminancia. Por último, se encuentra la portadora de audio, a 5.75 MHz del límite inferior del canal. La señal de audio es modulada en frecuencia (FM), la cual tiene una portadora en 5.75 MHz con una desviación de ± 25 kHz.

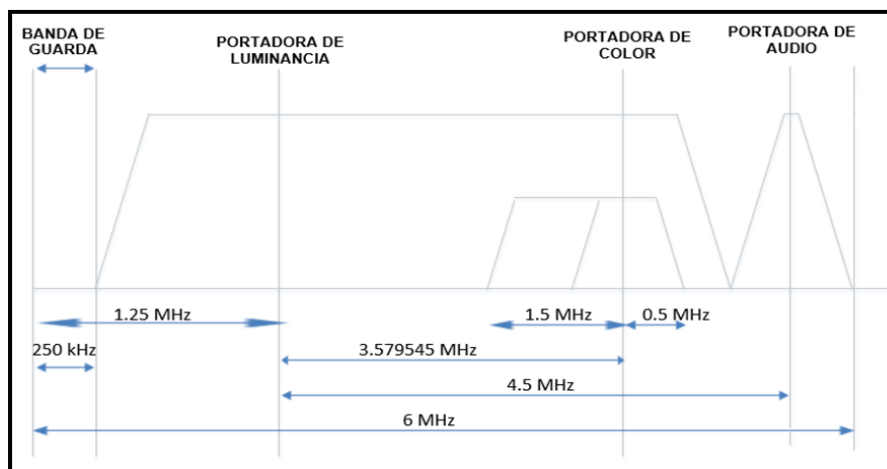


Figura 2.3: Espectro de un canal de televisión NTSC

2.1.2 Interferencia al sistema de televisión

Para cualquier sistema de telecomunicaciones se define a la interferencia como el efecto de energía no deseada a consecuencia de emisiones, inducciones o combinaciones de una o más señales en el sistema receptor de otro sistema de telecomunicación. En la mayoría de los casos se presenta como la atenuación de la señal y baja calidad de la misma, además de la pérdida de información [22].

Para los sistemas de radiodifusión de televisión analógica, son muchos los factores que pueden causar una mala calidad en la imagen del dispositivo final; entre ellos está la intermodulación de una o más señales de televisión analógica, el multitrayecto de la señal, la escasa relación de potencia señal vs ruido (SNR), la intermodulación, las interferencias [23].

Las señales que se propagan a través de espectro radioeléctrico, pueden ser afectadas por los siguientes modos de interferencia: interferencia de canal adyacente [24], interferencia co-canal [25], bloqueo e intermodulación [20].

Interferencia de Canal adyacente

La interferencia de un canal adyacente se puede producir por dos motivos distintos: el primero por un filtrado insuficiente en la entrada del receptor y el segundo por causa de una incorrecta sintonización [26].

La interferencia de canal adyacente se presenta entre señales que se encuentran en canales contiguos del espectro radioeléctrico, como se observa en la figura 2.4 existe la posibilidad que parte de la potencia radiada por un canal adyacente inferior (N-1) o adyacente superior (N+1) sea recibido en un canal N.

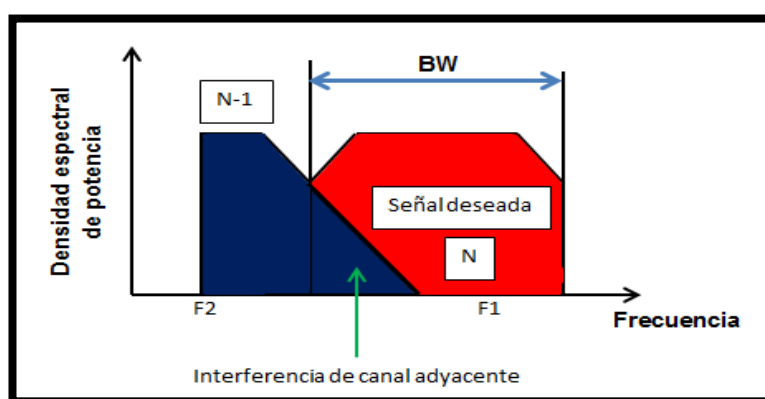


Figura 2.4: Interferencia canal adyacente

Interferencia de co-canal

La interferencia co-canal como se puede observar en la figura 2.5, resulta de la superposición de dos o más señales, que provienen de diferentes transmisores pero operan en la misma frecuencia o canal [26].

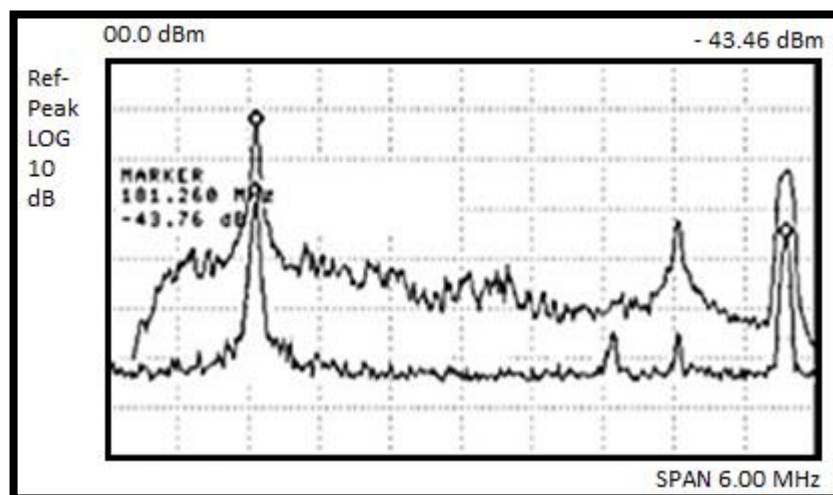


Figura 2.5: Interferencia co-canal [25]

En los sistemas de radiodifusión de televisión en la banda UHF con el estándar NTSC, para mitigar el problema de la interferencia co-canal, los transmisores deben estar separados por una distancia mínima de 275 km [28].

2.2 Control de interferencias en el Ecuador

En el Ecuador de acuerdo al “PLAN DE CANALIZACIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS Y CANALES” [29], las frecuencias principales dedicadas al servicio de televisión abierta en la banda UHF son:

UHF	
Banda IV	de 500 a 608 MHz y de 614 a 644 MHz
Banda V	de 644 a 698 MHz

Tabla 1: Bandas de frecuencia [20]

Las bandas de frecuencias están divididas en 44 canales con un ancho de banda de 6 MHz cada una. En la tabla 2 se muestra cada una de las bandas de frecuencia con su respectivo rango, las portadoras de audio y video. (VER ANEXOS)

La agencia de regulación y control de las telecomunicaciones (ARCOTEL), con el fin de minimizar las interferencias de canal adyacente y co-canal, distribuye los 44 canales UHF en grupos para su distribución en todo el territorio ecuatoriano.

Como se puede observar en la tabla 3, estos grupos de canales, 23 tienen una separación de 6 MHz, la cual se denomina “banda de guarda”, así reduciendo las posibles interferencias por canal adyacente entre los canales del grupo al que pertenece.

GRUPO	CANAL	GRUPO	CANAL
G1	14	G2	15
	21		22
	23		24
	25		26
	27		28
	29		30
	31		32
	33		34
	35		36
G3		G4	
	39		38
	41		40
	43		42
	45		44
	47		46
	49		48
	51		50

Tabla 3: Grupo de canales

La interferencia co-canal en el Ecuador también es mitigada mediante la distribución de los canales por áreas de operación independiente,

que corresponden a grandes áreas geográficas del país, las cuales en la mayoría de los casos lo conforman provincias o grupos entre varios cantones y una provincia. Así, la asignación de canales deberá regirse a dicha distribución según el sitio geográfico en el cual se quiere transmitir. En el caso de la petición para transmitir en canales de otros grupos, es decir canales adyacentes, el órgano regulador autorizará su operación una vez se cumpla con los requisitos técnicos descritos en el Artículo 8 de la “NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA” [29].

Otro parámetro importante a cumplir para la protección de estos dos tipos de interferencias, es la relación de señal deseada y señal interferente; así mismo la separación mínima entre estaciones transmisoras se describe en la tabla 4:

RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA SEÑAL DE IMAGEN	
<i>Interferencia Co-Canal</i>	
Separación entre portadoras	Relación Señal deseada/señal interferente
Inferior a 1000 Hz	45 dB
1/3, 2/3, 4/3, ó 5/3 de la frecuencia de línea	28dB
<i>Interferencia de Canales Adyacentes</i>	
Interferencia	Relación Señal deseada/señal interferente
Del canal inferior	-6 dB
Del canal superior	-12 dB
RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA SEÑAL DE SONIDO	
Relación Señal deseada/señal interferente	
28 Db	

Tabla 4: Relación protección-signal de imagen/signal de sonido

2.3 Dynamic Spectrum Access (DSA)

Las políticas de asignación de espectro en el Ecuador no satisfacen las condiciones actuales del mismo, por lo que la asignación estática del espectro es uno de los mayores problemas de las redes inalámbricas creando los espacios en blanco (White Spaces) en el espectro. Por tal motivo, la alternativa es un enfoque tecnológico en las redes de Radio Cognitiva (CR), el cual propone resolver el problema del sobrecrecimiento usando acceso dinámico en el espectro (Dynamic Spectrum Access).

La percepción de que gran parte del espectro asignado presente alta disponibilidad en el tiempo como en el espacio, ya se conoce desde tiempos atrás, como por ejemplo en las bandas de televisión. Dicha percepción pudo corroborarse con la publicación de la tesis doctoral de J. Mitola: "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for software defined radio. Ph. D. Thesis, Swedish, Royal Institute of Technology, 2000", surgiendo la acuñación del término Radio Cognitiva, promoviendo el interés en estos últimos años de explotar mejor el espectro asignado tanto en su dominio espacial como temporal [30]. Este interés se debe a que la asignación tradicional del espectro se basa en el mando y control, donde el espectro radioeléctrico que no es utilizado y es asignado a usuarios con licencia, no puede ser utilizado por los usuarios y aplicaciones sin licencia. Esta asignación estática e inflexible, implica que un sistema inalámbrico tenga que operar sólo en una banda del espectro dedicado, y que no pueda adaptarse a la banda de transmisión de acuerdo a los cambios del entorno. En el caso en que una banda del espectro sea utilizada en gran medida, el sistema inalámbrico no puede operar en otra banda.

Por lo dicho anteriormente, el sistema Radio definido por software (SDR) es idóneo para poder resolver los problemas relacionados con

la gestión dinámica del espectro, y los dispositivos SDR pueden funcionar en redes inalámbricas heterogéneas, es decir, puede adaptarse a nuevas frecuencias y modulaciones [8]. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) define a la radio cognitiva como una radio que puede cambiar sus parámetros de transmisión basado en la interacción con el ambiente que este opera, por lo que tiene un comportamiento inteligente adaptativo y son reconfigurables.

Por otro lado, la tecnología DSA (Acceso Dinámico del Espectro) es definido como un mecanismo para ajustar el recurso del espectro en un tiempo cercano a la realidad en respuesta al cambio de ambiente y objetivo (canal disponible y tipo de aplicaciones), cambios de estado de radio (modo de transmisión, estado de la batería y localización), cambios en el ambiente y restricciones externas (propagación de radio, política operacional). Esta tecnología permite que los sistemas secundarios no licenciados compartan el espectro con los sistemas licenciados primarios.

Existen 3 modelos principales de acceso dinámico al espectro: uso común (commons-use), uso compartido (shared-use), y uso exclusivo (exclusive-use) [31].

Commons-use, el espectro es abierto para el acceso de todos los usuarios, este modelo ya es usado en la banda ISM.

Shared-use, a los usuarios licenciados (usuarios primarios) se les asigna bandas de frecuencia los cuales son accedidos oportunamente por usuarios no licenciados (usuarios secundarios) cuando no son ocupados por los usuarios primarios.

Exclusive-use, un usuario licenciado puede conceder el acceso de una banda de frecuencia particular a un usuario no licenciado por un cierto periodo de tiempo.

Un esquema sobre la arquitectura de la radio cognitiva se puede apreciar en la figura 2.6. Como se puede observar, los usuarios que

se encuentran dentro de la red de radio cognitiva (sin infraestructura) se pueden comunicar con la red primaria mediante un dispositivo que de acceso a la misma, además existe una comunicación entre la banda no licenciada y banda licencia o entre bandas licenciadas (banda licenciada I con la banda licenciada II). Por lo que se indica que este sistema detecta el entorno y ajusta dinámicamente los parámetros de radio para una comunicación eficiente y mejorada [8].

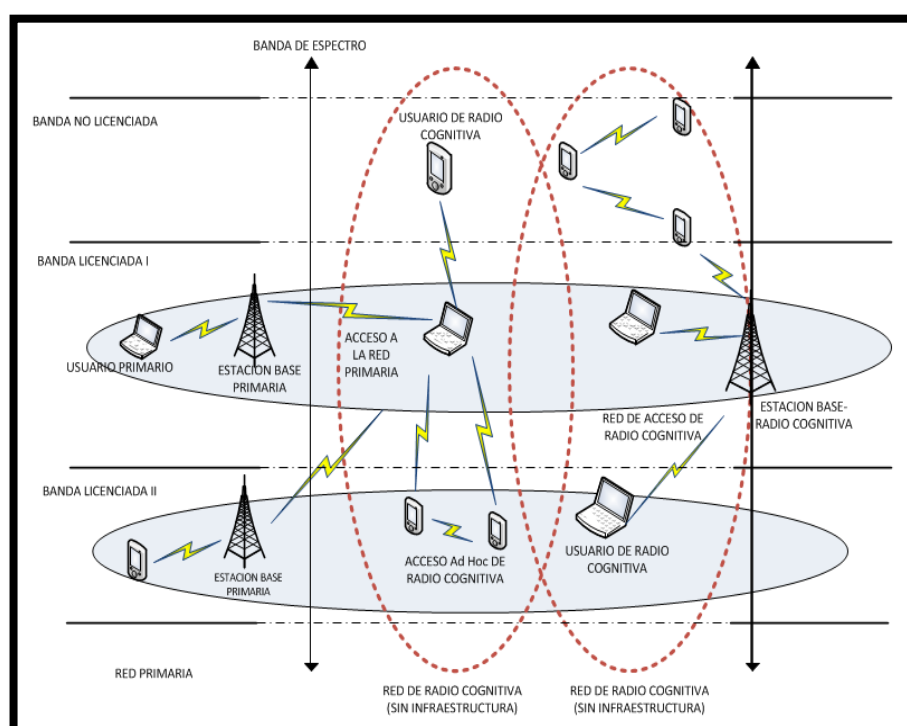


Figura 2.6: Arquitectura del sistema de radio cognitiva [8]

En la figura 2.7 se muestra el esquema de ciclo cognitivo, este requiere un funcionamiento adaptativo en el acceso abierto al espectro, consta de tres partes fundamentales que son: el primero es el sensado del espectro, como segundo punto el análisis del espectro y finalmente la decisión del espectro. El primero nos ayuda a

determinar qué parte del espectro está habilitado y detecta la presencia de usuarios licenciados y espacios libres.

Dado que, se realizaran solo mediciones de niveles de potencia, este proyecto se enfoca solamente en el sensado del espectro (Spectrum Sensing) dentro del ciclo cognitivo.

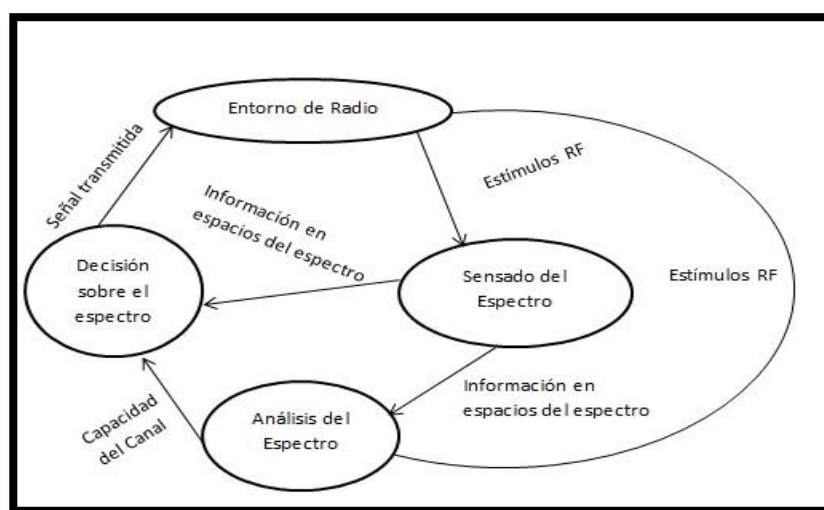


Figura 2.7: Ciclo cognitivo [8]

2.4 Espacio en blanco de televisión (TVWS)

Como se mencionó en el inciso anterior, con el uso del Acceso Dinámico en el Espectro se pretende reducir los espacios en blanco en el espectro reutilizándolo de mejor manera. Estos espacios en blanco en la televisión son muy comunes entre las estaciones en cualquier área geográfica, ya que esto evita la interferencia de canal adyacente entre transmisoras de alta potencia de transmisión. Por ello cuando se asignan canales de televisión la FCC los despliega y pone canales en blanco entre estaciones [10].

El término white space es usado por la FCC para hacer referencia al espectro no usado en la banda de televisión; es decir, a la

reutilización de las bandas de guarda en el espectro de la televisión con el fin de involucrar la banda ancha de las redes Wi-Fi [3]. Debido a aquello ha surgido el concepto de TVWS, concepto por el cual las nuevas reglas emitidas por la FCC brindan la oportunidad de desarrollar nuevas redes inalámbricas para utilizar dicho espectro, por el motivo de que dichas redes están creciendo de manera abrumadora.

Las atractivas características de los TVWS han causado una gran actividad para su estandarización. Se inició con el estándar IEEE 802.22 en 2004, y el IEEE Std 802.22 (Wi-Far)-2011. Fueron pensados para zonas con poca población, con el fin de facilitar el acceso de banda ancha para redes de datos, siendo esto la raíz de lo que se llama en EE.UU. Super Wi-Fi. [32]. Existe además el estándar IEEE 802.11af y ECMA-392, el primero modifica la capa física y MAC del Estándar IEEE 802.11, con el fin de permitir a los sistemas Wi-Fi el acceso a los TVWS de tal manera que se satisfaga los requerimientos legales de coexistencia; mientras que el segundo opera en los TVWS, este último está diseñado para redes ad-hoc y redes interiores, soporta anchos de banda de 6,7 y 8 MHz.

2.5 Estudios realizados sobre el uso eficiente del espectro

Debido a ciertas motivaciones técnicas para la implementación de TVWS ya se han realizado varios estudios en algunas partes del mundo como: UK, South África, USA, entre otros, sobre White Space. Entre las cuales se menciona las siguientes [6]:

- Más área de cobertura con la misma potencia.
- No necesita línea de vista.
- Adaptación a las condiciones específicas de los clientes (la distancia, los obstáculos, los titulares erráticos, enlace de canal).

- Enfoque de radio cognitiva para hacer frente a los principales usuarios. (IEEE 802.22).

Los espacios que existen entre áreas de cobertura de banda ancha de TV de alta potencia que utilizan la misma frecuencia pueden ser utilizados por dispositivos de baja potencia, aprovechando de otra manera los espacios en blanco.

Un análisis del uso en general del espectro en la bandas UHF de televisión en Singapur es del 4,54% [33], en Chicago el 17,4 % [32] y en Barcelona de 22,57%. Estimaciones de TV *white spaces* se ha hecho en países como los Estados Unidos (US), el Reino Unido (UK), Europa, y Japón [32].

En el año 2013 se realizó un estudio en la India sobre la cuantificación de espacios blancos en la banda UHF (470 MHz-590 MHz) bajo los reglamentos de la FCC de US tomando en cuenta los siguientes parámetros para los transmisores para el servicio de radiodifusión de televisión:

- Posición de la torre (latitud y longitud).
- Potencia de transmisión del transmisor de TV.
- Frecuencia de operación.
- Altura de la antena.
- Información del terreno de área que rodea la torre.

El estudio llega a la conclusión que en India tienen a su disposición 15 canales UHF (470-590 MHz) para el servicio de televisión, del cual en promedio 14 de éstos están disponibles para un uso secundario.

Método	Parámetros	15 canales disponib.
Punto de vista de la contaminación	Canal principal $\Upsilon = 5\text{dB}$	36.69 %
	Canal principal $\Upsilon = 5\text{dB}$, canal adyacente $\Upsilon = 45\text{dB}$	36.43 %
	Canal principal $\Upsilon = 10\text{dB}$	71.61 %
	Canal principal $\Upsilon = 10\text{dB}$, canal adyacente $\Upsilon = 45\text{dB}$	71.39 %
	Canal principal $\Upsilon = 15\text{dB}$	85.51 %
Punto de vista de la protección	Canal principal $\Upsilon = 15\text{dB}$, canal adyacente $\Upsilon = 45\text{dB}$	85.29 %
	Canal principal $\psi = 1\text{dB}$	88.19 %
	Canal principal $\psi = 1\text{dB}$, canal adyacente $\psi = 28\text{dB}$	74.75 %
	Canal principal $\psi = 0.1\text{dB}$	86.62 %
Regulaciones FCC	Canal principal $\psi = 0.1\text{dB}$, canal adyacente $\psi = 27.1\text{dB}$	73.69 %
	Canal principal $E_{\text{rb}} = 41\text{dBu}$	73.66%

Número de canales de televisión disponibles con función de porcentaje

Otro estudio realizado en Estados Unidos por un grupo de colegas del Grupo de Investigación de Movilidad y Redes que pertenece a Microsoft Research e investigadores de Harvard University, diseñaron e implementaron la primera red White-Fi, un sistema Wi-Fi construido sobre White Spaces en las banda de frecuencias UHF [34].

Este sistema incorpora un algoritmo para la asignación de espectro, para manejar la variación espacios del espectro, así como también la fragmentación.

Como segunda característica de ésta arquitectura de red, utiliza una eficiente técnica para el análisis de señales en el dominio del tiempo, denominado SIFT (*Signal Interpretation before Fourier Transform*), para detectar transmisiones a través de distintos anchos de canal, sin cambiar el ancho de canal de la tarjeta de red inalámbrica.

Como tercer componente, WhiteFi proporciona un protocolo de “aviso”, que permite a los usuarios secundarios indicar que se procederá a una repentina desconexión del punto de acceso, como resultado de las variaciones temporales de disponibilidad del espectro, de conflicto con el usuario primario [16].

WhiteFi logra aproximadamente cuatro veces más el rango de un canal de conexión Wi-Fi 2,4 GHz con la misma potencia de transmisión y sensibilidad del receptor, gracias al menor ruido y mejor propagación a través de las paredes y obstrucciones, de esta manera se logró cubrir todo el Microsoft campus de Redmond usando sólo dos transmisores experimentales WhiteFi [35].

La creación de redes que optimicen el uso del espectro radioeléctrico utilizando White Spaces es considerado, por muchos, como la próxima frontera de la conectividad inalámbrica a Internet y la mayor oportunidad en las comunicaciones inalámbricas desde Wi-Fi y LTE.

Otro estudio realizado fue en Japón, en donde el paso de la televisión analógica a digital en Japón dejó grandes porciones en las bandas VHF-UHF para nuevos propósitos, es por ello que el estudio de manera cuantitativa de espacios en blanco se realizó con un modelamiento. Se estimó la disponibilidad basado en el enfoque de la FCC usando el modelo de propagación ITU-R P.1546, bajo el criterio de área protegida y distancia requerida de separación.

Parte de los resultados en éste estudio se muestra en la figura 2.10, la cual indica que el 84.3% de áreas en Japón pueden tener más de 100 MHz de TV White-Spaces para una separación mínima de 6km. Cuando la distancia es 6km, el promedio de canales disponibles va desde 14 hasta 30. Las 5 ciudades como Sendai, Tokyo, Kawaaki, Saitama y Sapporo, pueden obtener más de 20 canales disponibles para uso secundario [34].

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA Y MODELAMIENTO

En los capítulos anteriores se ha descrito el objetivo principal del proyecto, estado del arte, la problemática y ciertos estudios realizados en otros lugares del mundo acerca de la disponibilidad de canales en la Banda UHF de televisión analógica. Teniendo en cuenta lo anterior se procederá a dar una descripción del lugar donde se va a desarrollar la medición, el sistema utilizado, las expresiones matemáticas en los análisis realizados para finalmente proceder a realizar el modelamiento estadístico de los datos obtenidos.

3.1 Descripción del escenario

El escenario está situado en una zona urbana, con una gran cantidad de edificios de diferentes alturas como se muestra en la figura 3.1, ubicado en un casco comercial, que tiene sistemas de gran cobertura.

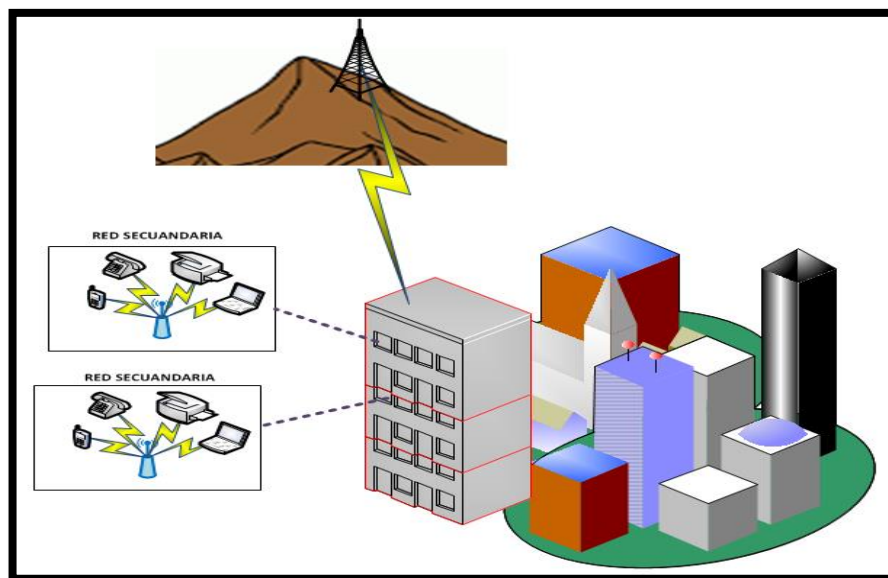


Figura 3.1: Escenario en zona urbana

Debido a que en el edificio existen pérdidas provocadas por paredes, por pisos, ventanas y puertas, la señal se va atenuando, en consecuencia la existencia de espacios libres en el espectro en análisis se hace presente. Además con el censado en lugares puntuales del edificio en un lapso de tiempo y la intensidad de la señal en dichos puntos, nos permitirá identificar la disponibilidad de canales, que es nuestro objetivo principal.

Luego del reconocimiento del lugar, cumpliendo con las condiciones técnicas y geográficas del escenario, se podrá realizar los métodos y algoritmos apropiados para el sistema en estudio.

3.2 Metodología aplicada en el escenario

Dentro del escenario mencionado en el inciso anterior, para poder realizar el experimento del proyecto se utilizará el sistema de medición que se muestra en la figura 3.2.

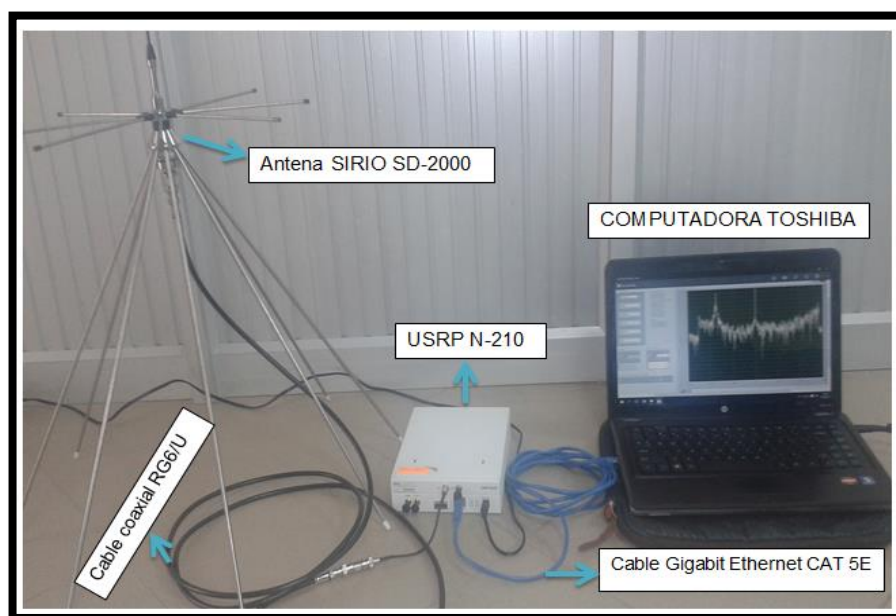


Figura 3.2: Sistema de medición

La potencia de recepción medida en el USRP se rige bajo la siguiente ecuación:

$$P_{\text{RUSRP}} = P_{\text{RANT}} - L_{\text{CONECTORES}} - L_{\text{CABLE}} + G_{\text{ANTENA}} + G_{\text{USR P}}$$

Donde,

P_{RUSRP} : Potencia de recepción medida en el USRP

P_{RANT} : Potencia de recepción medida en la antena SIRIO SD-2000 N

$L_{\text{CONECTORES}}$: Pérdida que generan los conectores

L_{CABLE} : Pérdida del cable que conecta la antena con el USRP

G_{ANTENA} : Ganancia de la antena

$G_{\text{USR P}}$: Ganancia del USRP

El USRP mide la potencia que llega a la entrada del mismo (P_{RUSRP}), sin embargo el valor de interés es medir la potencia que llega antes de la antena (P_{RANT}). Debido a la ganancia que tiene el USRP, las pequeñas pérdidas provocadas por los conectores y el cable se pueden compensar, y considerando la ganancia de la antena G_{ANTENA} , el valor de P_{RUSRP} se puede asumir aproximadamente igual P_{RANT} ($P_{\text{RANT}} \approx P_{\text{RUSRP}}$).

Antena

Debido a que el sistema en análisis cubre frecuencias altas (512 MHz – 698 Mhz), tomando de este rango solo los 14 canales correspondientes a televisión analógica en la banda UHF, se optó por utilizar la antena SIRIO SD-2000 N, ya que esta cubre un rango de frecuencia de 100 – 2000 MHz, garantizando la mejor eficiencia y rendimiento. Tiene una impedancia de 50Ω , es de tipo discone, ganancia unitaria y polarización vertical.

USRP

El equipo utilizado en la medición es el USRP N-210 de marca Ettus Software (National Instruments Company), equipo ajustable a cualquier banda (dispositivo lógico programable), utilizando en su interior la tarjeta de radio WBX, ya que esta tiene un rango de operación de 50-2200 MHz con un capacidad de ancho de banda de 40 MHz tanto para el transmisor como para el receptor, siendo este ancho óptimo para el sistema seleccionado. Además proporciona una potencia típica de salida de 100 mW (20 dBm) de potencia de salida, una figura de ruido variable de (5dB – 10dB) y presenta ganancias variables tanto en el transmisor (0dB-25dB) como en el receptor (0dB-31.5dB).

El USRP N-210 tiene una precisión de frecuencia de 50 PPM, un rango de ganancia de salida de 25 dB, un rango de ganancia de 0-31 dB y un ancho de banda en tiempo real de 20 MHz.

La conexión entre la antena SIRIO SD-2000 con el USRP N-210 se la realiza mediante el cable coaxial RG6/U con una longitud de 3m para evitar grandes pérdidas de la señal. Finalmente la comunicación entre el USRP y la computadora se lo realiza a través de un cable Gigabit Ethernet CAT 5E 350 MHz.

Obtención de Datos

Los datos obtenidos desde el USRP llegan a una PC mediante un cable Gigabit Ethernet que se encuentra conectado entre los dos equipos, estos datos son procesados en un algoritmo realizado en el programa Labview, que me permite obtener la información por cada canal, estos datos son guardados en un archivo Excel para finalmente procesarlos en Matlab para obtener las gráficas sobre la disponibilidad de canales en cada piso.

3.3 Algoritmo

Para poder censar los datos en la banda UHF del sistema de televisión analógica se realiza lo siguiente:

En la parte de INICIO se inicializan las variables, luego se da paso a la variable llamada EMPEZAR, la cual está condicionada por dos valores que son el 0 y 1, si tiene valor de cero el programa se quedara esperando a que sea activada dicha variable, de ser así se continua con la parte de CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS, donde se indica la Ganancia, la frecuencia de portadora a la cual trabaja el sistema, el número de muestras, el IQ rate (Ancho de banda del sistema), con el fin de poder realizar la correcta toma de datos del sistema en análisis y por tanto se procede a la INICIALIZACIÓN DEL PROGRAMA Y EQUIPOS. Luego de ello se tiene la variable STOP, si es seleccionada el programa se detiene, indicando la finalización del mismo (FIN) y retornando a la variable inicio, caso contrario se procede a la CAPTURA DEL ESPECTRO de la señal en el dominio tiempo, haciendo una medición espectral utilizando el icono PS/PSD, es decir, sacando el espectro de potencia o densidad espectral de potencia (Power Spectrum), para luego ser mostrada de manera GRÁFICA.

Una vez capturada la señal espectral se procederá a FILTRARLA, es decir en este segmento del algoritmo solo se dejara pasar la magnitud del espectro, para después CAPTURAR solo la potencia máxima y la frecuencia en la cual está siendo usada de las 1000 muestras utilizadas, y finalmente se GUARDARÁN los DATOS en un archivo Excel, para luego detener el programa.

El procedimiento anterior se realizará cíclicamente por cada canal de la banda UHF de televisión analógica, considerando que éste algoritmo es aplicado para los 14 canales. Todo lo descrito anteriormente se puede apreciar de manera esquemática en la figura 3.3:

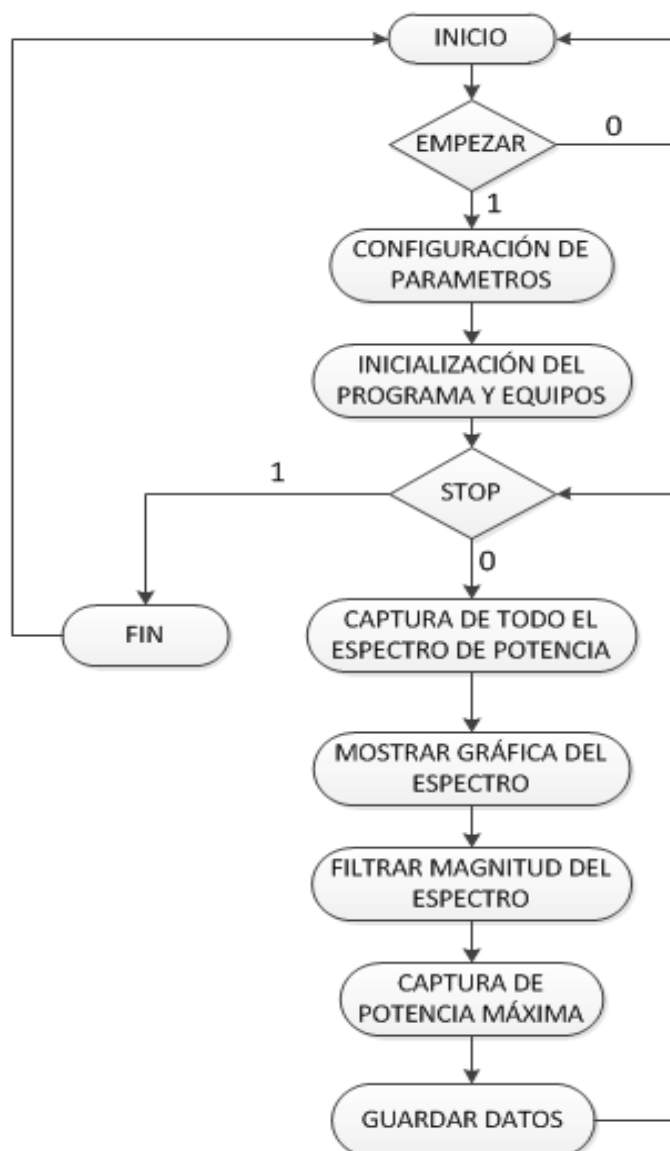


Figura 3.3 Algoritmo

3.4 Modelamiento de datos estadísticamente

Dados los resultados con las capturas realizadas con el sistema de medición antes descrito. En esta sección los datos de potencia obtenidos por cada piso se los comparara con el umbral de

sensibilidad del receptor definido para televisión analógica (Banda UHF) para determinar la disponibilidad temporal de los canales por piso para posteriormente generar modelos estocásticos que se ajusten al sistema en análisis.

Primero se procederá a determinar el estado en cada instante de tiempo, generando con ello la tabla de estados:

$$S_i = \begin{cases} 0, & \text{si } P_{RUSRP} \geq \lambda \\ 1, & \text{si } P_{RUSRP} < \lambda \end{cases}$$

La variable s_i nos indica si el canal está en un instante de tiempo i está desocupado ($s_i = 1$) u ocupado ($s_i = 0$) teniendo como referencia el umbral λ establecido por la NTSC.

Luego se realiza el cálculo para determinar el número de datos por disponibilidad N_m utilizando como datos el tiempo de muestra t_m igual a 13,68 s y una granularidad en tiempo de 5 min (300 s).

$$\begin{array}{l} 1 \text{ muestra} \longrightarrow 13,68 \text{ s} \\ N_m \longrightarrow 300 \text{ s} \end{array}$$

$$N_m = \frac{(1 \text{ muestra})(300 \text{ s})}{13,68 \text{ s}} = 21,92982456 \approx 21 \text{ muestras}$$

La granularidad de la disponibilidad la obtenemos de la siguiente manera:

$$G_{\text{disponibilidad}} = \frac{1}{N_m} * 100 = \frac{1}{21} * 100 = 4,76 \%$$

Dado el estado y la cantidad de muestras N_m se procederá a determinar la disponibilidad. Los datos de la tabla de disponibilidad de un canal durante un tiempo se rigen a la siguiente expresión:

$$d_t = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N_m}$$

El numerador representa la sumatoria de N_m datos escogidos de la tabla de estados S_i , y la variable d_t representa el promedio, obteniendo de esta manera la disponibilidad del canal. Con este proceso de determinar cuan probable es que un canal este desocupado o no en un lapso de tiempo.

Este procedimiento se realizará en los diferentes pisos donde se llevara a cabo la medición. Finalmente, se procederá a relacionar los datos obtenidos con diferentes modelos estadísticos.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Localización geográfica del escenario

El escenario se encuentra ubicado en una zona urbana. Las antenas transmisoras de televisión UHF en su mayoría se encuentran en el Cerro El Carmen. Las características del escenario se indicaron en el capítulo 3, de los cuales se puede tener lo siguiente:

- El escenario debe de ser de gran altura, se considera que debe tener más de 12 pisos.
- Debe estar ubicado en una zona urbana, para aprovechar la infraestructura de la edificación.

El escenario se encuentra ubicado en el norte de la ciudad de Guayaquil, el cual una Latitud de $2^{\circ}09'49.03''\text{S}$ y Longitud de $79^{\circ}53'51.99''\text{O}$.

Tal y como se observa en la figura 4.1 las antenas se encuentran ubicadas a una gran altura en el Cerro del Carmen, siendo su latitud $2^{\circ}10'50.40''\text{S}$, longitud $79^{\circ}53'3.42''\text{O}$. La geografía es predominantemente plana por lo que existe línea de vista entre las antenas y el escenario escogido. Adicionalmente, el equipo receptor se encuentra ubicado a una distancia de 2.44 km de las antenas transmisor.



Figura 4.1: Localización de los escenarios

4.2 Parámetros de configuración

Para la toma de datos se ha escogido 3 pisos puntuales del edificio WORLD TRADE CENTER: piso 1, piso 9 y piso 15. En cada piso se realiza la instalación de los equipos y captura de datos por un lapso de 10 días, obteniendo un promedio de 62 000 datos por piso durante ese lapso de tiempo.

Siendo el sistema de estudio de TV-UHF los parámetros configurados para este sistema se muestran en la tabla 5.

PARÁMETROS DE RADIOFRECUENCIA	
IQ rate /Ancho de Banda del canal (Δf)	6 MHz
Canal Inicial (CH_1)	22
Canal Final (CH_{14})	48
Gain del USRP (G_{USRP})	15 dB
Número de Canales (N-Ch)	14
Número de muestras (N_m)	21
Potencia umbral (λ)	-58 dBm
Tiempo de muestra por canal (T_s)	13,68s

Tabla 5: Parámetros de configuración

De la tabla 5 se puede indicar que el número de canales (N-Ch) que han sido analizados son 14, siendo el canal inicial (CH_1) 22 y el canal final (CH_{14}) 48, cada uno de estos canales tienen un ancho de banda (Δf) de 6 MHz. Adicionalmente se utilizó una ganancia de 15dB en el USRP (G_{USRP}) cuyo valor es el óptimo para recibir los valores de potencias receptados por la antena. Es indispensable conocer el umbral de sensibilidad utilizado en la banda UHF que es de -58dBm [36]. Finalmente el tiempo de muestra por canal (T_s) medido fue 13,68s.

4.3 Análisis de los resultados

Con los datos obtenidos y explicados en el capítulo 3. En este inciso se procederá a detallar los resultados obtenidos con el propósito de

determinar la disponibilidad de canales en la banda UHF de TV analógica.

4.3.1 Análisis temporal de los datos

Para el análisis temporal de los datos se tomó en consideración las mediciones que se realizó con el USRP durante el lapso de 10 días, donde se analiza el comportamiento de cada uno de los canales de televisión analógica de la banda UHF respecto al tiempo. En los gráficos de niveles potencia de la figura 4.2, figura 4.3 y figura 4.4, se representa a los valores de niveles de potencia altos con una tonalidad muy cercana al marrón (por ejemplo: -20dBm, -10dBm, -30dBm), por lo tanto la disponibilidad es baja, y se considera un canal ocupado. Mientras que los valores de niveles de potencia bajos con una tonalidad azul (por ejemplo: -80dBm, -85dBm, -90dBm) se puede decir que existe alta disponibilidad y se considera un canal desocupado. En la figura 4.2 se observa los niveles de potencias que tienen los 14 canales en el piso 15 con respecto al tiempo, donde el canal 31 tiene una gran disponibilidad dado que su tonalidad es cercana al cian. Otro tipo de comportamiento presentan los canales 22,34,36,42, los cuales presentan franjas de varios colores (niveles de potencia altos y bajos) denominándose canales intermitentes, específicamente el canal 36 presenta franjas con colores azul (-85 dBm) y cian (-70dBm) indicando niveles de potencia bajos en ciertos lapsos de tiempo dentro de cada día, confirmando así la disponibilidad temporal del canal, y las franjas de color naranja del mismo canal en promedio rodean los -35 dBm, permaneciendo ocupado por ese lapso de tiempo.

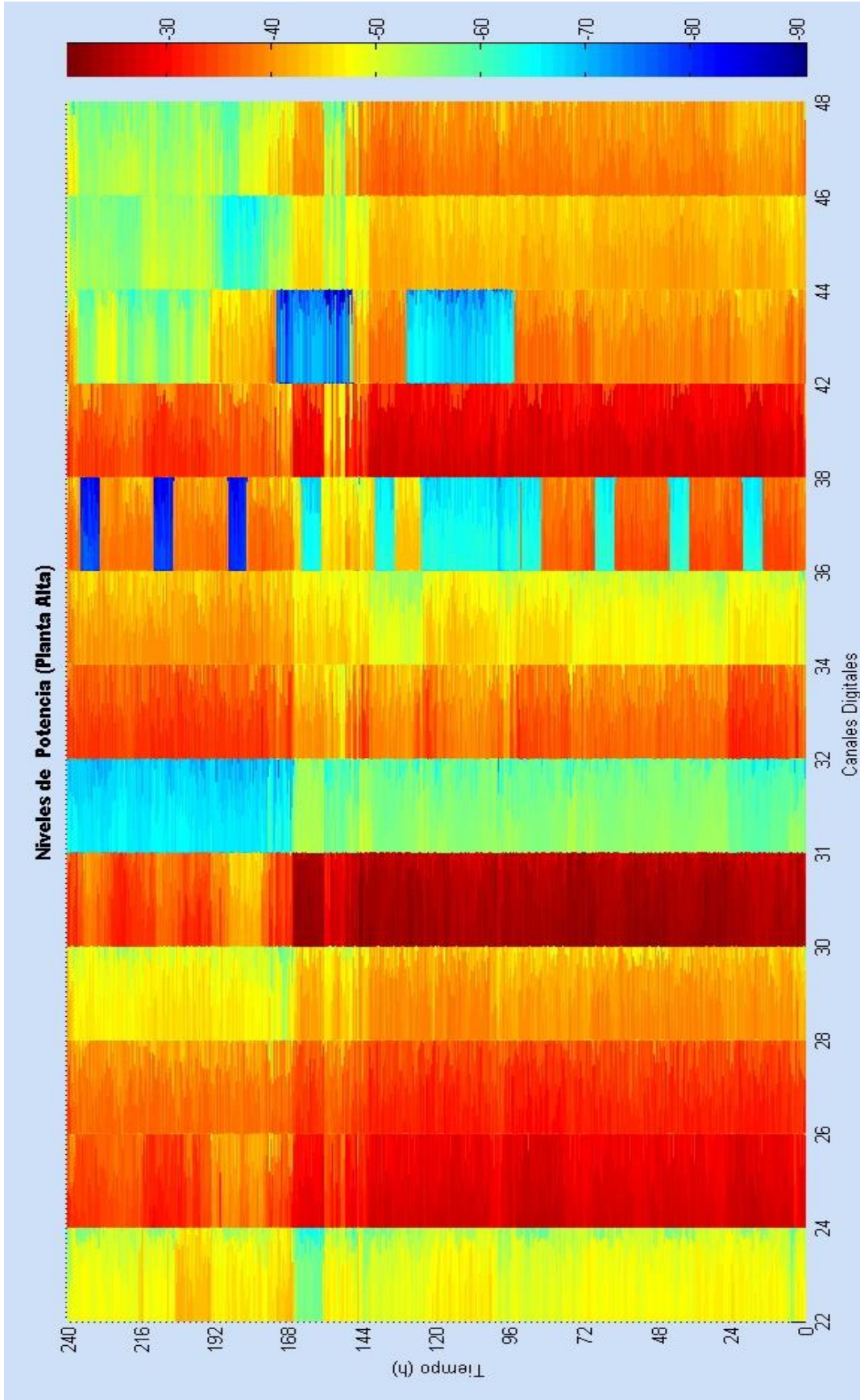


Figura 4.2: Niveles de potencia de los canales en el piso 15

PISO 9

Las mediciones realizadas en el piso 9 dieron los siguientes resultados, los cuales se pueden constatar en la figura 4.3:

Los canales analógicos 22, 26, 28, 30, 34, 38 presentan niveles de potencia por encima del umbral, que van desde los -48 dBm hasta -25 dBm, demostrándose que no se encuentran disponibles estos canales.

Por otro lado el canal 31 tiene una tonalidad color cian, lo cual indica niveles muy bajos de potencia, por lo que es un canal con disponibilidad baja. En este piso se consideran canales intermitentes a los canales 36 y 42, ya que por ciertos lapsos de tiempo presentan niveles de potencias bajos y otros lapsos de tiempo presentan niveles altos de potencia.

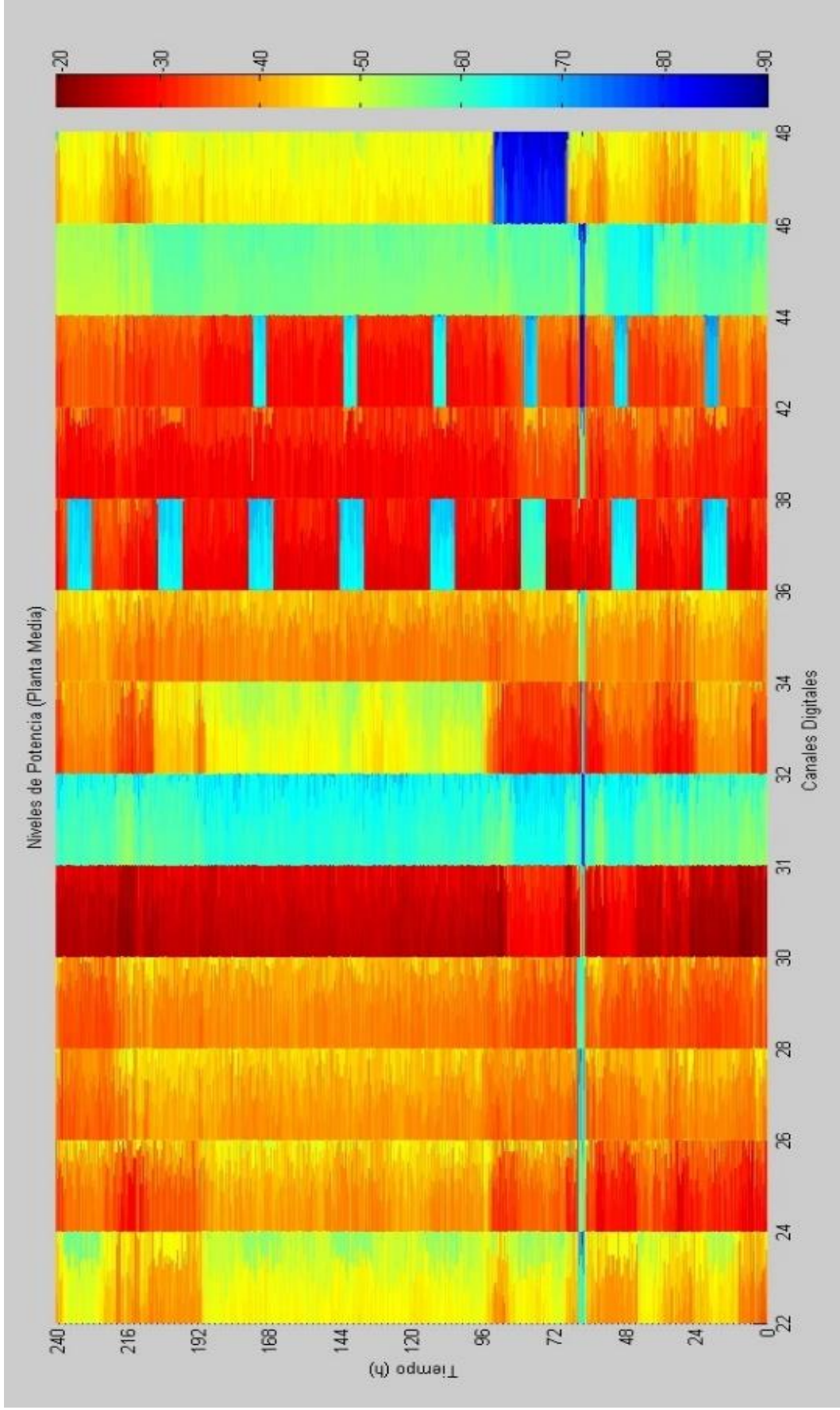


Figura 4.3: Niveles de potencia de los canales en el piso 9

PISO 1

Un último sector del edificio donde se tomaron las mediciones fue en el piso 1. Como se observa en la figura 4.4, la cual también muestra los niveles de potencia vs tiempo para los canales analógicos de la banda UHF.

El canal 31 en los pisos 15 y piso 9 como se observó en las figuras anteriores presento disponibilidad, siendo el mismo caso en este piso donde sus niveles de potencia permanecen por debajo del umbral, registrándose niveles de -70 dBm, -75 dBm y -83 dBm aproximadamente. Por lo tanto, éste canal es propicio para la implementación de nuevos sistemas.

Adicionalmente el canal 44 presenta niveles de potencia por debajo de los -78 dBm aproximadamente, siendo este valor inferior a la potencia umbral, considerándose un canal disponible.

Así mismo, el canal 46 dispone de grandes lapsos de tiempo de disponibilidad, el máximo tiempo que permanece desocupado ininterrumpidamente es 50 horas aproximadamente con una potencia por debajo de los -75 dBm. En cierto tiempo llega alcanzar hasta -90 dBm de potencia, por ende éste canal se lo puede encasillar en el grupo de canales disponibles.

En todos los pisos medidos del edificio los canales 22, 24, 26, 28 y 30 han presentado niveles de potencia menores e iguales a -58 dBm, con tonalidades cercanas al naranja, catalogándolos como canales no disponibles. En consecuencia, se podrían considerar como canales no aptos para la reutilización del espectro.

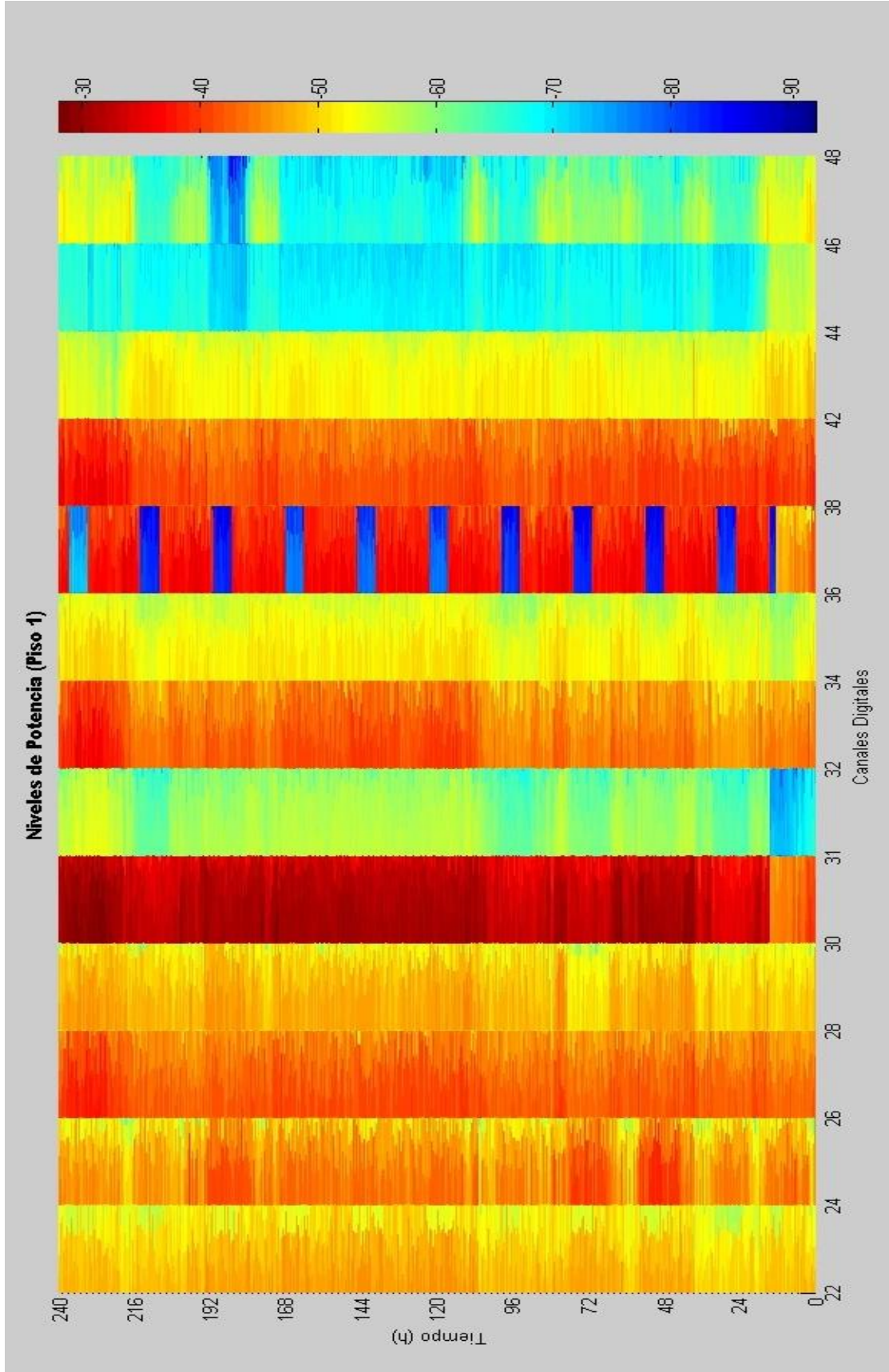


Figura 4.4: Niveles de potencia de los canales en el piso 1

DISPONIBILIDAD

Como se describió en el capítulo 4 las mediciones cada 5 minutos fueron agrupadas para cuantificar porcentualmente la disponibilidad y obtener otra perspectiva de los resultados.

Las figuras 4.5, 4.6, 4.7 representan los datos de disponibilidad vs tiempo, de los canales analógicos del sistema de televisión en el rango de 512 MHz hasta 698 MHz, en su lado derecho está la escala de colores de manera gradual, con una tonalidad marrón indicando 100% de disponibilidad hasta el color azul oscuro 0 % de disponibilidad.

Para la planta alta (piso 15), en la figura 4.5 el canal 31 presenta una disponibilidad en su mayoría del tiempo (69,64%), una intermitencia de disponibilidad temporal del 30,36%

En la misma planta el canal 36 ratifica la intermitencia de la potencia en el canal, la cual presenta una disponibilidad temporal del 39,43 %. Los espacios de disponibilidad del canal 42 también presentan una disponibilidad temporal del 100 %, mientras que el resto del tiempo está totalmente ocupado.

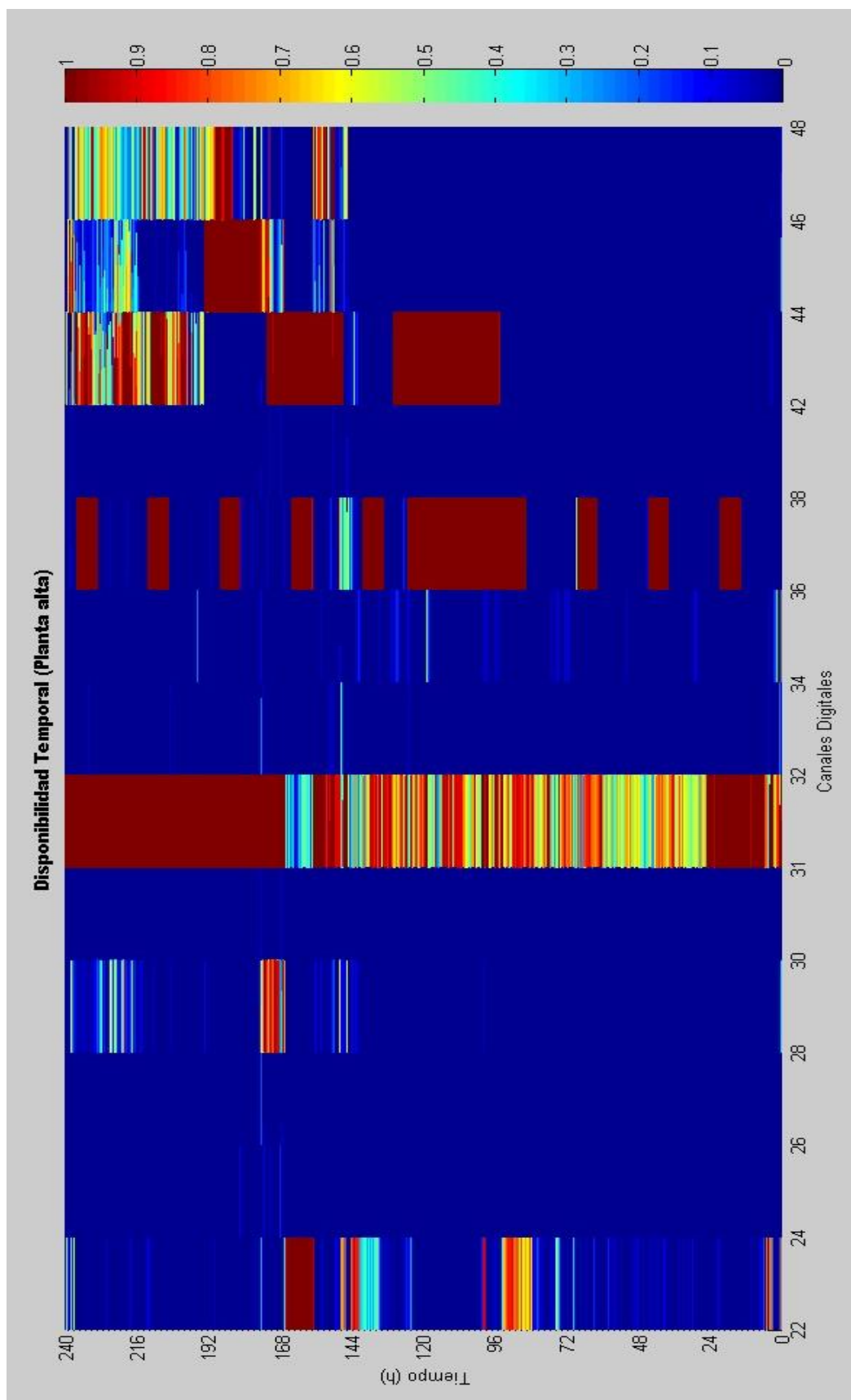


Figura 4.5: Niveles de potencia de los canales en el piso 15

PISO 9

A continuación la figura 4.6 presentan la disponibilidad del piso 9. La disponibilidad temporal para los canales analógicos 22,24,26,28,30,32,34,38 continúa siendo muy baja en éste piso, en la figura se puede apreciar con una tonalidad azul, indicando aproximadamente 5 % de disponibilidad temporal.

El canal 31 presenta una disponibilidad de 100 % en todo el tiempo, se puede observar como una columna totalmente homogénea de color marrón para dicho canal. Los canales 36 y 42 continúan con una disponibilidad alternada, siendo estos canales intermitentes.

También podemos observar que el canal 46 presenta un único espacio de disponibilidad del 11,46 %.

PISO 1

Por último el piso 1 en la figura 4.7, se presenta tres canales con un porcentaje de disponibilidad del 100 %, éstos son los canales analógicos 31, 44 y 46

Cabe mencionar que los canales 44 y 46 pasaron de tener disponibilidad intermitente a estar disponibles la mayoría del tiempo (96,84% y 88,88% respectivamente). Esto refleja que a medida que nos encontramos en pisos inferiores del edificio, la señal de TV analógica es menos potente, además la ubicación del escenario de 16 pisos influye, debido a que se encuentra en una zona urbana como se ha mencionado en el capítulo anterior.

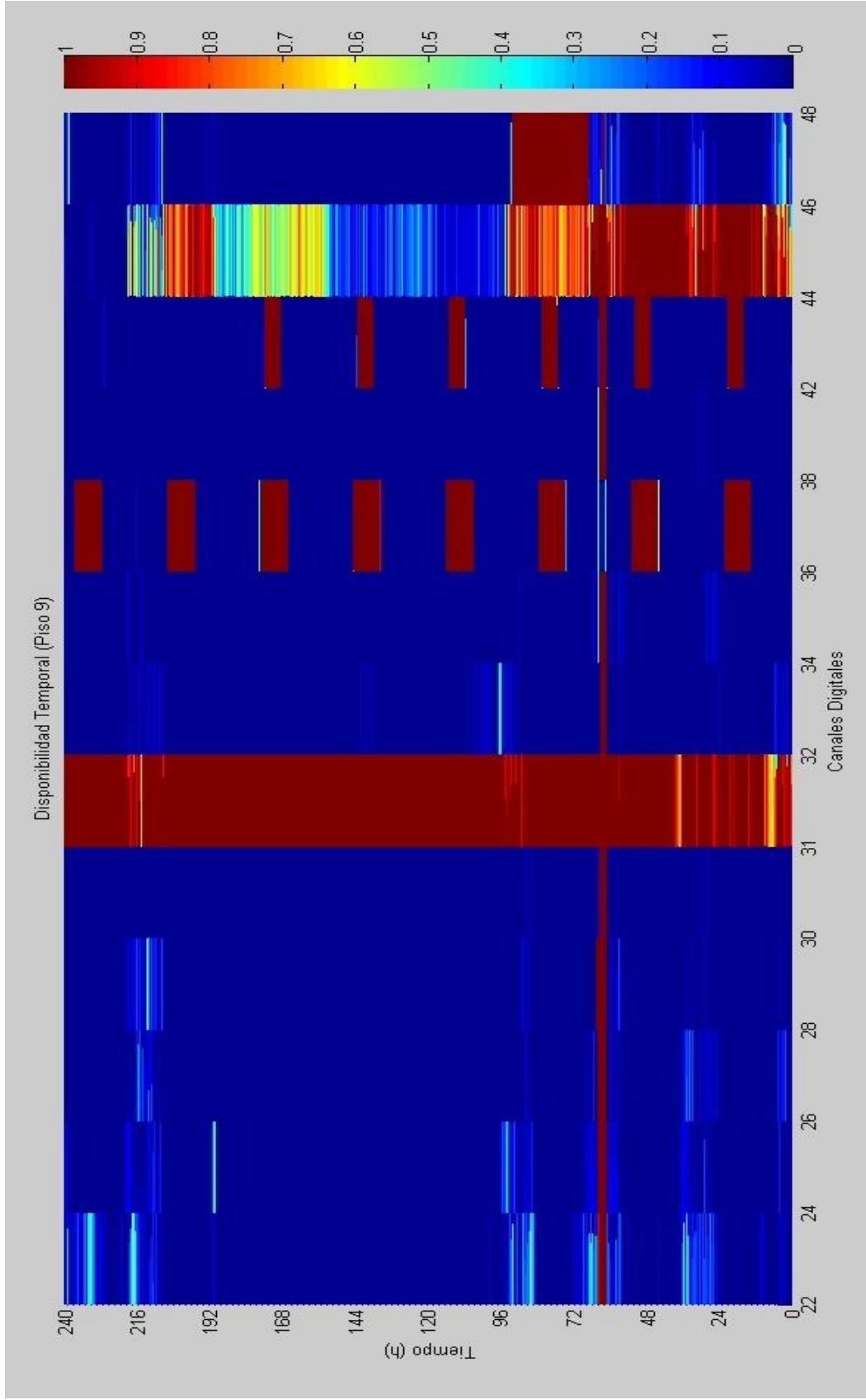


Figura 4.6: Disponibilidad de canales en el piso 9

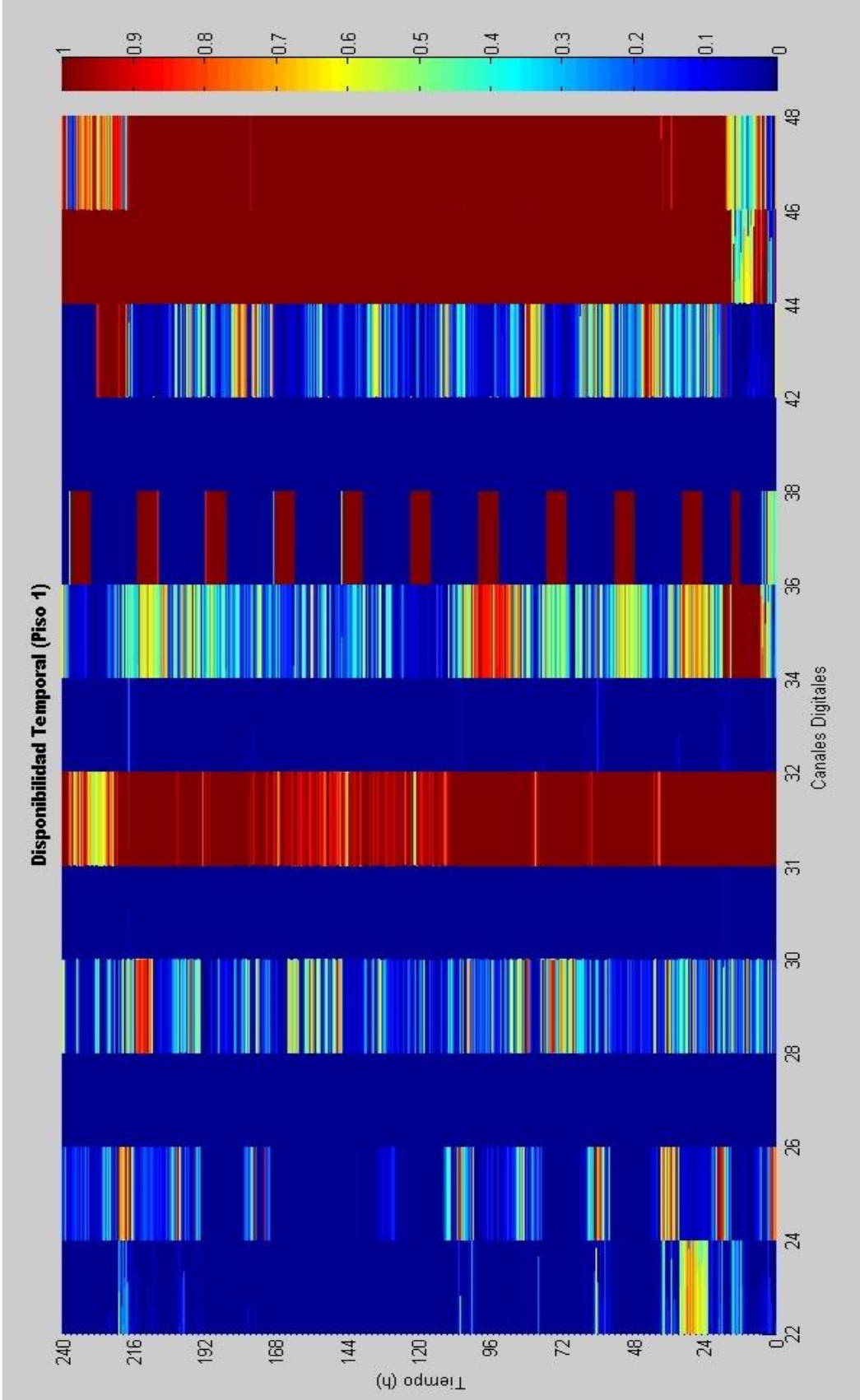


Figura 4.7: Disponibilidad de canales en el piso 1

4.4 Modelamiento estadístico

Dada la metodología y conjuntamente con el procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones, se ha determinado la disponibilidad de canales por piso (piso 1, piso 9 y piso 15), aquello se aprecia en la figura 4.8, donde se muestra gráficamente el comportamiento de la disponibilidad de los 14 canales por piso durante un lapso de tiempo determinado.

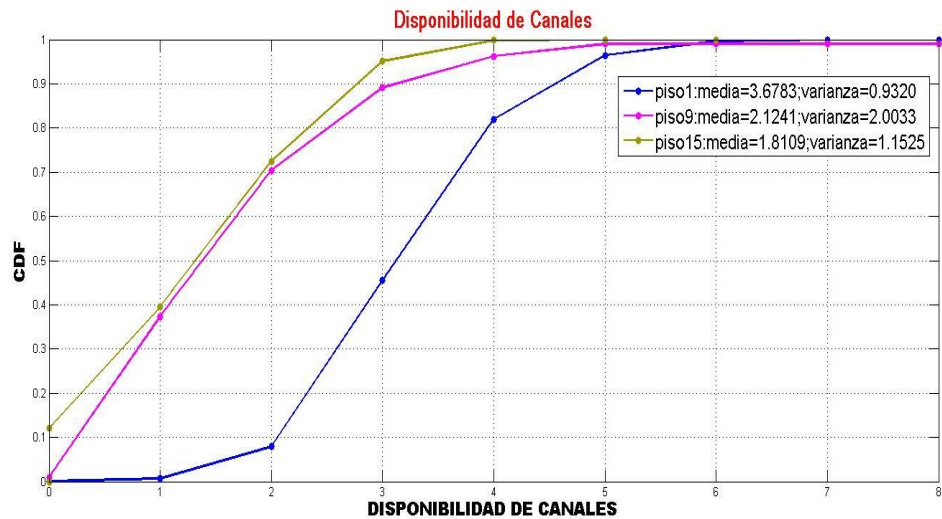


Figura 4.8: Disponibilidad de canales por piso

Los tres pisos presentan comportamientos diferentes, esto se refleja también en el análisis temporal de los datos efectuados en el inciso anterior. La figura CDF de color azul representa el número de canales disponibles del piso 1, la figura fucsia representa el número de canales disponibles el piso 9 y la figura de color verde representa las mediciones del piso 15. Se aprecia que no existe gran cantidad de canales disponibles por pisos, sin embargo se puede indicar que dada la media en el piso 1 existen 3 canales disponibles, siendo este con la mayor cantidad de canales disponibles, es decir que 18 MHz estarían disponibles en el espectro para poder implementar en un futuro nuevos servicios.

Se observa que el piso 9 contiene una cantidad de 2 canales disponibles en promedio, teniendo 12 MHz de espectro disponible. El piso 15 es el que tiene menos canales disponibles en promedio ya que solo tiene 1 canal disponible, es decir 6 MHz disponibles, ancho de banda pequeño para implementar un buen servicio.

Se puede apreciar que mientras se desciende de piso la cantidad de canales con disponibilidad aumenta, esto se debe a que la señal en el piso más alto es receptada en su totalidad, mientras que en los pisos inferiores la señal se va atenuando provocando consecuentemente mayor disponibilidad en el espectro radioeléctrico y por ende mayor disponibilidad de canales en el piso.

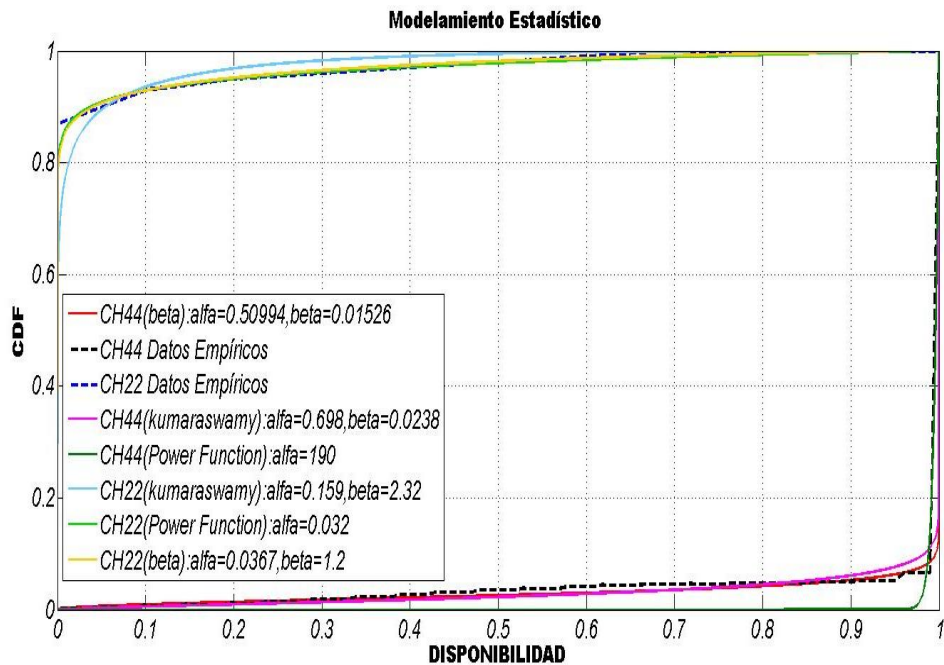


Figura 4.9: Distribuciones estadísticas que mejor se ajustan a los canales analizados

Para el modelamiento estadístico de los datos se seleccionó tres distribuciones estadísticas que mejor se ajustaban en los tres pisos de estudio: Beta, Kumaraswamy y Power Function como se observa en la figura 4.9. En dicha figura se muestra como se ajustan dichas

distribuciones a los canales, tomando como ejemplo el canal 44 y 22 del piso 1. Nótese que la distribución Beta es la más acertada, debido a su proximidad con las figuras empíricas de ambos canales. Adicionalmente para constatar lo que se observa gráficamente se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov (KS), en la cual se certifica que la distribución beta es la aceptada. (VER ANEXOS).

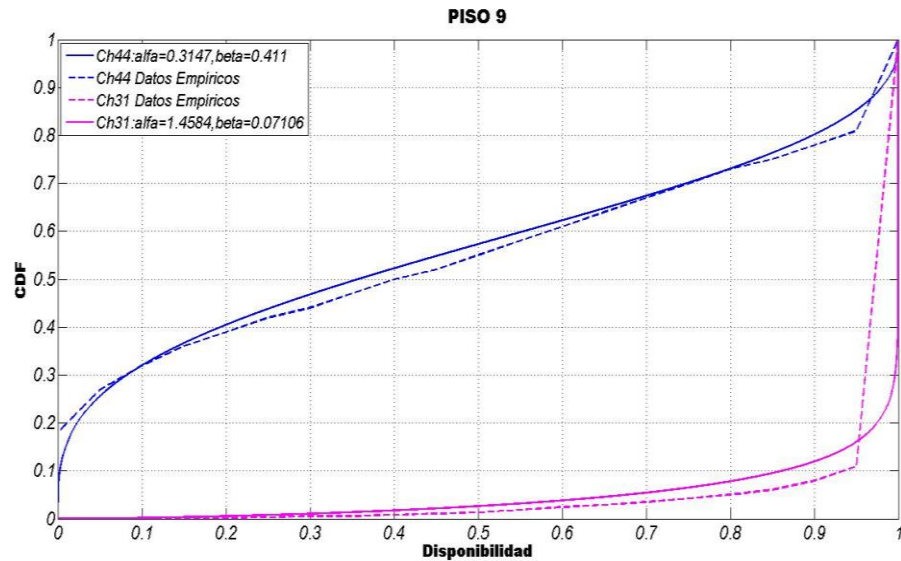


Figura 4.10: Modelamiento estadístico de la disponibilidad de canales del piso 9

Comparando los datos empíricos y la distribución estadística Beta, se ha seleccionado los canales 31 y 44 del piso 9, como se indica en la figura 4.10, para comprobar la fiabilidad del modelo y probar que este se ajusta a los datos empíricos, y por ende al comportamiento estadístico de la disponibilidad de un canal.

El canal 44 (gráfico de color azul) representa el caso en que un canal durante cierto lapso de tiempo está disponible mientras que en otro está ocupado, denominándose este como un canal intermitente, cuyo comportamiento tiende a ser como una recta. Mientras que el canal 22 representa el comportamiento de un canal disponible (gráfica de color fucsia), donde la CDF tiene forma cóncava.

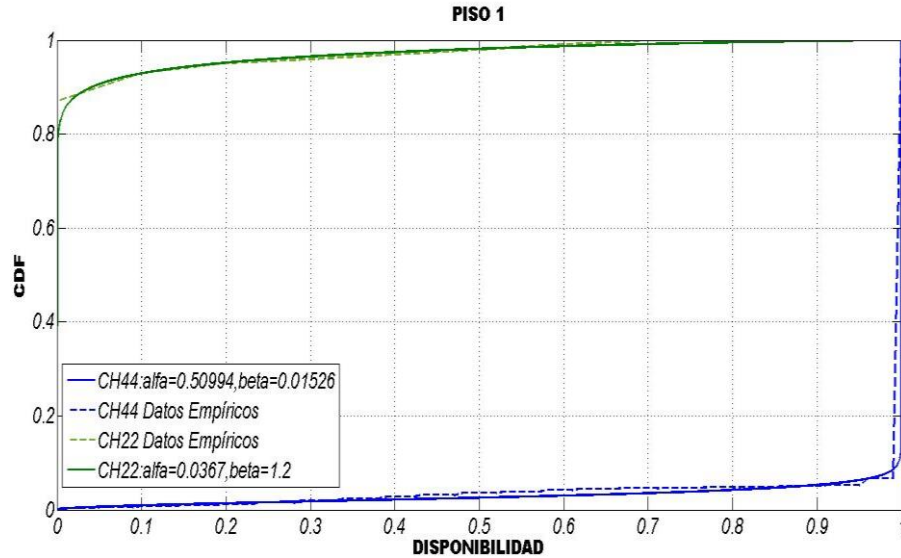


Figura 4.11: Modelamiento estadístico de la disponibilidad de canales

De otra forma en la figura 4.11 se ha seleccionado los canales 22 y 44, los cuales muestran el comportamiento opuestas, mientras que el canal 22 está ocupado el canal 44 se encuentra disponible. Nótese el cambio de comportamiento del canal 44 conforme se descendió de piso, ya que en la figura anterior éste era un canal intermitente.

El canal 44 está representado de color azul en la figura, representa el comportamiento de un canal disponible, en donde los valores de α y β se van ajustando con el propósito de asemejarse de mejor manera al comportamiento del canal. Dado que este canal posee mayor disponibilidad la distribución acumulada (CDF) tiene forma convexa. Caso contrario, en los canales con baja disponibilidad como el canal 22, la distribución acumulada tiene forma cóncava.

Mientras el canal tenga menor disponibilidad, es decir, el canal este ocupado el valor de α es pequeño (aproximándose a cero) mientras que si un canal tiene mayor disponibilidad los valores de α son mayores. Se puede percatar que los valores de CDF son altos a medida que la disponibilidad aumenta, es decir, mientras mayor disponibilidad el valor de la CDF es grande y cuando hay menor disponibilidad los valores de la CDF son pequeños.

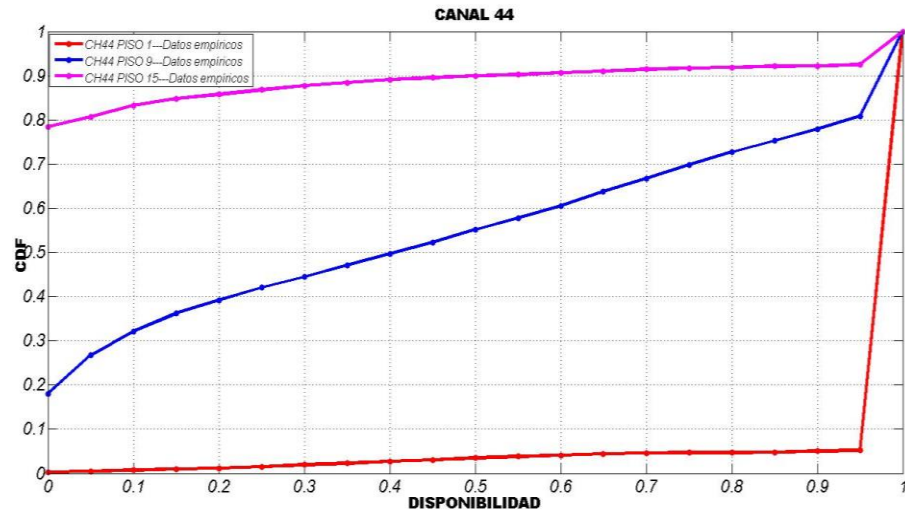


Figura 4.12: Modelamiento estadístico canal 22 en piso 9-piso 1

Comparando los dos modelos de la figura 4.12, que indica el cambio de comportamiento de un canal conforme se desciende de piso dentro del edificio, siendo este el canal 44. Se puede observar que el canal en el piso 15 se encuentra ocupado (figura color fucsia), constatando que la CDF tiene forma cóncava. Caso contrario en el piso 1 donde el mismo canal tiene mayor disponibilidad, comprobando así lo mencionado anteriormente sobre la atenuación de la señal a medida que se desciende en el edificio permitiendo mayor disponibilidad en el canal.

En resumen, se puede dejar constancia que mientras menor sea el piso mayor disponibilidad de canales existirá, debido a que la señal de televisión analógica disminuye a medida que se desciende en el edificio ya que las antenas transmisoras se encuentran en la parte alta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Dado los resultados obtenidos, la cantidad de canales disponibles asignados para televisión analógica en la banda UHF, aumenta dentro del edificio a medida que se desciende debido a la sombra del edificio.
2. El resultado final de la medición es que en promedio existen 3 canales disponibles (18 MHz) en el piso 1, de los cuales 2 de ellos son contiguos lo que equivale a obtener 12 MHz, siendo óptimo para implementar nuevos sistemas. Mientras que en el piso 15 y piso 9 la media en cuanto a disponibilidad de canales fue de 1 canal y 2 canales disponibles respectivamente.
3. Luego de modelar estadísticamente la disponibilidad de los canales, las distribuciones que más se ajustaron a la CDF empírica de los canales fueron las distribuciones: Beta, Kumaraswamy, y Power Function. Al realizar la bondad de ajuste mediante la prueba Kolmogórov-Smirnov con un 95% de confianza, la distribución Beta fue la que más se ajustó.
4. Se pudo constatar que el canal 36 presenta un compartimiento cíclico, debido a que es un canal de televisión satelital, ya que ciertos lapsos de tiempo se encuentra disponible (en las noches) y en otros ocupados (en el día).
5. En el primer piso existe un 13% más de disponibilidad que en el piso 15, mientras que con el piso 9 tiene un 11% más de disponibilidad.

Recomendaciones

1. Para obtener valores más precisos en cuanto a la disponibilidad de canales es preferible capturar los datos por un lapso de tiempo mayor a 30 días.
2. Antes de realizar someter los resultados a cualquier análisis, se recomienda eliminar las potencias nulas encontradas, las cuales en nuestras mediciones equivalen al 0,03 % de los datos, así se obtendrá una mejor apreciación de las gráficas de dispersión, gráfico de potencias, y no entorpecerá los análisis.
3. Para la configuración de los equipos, el USRP usado fue el N-210, la cual para comunicarse a la PC mediante puerto Ethernet, éste debe ser de 1Gbps. Para el reconocimiento del USRP en la PC, previamente se debe configurar a la PC la red de área local, con la dirección de red a la cual pertenece la dirección IP del USRP.
4. En el momento de realizar la prueba de bondad de ajuste, mediante KS-TEST, para el valor de D_s , se recomienda tomar los puntos iniciales de las clases como referencia.
5. Para el modelamiento estadístico de los canales, se recomienda trabajar con la función CDF (Función de Distribución Acumulada), y al menos modelar la CDF empírica con tres tipos de distribuciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ITU: Foro Regional sobre Optimización y uso eficiente del espectro Radioeléctrico/ México, 13 julio 2015.
- [2] Carlos Cortés, Juan Diego Castañeda y Eduardo Bertoni. “El Internet de las cosas: Más internet que otra cosa” [online]. Disponible en: <http://www.palermo.edu/cele/pdf/Paper-IoT-DEF.pdf>
- [3] Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. Televisión Digital Terrestre en el Ecuador [online]. Disponible en: <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/television-digital-terrestre-en-el-ecuador/>
- [4] Stephen J. Shellhammer, Ahmed K. Sadek and Wenyi Zhang, “Technical Challenges for Cognitive Radio in the TV White Space Spectrum”, Corporate Research and Development Qualcomm Incorporated, San Diego, CA 92121, USA.
- [5] Recomendación UIT-R BT.1701-1, “Características de las señales radiadas de los sistemas de televisión analógica convencional”.
- [6] TVWS: “Challenges and Experiences from Latin America and Africa” [online]. Disponible en: <https://www.ietf.org/proceedings/93/slides/slides-93-gaia-9.pdf>.
- [7] Ekram Hossain, Dusit Niyato, Zhu Han, “Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks”, 2009
- [8] A Survey on Dynamic Spectrum Access techniques for Cognitive Radio, Anita Garhwal¹ and Partha Pratim Bhattacharya², Vol.3, No.4, December 2011A.
- [9] Simon Haykin, Life Fellow, “Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications”, Proc.IEEE vol.23, no.2, pp.116-130, Febrero, 2015.
- [10] Feasibility of Secondary Networks: Analysis Methodology and Quantitative Study of Cellular and Wi-Fi-like TVWS Deployments, Andreas Achtzehn, Student Member, IEEE, Ljiljana Simic, Member, IEEE, Marina Petrova, Member, and Petri Mahonen, Senior Member, IEEE.
- [11] Recomendación UIT-R SM.1046-2: Definición de la eficacia en la utilización del espectro por un sistema de radiocomunicaciones.

- [12] Daniel Ospina, Andrés F. Ocampo, Roberto Hincapié, "Aplicación de esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en ambientes inalámbricos heterogéneos", Revista en Telecomunicaciones e Informática, vol.1, pp. 49-71, enero-junio 2011.
- [13] Haykin, Simon, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," in Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol.23, no.2, pp.201-220, Feb. 2005.
- [14] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Kaushik R. Chowdhury, "Cognitive radio ad hoc networks", 14 January 2009.
- [15] Novillo, F.; Galeana, H.; Ferrus, R.; Agusti, R., "Spectrum Availability in Indoor Locations for Opportunistic Spectrum Access in Dense Urban Scenarios," Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th, vol., no., pp.1,5, 26-29 April 2009.
- [16] Paramvir Bahl, Ranveer Chandra, Thomas Moscibroda, Rohan Murty, Matt Welsh, "White Space Networking with Wi-Fi like Connectivity", 2009.
- [17] White Space-Potentials and Realities, Texas Instruments.
- [18] Recomendación UIT-R SM.2039 "Evolución de la comprobación técnica del espectro", 2013.
- [19] Con más espacios en las bandas para 4G. (2015, Febrero) [online]. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/02/26/nota/4592656/mas-espacios-bandas-4g>
- [20] ARCOTEL, (2015). "Norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión abierta analógica" [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>.
- [21] SUPERTEL, "Operación de las estaciones de televisión abierta analógica en canales adyacentes de la banda III VHF", 2013.
- [22] Recomendación UIT-R SM.669.1, "Protection ratios for spectrum sharing investigations".
- [23] Recomendación UIT-R SM.332-4, "Selectivity of receivers", 1978.
- [24] National Communications System, Technology Standard Division, Federal Standard 1037C, "Telecommunications: Glossary of Telecommunication Terms".
- [25] Espinoza, R.- Pérez, T, Requerimientos mínimos a cumplirse durante la transmisión de Televisión Digital Terrestre en la implementación del Simulcast".

- [26] Cristian Gomez, Radiocommunication Bureau, ITU, "GSR 2013 Discussion Paper" 2013.
- [27] IEEE. (2012, Noviembre).Interferencias Electromagnéticas [online]. Disponible en: <https://prezi.com/d7nhossce5v/interferencias-electromagneticas/>.
- [28] Badr Benmammam, Asma Amraoui, "Radio Resource Allocation and Dynamic Spectrum Access", 2013.
- [29] Ekram Hossain,Dusit Niyato,Zhu Han, "Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks", 2009.
- [30] J. Mitola III, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", PhD Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden, 8 May, 2000.
- [31] OFCOM, TV White Space Devices and beyond [online]. Disponible en: <http://www.oecd.org/sti/broadband/49435354.pdf>.
- [32] M. McHenry, "Chicago Spectrum Occupancy Measurements & analysis and a Long-term Studies Proposal in Proc. of the ACM 1st Intl. Wkshp. on Tech. and Policy for Accessing Spectrum", Aug. 2006, pp. 1-12.
- [33] M.Islamet.al, "Spectrum survey in Singapore: Occupancy Measurements and Analyses," in Proc. of 3rd Intl. Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, May 2008, pp. 1-7.
- [34] Tsuyoshi Shimomura, Teppei Oyama and Hiroyuki Seki, "Analysis of TV White Space Availability in Japan", 2012.
- [35] Finding More Space in Spectrum [online]. Disponible en: <http://research.microsoft.com/en-us/news/features/chandra-012914.aspx>.
- [36] Recomendacion IUT-R BT.804 (1992). "Características de los receptores de televisión que resultan esenciales para la planificación de frecuencias de los sistemas de televisión PAL/SECAM/NTSC" [online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.804-0-199203-W!!PDF-S.pdf.

ANEXOS

Anexo 1 Código para encontrar los datos sobre la disponibilidad por canal

```

Sub data_availability()
  Dim Row As Long
  Dim acumulator As Integer
  Dim granularity As Integer
  Dim i As Integer
  Dim j As Integer
  Dim nMeasurements As Integer

  nMeasurements= 3024
  granularity = 21
  acumulator = 0
  Row = 1

  For i = 1 To nMeasurements

    For j = 1 To granularity
      acumulator = acumulator + Cells(Row, 4).Value
      Row = Row + 1
    Next j

    Cells(i, 5).Value = acumulator / granularity
    acumutador = 0
  Next i
End Sub

```

Anexo 2 Código para eliminar datos aberrantes en los valores de potencia

```

Sub proc_ceros()
  Dim i As Integer
  Dim j As Long

  For i = 1 To 14
    For j = 1 To 62988

      If (Cells(j, i).Value = 0) Then

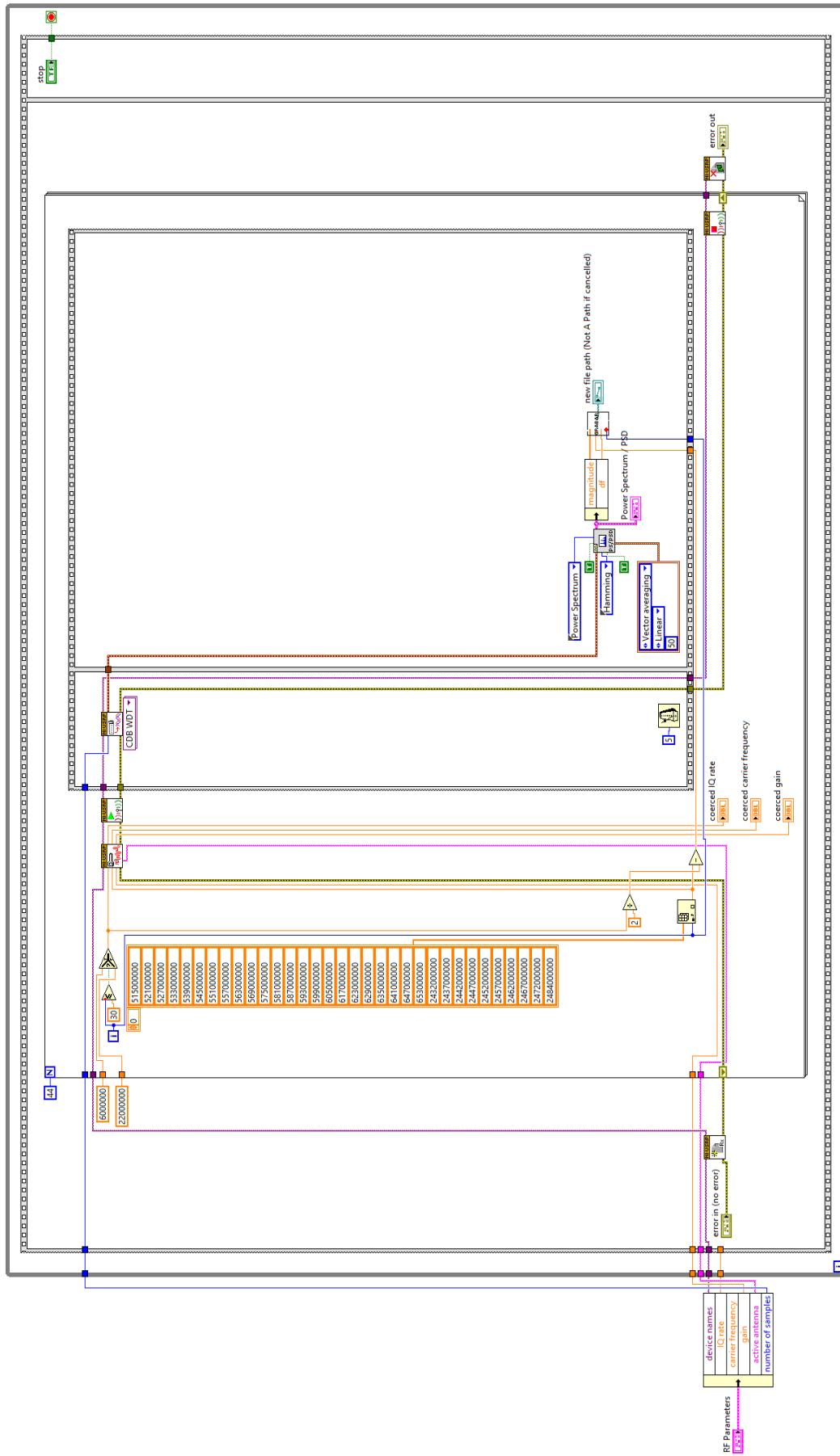
        Cells(j, i).Value = Cells(j - 1, i).Value
      End If

    Next j
  Next i
End Sub

```

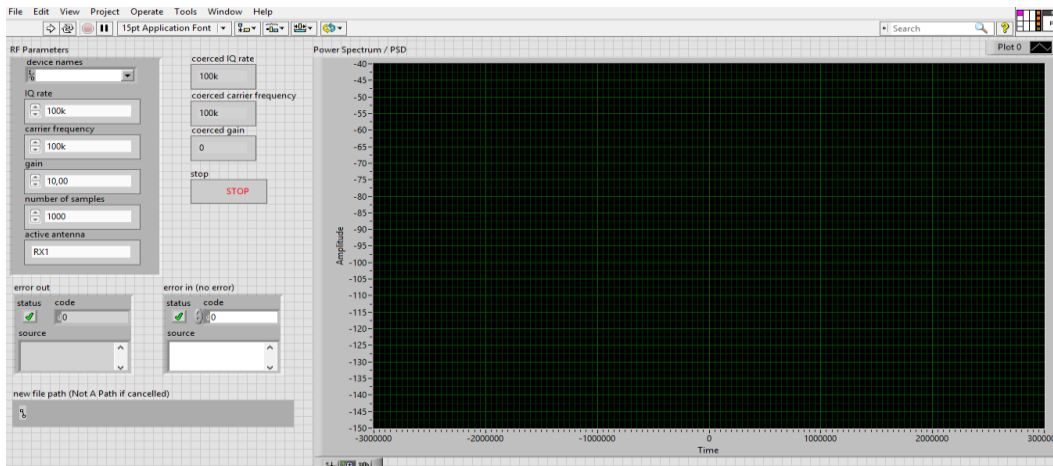

Anexo 3 Código para realizar la prueba KS en cada canal

```
Sub KSTEST4()  
  Dim Filas As Long  
  Dim i As Integer  
  Dim nTimes As Integer  
  
  Dim j As Integer  
  Dim k As Integer  
  nTimes = 100  
  Filas = 3  
  k = 3  
  acumulado = 0  
  
  For j = 1 To nTimes  
    If (acumulado = Cells(Filas, 3).Value) Then  
      Filas = Filas + 1  
  
    Else  
  
      Cells(Filas, 22).Value = Cells(Filas - 1, 1).Value  
      Cells(k, 6).Value = Math.Abs(Cells(Filas, 3).Value - Cells(Filas, 4).Value)  
      Cells(k, 5).Value = Cells(Filas, 22).Value  
      acumulado = Cells(Filas, 3).Value  
      Filas = Filas + 1  
      k = k + 1  
  
    End If  
  
  Next j  
  
End Sub
```

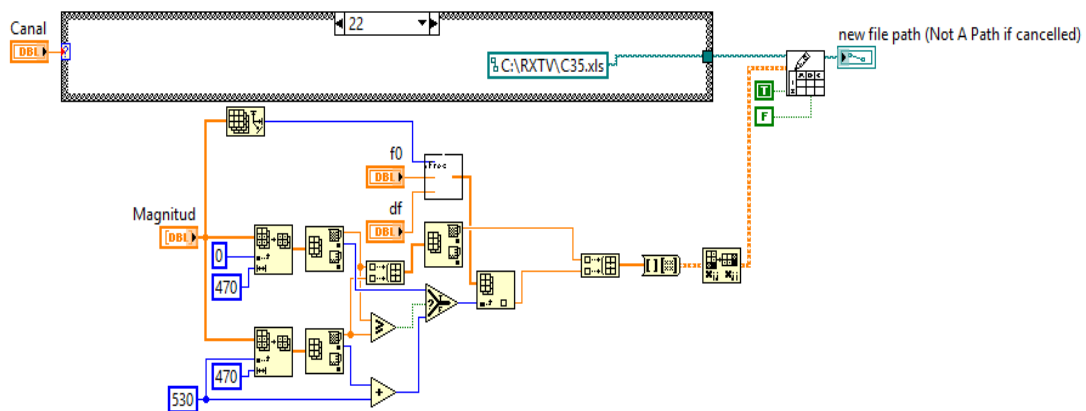


Anexo 4 Diagrama de bloques Rx.vi

Anexo 5 panel frontal Rx.vi



Anexo 6 Diagrama de bloques Grabar.vi



Anexo 7 Panel frontal grabar.vi

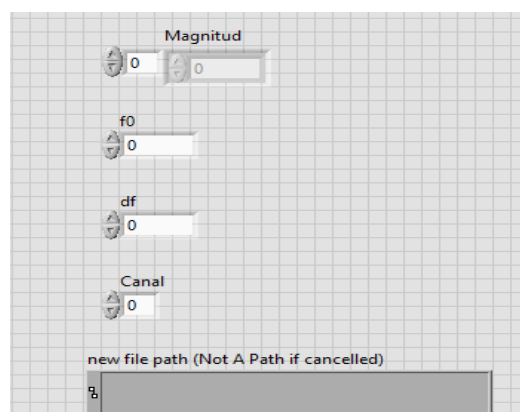


Tabla 2: Canalización de las bandas de radiodifusión de televisión abierta analógica

BANDAS DE FERCUENCIAS	CANAL	RANGO DE FERCUENCIAS MHz	PORTADORA DE VIDEO (MHz)	PORTADORA DE AUDIO (MHz)
UHF IV (512- 608 MHz)	22	518-524	519,25	523,75
	24	530-536	531,25	535,75
	26	542-548	543,25	547,75
	28	554-560	555,25	559,75
	30	566-572	567,25	571,75
	31	572-578	573,25	577,75
	32	578-584	579,25	583,75
	34	590-596	591,25	595,75
	36	602-608	603,25	607,75
UHF IV (614- 644 MHz)	38	614-620	615,25	619,75
	42	638-644	639,25	643,75
UHF V (644- 698 MHz)	44	650-656	651,25	655,75
	46	662-668	663,25	667,75
	48	674-680	675,25	679,75

Tabla 6: Listado de estaciones de radiodifusión sonora y televisión abierta a nivel nacional

Concesionario	Nombre Estación	Canal	Tipo	Ubicación Tx	Cobertura
ASAMBLEA NACIONAL	TV LEGISLATIVA	22	R	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, MILAGRO, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)
TELEVISIÓN COSTERA COSTEVE S.A.	CANELA TV	24	M	CERRO EL CARMEN	SAMBORONDÓN, ELOY ALFARO (DURAN), GUAYAQUIL, SAN JACINTO DE YAGUACHI
PERONE S.A.	TV+ (TEVEMAS)	26	M	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)
ASOCIACIÓN DE MINISTERIOS ANDINOS ASOMA	ASOMAVISIÓN	28	R	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)
MUVESA C.A.	COSTAZNERA TV (RTU)	30	M	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)
MUVESA C.A.	COSTANERA TV (RTU)	31	R	CERRO AZUL	LOS CEIBOS, GUAYAQUIL, GUAYAQUIL, MILAGRO, EL SALITRE, ALFREDO BAQUERIZO MORENO (JUJAN)
TELEVISIÓN ECUATORIANA TELERAMA S.A.	TELERAMA	32	R	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)

Concesionario	Nombre Estación	Canal	Tipo	Ubicación Tx	Cobertura
AMERICAVISIÓN S.A.	CANAL INTIMAS	34	M	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN), MILAGRO
TELEVISIÓN SATELITAL S.A. TV-SAT	TELEVISIÓN SATELITAL	36	M	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)
TELEVISIÓN INDEPENDIENTE INDETEL S.A.	RED TV ECUADOR	38	M	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL	UCSG TELEVISIÓN	42	M	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)
MINISTERIO DE EDUCACIÓN	EDUCA	43	R	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN), MILAGRO
RADIO CARAVANA S.A.	CARAVANA TELEVISIÓN	44	M	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, ELOY ALFARO (DURAN), SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI
JUAYATABC TELEVISIÓN S.A.	ABC TV	46	M	CERRO AZUL	SAMBORONDÓN, DAULE, NARCISA DE JESÚS, GUAYAQUIL, MILAGRO, EL SALITRE, ALFREDO BAQUERIZO MORENO (JUJAN), ELOY ALFARO (DURAN)
SECRETARÍA NACIONAL DE COMUNICACIÓN SECOM	EL CIUDADANO TV	48	R	CERRO EL CARMEN	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN), MILAGRO

Tabla 7: Prueba Kolmogorov Smirnov con confiabilidad del 95%-Distribución Beta

KS-TEST PISO 1				
Canal	α	β	Dn	KS Test
22	0,0367	1,2	0,01071800	ACEPTA
24	0,0749	0,949	0,01896372	ACEPTA
26	--	--	--	--
28	0,156	1,32	0,01800224	ACEPTA
30	2,00E-04	0,08	0,00349192	ACEPTA
31	1,685	0,248	0,01940742	ACEPTA
32	0,0027	2	0,00386504	ACEPTA
34	0,355	1,25	0,01968445	ACEPTA
36	0,0084	0,02055	0,01687642	ACEPTA
38	2,37E-05	0,08386	0,000355039	ACEPTA
42	0,2	1,25	0,0189464	ACEPTA
44	0,50994	0,01526	0,01382977	ACEPTA
46	0,5004	0,056	0,02278759	ACEPTA
48	0,0003	0,07311	0,00499901	ACEPTA
KS-TEST PISO 9				
Canal	α	B	Dn	KS Test
22	0,022	0,95	0,01725587	ACEPTA
24	0,01	0,555	0,01775691	ACEPTA
26	0,008	1	0,01302976	ACEPTA
28	9,99E-04	0,0999	0,01615456	ACEPTA
30	1,96E-04	0,01661	0,01078099	ACEPTA
31	1,4584	0,07106	0,01772848	ACEPTA
32	0,00352	0,24649	0,01004375	ACEPTA
34	7,22E-04	0,05836	0,00934216	ACEPTA
36	0,00185	0,00449	0,00802599	ACEPTA
38	5,65E-04	0,07872	0,00496717	ACEPTA
42	3,49E-03	0,02281	0,01309842	ACEPTA
44	0,3147	0,411	0,02167518	ACEPTA
46	0,00968	0,0725	0,01485508	ACEPTA
48	0,02	0,365	0,01365898	ACEPTA

KS-TEST PISO 15				
Canal	α	β	Dn	KS Test
22	0,039	0,373	0,02320768	ACEPTA
24	1,79E-04	0,201	0,00089408	ACEPTA
26	0,00135	1,2332	0,00533638	ACEPTA
28	0,01999	1,1106	0,02255523	ACEPTA
30	2,05E-05	0,0231	0,000981381	ACEPTA
31	0,8033	0,43	0,02335421	ACEPTA
32	1,43E-03	1,2345	0,002687781	ACEPTA
34	3,00E-03	1,567	0,00864387	ACEPTA
36	0,015	0,023	0,02375129	ACEPTA
38	1,00E-03	0,99811	0,004445686	ACEPTA
42	0,038	0,06811	0,01588452	ACEPTA
44	0,032	0,23	0,02166174	ACEPTA
46	0,054	0,48	0,02281385	ACEPTA
48	1,77E-02	0,86494	0,023367892	ACEPTA

Tabla 8: Prueba Kolmogorov Smirnov con confiabilidad del 95%-Distribución Kumaraswamy

KS-TEST PISO 1				
Canal	a	b	Dn	KS Test
22	0,159	2,32	0,02217452	ACEPTA
24	0,1797	1,5676	0,03072523	RECHAZO
26	--	--	--	--
28	0,1265	0,9113	0,04210208	RECHAZO
30	8E-3	3,225	0,00000719	ACEPTA
31	3,034	0,305	0,34329338	RECHAZO
32	0,06176	4,1202	0,00135890	ACEPTA
34	0,08415	0,5221	0,12313890	RECHAZO
36	0,1897	1,2451	0,27242166	RECHAZO
38	1,45E-2	2,6252	0,000301146	ACEPTA
42	0,165	0,999	0,01701591	ACEPTA
44	0,698	0,0238	0,0154848	ACEPTA
46	0,8369	0,09	0,65023839	RECHAZO
48	0,04449	4,865	5,55003E-5	ACEPTA

KS-TEST PISO 9				
Canal	a	b	Dn	KS Test
22	0,0558	1,397	0,00882796	ACEPTA
24	0,0587	1,987	0,00991089	ACEPTA
26	0,0149	1,3109	0,00970996	ACEPTA
28	1E-2	1,1109	0,00819288	ACEPTA
30	1,33E-2	1,6741	0,00925425	ACEPTA
31	8,8828	0,211	0,03206261	RECHAZO
32	0,01099	1,3109	0,00647236	ACEPTA
34	6,23E-2	2,4741	0,07184684	RECHAZO
36	0,08564	2,2103	0,28819060	RECHAZO
38	2,23E-2	1,6781	0,03330310	RECHAZO
42	7,75E-2	2,7399	0,13648883	RECHAZO
44	0,0982	0,3207	0,07147411	RECHAZO
46	0,0545	1,068	0,10427939	RECHAZO
48	0,091	1,59	0,04711152	RECHAZO
KS-TEST PISO 15				
Canal	a	b	Dn	KS Test
22	0,000991	0,334	0,0213509	ACEPTA
24	0,01992	2,5473	0,00118058	ACEPTA
26	0,02881	2,984	0,0001071	ACEPTA
28	0,0786	1,841	0,02075174	ACEPTA
30	0,014	2,67	0,00023972	ACEPTA
31	1,7886	0,973	0,30485047	RECHAZO
32	0,0635	3,805	0,002076	ACEPTA
34	0,03099	2,3109	0,01926075	ACEPTA
36	0,03184	0,24811	0,17902014	RECHAZO
38	0,11597	9,842	0,00153065	ACEPTA
42	0,04	0,339	0,15377821	RECHAZO
44	0,03979	0,7372	0,061637	RECHAZO
46	0,0886	0,9851	0,014426874	ACEPTA
48	0,09881	2,047	0,02338932	ACEPTA

Tabla 9: Prueba Kolmogorov Smirnov con confiabilidad del 95%-Distribución Power Function

KS-TEST PISO 1			
Canal	α	Dn	KS Test
22	0,032	0,01102482	ACEPTA
24	0,0806	0,02169315	ACEPTA
26	--	--	--
28	0,144	0,03248803	RECHAZO
30	2E-4	0,00102787	ACEPTA
31	7,785	0,23432708	RECHAZO
32	0,0017	0,00623541	ACEPTA
34	0,31078	0,03525432	RECHAZO
36	0,08166	0,27220684	RECHAZO
38	5,28E-4	0,002478917	ACEPTA
42	0,1661	0,0174974	ACEPTA
44	190	0,0665025	RECHAZO
46	25,11	0,22303808	RECHAZO
48	0,001	0,00465039	ACEPTA
KS-TEST PISO 9			
Canal	α	Dn	KS Test
22	0,0253	0,01500530	ACEPTA
24	0,01	0,00940783	ACEPTA
26	0,0061	0,00927814	ACEPTA
28	5,2E-3	0,00864772	ACEPTA
30	5,86E-3	0,00895873	ACEPTA
31	28,25	0,06922399	RECHAZO
32	0,005	0,00608709	ACEPTA
34	2,18E-3	0,00914745	ACEPTA
36	0,0613	0,28125219	RECHAZO
38	2,5E-3	0,00791015	ACEPTA
42	6,27E-2	0,12477600	RECHAZO
44	0,589	0,13162793	RECHAZO
46	0,05245	0,15550562	RECHAZO
48	0,03158	0,03695427	RECHAZO

KS-TEST PISO 15			
Canal	α	Dn	KS Test
22	0,0717	0,0467101	RECHAZO
24	0,001	0,00361708	ACEPTA
26	9,12E-4	0,00226442	ACEPTA
28	0,023	0,00474546	ACEPTA
30	1E-4	0,00047064	ACEPTA
31	1,8316	0,24564023	RECHAZO
32	0,00234	0,00383598	ACEPTA
34	0,00247	0,01900909	ACEPTA
36	0,09976	0,37735687	RECHAZO
38	1E-4	0,00147098	ACEPTA
42	0,0998	0,29550673	RECHAZO
44	0,0985	0,07864806	RECHAZO
46	0,088	0,04327578	RECHAZO
48	0,02	0,01601041	ACEPTA

Clases	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	CH14
0,1	0,93343899	0,83676704	1	0,71093502	1	0,00316957	0,99904913	0,46434231	0,69920761	0,99968304	0,63137876	0,00760697	0,04627575	1
0,2	0,01711569	0,05736926	0	0,09730586	0	0,00538827	0,00031696	0,12678288	0,00190174	0	0,10079239	0,0044374	0,01870048	0
0,3	0,00982567	0,02725832	0	0,0526149	0	0,00982567	0,00031696	0,09318542	0,0044374	0	0,05229794	0,00697306	0,01077655	0
0,4	0,00824089	0,01711569	0	0,03613312	0	0,01743265	0	0,08716323	0,00760697	0	0,03961965	0,00792393	0,01679873	0
0,5	0,01014263	0,01204437	0	0,02789223	0	0,02028526	0	0,0526149	0,00285261	0	0,03106181	0,00792393	0,01426307	0
0,6	0,01362916	0,00919176	0	0,02060222	0	0,02662441	0	0,0481775	0,00095087	0	0,01711569	0,00633914	0,01426307	0
0,7	0,00538827	0,0110935	0	0,02060222	0	0,04278922	0	0,03581616	0,00095087	0	0,01458003	0,0044374	0,01901743	0
0,8	0,00190174	0,00855784	0	0,01870048	0	0,06244057	0	0,02503962	0,00095087	0	0,01584786	0,00158479	0,01870048	0
0,9	0,00031696	0,01077655	0	0,01014263	0	0,10015848	0	0,02250396	0,00095087	0	0,01362916	0,00316957	0,02187005	0
1	0	0,00982567	0	0,00507132	0	0,71156894	0	0,04437401	0,28019017	0	0,03423138	0,9496038	0,81933439	0

Tabla 10: Disponibilidad total del piso 1

Clases	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	CH14
0,1	0,94246032	0,98148148	0,98082011	0,98313492	0,99041005	0,00099206	0,98875661	0,98974868	0,70734127	0,98974868	0,86044974	0,32175926	0,87070106	0,92261905
0,2	0,03075397	0,00595238	0,00694444	0,00363757	0	0,00132275	0,00297619	0,00033069	0,00033069	0,00033069	0,00165344	0,06977513	0,01455026	0,00562169
0,3	0,0082672	0,00066138	0,00198413	0,00033069	0	0,00297619	0,00066138	0	0,00066138	0	0,00033069	0,05324074	0,00429894	0,00330688
0,4	0,00628307	0,00099206	0	0	0	0,0026455	0,00033069	0,00033069	0,00132275	0,00033069	0,00033069	0,05224868	0,00132275	0,00429894
0,5	0,00165344	0,00033069	0	0,00033069	0	0,00529101	0,00033069	0	0,00033069	0	0	0,05456349	0,00165344	0,00363757
0,6	0,00066138	0	0	0	0	0,01124339	0	0	0,00066138	0	0,00066138	0,0542328	0,00066138	0,00859788
0,7	0	0	0	0	0	0,01058201	0	0	0	0	0,00033069	0,06084656	0	0,01157407
0,8	0	0	0	0	0	0,01488095	0	0	0,00132275	0	0,00033069	0,06051587	0	0,00992063
0,9	0	0	0	0	0	0,02943122	0	0	0,00033069	0	0,00099206	0,05224868	0	0,00859788
1	0,00992063	0,01058201	0,01025132	0,01256614	0,00958995	0,92063492	0,00694444	0,00958995	0,28769841	0,00958995	0,13492063	0,22056878	0,10681217	0,0218254

Tabla 11: Disponibilidad total del piso 9

Clases	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	CH14
0,1	0,85728576	0,99966656	0,99966656	0,94664888	1	0,03834612	0,99733244	0,99033011	0,5951984	1	0,58852951	0,83294431	0,81493831	0,94164722
0,2	0,01667222	0,00033344	0,00033344	0,01233745	0	0,05368456	0,00133378	0,00466822	0,00433478	0	0,01567189	0,02467489	0,03167723	0,01400467
0,3	0,01600534	0	0	0,00833611	0	0,07302434	0,00066689	0,00266756	0,00333444	0	0,01367122	0,01933978	0,02934311	0,009003
0,4	0,01467156	0	0	0,009003	0	0,07535845	0	0,00066689	0,00233411	0	0,01133711	0,01433811	0,02434145	0,00666889
0,5	0,01233745	0	0	0,003001	0	0,07035679	0,00066689	0,00033344	0,00333444	0	0,01400467	0,00866956	0,01967322	0,00533511
0,6	0,01167056	0	0	0,00333444	0	0,07302434	0	0	0,00133378	0	0,01467156	0,00633545	0,01900634	0,00533511
0,7	0,01033678	0	0	0,00466822	0	0,05735245	0	0	0,00066689	0	0,00933645	0,00800267	0,01433811	0,00266756
0,8	0,01367122	0	0	0,00366789	0	0,06002001	0	0	0,00166722	0	0,01400467	0,00400133	0,009003	0,00466822
0,9	0,00766922	0	0	0,00333444	0	0,05335112	0	0,00033344	0,00100033	0	0,015005	0,00400133	0,012004	0,00166722
1	0,03967989	0	0	0,00566856	0	0,44548183	0	0,00100033	0,3867956	0	0,30376792	0,07769256	0,02567523	0,009003

Tabla 12: Disponibilidad total del piso 15