



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“ANÁLISIS, MODELAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA  
DISPONIBILIDAD DE CANALES 3G (BANDA 1900 MHz) Y 4G  
(BANDA AWS) EN UN ESCENARIO URBANO DE LA CIUDAD  
GUAYAQUIL”

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**XAVIER FRANCISCO FLORES CÁRDENAS**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2015**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a DIOS, a mis padres y compañeros que me han brindado su apoyo incondicional y me han motivado a culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanas, por los consejos y ayudas que desinteresadamente me han ofrecido todo el tiempo.

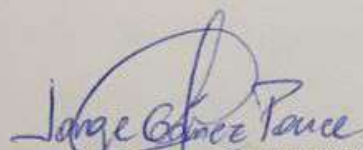
**Xavier Francisco Flores Cárdenas**

## DEDICATORIA

A mi madre Cecilia, mi padre Xavier y todas aquellas personas que confiaron en mí, y no dudaron nunca de la capacidad que tengo para lograr una meta con esfuerzo y dedicación.

**Xavier Francisco Flores Cárdenas**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Jorge Gómez

JORGE GÓMEZ. MAG

PROFESOR EVALUADOR




Germán Vargas

GERMÁN VARGAS. PH.D

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi 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"



Xavier Francisco Flores Cárdenas

## RESUMEN

En febrero de 2015 varias compañías de telecomunicaciones ya no se han quedado rezagadas, debido a que ARCOTEL asignó más espectro a las operadoras del país para implantar la red LTE y mejorar la calidad de servicio y experiencia del usuario en 3G.

Con el propósito de otorgar una mejor cobertura de la red LTE las compañías del país, han iniciado implantaciones y modernizaciones de equipos como radio bases las mismas que suelen ser ubicadas en terrazas de casas o edificios, así mismo en torretas, torres o cualquier tipo de edificación en la que se puede colocar un sistema radiante y que estratégicamente ubicada sea capaz de cubrir la zona deseada con su patrón de radiación brindando los servicios de una red 3G y 4G

El presente informe hará énfasis en estudiar de qué manera se encuentra utilizado el espectro radioeléctrico en la Banda AWS y la Banda 1900MHz tal que un organismo rector pueda usar esta información con la finalidad de saber que tan eficiente es el uso del espectro dentro de la canalización de las diferentes bandas. Brindando la posibilidad de asignar una mejor redistribución de canales, ofrecer una vista panorámica del congestionamiento de las bandas, saber si se necesita más espectro con el propósito de obtener una perspectiva de la calidad del servicio y la disponibilidad que ofrecen las diferentes operadoras del país, considerando que el estudio es en un escenario interior de la ciudad de Guayaquil, el cual nos permitirá conocer su comportamiento, problemas que se presentaron dentro del edificio.

En el proyecto realizado dentro del edificio se pudo detectar que para la planta media tenemos disponibles aproximadamente 75MHz con una varianza de 0.63Mhz, por ende, el ancho de banda utilizable se encuentra entre 73.11MHz a 76.89Mhz con una probabilidad de concurrencia del 99% obtenidos debido a los 15 canales disponibles durante la medición. Mientras que para la planta alta y baja se tiene disponibles 70MHZ con una varianza igual a 0.30Mhz con un ancho de banda utilizable entre 69.1MHz a 70.90Mhz aproximadamente con una probabilidad del

99% debido a que para estos escenarios solo se tienen disponibles 14 canales aproximadamente.

Podemos concluir que el espectro analizado se encuentra la mayor parte del tiempo disponible; sin embargo, se observa que el comportamiento del espectro en el tiempo presenta mayor densidad de uso en los horarios laborables; es decir de lunes a viernes en el rango de las 08:00 AM hasta las 05:00 PM.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	viii
CAPÍTULO 1.....	1
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Problemática.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1 Objetivo General.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.2 Objetivo Específicos.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 Alcance .....</b>	<b>6</b>
<b>1.6 Metodología .....</b>	<b>7</b>
CAPÍTULO 2.....	10
<b>2.1 Estado del arte.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Sistemas de Telecomunicaciones Asignados.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Características Generales .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Características Especificas de la Red LTE .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Radio Cognitiva, OSA y White Spaces .....</b>	<b>22</b>
CAPÍTULO 3.....	25
3. ESCENARIO DE ESTUDIO Y PROCESO DE MEDICIÓN .....	25



<b>3.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Escenario de estudio. ....</b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Descripción del proceso de medición.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4</b>	<b>Estudio de Potencias.....</b>	<b>29</b>
	<b>3.4.1 Algoritmo utilizado para la captura de potencias.....</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Modelo Probabilístico .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>		<b>37</b>
<b>4.</b>	<b>CALCULOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Escenario de medición. ....</b>	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>Parámetros de Configuración de equipos .....</b>	<b>39</b>
<b>4.4</b>	<b>Análisis de Datos Experimentales.....</b>	<b>41</b>
<b>4.5</b>	<b>Ajuste estadístico de los datos experimentales .....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>61</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>66</b>

## CAPÍTULO 1

### 1.1 Antecedentes

Ecuador dentro del marco de las telecomunicaciones, se encuentra experimentando un gran cambio tecnológico, una nueva era de información conocida comúnmente como 4G, lo que se vaticinaba con la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 [1] del aquel entonces Consejo Nacional De Telecomunicaciones conocido como “CONATEL” ahora nombrada ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) en la que le adjudicaba la asignación de un segmento de canalización de la banda 700Mhz y la banda AWS para la prestación de servicios móviles avanzados (SMA) a la empresa de telefonía móvil pública . Siendo la primera empresa en brindar la tecnología LTE “Long Terminal Evolution” al país a finales del año 2013 ofreciendo cobertura de la red en las ciudades más importantes Quito, Guayaquil, Cuenca, etc. [2]

Desde el 18 de Febrero del 2015 varias compañías de telecomunicaciones se han quedado rezagadas, debido a que ARCOTEL otorgó la concesión de la banda 4G para el uso de la Tecnología LTE en Ecuador a las restantes operadoras móviles del país, las mismas iniciaron una serie de acciones encaminadas a que el usuario pueda gozar la convergencia de los servicios que da la velocidad LTE pudiendo llegar hasta los 100Mbps (descarga) y 50Mbps (subida) en movimiento, a velocidades sorprendentes en comparación a tecnologías anteriores a ésta.[3]

Con el propósito de otorgar una mejor cobertura de la red LTE las compañías del país han iniciado implantaciones de manera crecientes de radio bases, las mismas que suelen ser ubicadas en terrazas de casas o edificios; así mismo, en torretas, torres o cualquier tipo de edificación en la que se puede colocar un sistema radiante y que estratégicamente ubicada sea capaz de cubrir la zona

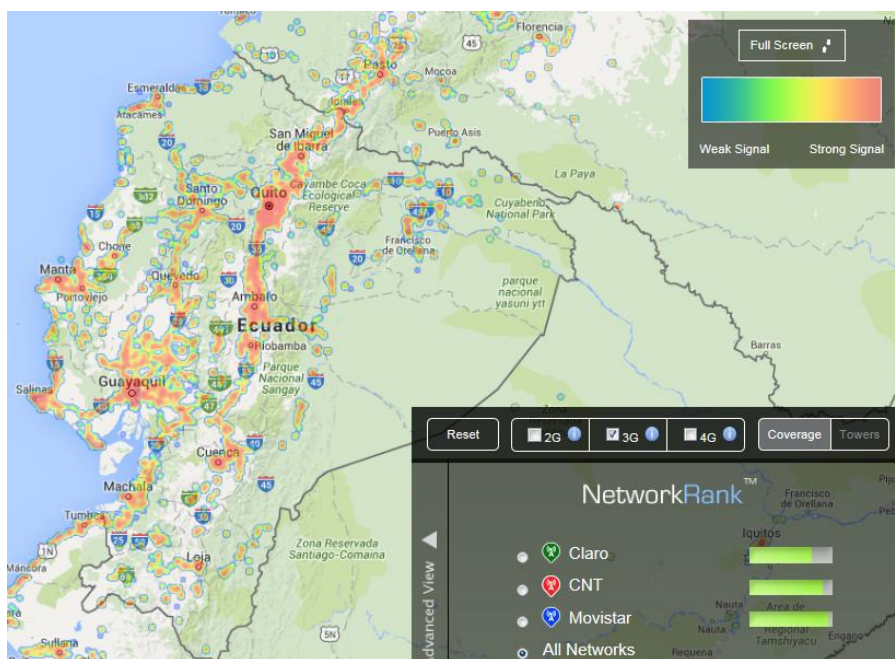
deseada con su patrón de radiación proveyendo el servicio LTE o la cobertura 4G. [9]

Desde el 2008 a la presente fecha, Ecuador cuenta con la tercera generación de transmisión de voz y datos al mismo tiempo, llamado UMTS (servicio universal de telecomunicaciones móviles) o conocido como 3G, el mismo que permite ofrecer descargar contenido multimedia, mensajería instantánea o correo electrónico. Durante el 2008 las operadoras móviles suscribieron el contrato para la concesión del uso del 3G durante 15 años y que ahora cuentan con una ampliación del espectro de 20Mhz y 10Mhz respectivamente [8] para mejorar el servicio actual otorgado por el CONATEL en el presente año. Pese a ser considerada como una tecnología anterior comparada con la de 4G, se encuentra en un apogeo a nivel mundial aún, y tomar en consideración si esa ampliación brindada fue necesaria o solo se hará uso es ineficiente. [7]

## **1.2 Problemática**

Debido a la alta demanda de servicios celulares en 3G y 4G, el aumento de dispositivos que requieren dichas bandas ha hecho que los segmentos asignados a estos servicios comiencen a colapsar trayendo consigo varios problemas como Interferencia, reducción de cobertura y calidad de servicio. [4], siendo la red 3G una de las más extendidas en nuestro país la misma que es ofrecida por las tres operadoras presentes.

En la Figura 1.1 se puede observar cómo se encuentra distribuida la Tecnología 3G en nuestro país en la actualidad.



**Figura1.1: Red 3g actual en Ecuador [52]**

En la actualidad varios usuarios pertenecientes a las diferentes operadoras telefónicas en el Ecuador reportan problemas a nivel de cobertura al momento de movilizarse de un lugar a otro, incluso permaneciendo dentro de sus domicilios, causando un malestar en general en los clientes asociados a estas compañías [5].

Estos malestares presentados por los clientes han servido para conocer que en ocasiones estas empresas incumplan con lo estipulado en el artículo 11.3 del Plan Nacional del Buen Vivir emitido por el gobierno de la República del Ecuador el cual controla la calidad, seguridad y cobertura en las prestaciones de servicios públicos a través de las telecomunicaciones [6].

Otro de los grandes problemas experimentados por los clientes en la actualidad es la interferencia, ya que esta se produce de diferentes formas. Por ejemplo, debilidad de la señal por rebote, reflexión o refracción generados cuando la onda que sale de la antena tiende a degradarse de manera considerada debido a los obstáculos que encuentra en la trayectoria hacia el dispositivo. De igual

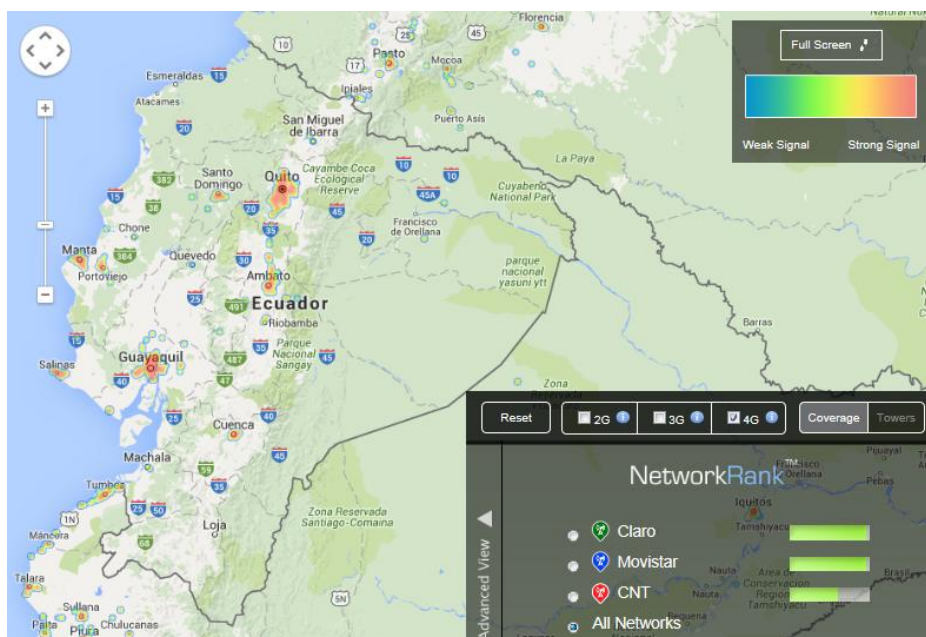
manera pueden generarse por temas de coberturas las cuales se presentan cuando dejamos de estar dentro de la cobertura que otorga una celda celular para movilizarnos a otros. Finalmente nos encontramos con problemas de atenuaciones ya que estas pueden ocasionar problemas en cuanto a las llamadas, videoconferencias o servicios de navegación en general dado que no es una señal óptima y no cuenta con la potencia adecuada para su uso provocando que la calidad del servicio entregada al cliente sea de muy mala calidad.

### **1.3 Justificación**

El presente informe hará énfasis en estudiar de qué manera se encuentra utilizado el espectro radioeléctrico en la Banda AWS y la Banda 1900MHz tanto de enlace de subida como de bajada respectivamente, de tal manera que un organismo rector pueda usar esta información con la finalidad de conocer la eficiencia y el uso del mismo dentro de la canalización de las diferentes bandas. Brindando la posibilidad de asignar una mejor redistribución de canales, ofrecer una vista panorámica del congestionamiento de las bandas, saturación de la red 3G/4G de esa forma que se permita saber si se necesita más espectro con el propósito de obtener una perspectiva de la calidad del servicio que ofrecen las diferentes operadoras del país y analizar como los canales dentro de las bandas ven afectada su calidad por los diferentes problemas que se encuentra en el medio.

La implementación de la red 4G/LTE como un servicio de comunicación móvil en el Ecuador se puede catalogar como algo nuevo y en los que hay pocos estudios y datos realizados para brindar un comentario acertado y válido de lo que realmente pasa con la tecnología LTE en el Ecuador, en este caso en una zona urbana de la ciudad de Guayaquil [10].

Sin embargo, en la figura 1.2 podemos observar el alcance de la tecnología 4G en la actualidad en el Ecuador pudiendo referenciar a Quito y Guayaquil como los puntos con la mayor concentración del servicio.



**Figura1.2: Red 4g actual en Ecuador [52]**

De esta manera se puede verificar si realmente las operadoras del país están haciendo su respectivo uso de la adjudicación de un segmento de la banda AWS que se les asignó a través del organismo rector ARCOTEL, saber su ocupación del espectro. Es decir, qué porcentaje está siendo ocupado actualmente o cuales canales se encuentran libres y listos para ser usados por la telefonía móvil celular 4G, identificar los canales congestionados para saber si necesitan más espectro radioeléctrico, aprovechar el mejor manejo de la banda ancha móvil del país optimizando su desarrollo en zonas densamente pobladas y finalmente hacer un análisis social de la acogida que ha tenido la tecnología LTE en estos pocos años de implementación en el país.

De esta manera se podrá garantizar si la calidad, seguridad y cobertura que se genera en la prestación de los servicios públicos se estén cumpliendo con normalidad, a través del uso de las telecomunicaciones y de la TIC, definidos en el Artículo 11.3 del PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR. [6].

## **1.4 Objetivos**

Para el desarrollo del presente proyecto se han planteado los siguientes objetivos.

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar la disponibilidad en los canales de la banda AWS y 1900Mhz en escenarios interiores de una zona urbana en la ciudad de Guayaquil.

### **1.4.2 Objetivo Específicos**

Medir los niveles de potencias dentro de un edificio en diferentes pisos.

Comparar los niveles de potencia en cada uno de los diferentes pisos.

Calcular el uso del espectro en la banda AWS y banda 1900MHz.

Modelar estadísticamente en base a los resultados obtenidos.

Identificar el modelo estadístico al cual se asemeja.

Analizar la disponibilidad de los canales 4G y 3G.

## **1.5 Alcance**

Una vez culminado el presente proyecto se tendrá una mejor visión en base al escenario obtenido y se podrá brindar un análisis real de la situación actual que se vive en un edificio público del estado referente a la red 3G y 4G, brindando esta información a algún organismo para que pueda conocer su disponibilidad y el uso eficiente que se le hace al espectro.

Así como identificar un modelo probabilístico del espectro radioeléctrico que permita dar una solución a los problemas como por ejemplo los de cobertura, alcance y calidad de servicio.

## 1.6 Metodología

El presente proyecto de carácter de ingeniería es realizar un estudio con respecto a la disponibilidad de los canales asignados a 3G y 4G en un edificio densamente poblado ubicado al norte de la ciudad de Guayaquil.

Para la medición y captura de datos haremos uso de un dispositivo URSP N-210, en pocas palabras un sintonizador de frecuencia cuyas características nos permitirán registrar y tomar varias muestras del espectro en las frecuencias asignadas en el presente proyecto, y que explicaremos en detalle en el siguiente capítulo.

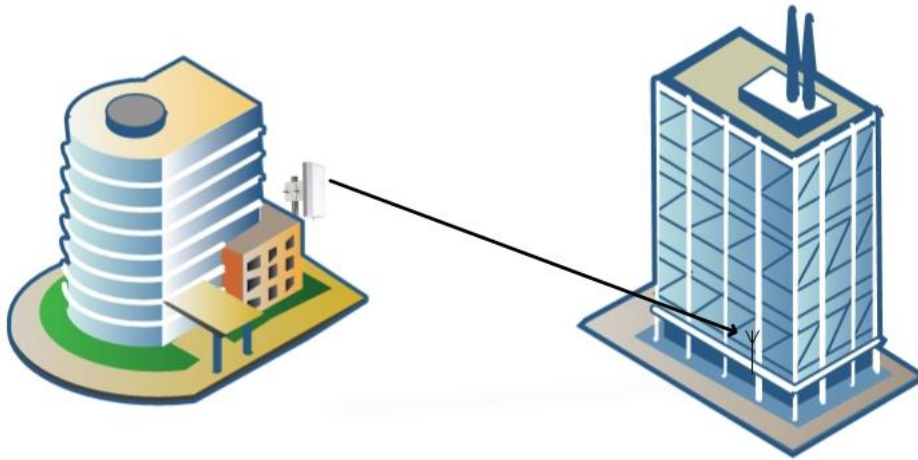
La captura de estas señales se desarrollará en torno a la ubicación de 3 pisos diferentes en el edificio del SRI, en el que observaremos el comportamiento de la señal en cada piso y de esta manera poder observar las variaciones presentadas en cada uno, por ejemplo: el comportamiento observado en la planta baja, se espera que sea diferente a la del piso medio, y este a su vez respecto a la terraza del edificio.

Todo debido a que se experimentara diferentes tipos de interferencia, tales como debilitamiento de la señal por rebote, por coberturas, atenuaciones por pérdidas por refracción, pérdidas por difracción, pérdidas por reflexión, interferencias de canal adyacente.

En los gráficos siguientes ilustraremos los tres diferentes escenarios que pueden presentarse al realizarse las mediciones, debido a la infraestructura y políticas internas del edificio en el cual se realizaran las mismas.

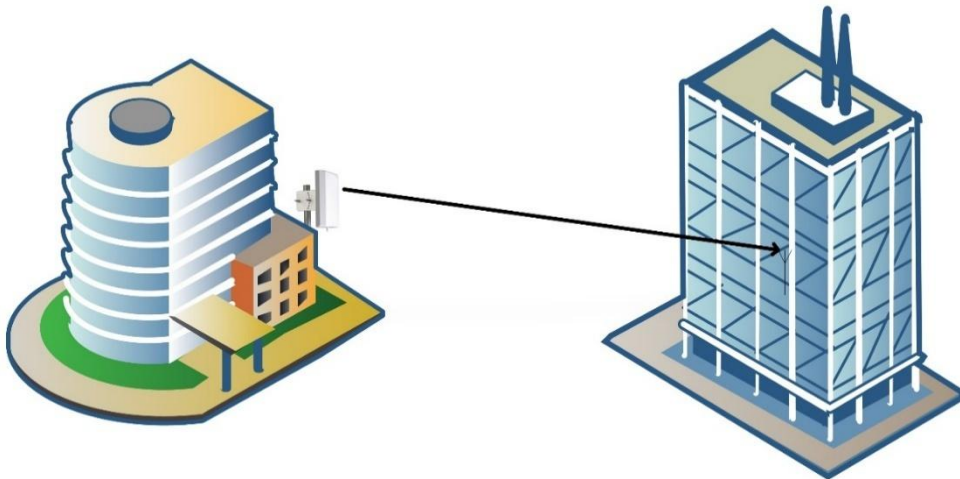
En el primer caso cuando se proceda a realizar las mediciones en la planta baja del edificio, podemos observar que las señales que llegan con mucha dificultad a su punto de análisis por la ubicación en el cual se encuentra ubicado (Figura1.3).





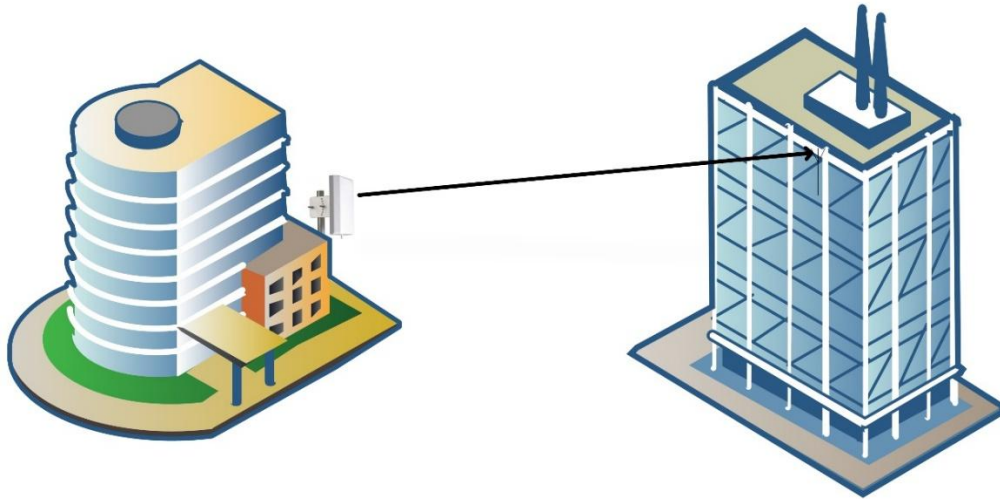
**Figura 1.3: Proyección de la señal en planta baja**

En el segundo escenario se realizarán las mediciones en el séptimo piso del edificio observamos que las señales que llegan con mucho menor dificultad a su punto de análisis y de diferentes partes por el fenómeno de difracción y refracción (Figura 1.4).



**Figura 1.4: Proyección de la señal en planta media**

Finalmente, nuestro último caso será cuando se realicen las mediciones en la planta alta del edificio, en la cual podremos observar que dada la ubicación de nuestra antena receptora se obtendría una buena calidad de la señal debido a los pocos obstáculos e interferencias presentadas en las mismas (Figura 1.5)



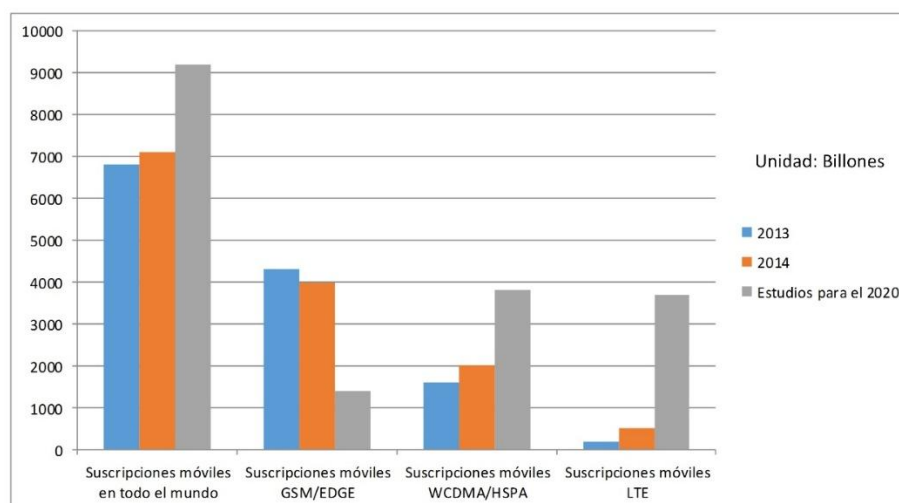
**Figura 1.5: Proyección de la señal en planta alta**

## CAPÍTULO 2

### 2.1 Estado del arte

Durante las últimas décadas el mundo de las telecomunicaciones ha presentado cambios de manera precipitados a nivel de tecnología, cruzando por cuatro generaciones entre los años de 1993 al 2015. La aparición de nuevas tecnologías en el mercado como LTE ha ocasionado que generaciones anteriores vayan decreciendo a través del tiempo en el mercado debido a que en la mayoría de los equipos utilizados requieran de nuevas características o configuraciones para soportar esta tecnología; trayendo como consecuencia la aparición de millones de nuevos equipos con software mejorados con la finalidad de que puedan soportar estas nuevas tecnologías [9].

Por ejemplo, en la figura 2.1 podemos observar que de acuerdo a estudios realizados por la compañía Ericsson para el año 2020 se estima que la cantidad de usuarios móviles que se encuentren utilizando la tecnología 4G (LTE) aumente aproximadamente en un 40% es decir un estimado de 3700bn Usuarios mientras que los usuarios que utilizan tecnología 3G (GSM/EDGE) se estima que decaiga en un 15%. Es decir, a pesar que la cantidad de abonados móviles a nivel mundial aumente estos optaran por adquirir equipos capaces de soportar tecnologías de 3.5G a 4G [10] [7] [8].



**Figura 2.1: Incremento de Usuarios por Generación**

## 2.2 Sistema de telecomunicaciones asignados

En la actualidad las Operadoras Telefónicas Móviles que se encuentran operando en el Ecuador son 3, de las cuales analizaremos 2, donde cada una ofrece una tecnología diferente.

Para el presente proyecto nos enfocaremos en banda AWS más conocida como LTE Banda 4 que abarca los 1700Mhz para el canal de subida y 2100MHz para el canal de bajada como se detalla en la Tabla 2.1.

FRECUENCIA [MHz]	CANAL DE SUBIDA	CANAL DE BAJADA
800	835 MHz – 845 MHz	880 MHz – 890 MHz
	846.5 MHz – 849 MHz	891.5 MHz – 894 MHz
1900	1865 MHz – 1870 MHz	1945 MHz – 1950 MHz
1700	1750 MHz – 1770 MHz	2150 MHz – 2170 MHz

**Tabla 2.1: Frecuencia asignadas en la banda AWS [51]**

En la banda de 1900MHz analizaremos como se detalla en la Tabla 2.2.

FRECUENCIA [MHz]	CANAL DE SUBIDA	CANAL DE BAJADA
700	733 MHz – 748 MHz	783 MHz – 798 MHz
1900	1890 MHz – 1895 MHz	1970 MHz – 1975 MHz
	1895 MHz – 1910 MHz	1975 MHz – 1990 MHz
1700	1710 MHz – 1730 MHz	2110 MHz – 2130 MHz

**Tabla 2.2: Frecuencias asignadas en la banda 1900MHz[51]**

### 2.3 Características generales

Generalmente, los distintos Estados identifican porciones de espectro que adjudican mediante concesiones a los operadores que prestan servicios de telecomunicaciones por un cierto período de tiempo. Las empresas utilizan estas frecuencias para prestar sus servicios.

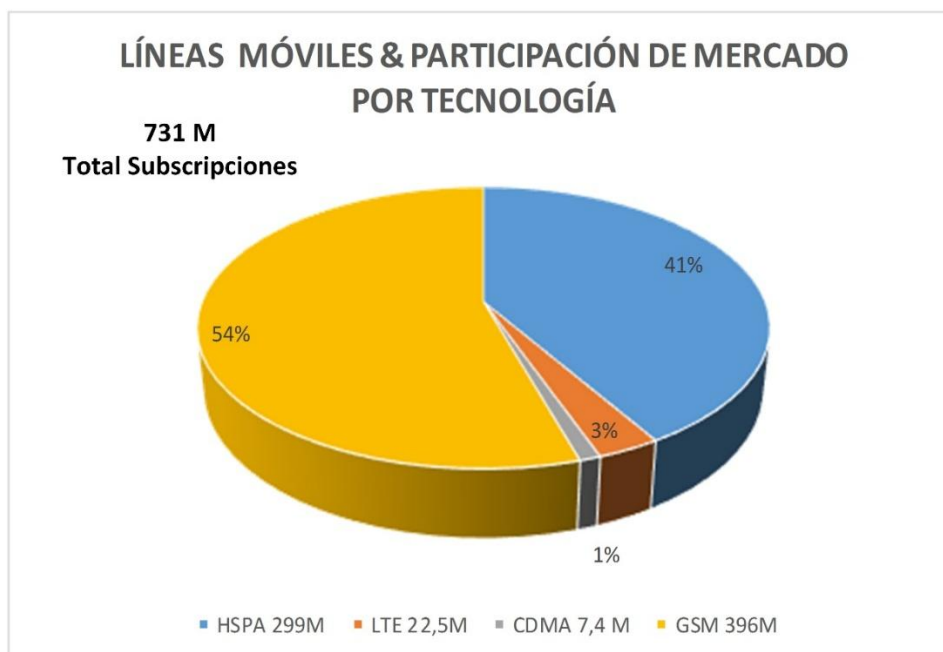
A partir de lo que conocemos como 3G, ha sido la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) quien ha definido los requisitos para cada nueva generación de tecnologías móviles la UIT espera formalizar las especificaciones de IMT-2020 (la llamada 5G) en el año 2020. [32]

La tecnología 3G se encuentra en pleno apogeo mientras tanto la era de 4G se encuentra con gran presencia en el mercado y apoderándose de él rápidamente, nos encontramos en una transición de tecnología debido a que 3G pese a ser perfecto en todo sentido, presentó limitaciones de ancho de banda y debido a los exigentes requerimientos de los usuarios para satisfacer sus necesidades de comunicación, video llamadas , redes sociales y otros servicios se tuvo que recurrir a un estándar mejorado con mayor capacidad como el caso del actual LTE dejando atrás a tecnologías UMTS, CDMA, HSPA aun cuando estas llegaron a incrementar su capacidad de manejo de datos no se compara con la evolución del GSM del Grupo 3GPP que es LTE [36].



**Figura 2.2: Redes LTE en América Latina y el Caribe. [32]**

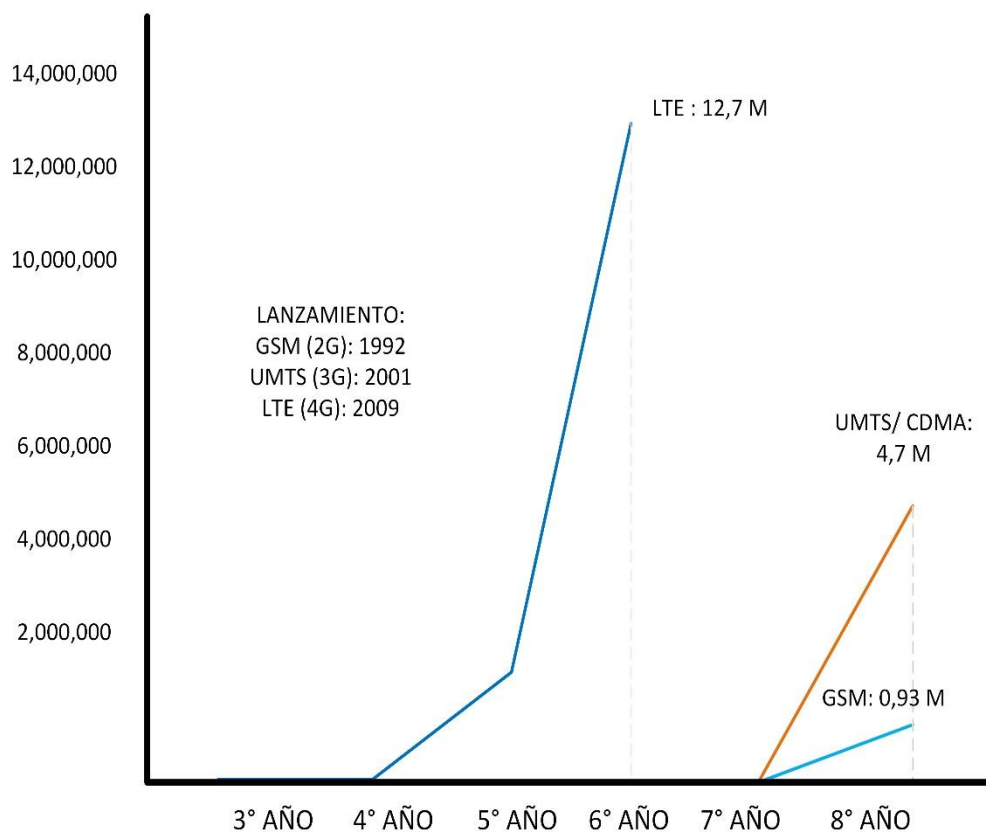
En la figura 2.2 donde se encuentran la cantidad de redes LTE desplegadas en América Latina y el Caribe seguido de la figura 2.3 en la que se observa que la tecnología 3G es muy dominante a la de 4G, dado que lleva más tiempo en el mercado HSPA.



**Figura 2.3: Participación de mercado por tecnología[32]**

La Figura 2.4 indica que LTE tiene un crecimiento acelerado de suscripciones en muy pocos años a diferencia con las tecnologías UMTS y GSM que se encontraban ya en el mercado por mucho más tiempo.

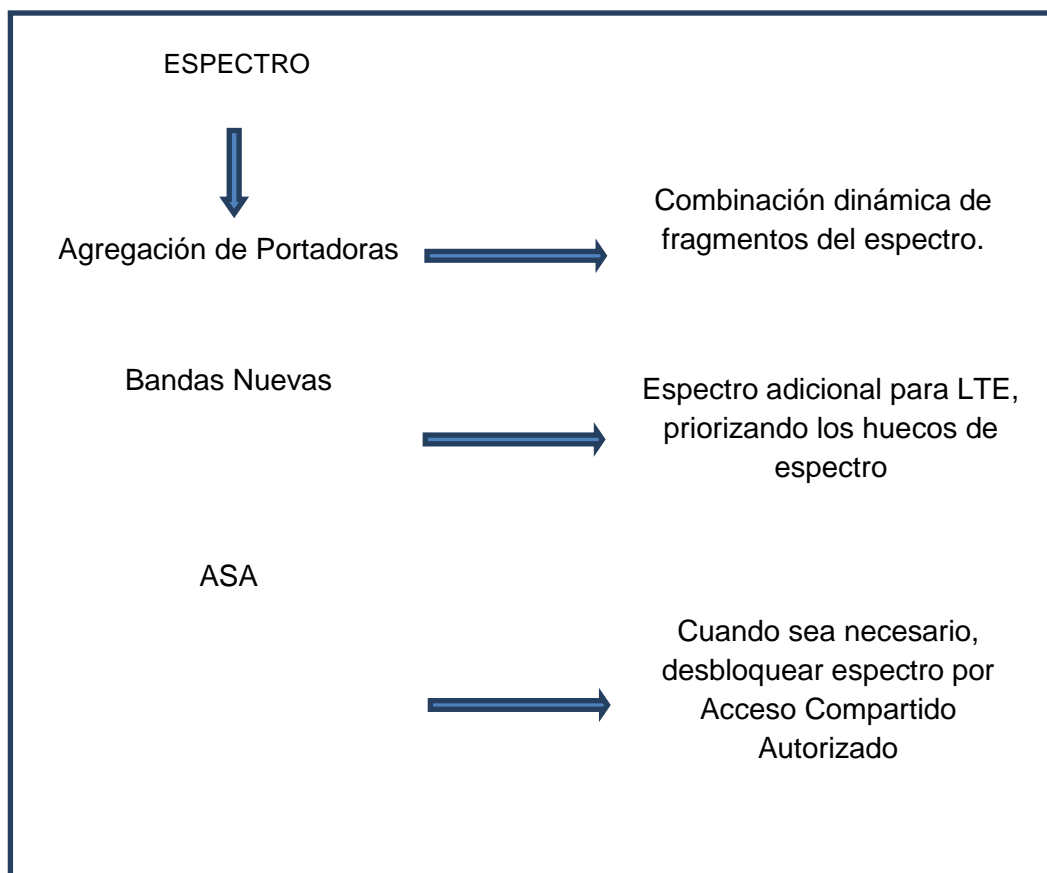
### SUSCRIPTORES EN LATAM DESDE LANZAMIENTO DE CADA GENERACIÓN



**Figura 2.4: Suscriptores en Latinoamérica [32]**

Para hacer un buen uso del espectro dentro del campo 4G, se han agregado nuevas características enfocadas a brindar al usuario una mejor calidad de servicio, algunas de estas son la agregación de portadora, uso de diferentes bandas de frecuencia y la posibilidad del Acceso Compartido Autorizado del espectro de esta manera reutilizar el espectro de las demás bandas, tal como se muestra en la figura 2.5.





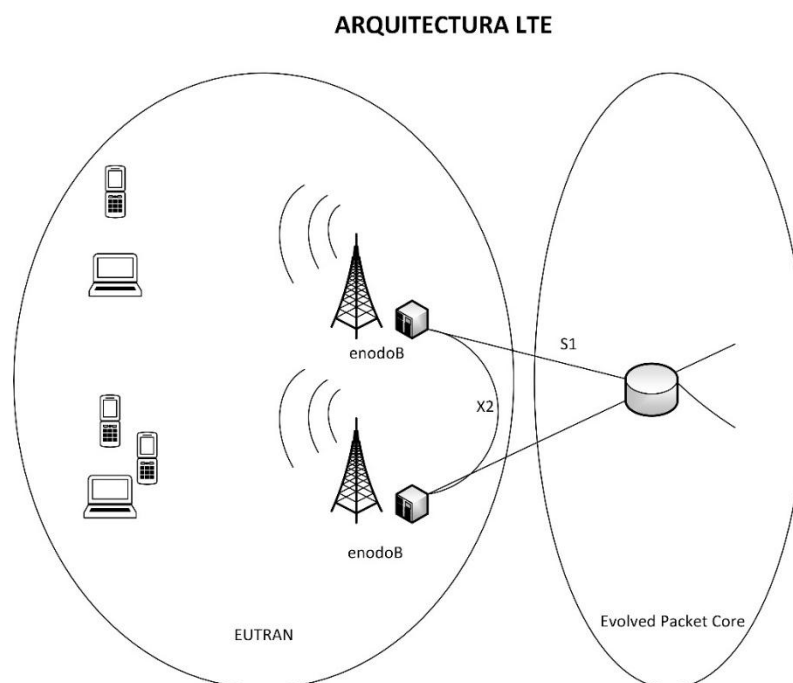
**Figura 2.5: Maximización del espectro para mejorar la conectividad**

Dentro del plano del 3G encontramos el HSDPA que a diferencia de UMTS que tienen canales de datos asignados a cada usuario, HSDPA se basa en el intercambio de paquetes sobre un canal simultáneo, incrementando de manera significativa la capacidad máxima de transferencia de datos, llegando a velocidades teóricas de hasta 14,4Mbps en la especificación 5 (Re5) se la agregó, todo eso dado al incremento de eficiencia espectral por usar modulación de mayor orden (16QAM), tasa variable de codificación y redundancia incremental HARQ [31].

3GPP lleva a cabo un proyecto llamado Evolución de arquitectura del Sistema (SAE) en el que se define una nueva red de núcleo de paquetes completamente IP conocida como Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC),

uniendo a Acceso de radio terrestre universal evolucionado (e-UTRA) y Red de acceso terrestre universal evolucionado (e-UTRAN) se crea el Sistema Evolucionado de Paquetes (EPS).

E-UTRA es la interfaz de aire que usa la red LTE para las redes móviles introducido por 3GPP R8 que brinda el acceso para la EPS [11], y debe mantener exigentes requerimientos por parte de la IMT-Avanzado como la capacidad de operar en diferentes bandas de frecuencia y con diferentes tamaños, hasta 100MHz, debe soportar FDD y TDD en bandas pareadas y no pareadas [12] [13].



**Figura 2.6: Arquitectura LTE**

En la Figura 2.6 se observa como está formada la arquitectura LTE E-UTRAN y que es la combinación de los e-UTRA, los Equipos de Usuarios (UE) y los eNodosB de la red. El eNodoB cumplen exactamente las mismas funciones del nodoB de una red 3G y controlador de red de radio (RNC), que forman parte de la topología de una red UMTS. Los eNodosB reducen los componentes antes nombrados para lograr de esta manera

obtener mejor latencia de todas las operaciones de la interfaz de radio, entre ellos están conectados a través de la interfaz X2, y se conectan a la red central EPC usando la interfaz S1 [14].

Cumplir los requerimientos de IMT-Avanzado no solo necesita cumplir los estándares de E-UTRAN sino también una arquitectura de red móvil completa que permita los rendimientos esperados para ello necesitamos hacer uso del EPC.

La Entidad de gestión de movilidad (MME) se encarga de la señalización y gestionar la movilidad de los usuarios [26] [27]. El Servicio de Puerta de Enlace (S-GW) gestiona los túneles lógicos y la conmutación en el plano de usuario y su principal función es asignar recursos basados en las solicitudes de distintos equipos de red como las MME y P-GW [28].

Puerta de Enlace PDN (P-GW) asigna la dirección IP al equipo del usuario, el cual permite que el equipo del usuario tenga acceso a todos los servicios y se pueda comunicar con otras redes de paquetes de datos [28] [29].

En requisitos de movilidad como la red LTE es capaz de cubrir áreas cada vez más grandes, la demanda de movilidad se intensifica, incluyendo los requisitos relativos a los trasposos intra-LTE, trasposos entre las redes 2G / 3G y la red LTE, y trasposos entre redes no-3GPP y la red LTE.

Esto se traduce en el aumento dramático de tráfico de señalización en la S-GW y la P-GW. Por lo tanto, la S-GW necesita ser instalado por separado como el punto de acceso de anclaje, que procesa la señalización y los datos en el lado de acceso y una gran cantidad de señalización de traspaso.

El P-GW es el punto de anclaje del servicio, que proporciona funciones de servicio extensas, incluyendo la asignación de direcciones IP, PPP, de carga basado en el contenido, en línea de carga, el control de la política de servicio, firewall, y la traducción de direcciones de red (NAT) [28].

En el momento cuando las redes celulares eran inicialmente basadas en el GSM se desplegaron escenarios de implementación considerando celdas con tamaño de celda similares, es decir, las topologías en redes homogéneas

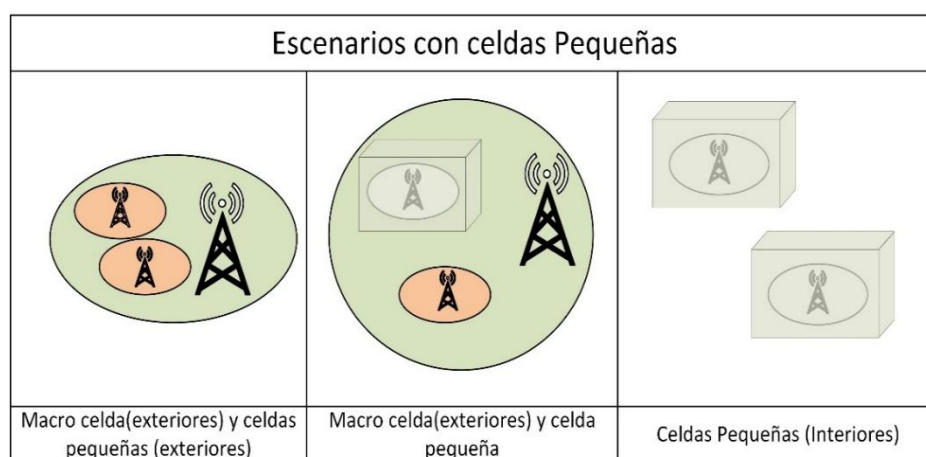
fueron utilizadas. Sin embargo, pronto se necesitaron diferentes tamaños de celda para abordar diversos requisitos de capacidad.

En las redes 3G / 4G de hoy la red heterogénea desplegadas son ampliamente usadas. Pueden incluir escenarios con celdas pequeñas desplegando dentro una macro celda en forma de paraguas. Estos escenarios de celdas pequeñas plantean problemas en las redes de la vida real [33].

Se ha investigado mejoras potenciales de celdas pequeñas LTE a lo largo de un estudio de 3GPP. En particular, los siguientes objetivos de diseño fueron abordados:

- Mejorar la robustez movilidad
- Reducir la carga de señalización
- Mejorar el rendimiento por usuario

Se observa en la figura 2.7 varios escenarios en el cual nosotros nos enfocaremos a realizar un análisis dentro del escenario de macro celda exterior y celda pequeña, dado que nuestra ubicación es dentro de un edificio y nuestra antena transmisora está en una zona fuera de la edificación.



**Figura 2.7: Escenarios con diferentes casos de celdas pequeñas**

## 2.4 Características específicas de la red LTE

Dentro de las características de una red LTE se usa para enlace descendiente el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) y una portadora SC-FDMA para enlaces de ascendentes [21].

En LTE se definen distintos tipos de tamaño de bloque de transporte dado el ancho de banda en número de resource block (RBs). Cada uno de estos RBs se compone de 12 sub portadoras LTE separadas 15 KHz por lo que el ancho de banda ocupado por cada uno es de 180KHz. Para calcular el número de RBs que caben en un cierto ancho de banda hay que tener en cuenta que del ancho de banda total disponible para la transmisión LTE es aproximadamente un 10% se emplea en señalización, por lo que el ancho de banda efectivo para datos es del 90% del total disponible.

Los tamaños de bloque de datos de son los que determinan la velocidad de datos del usuario LTE. Es decir, una capa de transmisión (sin disponer de varias capas por las técnicas MIMO), en el caso de disponer de 10MHz de ancho de banda, lo que se traduce en 50 RBs, el tamaño de bloque máximo (para un índice máximo de bloque de 27) es de 36696 bits.

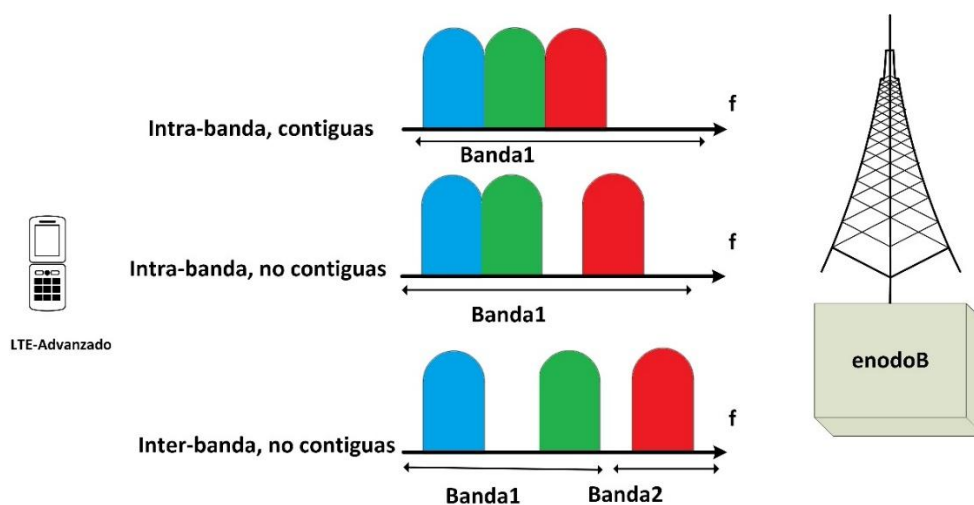
Como cada radio bloque se transmite en 1 ms (Transmission Time Interval (TTI), la velocidad neta máxima alcanzable por el usuario para un ancho de banda de aproximadamente 10MHz es de 36,6Mbps. En el caso de disponer de 20 MHz de ancho de banda, es decir 100 RBs, el tamaño de bloque máximo es de 75376 bits, con un tiempo de transmisión de 1ms equivale a una velocidad máxima de usuario de 75,37Mbps.

SC-FDMA tiene similar estructura y desempeño que OFDMA, pero al tener un PAR menor su consumo energético disminuye en consideración al esquema OFDMA y usa únicamente una sola portadora de ahí su nombre "single carrier" obteniendo una mayor duración de la batería del móvil [20].

Sin lugar a dudas la característica más importante para un operador móvil de una red LTE-A es la agregación de portadoras (CA), dado que el espectro

es un recurso finito y difícilmente se lo consigue por subastas, concursos y otros, no se encuentra en la necesidad de adquirir otra banda sino que hace uso de las que tiene disponible utilizando una buena combinación y disponibilidad del espectro, incrementando el ancho de banda que a su vez aumenta la tasa de transferencia de datos, creando canales de mayor capacidad para soportar servicios otorgando una mejor calidad de la experiencias (QoE). [22]

La agregación de portadoras brinda velocidad y capacidad para los usuarios más exigentes dado que mejora los recursos de la red, reduce las interferencias, ofrece un óptimo rendimiento de la red mediante una asignación más ágil de los recursos, puede repartir el tráfico de una forma dinámica en múltiples portadoras mientras mantiene la compatibilidad con las agregaciones de portadoras de las liberaciones R8/R9 [23] [24].



**Figura 2.8: Recurso radio de transmisión tiempo-frecuencia en LTE**

En la figura 2.8 se observa que LTE-A trabaja con intra-bandas contiguas, intra-bandas no contiguas e inter-bandas no contiguas dando la posibilidad de poder ocupar los 100MHz y ofrecer una excelente calidad de servicio.

Para intra-bandas los parámetros para la agregación de portadoras son especificados de acuerdo a la figura siguiente. Se prevén seis clases de EU con ancho de banda, mientras solo 3 han sido completamente especificados hasta ahora. Las clases de ancho de banda son definidas en términos de números de RBs con la agregación de ancho de banda de transmisión y el máximo número de componentes de portadoras soportadas.

En la figura 2.9 se puede observar el espectro usado en LTE de la banda de 2.57Ghz en modo DL FDD con un ancho de banda de 10Mhz, en la que observamos mediciones de una portadora con un único componente [34].

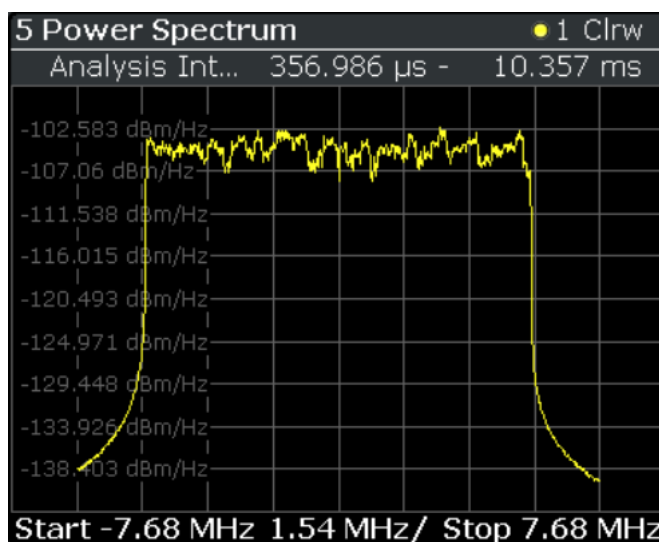


Figura 2.9: Ilustración de una Portadora de LTE, enlace de bajada

## 2.5 Radio cognitiva, osa y White Space

La Radio cognitiva es un sistema inteligente capaz de realizar cambios en los parámetros particulares de transmisión o de recepción para llevar a cabo su cometido de forma eficiente sin interferir con los usuarios autorizados. Los cambios de parámetros están sujetos a la experiencia previa que mantienen con el entorno interno y externo, tales como el espectro, el comportamiento del usuario o el estado de la red [41],[42],[43],[44],[45].

Su objetivo era evolucionar la plataforma de radio definida por software con el que se pensaba en ser un sistema inalámbrico configurable de "Caja negra" que modifique sus parámetros de comunicación dependiendo del uso de la red y de los usuarios. Estudios realizados han observado que la mayor parte del espectro de radio frecuencia está siendo desaprovechado. Por ejemplo las bandas de la red celular como la de 3G están muy utilizadas en la mayor parte del mundo, pero la banda de radioaficionados o las frecuencias de localización estaban siendo bastante desaprovechadas.

El hecho de que exista un evidente desaprovechamiento del espectro es una de las causas que ha motivado, en los últimos años, el uso del espectro radioeléctrico puede ser mejorado significativamente si se posibilita que un usuario sin licencia pueda acceder a un canal desocupado por un usuario primario en ciertas localizaciones y momentos temporales [41],[42],[43],[44],[45].

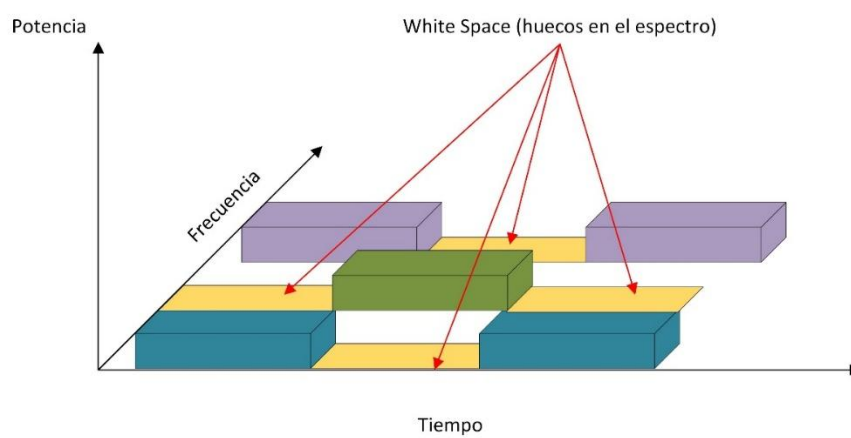
Los Sistemas de Radio Cognitiva deben tener la posibilidad de analizar el espectro sobre un amplio rango de frecuencias con el objetivo de detectar esos canales desocupados, también llamados "espacios en blanco" que se pueden observar en la figura 2.10.

Los espacios en blanco o White Space son aquellos espacios libres o sin uso momentáneo dentro de cada banda en el espectro radioeléctrico debido a un bajo flujo de datos en esa frecuencia en determinados momentos. [41].

El Acceso Oportunista al Espectro (OSA), concepto introducido dentro del marco del proyecto Defense Advanced Research Projects Agency Next Generation (xG Project) , constituye uno de los enfoques de Acceso Dinámico al Espectro (DSA) que buscan mitigar los problemas de escasez e ineficiencia en el uso del espectro radioeléctrico.

Siguiendo un esquema jerárquico, bajo las nociones de OSA los usuarios no licenciados pueden acceder y explotar las porciones espectrales no utilizadas por los usuarios licenciados en algún instante de tiempo o región geográfica. [46],[47].





**Figura 2.10: Ilustración de White Space o los huecos existentes en el espectro**

## CAPÍTULO 3

### 3. Escenario de estudio y proceso de medición.

#### 3.1 Introducción

En los capítulos anteriores se presentó con mayores detalles la evolución de los sistemas de telecomunicaciones desde sus orígenes o antecedentes hasta el alcance que estas podrían tener con el pasar de los años en nuestro medio. Actualmente en nuestro país estos sistemas de telecomunicaciones han ido evolucionando de manera precipitada con una muy alta demanda entre las cuales sobresalen los sistemas 4G. Por este motivo el presente capítulo pretende explicar de manera más detallada el escenario escogido para realizar nuestro proyecto, así como el proceso de medición a realizar indicando especificaciones técnicas de equipos y software utilizados para el monitoreo y captura de datos del espectro asignado.

#### 3.2 Escenario de Estudio

Geográficamente se puede identificar a nuestro país en dos tipos de zona, la zona rural y la urbana, sin embargo, la región existente entre los límites de estas zonas se la puede identificar como zona semi-rural.

Denominamos zona urbana a aquellas grandes ciudades que se encuentran altamente pobladas acompañados del turismo, comercio y grandes tecnologías a diferencia de las zonas rurales las cuales al tener menor población de habitantes carecen de muchas de estas actividades primarias.

Por tal motivo el contexto de este proyecto se encuentra enfocado en un escenario situado en una zona urbana con una alta concentración de edificios de gran altura (como se puede apreciar en la Figura 3.1); debido a que estos sectores son muy atractivos para los servicios de

telecomunicaciones en el ámbito comercial ya que presentan una alta densidad de usuarios.



**Figura 3.1: Zona Urbana con alta concentración de edificios**

En base a la Figura 3.1 podemos observar que nuestros edificios se encuentran dentro de un gran sistema de cobertura (OUTDOOR), sin embargo en ciertos sectores dentro del edificio la señal llegará de manera atenuada por diversos factores como pérdidas de absorción en pisos, paredes o ventanas. Lo que nos podría llevar a que en estos sectores el espectro electromagnético se encuentre libre.

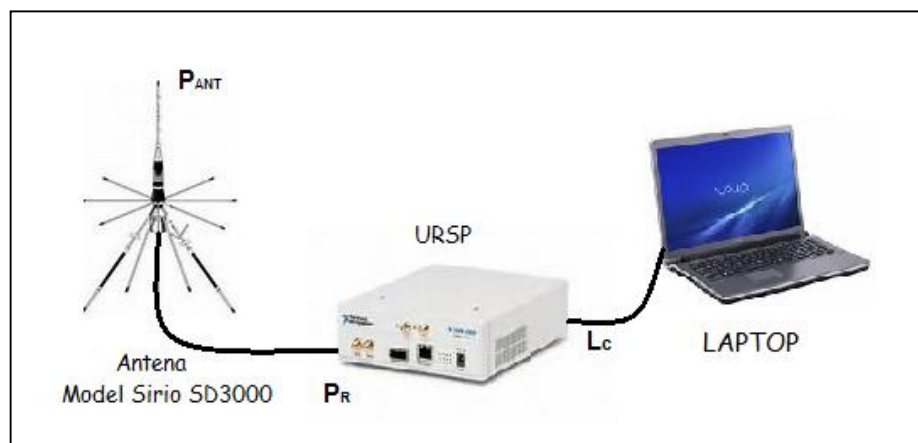
De acuerdo al objetivo de este proyecto, este efecto producido dentro del edificio puede ser utilizado para el análisis de desarrollo de sistemas; como, por ejemplo, las femtoceldas ya que estos sistemas en la actualidad están siendo muy utilizados por usuarios con el objetivo de extender su cobertura en interiores, así como liberar canales de comunicación en las estaciones bases más cercanas al edificio [48].

Estas medidas se obtienen realizando el monitoreo de las frecuencias seleccionadas durante siete días. Posterior a esto procedemos a comparar estos datos con la sensibilidad o umbral de potencia de recepción y así poder determinar si el canal se encuentra ocupado o no.

Este proceso se lo realiza con la finalidad de poder encontrar los rangos o espacios en blancos que existen en nuestro equipo electromagnético y de esta manera permitir el desarrollo de nuevos sistemas.

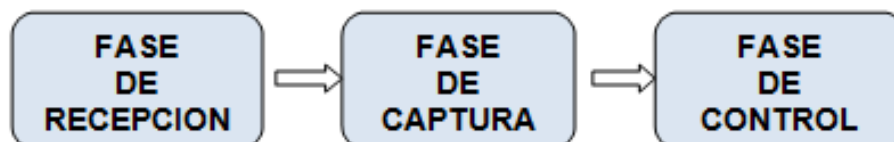
### 3.3 Descripción Del Proceso De Medición

Para el siguiente proyecto se procedió a implementar un sistema de medición compuesto en tres etapas, las cuales se encuentran detalladas en la figura 3.2.



**Fig.3.2: Sistema de medición implementado**

En base a lo descrito, en el párrafo anterior nuestro sistema de medición puede ser definido o segmentado en tres fases las cuales están definidas de la siguiente manera: Fase de Recepción, Fase de Captura y Fase de control, las cuales me permitirán realizar un correcto monitoreo o censado de las potencias en las bandas seleccionadas para el presente proyecto (Ver Figura 3.3)



**Fig. 3.3: Sistema de medición segmentado en fases**

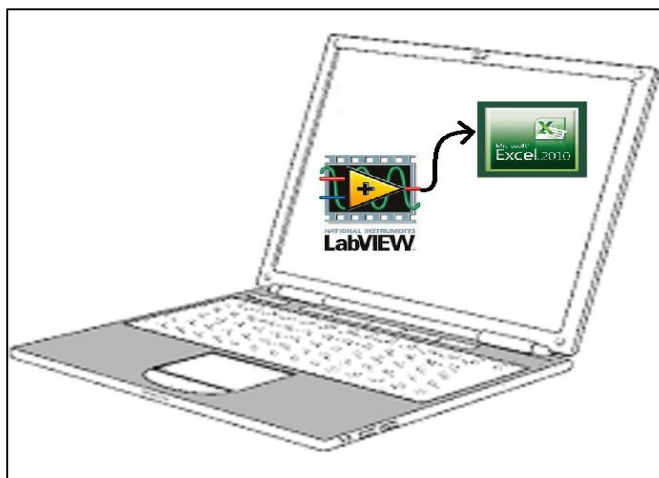
Para la fase de recepción se procedió a utilizar una antena de tipo Discone SIRIO SD-3000 N (Ver Anexo I) ya que la misma nos permitirá monitorear la señal en la banda seleccionada. Entre sus principales características encontramos que se encuentra elaborada de hacer inoxidable, latón cromado y Nylon, la cual genera una perfecta protección contra las peores condiciones climáticas. Adicional posee un patrón de radiación omnidireccional. Esto permite que esta pueda recibir frecuencias que se encuentren en el rango de 300 – 3000Mhz.

Para poder realizar la captura de los datos de potencias recibidas en nuestra fase anterior, se procedio a utilizar el equipo USRP debido a que presenta como características la capacidad de trabajar en bandas múltiple al ser un dispositivo lógico programable. De igual manera el USRP posee un amplificador de ganancia ajustable el cual nosotros podremos variar con el objetivo de recibir la señal de manera óptima.

Con el objetivo de poder realizar la comunicación entre la antena y el USRP se utilizó un cable Wilson 400 de ultra baja perdida con la finalidad de poder realizar la captura sin necesidad de causar pérdidas extremadamente grandes en nuestras mediciones.

Finalmente se tiene la fase de control la cual será la encargada de supervisar que el proceso de nuestro sistema se realice sin problemas. Esta etapa se encuentra compuesta por un ordenador el cual recibe los datos que fueron obtenidos en la etapa de captura por el USRP y los guarda en un archivo de Excel hasta tener todos los datos almacenados con la menor pérdida posible. Este proceso se realizará en las tres plantas o pisos elegidos en nuestro edificio.

Con la finalidad de extraer los datos obtenidos por el USRP hacia nuestro computador procederemos a utilizar la herramienta Labview y mediante la creación de un pequeño programa o algoritmo configuraremos nuestro equipo y de esta manera poder capturar toda la información necesaria y almacenarlas en un archivo Excel como se indicó anteriormente.



**Fig. 3.4: Fase de Control de datos**

Como se puede apreciar en la Figura 3.4 nuestro computador será el responsable de controlar o supervisar todos los datos obtenidos a través de diversas herramientas configuradas en la misma como: Excel, Labview.

### 3.4 Estudio De Potencias

Con la finalidad de poder realizar un análisis de manera correcta, se debe tener en claro que la Potencia Recibida (PR) por el equipo USRP no es la misma potencia obtenida por la antena (PANT), por diversos factores involucrados los cuales generan pérdidas como los Cables (LC) y Conectores (LCON). La misma que se puede observar en la Figura 3.2 e indicadas en la ecuación 3.1

$$P_r = P_{ANT} + G_{ANT} - LC - LCON + G_{USRP} \quad (3.1)$$

Donde LC es la pérdida generada por el cable utilizado para la conexión del equipo con nuestra antena, LCON es la pérdida producida por los

conectores utilizados en nuestro sistema y GUSRP es la ganancia interna que nuestro equipo posee.

### 3.4.1 Algoritmo utilizado para la captura de Potencias.

Con el objetivo de monitorear las frecuencias en las bandas asignadas en el presente proyecto se ha procedido a configurar un algoritmo en nuestro equipo USRP N210.

Para la creación del algoritmo es necesario conocer los siguientes datos: la frecuencia inicial ( $f_i$ ) y final ( $f_n$ ) de nuestras frecuencias a censar (3G en la banda 1900Mhz y 4G para la banda AWS), el tiempo de muestreo del canal ( $T_c$ ), la velocidad del muestreo del canal ( $f_s$ ), la dirección IP del equipo (IP), la Ganancia (G), el estado del programa (Stop), indica si el programa se encuentra ejecutándose, y por último el número de canales a monitorear (N).

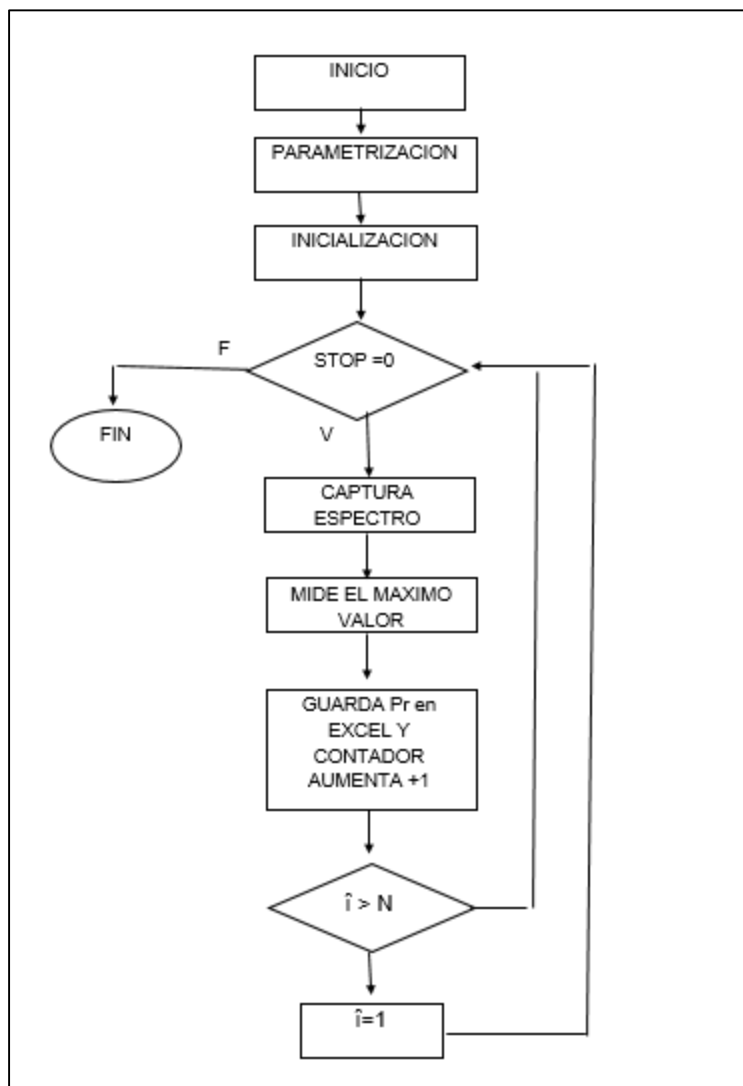
El algoritmo utilizado para la captura de datos es mostrado en la figura 3.5 a través de un diagrama de bloques; el cual como primer paso presenta la PARAMETRIZACIÓN del equipo USRP-N210. En esta fase procedemos a configurar la dirección Ip (IP), ganancia (G), frecuencia inicial ( $f_i$ ) y la velocidad del muestreo ( $f_s$ ). Posterior a esto para poder realizar el muestreo de nuestros canales es necesario inicializar nuestro contador de canales ( $\hat{i}$ ).

Una vez conocidos los parámetros del equipo procedemos a realizar la INICIALIZACION de nuestro programa (Stop=0), este procederá a escanear canal por canal con el objetivo de CAPTURAR diversos valores de potencia del espectro almacenándolos temporalmente por un periodo de tiempo hasta obtener el máximo valor de potencia ( $P_r$ ), para luego proceder a almacenar este valor en un archivo de Excel, al final de este paso nuestra variable contadora es actualizada para continuar con el siguiente canal.

Este proceso se repite de manera continua hasta que nuestra variable llegue a su valor máximo es decir N, en ese momento nuestro contador se reinicia y el proceso se vuelve a ejecutar de manera ininterrumpida hasta que el estado del programa cambie (Stop=1).

Los valores obtenidos durante estas mediciones se procederán a guardar en un archivo de Excel, se generará un archivo por cada canal medido por lo que al final obtendremos N archivos de Excel con los datos obtenidos.





**Figura 3.5: Diagrama de bloques del algoritmo de medición**

### 3.5 Modelo Probabilístico.

Una vez explicado el escenario de estudio y el proceso de medición donde se realizará este proyecto. Procederemos a recibir múltiples mediciones de potencia ( $X$ ), las cuales son las emitidas desde la Estación Base (PBS), incluyendo el ruido y la Interferencia ( $I$ ) ocasionados por el medio que rodea al sistema.

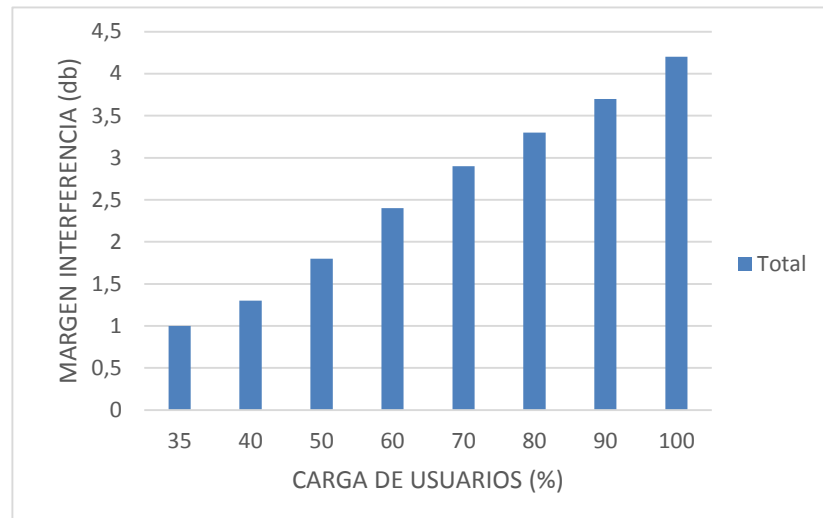
$$X=[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n] \quad (3.2)$$

$$X = \text{PBS} + \text{Noise} + I \quad (3.3)$$

Debido a que las mediciones de potencias recibidas en cada canal presentan características gaussianas es posible determinar que el ruido (Noise) adquiere las mismas características con media ( $\mu=0$ ) y varianza ( $\sigma^2$ ).

Para el cálculo del margen de la Interferencia se procede a modelar el efecto de la Interferencia como un margen sobre el ruido térmico que cuantifica este efecto en las células vecinas. Estos valores oscilan entre los 2 y 8 db dependiendo de la carga de usuarios. [49]

En la figura 3.6 se puede ilustrar los diferentes valores del margen de interferencia que se puede obtener en base a la carga de usuario es decir la disposición de la red [48].



**Figura 3.6: Margen de Interferencia en función a la carga de Usuarios**

Una vez conocidas las características que posee nuestra potencia recibida podemos proceder a determinar el estado a través del siguiente argumento matemático.

$$\psi_i \begin{cases} 0; & X_i \geq \lambda \\ 1; & X_i < \lambda \end{cases} \quad (3.4)$$

La variable  $\psi_i$  descrita en la ecuación 3 nos determina el estado del canal medido respecto a un umbral conocido como sensibilidad de recepción ( $\lambda$ ) en un tiempo determinado; En conclusión, si  $\lambda = 0$  podemos determinar que el canal se encuentra ocupado caso contrario si  $\lambda = 1$  el mismo se encontrara disponible para ser utilizado.

El argumento matemático utilizado para determinar el estado de nuestro canal cumple presenta una distribución de tipo Bernoulli con una probabilidad de éxito y una probabilidad de fracaso  $q$ , la cual se demuestra en las siguientes ecuaciones [39].

$$p = P(X_i < \lambda) = P(X_i = 1) \quad (3.5)$$

$$q = P(X_i \geq \lambda) = P(X_i = 0) \quad (3.6)$$

$$q = 1 - p \quad (3.7)$$

Una vez conocida la función probabilística referente a cada canal es posible realizar un modelo que nos permita identificar la disponibilidad en los canales medidos en un tiempo ya establecido. El cual se puede expresar de la siguiente manera.

$$\mathcal{L}_j = \frac{\sum_{n=1}^{N_s} \psi_i}{N_s} \quad (3.8)$$

Donde la variable  $\mathcal{L}_j$  nos representa la disponibilidad obtenida en los canales de medición en un tiempo determinado. Este proceso consiste en tomar  $N_s$  muestras de la variable  $\psi_i$  y se le calcula el promedio; de esta manera podemos conocer la disponibilidad reflejada en cada canal.

Se puede observar que a medida que se aumentó el tamaño de nuestras medidas tomadas, nuestra variable  $\mathcal{L}_j$  adquirirá un comportamiento más similar al de una variable aleatoria continua.

Adicional, el número de muestras  $N_s$  será indispensable para el cálculo de la granularidad de la variable de disponibilidad a través de la siguiente expresión:

$$\text{Granularidad (\%)} = (1 / N_s) * 100 \quad (3.9)$$

Una vez que ya conocemos la función de disponibilidad en nuestros canales de medición procederemos a buscar tres funciones empíricas las cuales se ajusten de la mejor manera a nuestra función experimental; por lo cual es necesario conocer si la PDF encontrada se ajusta a la PDF experimental; este proceso es conocido como “Ks Test” en honor a Kolmogorov-Smirnov el cual se trata de una prueba no paramétrica utilizada para realizar el ajuste de dos distribuciones de probabilidad a través de su función CDF.

Para el presente proyecto realizaremos la comparación de la función CDF experimental con la CDF empírica. Luego se calcula la máxima diferencia entre ambas CDFs y las comparamos con el valor  $k$  ( $\alpha \cdot N_s$ ), es decir se basa en el valor de las muestras  $N_s$  obtenidas para hallar la CDF [40].

## CAPÍTULO 4

### 4. Cálculos y Resultados

#### 4.1 Introducción

En el presente capítulo se procederá a realizar la descripción detallada del escenario de medición, así como los valores utilizados en la configuración de los equipos utilizados para la medición de potencias en las bandas 1900Mhz para 3G y banda AWS para 4G.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos durante la medición procederemos a realizar un análisis más detallado en los canales de medición con el objetivo de conocer la capacidad ofrecida por el mismo.

#### 4.2 Escenario de Medición.

De acuerdo a lo descrito en el Capítulo anterior el escenario requerido para poder realizar nuestras mediciones requería estar situado en una zona urbana que presenta alta concentración de edificios de gran altura. Por lo que se procedió a elegir un edificio público del estado ubicado al norte de la ciudad, debido a que el mismo cuenta con una altura de aproximadamente 13 pisos y es ideal para poder realizar nuestras mediciones.

El proceso de medición se lo realizo en tres diferentes puntos del edificio los cuales son:

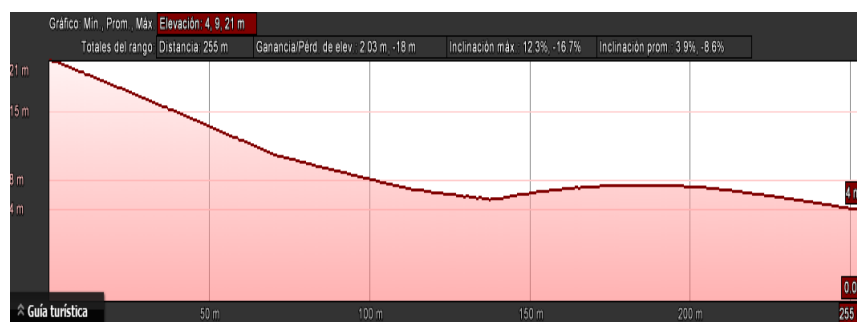
- PLANTA BAJA (1er Piso)
- PLANTA MEDIA (5toPiso)
- PLANATA ALTA (12voPiso)

Es necesario mencionar que este proceso de medición se lo realizo durante siete días (una semana) por cada piso descrito.



**Fig. 4.1: Vista Satelital del SRI**

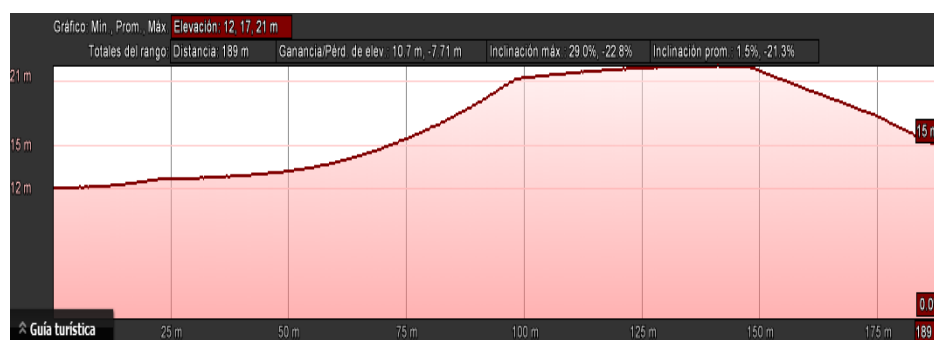
La figura 4.1 refleja una vista Satelital de la ubicación del edificio donde se realizaron las mediciones del presente proyecto ( $2^{\circ} 9'47.01''S$  Latitud y  $79^{\circ}53'53.18''O$  Longitud); presentando como referencia las estaciones bases más cercanas correspondientes a las compañías mostradas en la figura.



**Fig. 4.2: Perfil de elevación en referencia a la Estación superior**

En la Figura 4.2 se observa una vista de perfil de elevación en referencia a la estación base superior en la que nuestra transmisión no presenta mayores obstáculos en su línea de recorrido y que la altura de la misma se encuentra aproximadamente a la mitad de nuestro edificio. Presentan una distancia de separación aproximadamente a unos 255 metros con una latitud:  $2^{\circ} 9'41.30''S$  y longitud:  $79^{\circ}53'49.86''O$ .

Mientras que en la figura 4.3 se presenta el mismo comportamiento, pero en referencia a la estación móvil inferior la cual se encuentra distanciada a unos 189 metros con una latitud:  $2^{\circ} 9'49.57''S$  y longitud:  $79^{\circ}53'45.31''O$ .



**Fig. 4.3: Perfil de elevación en referencia a base inferior**

### 4.3 Parámetros de Configuración de Equipos.

Como se indicó en el Capítulo 2 el presente proyecto se enfoca en realizar el análisis del espectro para la Banda 1900MHz (3G) y la banda AWS (4G). En base a esto se procedió a seleccionar las bandas en los rangos de 1890 - 1910 MHz (enlace de subida) y 1970 - 1990 MHz (enlace de bajada) para los sistemas 3G y las frecuencias en los rangos de 1750 - 1770 MHz (enlace de subida) y 2150 - 2170 MHz (enlace de bajada) para sistemas de telecomunicaciones 4G. Donde cada canal presenta un ancho de banda de 5MHz.



Parámetros Configurados	Valores
Ancho de Banda 3G, BW	1890 - 1910 MHz (subida) - 1970 - 1990 MHz (bajada)
Ancho de Banda 4G, BW	1750 - 1770 MHz (subida) - 2150 - 2170 MHz (bajada)
Ancho de banda del canal $\Delta f$	5 MHz
Frecuencia inicial 3G, $f_o$	1890 MHz (subida) - 1970 MHz (bajada)
Frecuencia Final 3G, $f_n$	1910 MHz (subida) - 1990 MHz (bajada)
Frecuencia inicial 4G, $f_o$	1750 MHz (subida) - 2150 MHz (bajada)
Frecuencia Final 4G, $f_n$	1770 MHz (subida) - 2170 MHz (bajada)
Canal Inicial, CH1	1
Canal Final, CHn	16
Número de canales, N	16
Numero de muestras (Disponibilidad), $N_s$	28
Potencia umbral 4G [41], $\lambda$	-85.6 dBm
Potencia umbral 3G, $\lambda$	-72 dBm
Tiempo de captura por canal, $T_c$	10.46 s
Tiempo de muestreo por canal, $T_s$	0.24 s

**Tabla 4.1: Parámetros de Configuración de equipo**

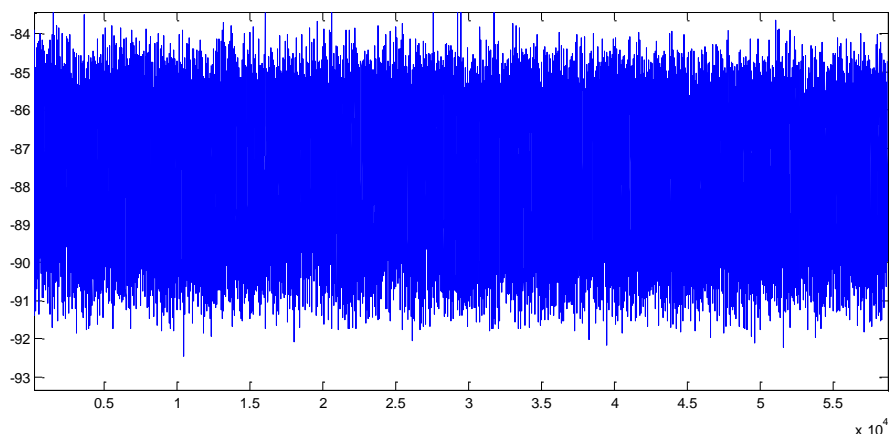
En la Tabla 4.1 se reflejan los parámetros utilizados para la configuración de nuestro equipo USRP. Entre los cuales se puede observar el número de canales (N) monitoreados en el presente proyecto, así como el número de muestras ( $N_s$ ) utilizadas para el cálculo de nuestra disponibilidad.

De igual manera para el cálculo de la granularidad de la variable de disponibilidad se pudo obtener el tiempo de captura por canal ( $T_s$ ) y el tiempo de captura por banda ( $T_c$ ).

#### 4.4 Análisis de los datos obtenidos.

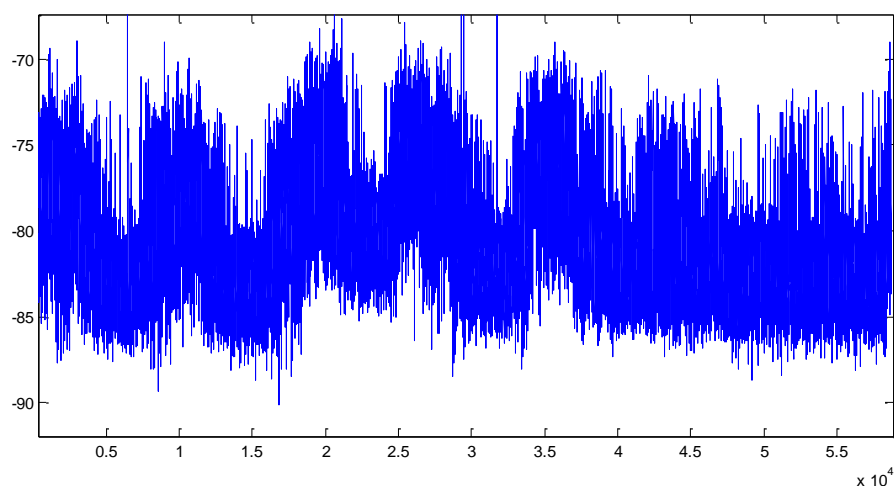
En la presente sección procederemos a realizar un análisis más detallado referente a las potencias recibidas en la planta alta, media y baja. De igual manera se lo realizará con la disponibilidad.

De los datos obtenidos durante los siete días de medición en la Planta Baja podemos observar que para los canales correspondientes a la banda AWS (4G) los niveles de potencias recibidos son constantes, es decir que se captura el mismo rango de frecuencias programado en nuestro instrumento de medición durante los días de estadía del equipo en un piso, como se puede observar en la Figura 4.4.



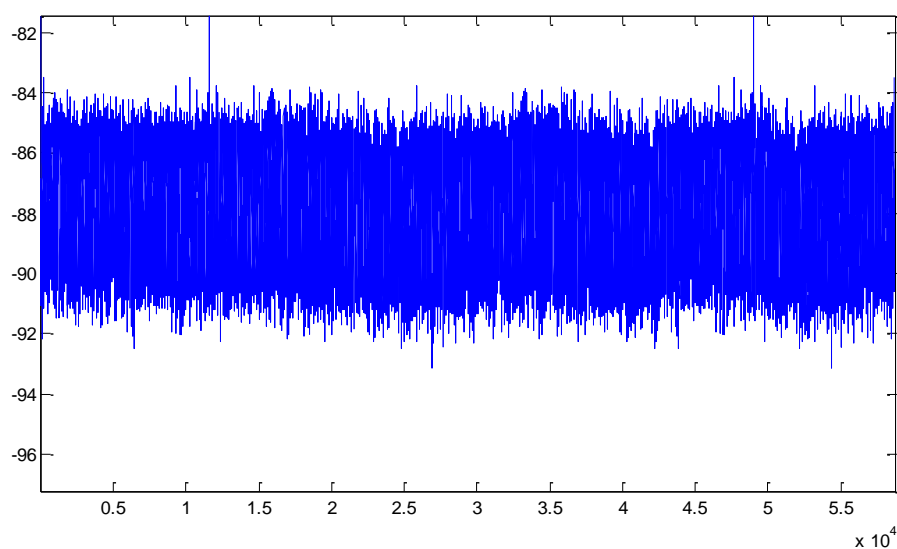
**Figura 4.4: Niveles de Potencia recibidos en canal 4 Planta Baja**

Mientras que solo para el canal 16 correspondiente a la frecuencia de 1900Mhz (3G) los niveles de potencia más altos recibidos corresponden a los días entre semana (lunes a viernes) como se ilustra en la Figura 4.5.



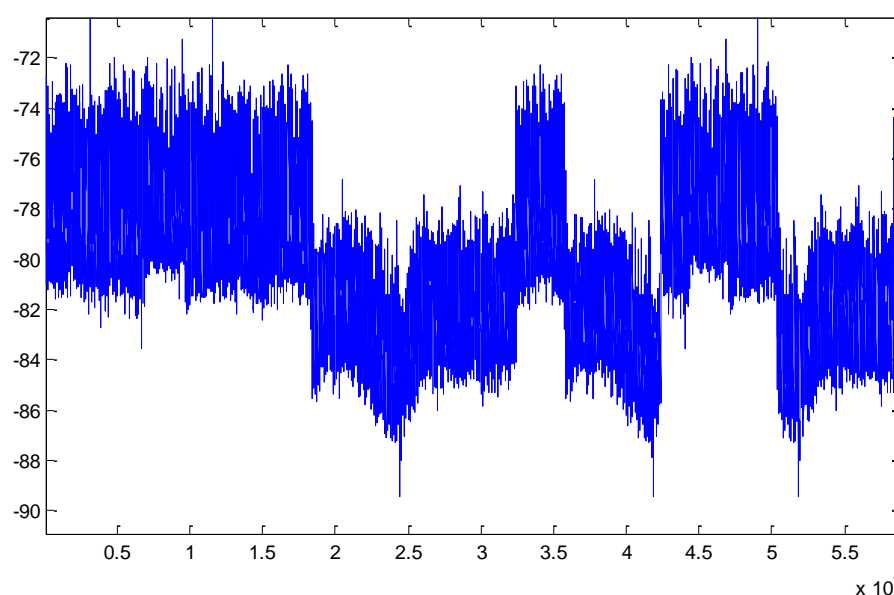
**Figura 4.5: Niveles de Potencia recibidos en canal 16 en la Planta Baja**

Se realizó el mismo estudio para los canales correspondientes a la banda AWS en la Planta Alta de lo cual se puede observar que no existe variación en referencia a los ya descritos en la planta baja como se puede observar en la Figura 4.6 debido a que muestra el mismo comportamiento de recepción.



**Figura 4.6: Niveles de Potencia recibidos en canal 4 Planta Alta**

Mientras que para los canales correspondientes a la banda 1900 (3G) existe un comportamiento muy diferente en la planta Baja, debido a que ciertos días se reciben altos niveles de frecuencias y en ciertos instantes de tiempo unos muy bajos por lo que no podemos identificar un patrón general por días como se puede ilustrar en la figura 4.7.



**Figura 4.7: Niveles de Potencia recibidos en canal 16 de la Planta Alta**

En las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 se puede observar la variación de los niveles de potencia, los cuales se encuentran propiamente representados a través de colores. El color rojo nos servirá para poder expresar los altos niveles de potencias recibidas mientras que usaremos la tonalidad azul para poder representar los bajos niveles de potencias recibidos, por tal motivo los niveles medios de potencias o cercanos al

umbral de sensibilidad de recepción se encontraran representados por colores con una tonalidad turquesa.

En la figura 4.8 podemos observar que en la Planta baja los canales correspondientes a la banda AWS presentan en su totalidad una tonalidad de color azul lo que nos lleva a predecir que estos canales presentan una alta disponibilidad.

Dando como resultado que en la mayoría del tiempo monitoreado estos canales presentaron niveles de potencias muy bajos ( $Pr \leq -87$  dBm), a pesar de esto el canal 8 en una instancia de tiempo presentó niveles de potencias más altos ( $-80$  dBm  $\leq Pr \leq -75$ dBm) presentando una pequeña disponibilidad debido a que se encuentra sobre el umbral de comparación ( $\lambda = -85.6$  dBm), a pesar de esto el canal en su mayoría del tiempo se encuentra ocupado.

De igual manera los canales referentes a la banda 1900MHz en su mayoría presentan una tonalidad de color azul representando una alta disponibilidad. Adicional se puede observar que ciertos canales como el 14 y el 16 que presentan niveles de potencia muy cercanos a nuestro umbral de recepción ( $\lambda = -72$  dBm) en la mayoría del tiempo, es decir presenta una intermitencia llevando a la conclusión que estos canales en ciertas instancias de tiempo se encuentran disponible y en otras no.

A diferencia del canal 15 ya que se observa que en el tiempo monitoreado esta se presenta de color naranja-rojizo; es decir que los niveles de potencias recibidos son muy altos ( $Pr \geq -51$ dBm), el cual en comparación con nuestro umbral podemos concluir que el canal en la mayoría del tiempo se encuentra ocupado.

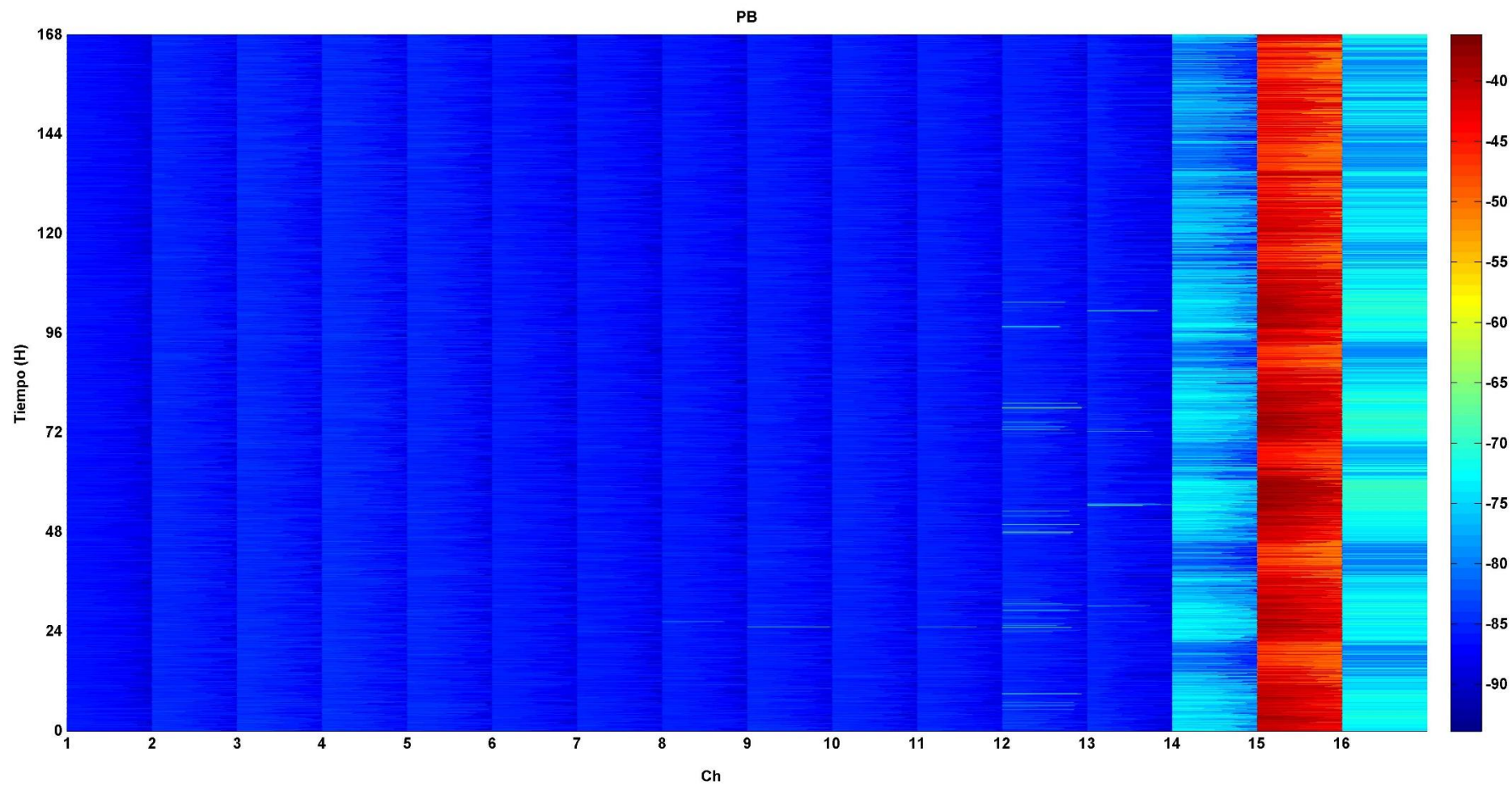


Figura 4.8: Niveles de Potencia en la Planta Baja

Para el caso de la planta Media se realizó el mismo análisis que en la planta baja. En referencia a los canales asignados a la banda AWS estos presentan niveles de potencias aproximadamente entre los -83 dBm y -90 dBm, lo cual nos indica que en ciertas instancias de tiempo estos se encuentren ocupados y en otras disponibles.

El canal 1 presenta una mayor disponibilidad en comparación a los demás canales, debido a que en la gráfica se observa una tonalidad más azul; es decir se reciben en su mayoría potencia relativamente bajas. (Ver Figura 4.9)

Mientras que para los canales referentes a los sistemas 3G las potencias recibidas se encuentran cercanas a los rangos indicados para la banda AWS, pero con gran variabilidad en ciertas instancias de tiempo como se puede observar en los canales 12 y 13.

Los niveles de potencia recibidos en el canal 15 se encuentran entre los -65dBm y -80dBm presentando una tonalidad de color amarillo y celeste dependiendo del nivel de potencia recibido, por lo que se puede concluir que este canal aproximadamente el 50% del tiempo se encuentra ocupado.

Por último, la Figura 4.10 nos representa los niveles de potencia recibidos en la parte alta del edificio. Para los sistemas 4G otorgados por la banda AWS no se observa mayor variación en base a lo indicado para la planta media observando que en ciertas instancias de tiempo los niveles de potencias recibidos se encuentran próximos al umbral.

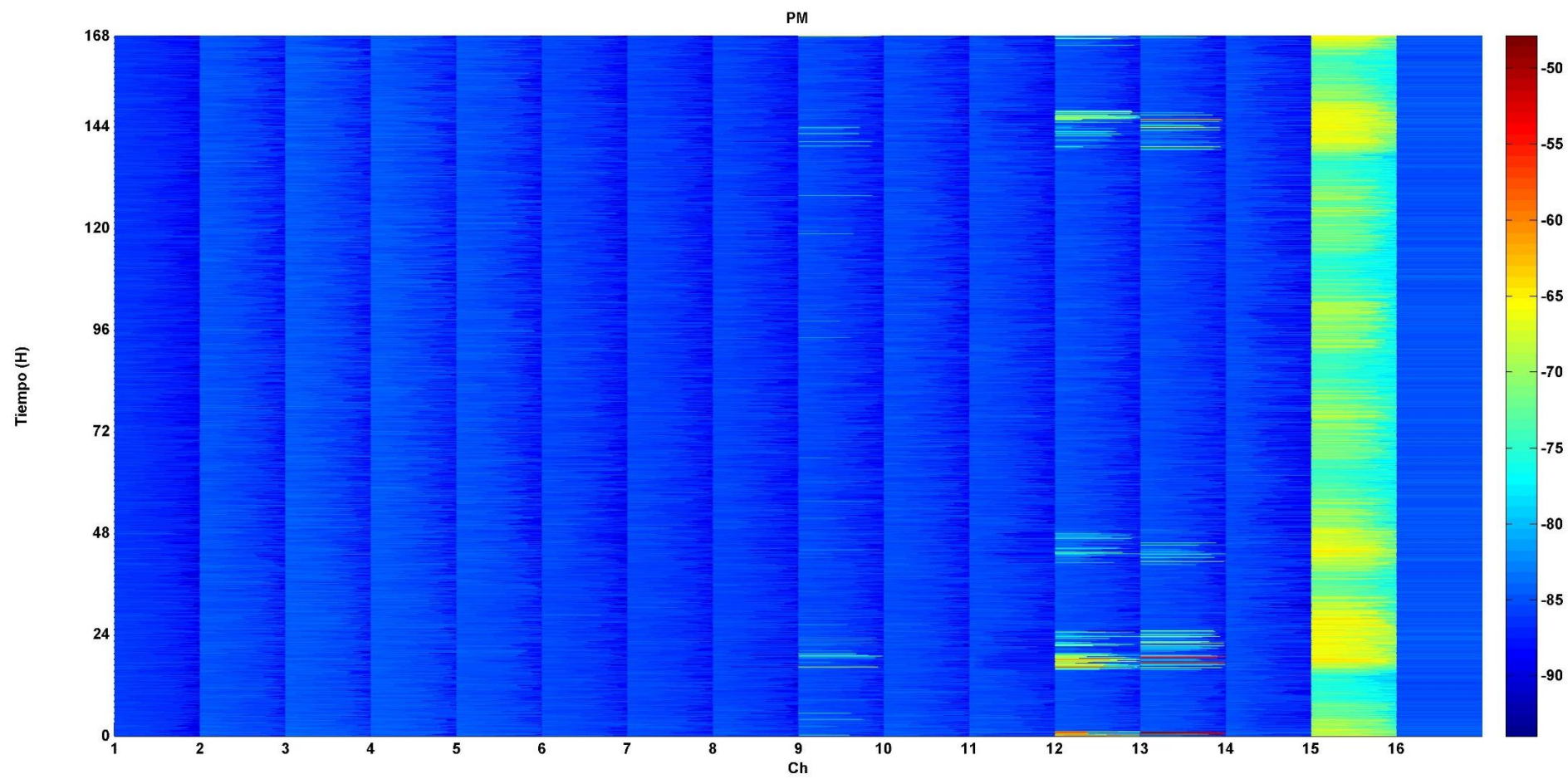


Figura 4.9: Niveles de Potencia en la Planta Media



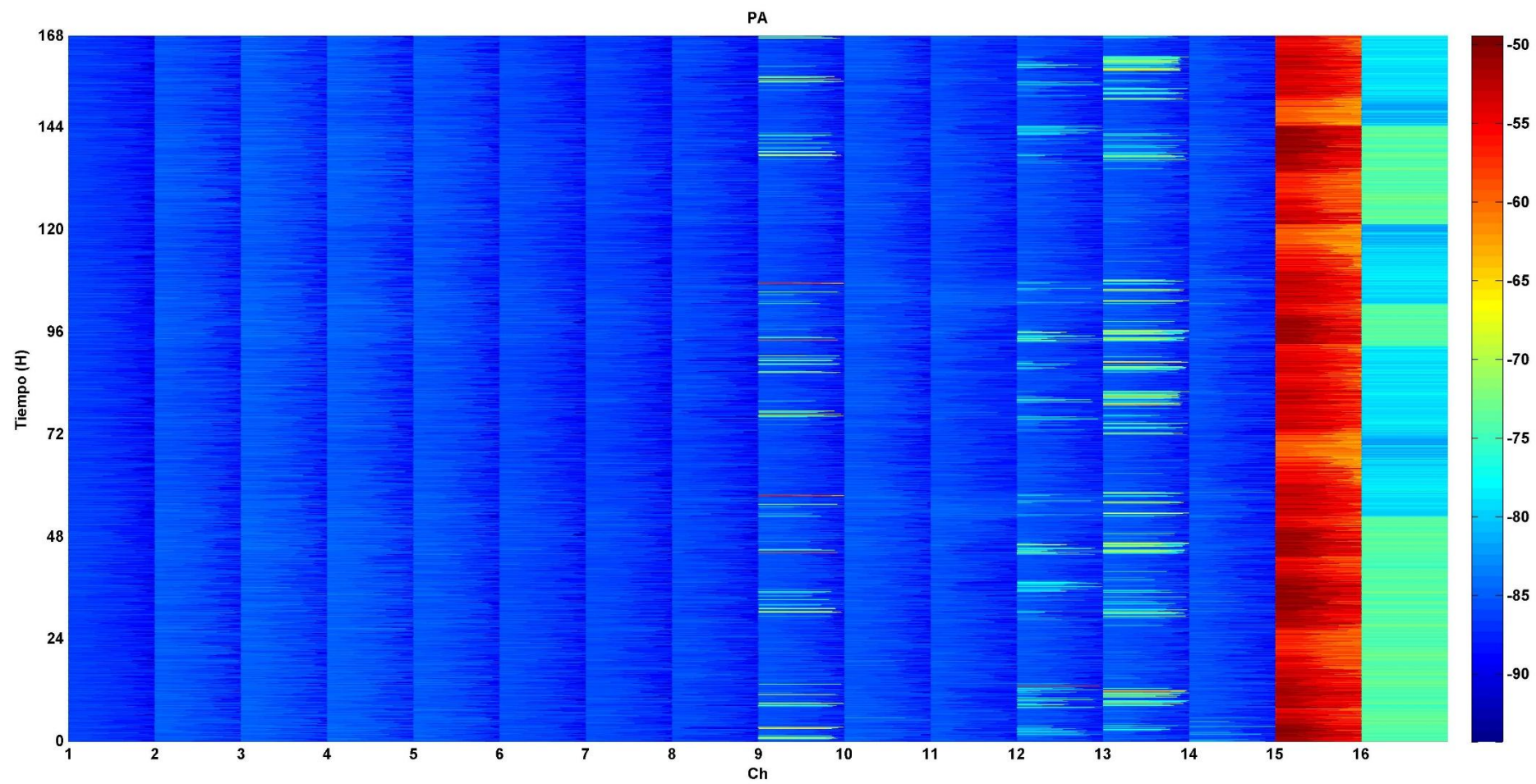


Figura 4.10: Niveles de Potencia en la Planta Alta

Para los canales referentes a la banda 1900MHz, se observa que de igual manera el color predominante es el azul es decir en la mayoría del tiempo representa bajos niveles de potencia en sus canales.

Los canales 9, 12 y 13 en ciertas instancias de tiempo presenta niveles de potencias cercanos a los del umbral (-75dBm) por lo que se puede deducir que estos canales presentan una baja disponibilidad en ciertas instancias.

Siguiendo con el recorrido de los canales podemos visualizar que el canal 15 presenta niveles de potencias muy altos ( $Pr \geq -50$  dBm) por lo que en este canal existe una muy baja disponibilidad. Se encuentra representado mediante una tonalidad de color rojo.

Los niveles de potencias recibidos en el canal 16 presentan un comportamiento similar a los obtenidos en los canales 9, 12 y 13. Solo con la novedad que en la mayoría del tiempo predomina una tonalidad de color celeste por lo que se puede concluir que este canal presenta intermitencias de señales pero que en su mayor parte estos se encuentran dentro del umbral establecido.

Una vez conocido el comportamiento de los niveles de potencia recibidos podemos observar el comportamiento de la disponibilidad obtenida en nuestros canales de medición.

En la figura 4.11 representa la disponibilidad de los canales en la planta baja donde observamos que en la mayoría de ellos predomina una tonalidad rojiza.

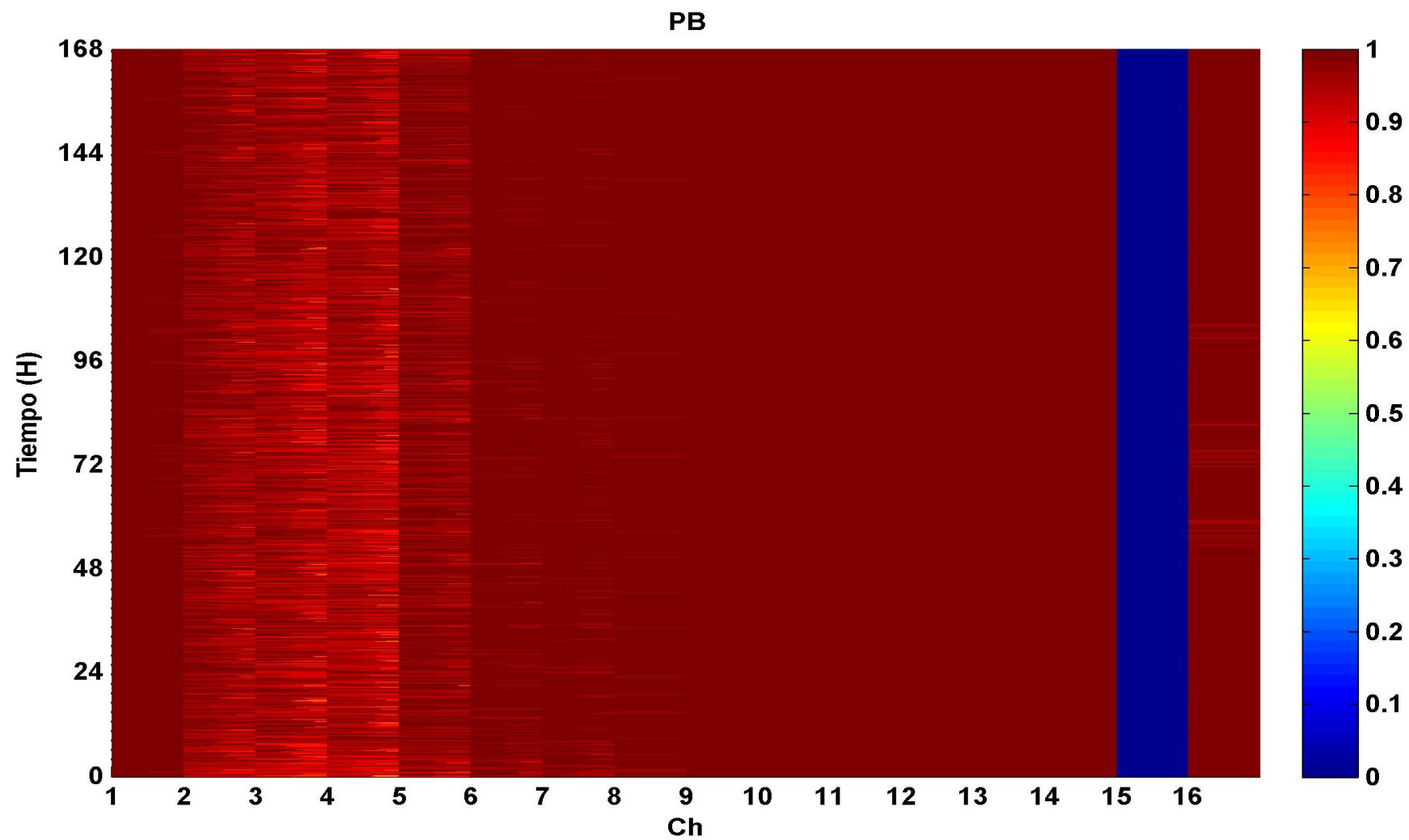


Figura 4.11: Disponibilidad de canales en la Planta Baja

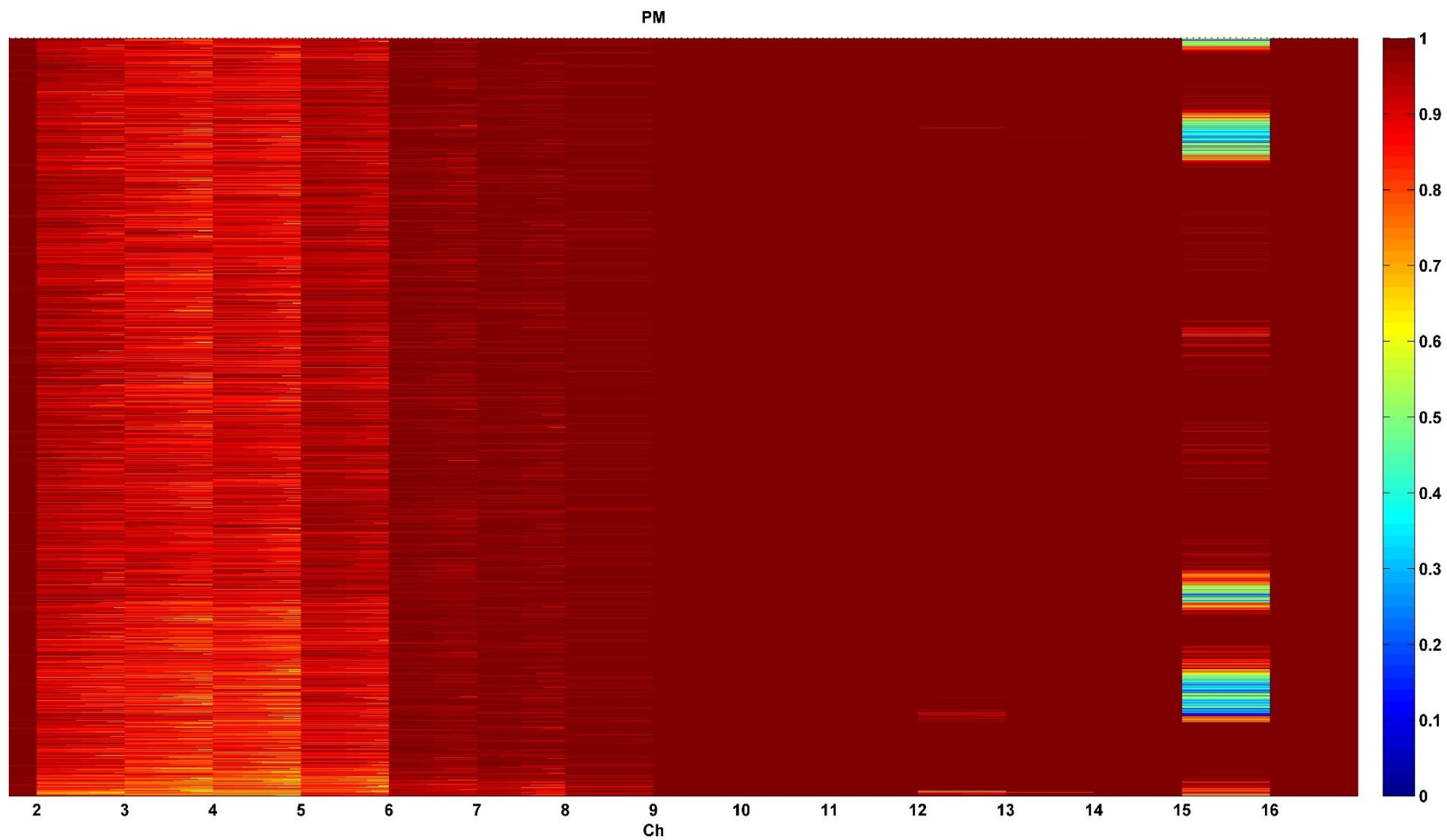


Figura 4.12: Disponibilidad de canales en la Planta media

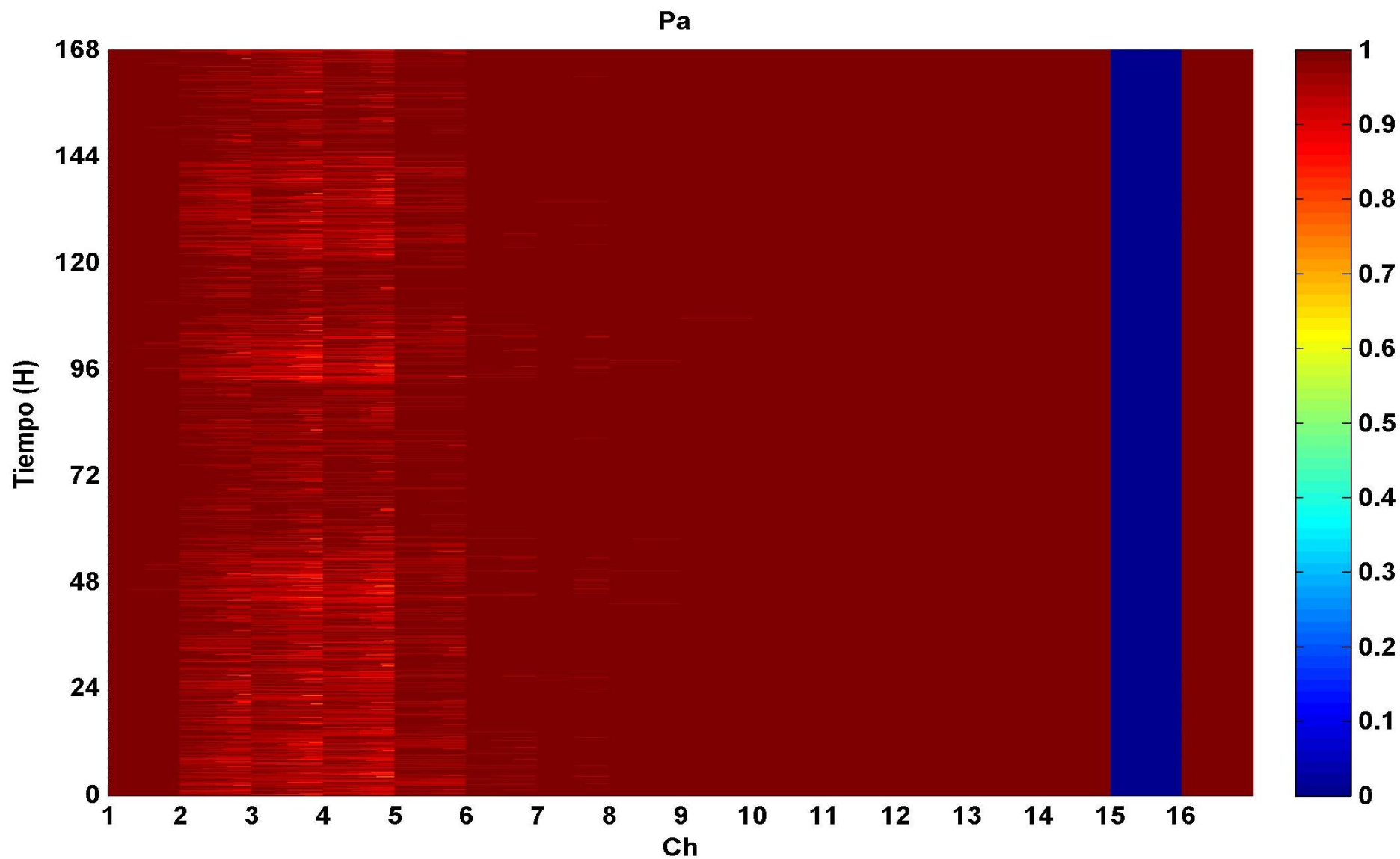


Figura 4.13: Disponibilidad de canales en la Planta Alta

Para los canales referentes a la banda AWS se observa en la figura 4.12 y se identifica que el canal 1 presenta una tendencia a permanecer más tiempo en un estado disponible en comparación a los canales restantes, debido a que presenta una tonalidad más rojiza. Mientras que en los canales asignados a la banda 1900MHz se observa que únicamente el canal 15 se encuentra siendo ocupado durante todo el periodo de medición. Esto es representado mediante una tonalidad azul.

En conclusión, los canales que presentaban muy bajos niveles de potencias recibidos son aquellos que representan altos niveles de disponibilidad.

En la figura 4.13 se observa que la disponibilidad obtenida en la planta alta presenta el mismo comportamiento ya descrito en el párrafo anterior correspondiente a la planta baja.

En la planta media se puede observar una variación en la disponibilidad en comparación a los otros pisos monitoreados. Realizando un barrido a los canales asignados a la banda AWS presentan una tonalidad menos rojiza indicando que estos se encuentran disponibles a pesar de que existe mayor concentración de personas utilizando este sistema. Esto puede ser producido debido a que la altura de la estación base más cercana es similar a la altura de nuestra planta media donde fueron obtenidos estos datos.

El canal 1 presenta una tonalidad rojiza, lo cual implica una disponibilidad total como se puede observar en la figura 4.13

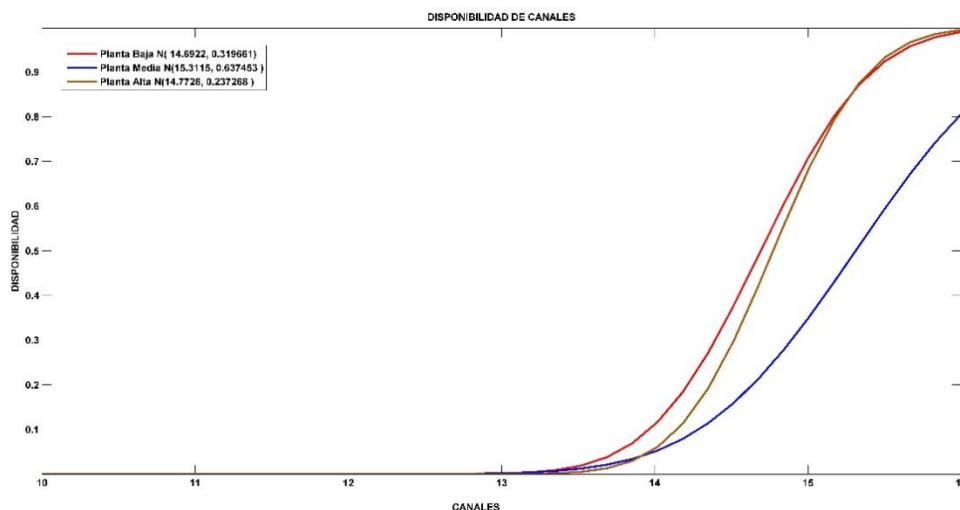
Para los canales correspondientes a los sistemas 3G en este piso demuestran una alta disponibilidad, debido a que los canales 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 16 presentan una tonalidad rojiza.

En canal 15 presenta niveles variables de disponibilidad, debido a que presenta diversas tonalidades. En ciertas instancias de tiempo podemos observar que el canal se encuentra siendo ocupado y en otras instancias está disponible.

En base a lo expuesto se concluye que los sistemas en la mayoría de los tiempos monitoreados se encuentran disponibles y pueden ser tomados en cuenta para la implementación de nuevos sistemas.

#### 4.5 Modelamiento de los datos obtenidos.

Una vez realizado el análisis de los datos obtenidos durante la medición podemos proceder a realizar un análisis global tanto de la banda 1900Mhz para 3G y banda AWS para 4G.



**Figura 4.14: Número de Canales Disponibles**

En la figura 4.14 se observa la CDF de los canales disponibles en el tiempo. La grafica de color azul nos demuestra las mediciones realizadas en la planta media, la de color rojo la planta baja y la de color amarilla los datos de la planta alta.

De la figura se puede observar que la curva de color azul (Planta baja) presenta mayor disponibilidad, con una media de 15 canales disponibles los mismos que pueden ser obtenidos entre 14 y 16 canales.

Para la planta alta la disponibilidad no varía demasiado en comparación a la planta media, debido a que esta presenta una disponibilidad con una media de 14 canales disponibles obtenidos entre 14 y 16 canales. Caso similar se observa en la planta baja debido a que la disponibilidad presentada refleja la misma cantidad de canales disponibles.

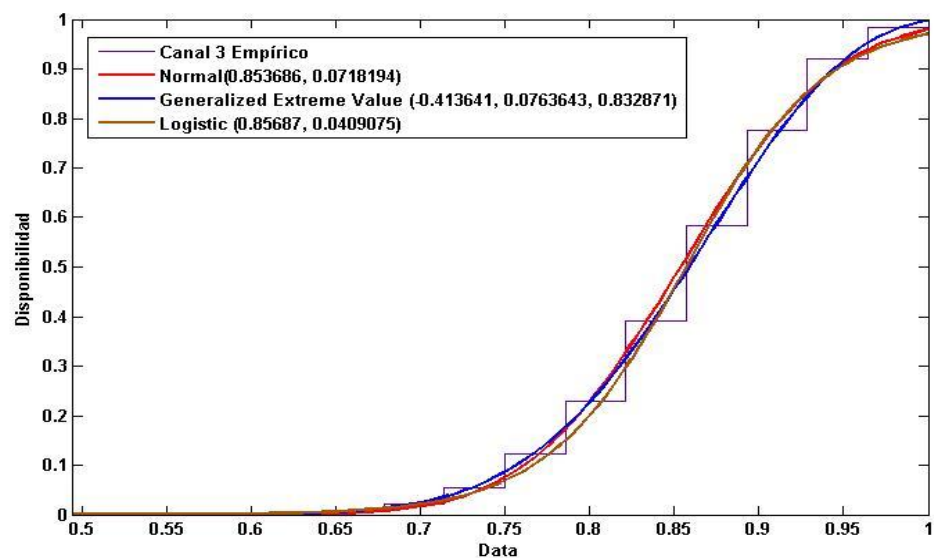
Adicional podemos observar que a pesar de que las mediciones fueron realizadas en tres diferentes pisos del edificio estas presentan valores muy similares con respecto a la varianza.

Con el objetivo de conocer y demostrar la fiabilidad del modelo se procedió a seleccionar de los datos experimentales el canal 3 para nuestros sistemas 4G y el canal 15 para nuestros sistemas 3G.

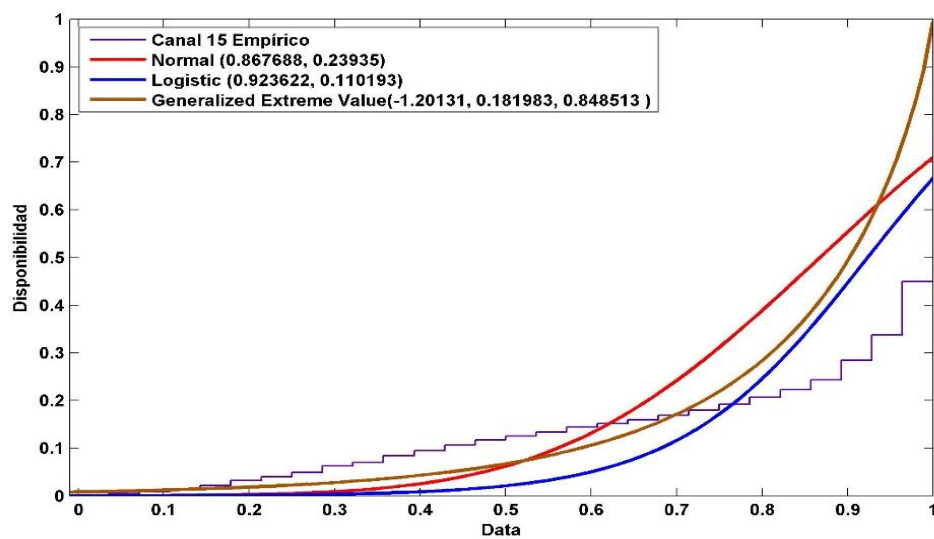
En la Figura 4.15 podemos observar la distribución de probabilidad acumulada de nuestros datos obtenidos en el canal 3 en comparación con tres modelos probabilísticos (Normal, Logistic y Generalized Extreme Value) observando una gran similitud entre ambas. En base a esto podemos concluir que nuestro modelo permite representar el comportamiento estadístico de nuestro canal.

El mismo procedimiento realizó para el canal 15. Una vez obtenida nuestra CDF procedimos a compararla con nuestros tres modelos probabilísticos (mencionados en el canal anterior) comprobando que nuestro modelo de igual manera permite representar un comportamiento estadístico, como se observa en la Figura 4.16



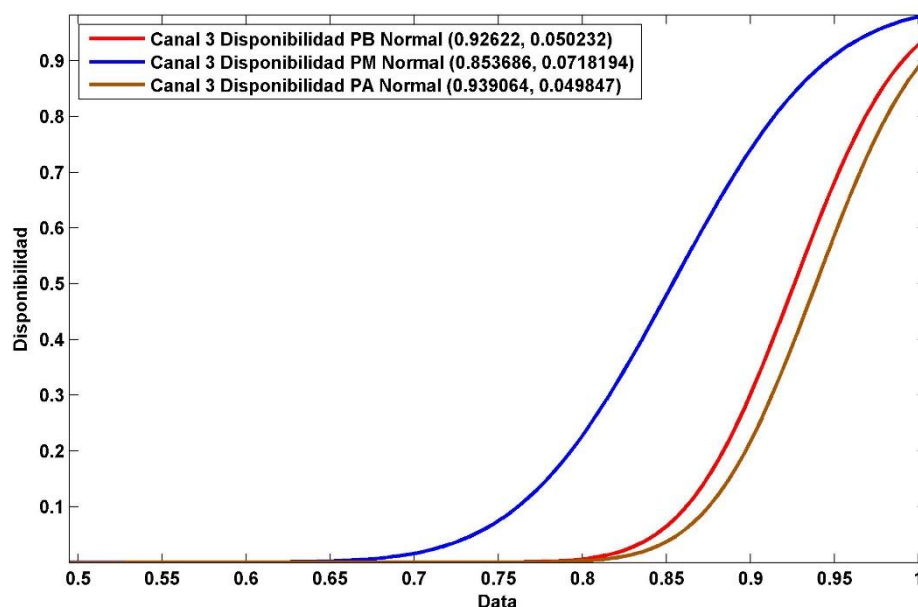


**Figura 4.15: Modelamiento de canal correspondiente a la banda AWS**



**Figura 4.16: Modelamiento de canal correspondiente a la banda 1900Mhz**

Adicional podemos observar que los parámetros “ $\mu$ ,  $\kappa$  y  $\sigma$ ” de nuestras funciones utilizadas para realizar el Modelamiento pueden variar dependiendo del comportamiento del canal.



**Figura 4.17: CDF de la disponibilidad por pisos**

En la figura 4.17 podemos observar la disponibilidad de un canal asignado a la banda AWS en la parte alta, media y baja. De la cual podemos observar que la curva correspondiente a la planta alta es la que representa mayor disponibilidad.

Mientras que la gráfica de color la cual representa a la planta baja es la que menos disponibilidad presenta, pudiendo concluir que en esta la disponibilidad presenta mayor intermitencia, mostrando una mayor concentración de uso del espectro. Esto debido al efecto ocasionado por la altura y ubicación de la estación base más cercana.

Para los canales asignados a la banda 1900 MHz podemos concluir que la disponibilidad es una constante en los tres puntos de medición. Es

decir, el canal se encuentra en la mayor parte del tiempo o totalmente disponible o en su defecto totalmente utilizado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Para el presente proyecto realizado se pudo detectar que para la planta media tenemos disponibles aproximadamente 75MHz con una varianza de 0.63Mhz, por ende, nuestro ancho de banda utilizable se encuentra entre 73.11MHz a 76.89Mhz con una probabilidad de concurrencia del 99% obtenidos debido a los 15 canales disponibles durante la medición. Mientras que para la planta alta y baja se tiene disponibles 70MHZ con una varianza igual a 0.30Mhz con un ancho de banda utilizable entre 69.1MHz a 70.90Mhz aproximadamente con una probabilidad del 99% debido a que para estos escenarios solo se tienen disponibles 14canales aproximadamente.
2. Las curvas de disponibilidad obtenida en base a los datos experimentales fueron modeladas con tres funciones estadísticas "Normal, Logistic y Generalized Extreme Value", de lo cual podemos concluir que la función Normal es la que más se ajusta a nuestra curva experimental con  $\mu = 0.8532$  y  $k = 0.0742$  para los canales asignados a la banda AWS y una  $\mu = 0.8672$  y  $k = 0.02400$  para los canales correspondientes a la banda 1900Mhz.
3. Podemos concluir que el espectro analizado se encuentra la mayor parte del tiempo disponible; sin embargo, se observa que el comportamiento del espectro en el tiempo presenta mayor densidad de uso en los horarios laborables; es decir de lunes a viernes en el rango de las 08:00 AM hasta las 05:00 PM.
4. Debido a que el sistema refleja una muy alta disponibilidad, es posible la implementación de nuevos sistemas de cobertura como por ejemplo las femtoceldas, teniendo en consideración que las potencias emitidas por estos usuarios no afecten de alguna manera al usuario primario (Interferencia).

### **Recomendaciones**

1. Es recomendable para la realización del proyecto utilizar antenas con altas ganancias y cables de muy bajas pérdidas para evitar el uso de equipos amplificadores; así como evitar la inducción de mayor ruido en nuestros datos de potencia.
2. Se recomienda utilizar equipos u ordenadores de muy buena tecnología con puerto Giga Ethernet que sean capaces de soportar los diferentes programas utilizados en el presente proyecto. De igual manera es recomendable mantener nuestro ordenador conectado a una red de Internet con el objetivo de monitorear en tiempo real nuestras mediciones a través de Teamviewer y de esta manera evitamos que el programa deje de funcionar.
3. Con el objetivo de optimizar los tiempos de las mediciones es recomendable utilizar un clúster de equipos USRP; de esta manera podremos tomar o capturar los niveles de potencia en los tres pisos del edificio del SRI de manera simultánea reduciendo de esta manera nuestros tiempos de captura.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Resoluciones Conatel por Ing. Jaime Guerrero Ruiz. Disponible en:[http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012\\_.pdf](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf) (Consultado el 21 de Noviembre del 2015).
- [2] Más espacios en las bandas para 4G [Online]. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/02/26/nota/4592656/mas-espacios-bandas-4g>.
- [3] (2015, Febrero). Gobierno firma contratos con Claro y Movistar [Online]. Disponible en:<http://www.elcomercio.com/actualidad/gobierno-contratos-claro-movistar-espectro.html>.
- [4] Ing. Edgar Ochoa Figueroa. Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica (2013). Título de Postgrado [Online] Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/349/3/Tesis.pdf>
- [5] Soluciones a los problemas de telefonía móvil [Online]. Disponible en: <http://www.20minutos.es/noticia/1565282/0/soluciones/falta-cobertura/telefono-movil/>
- [6] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. “Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 ISBN-978-9942-07-448-5” Senplades, 2013 Quito, Ecuador.
- [7] Dr. Javier Gómez Jurado. (2015, Marzo). Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador. Disponible en <http://corporativo.cnt.gob.ec/wp-content/uploads/2014/07/LIBRO-CNT-WEB.pdf> pág. 133
- [8] Con más espacios en la banda para 4G [Online]. Disponible en:<http://www.eluniverso.com/noticias/2015/02/26/nota/4592656/mas-espacios-bandas-4g>
- [9] Dr. Javier Gómez Jurado. (2015, Marzo). Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador. Disponible en: <http://corporativo.cnt.gob.ec/wp-content/uploads/2014/07/LIBRO-CNT-WEB.pdf> pág. 135
- [10] Tecnologías LTE - Móvil 4G [Online]. Disponible en: <http://lte-movil4g.blogspot.com/2013/04/en-ecuador-cnt-comienza-desplegar-su.html>.
- [11] Magdalena Nohrborg. “LTE”. [Online]. Disponible en: [3GPPhttp://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte](http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte)

[12](Enero, 2014) “Arquitectura LTE” [Online]. Disponible en: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/136900\\_136999/136913/12.00.00\\_60/tr\\_136913v120000p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136913/12.00.00_60/tr_136913v120000p.pdf).

[13](Abril, 2014) “The LTE standart” [Online]. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjS\\_7PGj9rJAhXERyYKHeS7C9kQFggoMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.qualcomm.com%2Fmedia%2Fdocuments%2Ffiles%2Fthe-lte-standard.pdf&usq=AFQjCNGnKtHHFFksbP7wJDaHNtnqr9Kb4Q&sig2=PfzdlmLnEjn3CvmHh31MtQ](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjS_7PGj9rJAhXERyYKHeS7C9kQFggoMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.qualcomm.com%2Fmedia%2Fdocuments%2Ffiles%2Fthe-lte-standard.pdf&usq=AFQjCNGnKtHHFFksbP7wJDaHNtnqr9Kb4Q&sig2=PfzdlmLnEjn3CvmHh31MtQ)

[14] (Enero, 2014) “Arquitectura LTE” [Online]. Disponible en: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136300/12.07.00\\_60/ts\\_136300v120700p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/12.07.00_60/ts_136300v120700p.pdf) pág. 23.

[15] “Tecnología 4G”. [Online]. Disponible en: [http://www.ecured.cu/Tecnolog%C3%ADa\\_4G](http://www.ecured.cu/Tecnolog%C3%ADa_4G)

[16] Long-Term Evolution (LTE): The vision beyond 3G [Online]. Disponible en: <http://www.mobilitytechzone.com/topics/4g-wirelessevolution/articles/Nortel%20LTE%20The%20vision%20beyond%203G.pdf>

[17] El espectro y la multiplexión en LTE [Online]. Disponible en: <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/34-el-espectro-y-la-multiplexion-en-lte>.

[18] OFDM vs OFDMA [Online]. Disponible en: [http://www.rfwireless-world.com/Articles/OFDM\\_versus\\_OFDMA.html](http://www.rfwireless-world.com/Articles/OFDM_versus_OFDMA.html)

[19]”Blog de las Telecomunicaciones” [Online]. Disponible en: [http://www1.telemessage.com/upload/infocenter/info\\_images/~15082005184643IEE%20Paper.pdf](http://www1.telemessage.com/upload/infocenter/info_images/~15082005184643IEE%20Paper.pdf) pág. 19

[20] Moray Rumney BSc. “3GPP Introducing Single-Carrier FDMA” [Online]. Disponible en: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7898EN.pdf> pág. 5.

[21] Marcin Dryjanski. “LTE PHY Layer Engineering” [Online]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/IS-Wireless/lte-phy-layer-engineering> pág. 4

[22] Héctor Menéndez. “Agregación de portadoras de LTE y el reto de la capacidad masiva” [Online]. Disponible en: <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/agregacion-de-portadoras-de-lte-y-el-reto-de-la-capacidad-masiva>

[23] Jeanette Wannstrom. "Carrier Aggregation explained" [Online]. Disponible en:<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>

[24] "Impact of small cell deployment on device and application quality of experience" [Online]. Disponible en:<http://resources.alcatel-lucent.com/asset/191406>.

[25] José Fernando Restrepo. "Capítulo 1" [Online]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4836/9/josefernandorestrepopedrahit.2011.parte5.pdf>

[26] David Nowoswiat. "Gestión del tráfico de señalización de la red troncal de LTE" [Online]. Disponible en: <https://techzine.alcatel-lucent.com/es/gestion-del-trafico-de-senalizacion-de-la-red-troncal-de-lte>

[27] "LTE MMEA Core Connector for LTE" [Online]. Disponible en: <http://www.rcrwireless.com/20140509/wireless/lte-mme-epc>

[28] ALCATEL. "Introduction to Evolved Packet" [Online]. Disponible en: [Core\[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiC6OrepO3JAhWFLyYKHUH7AAEQFghKMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww3.alcatel-lucent.com%2Fwps%2FDocumentStreamerServlet%3FLMSG\\\_CABINET%3DDocs\\\_and\\\_Resource\\\_Ctr%26LMSG\\\_CONTENT\\\_FILE%3DWhite\\\_Papers%2FIntro\\\_EPC\\\_wp\\\_0309.pdf&usq=AFQjCNEgwQ1D4LpM-IrlBkxV8owPK\\\_LbNA&sig2=EJpUYkUAEf2vmFSQvW-ahw&bvm=bv.110151844,d.eWE\]\(https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiC6OrepO3JAhWFLyYKHUH7AAEQFghKMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww3.alcatel-lucent.com%2Fwps%2FDocumentStreamerServlet%3FLMSG\_CABINET%3DDocs\_and\_Resource\_Ctr%26LMSG\_CONTENT\_FILE%3DWhite\_Papers%2FIntro\_EPC\_wp\_0309.pdf&usq=AFQjCNEgwQ1D4LpM-IrlBkxV8owPK\_LbNA&sig2=EJpUYkUAEf2vmFSQvW-ahw&bvm=bv.110151844,d.eWE\) pag 6.](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiC6OrepO3JAhWFLyYKHUH7AAEQFghKMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww3.alcatel-lucent.com%2Fwps%2FDocumentStreamerServlet%3FLMSG_CABINET%3DDocs_and_Resource_Ctr%26LMSG_CONTENT_FILE%3DWhite_Papers%2FIntro_EPC_wp_0309.pdf&usq=AFQjCNEgwQ1D4LpM-IrlBkxV8owPK_LbNA&sig2=EJpUYkUAEf2vmFSQvW-ahw&bvm=bv.110151844,d.eWE)

[29] "Packet Data Network (PDN) SAE Gateway or PGW" [Online]. Disponible en: [http://www.fullchipdesign.com/tyh/pdn\\_pgw\\_lte\\_4g.htm](http://www.fullchipdesign.com/tyh/pdn_pgw_lte_4g.htm)

[30] (Febrero, 2014) "4G Americas Report on 3GPP Release 11 and 12 Standards" [Online]. Disponible en: [http://www.3gpp.org/news-events/partners-news/1582-4g\\_americas\\_r11\\_r12](http://www.3gpp.org/news-events/partners-news/1582-4g_americas_r11_r12)

[31] Ministerio de Industria, Energía y turismo de España. "Estudio sobre los requisitos técnicos que permitan caracterizar la cobertura con tecnología LTE necesaria para proporcionar determinados servicios de datos" [Online]. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/cobertura/Otros%20documentos%20interes/Estudio-requisitos-tecnicos-coberturaLTE.pdf>

[32] (Noviembre, 2015) "Banda Ancha Móvil 4G Americas" [Online]. Disponible en: [http://www.4gamericas.org/files/1314/4795/3473/4G\\_Americas\\_Presentacion\\_-\\_Mexican\\_Telco\\_Forum\\_Nov\\_2015.pdf](http://www.4gamericas.org/files/1314/4795/3473/4G_Americas_Presentacion_-_Mexican_Telco_Forum_Nov_2015.pdf)



[33] "LTE- Advanced (3GPP Rel.12)" [Online]. Disponible en: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma252/1MA252\\_2e\\_LTE\\_Rel12\\_technology.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma252/1MA252_2e_LTE_Rel12_technology.pdf)

[34]"Testing LTE-Advanced" [Online]. Disponible en: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma166/1MA166\\_3e\\_LTE\\_A\\_Testing.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma166/1MA166_3e_LTE_A_Testing.pdf)

[35](Enero, 2016) Movistar "4G LTE" [Online]. Disponible en:[http://www.movistar.com.ec/documents/10184/922656/mapa\\_gye2.jpg/c7281728-9d99-4693-ad2f-66acf52923b7?t=1448922481066](http://www.movistar.com.ec/documents/10184/922656/mapa_gye2.jpg/c7281728-9d99-4693-ad2f-66acf52923b7?t=1448922481066)

[36] (Noviembre, 2015) "Banda Ancha Móvil 4G Americas" [Online]. Disponible en:[http://www.4gamericas.org/files/9214/3991/2167/4G\\_Americas\\_Rysavy\\_Research\\_LTE\\_and\\_5G\\_Innovation\\_white\\_paper.pdf](http://www.4gamericas.org/files/9214/3991/2167/4G_Americas_Rysavy_Research_LTE_and_5G_Innovation_white_paper.pdf) pág. 14

[37] "Femtoceldas, definición y usos en la actualidad" [Online] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Femtocelda>.

[38] Ministerio de Industria, Energía y turismo de España. "Estudio sobre los requisitos técnicos que permitan caracterizar la cobertura con tecnología LTE necesaria para proporcionar determinados servicios de datos" [Online]. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/cobertura/Otros%20documentos%20interes/Estudio-requisitos-tecnicos-coberturaLTE.pdf>

[39] "Distribución Bernoulli y Distribución Binomial" [Online]. Disponible en:<http://es.slideshare.net/sonylockheart/distribucion-bernoulli-y-distribucion-binomial>

[40] "Kolmogorov-Smirnov Test" [Online]. Disponible en: <http://www.physics.csbsju.edu/stats/KS-test.html>

[41] Juan Alexis V. "Estudio y diseño de una red inalámbrica de banda Ancha para ofrecer servicios de voz y datos en las comunidades del milenio ". "Título de Grado". Departamento de eléctrica y electrónica". [Online]. Disponible en: [https://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9729/1/T-ESPE-048502.pdf&ved=0ahUKEwi7\\_ZXhmNzJAhWENZ4KHRc1A-gQFggcMAE&usg=AFQjCNEeNAk\\_\\_ZRTv\\_n2HTLwNI3SfRtJ8w&sig2=N7KilqUu6RPXgQ\\_8Ca\\_HSw](https://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9729/1/T-ESPE-048502.pdf&ved=0ahUKEwi7_ZXhmNzJAhWENZ4KHRc1A-gQFggcMAE&usg=AFQjCNEeNAk__ZRTv_n2HTLwNI3SfRtJ8w&sig2=N7KilqUu6RPXgQ_8Ca_HSw)

[42]"Radio cognitiva y clases – Capitulo 2" [Online]. Disponible en:<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/894/A5.pdf?sequence=5>

[43] (Abril, 2010). "Radio Cognitiva: Nuevos usos del espectro" [Online]. Disponible en: <http://www.gradiant.org/es/actualidad/noticias/199-radio-cognitiva-nuevos-usos-del-espectro.html>

[44] (Abril, 2010). "Radio Cognitiva: Nuevos usos del espectro" [Online]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Radio\\_cognitiva](https://es.wikipedia.org/wiki/Radio_cognitiva)

[45] (Marzo, 2004). Gregory Staple, Kevin Werbach. "The End of Spectrum Scarcity"[Online].Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/the-end-of-spectrum-scarcity>.

[46]Daniel Ospina [Online]. Disponible en: Aplicación de esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en ambientes inalámbricos heterogéneos Autores: Daniel Ospina, Andrés F. Ocampo, Roberto Hincapié.

[47] Rashid Abdelhaleem Saeed, Stephen J. Shellhammer. [Online]. Disponible en: TV White Space Spectrum Technologies: Regulations, Standards, and Applications.

[48] Zonas Urbanas y rurales [Online]. Disponible en: <http://diferenciaentre.info/diferencia-entre-rural-y-urbano/>

[49] "Qué es CSFB y SRVCC en LTE?". Disponible en: <http://www.telecomhall.com/es/que-es-csfb-y-srvcc-en-lte.aspx>

[50]

[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5441/CALDERON\\_JOSE\\_ENLACE\\_SUBIDA\\_LTE\\_ADVANCED\\_PORTADORAS\\_INTER\\_BANDA.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5441/CALDERON_JOSE_ENLACE_SUBIDA_LTE_ADVANCED_PORTADORAS_INTER_BANDA.pdf?sequence=1)

[51]Plan Nacional De Frecuencias En El Ecuador Periodo 2012. Disponible en:[http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan\\_nacional\\_frecuencias\\_2012.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf)

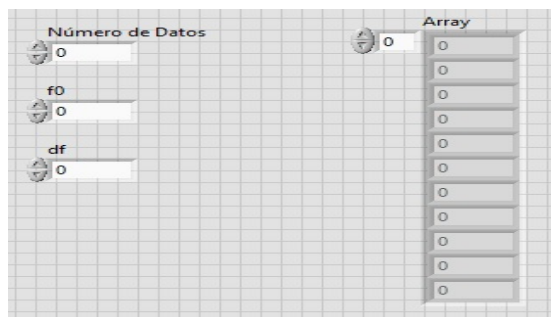
[52] "Búsquedas de coberturas en el Ecuador". Disponible en: [www.opensignal.com](http://www.opensignal.com)

## ANEXOS

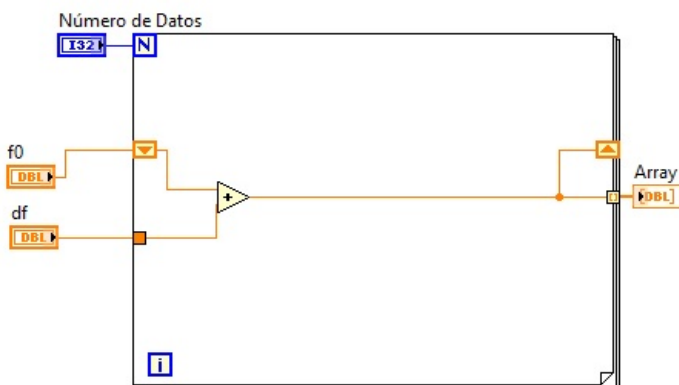
### Anexo 1

#### Gen Frec.vi

##### Panel Frontal



##### Diagrama de Bloques



### Anexo 2

#### Grabar.vi

##### Panel Frontal

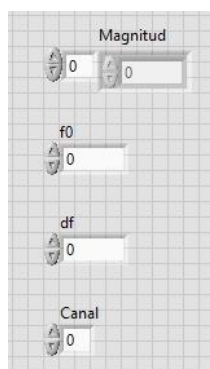
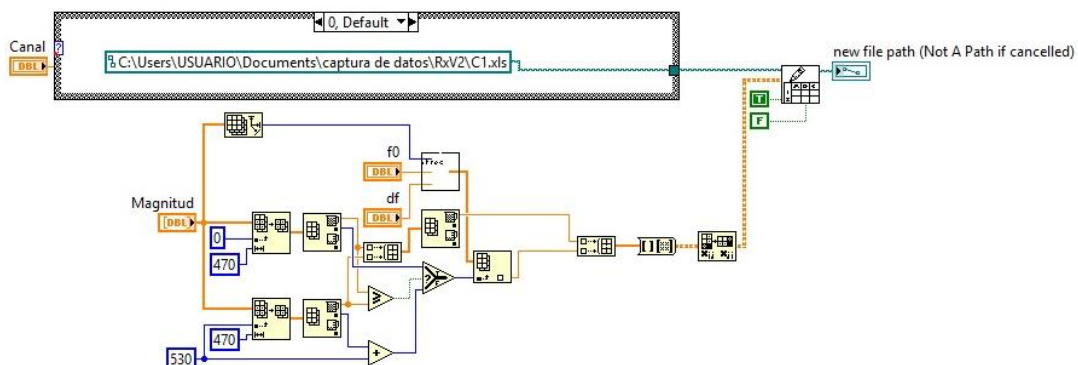


Diagrama de Bloques



Anexo 3

Grabar.vi

Panel Frontal

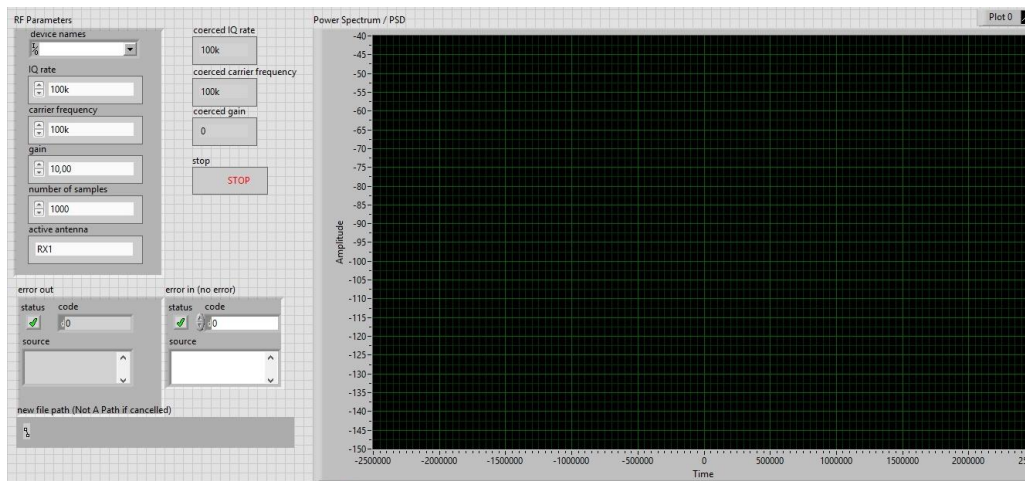
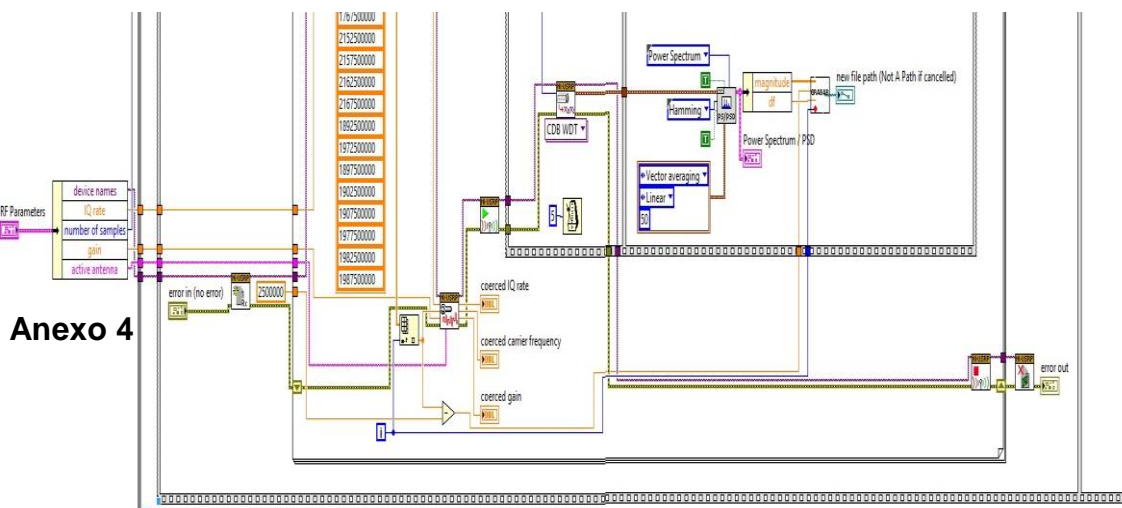


Diagrama de Bloques



### Estaciones Asignadas a las frecuencias monitoreadas.

1710-2025 Mhz		
REGION 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Usa)
1710-1930 FIJO MÓVIL 5.384A 5.388A MOD 5.388B 5.149 5.341 5.385 5.386 5.388	1710-1930 FIJO MÓVIL 5.384A 5.388A 5.149 5.341 5.385 5.386 5.388	1710-1930 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT)
1930 - 1970 FIJO MÓVIL 5.388A MOD 5.388B Móvil por satélite(Tierra-espacio) 5.388	1930 - 1970 FIJO MÓVIL 5.388A MOD 5.388B  5.388	1930 - 1970 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT)
1970 - 1980 FIJO MÓVIL 5.388A 5.388B MOD 5.389B 5.388	1970 - 1980 FIJO MÓVIL 5.384A 5.389B 5.388	1970 - 1980 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT)
1980 - 2010 FIJO MÓVIL Móvil por satélite(Tierra-espacio) 5.351A 5.388 5.389A 5.389B	1980 - 2010 FIJO MÓVIL  5.388	1980 - 2010 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT)
2010-2025 FIJO MÓVIL Móvil por satélite(Tierra-espacio) 5.388 5.389C 5.389E	2010-2025 FIJO MÓVIL  5.388	2010-2025 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT)

2025-2170 Mhz		
REGION 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Usa)
2025-2110 OPERACIONES ESPECIALES (Tierra-Espacio)(Espacio-Espacio) EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (Tierra-Espacio)(Espacio-Espacio) FIJO MÓVIL 5.391 INVESTIGACION ESPACIAL (Tierra- Espacio)(Espacio-Espacio) 5.392	2025-2110 OPERACIONES ESPECIALES (Tierra-Espacio)(Espacio-Espacio) EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE (Tierra-Espacio)(Espacio- Espacio) FIJO MÓVIL 5.391 INVESTIGACION ESPACIAL (Tierra- Espacio)(Espacio-Espacio) 5.392	
2110-2120 FIJO MÓVIL 5.388A MOD 5.388B INVESTIGACION ESPACIAL (Tierra- Espacio)(Espacio-Espacio) 5.388	2110-2120 FIJO MÓVIL 5.388A  5.388	2110-2120 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT)
2120-2160 FIJO MÓVIL 5.388A MOD 5.388B Móvil por satélite(Espacio-Tierra) 5.388	2120-2160 FIJO MÓVIL 5.388A  5.388	2120-2160
2160-2170 FIJO MÓVIL Móvil por satélite(Espacio-Tierra) 5.388 5.389C 5.389E	2160-2170 FIJO MÓVIL  5.388	2160-2170

## Anexo 5

## Ajuste de parámetros en curvas estadísticas.

Planta Alta

CHANNEL	F.E.1		F.E.2		F.E.3			Dn	KS1
	$\mu$	K	$\mu$	K	$\mu$	K	$\sigma$		
CH1	0.999046	0.00576054	0.999948	0.0009554198	0.999561	0.00101625	-2.31665	0.02	Acepta
CH2	0.959821	0.0418978	0.964387	0.0229809	0.939759	0.0758301	-1.25878	0.02	Acepta
CH3	0.939187	0.0497658	0.943121	0.0282455	0.944969	0.0623819	-1.13357	0.02	Acepta
CH4	0.937108	0.0511142	0.941048	0.0287565	0.939315	0.0749086	-1.23439	0.02	Acepta
CH5	0.964865	0.0371059	0.968821	0.0204603	0.950419	0.0603383	-1.21696	0.02	Acepta
CH6	0.989606	0.0201135	0.994098	0.00976178	0.987723	0.0147303	-1.1998	0.02	Acepta
CH7	0.993423	0.0159703	0.99749	0.00651611	0.994895	0.00755686	-1.48031	0.02	Acepta
CH8	0.993269	0.0157717	0.997265	0.00665309	0.994017	0.00850501	-1.42149	0.02	Acepta
CH9	0.998245	0.0200751	0.99994	0.00175504	0.999891	0.000435752	-3.98204	0.02	Acepta
CH10	0.999966	0.00110295	1	3.40785e-05	1	3.94018e-08	-7.77412	0.02	Acepta
CH11	0.999966	0.00110295	1	3.40785e-05	1	3.94018e-08	-7.77412	0.02	Acepta
CH12	0.999881	0.00206097	0.999999	0.000119275	0.999989	4.72843e-05	-4.14797	0.02	Acepta
CH13	0.998535	0.00988436	0.999917	0.00146538	0.999635	0.00106492	-2.92116	0.02	Acepta
CH14	0.999949	0.00135052	1	5.11178e-05	1	8.83501e-07	-6.20637	0.02	Acepta
CH15	N.A	N.A	1e-06	-7.21724e-11	N.A	N.A	N.A	0.02	Acepta
CH16	0.99983	0.00291456	0.999999	0.000170393	0.999996	1.7998e-05	-4.84647	0.02	Acepta

Planta Media

CHANNEL	F.E.1		F.E.2		F.E.3			Dn	KS1
	$\mu$	K	$\mu$	K	$\mu$	K	$\sigma$		
CH1	0.99841	0.00753438	0.999855	0.00159037	0.999057	0.00206808	-2.19352	0.02	Accepta
CH2	0.90093	0.0624376	0.905254	0.0347722	0.887279	0.0683222	-0.547773	0.02	Accepta
CH3	0.853686	0.0718194	0.85687	0.0409075	0.832871	0.0763643	-0.413641	0.02	Accepta
CH4	0.855604	0.0740657	0.859766	0.0420635	0.835205	0.0792275	-0.442065	0.02	Accepta
CH5	0.907326	0.063011	0.912209	0.0346541	0.895805	0.0696573	-0.615334	0.02	Accepta
CH6	0.971961	0.0327514	0.975647	0.017871	0.957845	0.0451642	-1.07139	0.02	Accepta
CH7	0.977752	0.0313512	0.98235	0.0164243	0.977931	0.0266652	-1.20826	0.02	Accepta
CH8	0.981797	0.0267019	0.985795	0.0141366	0.979436	0.0220883	-1.07411	0.02	Accepta
CH9	0.999965	0.00111093	1	3.45734e-05	1	4.30038e-08	-7.45186	0.02	Accepta
CH10	1	0	1	1e-06	1	0	0	N.A	N.A
CH11	1	0	1	1e-06	1	0	0	N.A	N.A
CH12	0.997182	0.0302366	0.999857	0.00281773	0.999917	0.000359013	-4.31421	0.02	Accepta
CH13	0.999257	0.00962896	0.999985	0.000743327	0.999977	0.000105239	-4.50127	0.02	Accepta
CH14	1	0	1	1e-06	1	0	0	N.A	N.A
CH15	0.867688	0.23935	0.923622	0.110193	0.848513	0.181983	-1.20131	0.02	Accepta
CH16	1	0	1	1e-06	1	0	0	N.A	N.A



Planta Baja

CHANNEL	F.E.1		F.E.2		F.E.3			Dn	KSI
	$\mu$	K	$\mu$	K	$\mu$	K	$\sigma$		
CH1	0.998586	0.00705336	0.999885	0.00141426	0.99911	0.00194124	-2.18062	0.02	Accepta
CH2	0.949138	0.0425087	0.952373	0.02339932	0.944612	0.0630008	-1.13745	0.02	Accepta
CH3	0.926424	0.0501351	0.929238	0.0284867	0.916819	0.0559366	-0.599585	0.02	Accepta
CH4	0.912606	0.0545086	0.915195	0.0311346	0.899841	0.0594468	-0.51864	0.02	Accepta
CH5	0.95321	0.0416294	0.956676	0.0234303	0.962597	0.0445756	-1.19177	0.02	Accepta
CH6	0.985261	0.023693	0.989484	0.0125113	0.981525	0.0205209	-1.11075	0.02	Accepta
CH7	0.988481	0.0212542	0.99296	0.0105626	0.986741	0.0154692	-1.16672	0.02	Accepta
CH8	0.988686	0.020282	0.992805	0.0103152	0.987937	0.0142798	-1.18375	0.02	Accepta
CH9	0.999898	0.00190855	0.99999	0.000102236	0.999997	1.41113e-05	-4.71181	0.02	Accepta
CH10	0.999898	0.00190855	0.99999	0.000102236	0.999997	1.41113e-05	-4.71181	0.02	Accepta
CH11	0.999898	0.00190855	0.99999	0.000102236	0.999997	1.41113e-05	-4.71181	0.02	Accepta
CH12	0.999847	0.00233581	0.999999	0.000153353	0.999991	3.49925e-05	-3.82993	0.02	Accepta
CH13	0.999864	0.00220275	0.999999	0.000136314	0.999991	3.7638e-05	-4.16965	0.02	Accepta
CH14	0.999864	0.00220275	0.999999	0.000136314	0.999991	3.7638e-05	-4.16965	0.02	Accepta
CH15	N.D	N.D	1e-06	-7.21724e-11	0	0	0	N.D	ND
CH16	0.991106	0.0265524	0.997117	0.00875546	0.993324	0.0125655	-1.88227	0.02	Accepta