



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y
Computación**

“DISEÑO DE MECANISMOS PARA MEDICIÓN ESPECTRAL Y
MODELADO DE CANALES DE LA BANDA GSM PARA UN
POSIBLE USO POR DISPOSITIVOS BASADOS EN OSA, EN
UN EDIFICIO DEL NORTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**CRISTHIAN ANIBAL BAZURTO MURILLO
CHRISTYAN ISRAEL IDROVO ORTIZ**

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por la oportunidad que nos ha brindado para realizar este proyecto y aprender de él.

A nuestros padres que día a día nos motivaron a seguir adelante, nos apoyaron y nos brindaron su apoyo incondicional en nuestros estudios.

A los profesores por haber sido nuestros guías en nuestros estudios de los cuales nos capacitaron arduamente y profesionalmente para poder haber elaborado este proyecto integrador.

También agradecer al comandante de la fuerza aérea ecuatoriana Sr. Frank Cevallos por ayudar en el préstamo de la edificación para realizar el estudio. Al Ingeniero Washington Medina por haber sido nuestro tutor de tesis y compartir sus conocimientos para la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios sobre todas las cosas por haberme dado salud y motivación en mi vida universitaria. Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, especialmente a mi madre por confiar en mí y creer en mí y en mis expectativas. A mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías, tristezas y a todas aquellas personas que durante esta etapa estuvieron a mi lado apoyándome logrando que este sueño se haga realidad.

Christyan Idrovo Ortiz

Deseo dedicar el presente proyecto integrador a Dios por ser el motor de mis días y darme la fuerza para terminar con éxito cada una de las metas propuestas a lo largo del arduo camino de esta ingeniería, brindándome salud, entendimiento y sabiduría en cada proceso realizado. Gracias a mis padres por apoyarme desde el primer día y creer en mí; enseñándome a valorar cada sacrificio hecho por ellos desde mi tierra natal Esmeraldas. Gracias a mis hermanas Karen y Kelly por ser una fuente diaria de inspiración y motivación. Gracias a mis tíos Ricardo y María por acogerme en su hogar y hacerme sentir como en casa a la distancia. Gracias al distinguido Padre Vicente Vivero quien por medio del colegio Sagrado Corazón de Esmeraldas me brindó apoyo económico para sustentar mis estudios, pero sobre todo me ofreció su amistad llegando a ser como un padre para mí. Gracias a cada uno de mis amigos y compañeros con quienes compartí esta etapa de mi vida. Finalmente, agradecer a Carolina Cedeño por estar presente en los momentos que más lo necesité siendo un pilar fundamental en mi vida para avanzar en mis estudios mejorando como persona y futuro profesional.

Cristhian Basurto Murillo

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
MSc. Washington Medina Moreira
PROFESOR EVALUADOR

.....
MSc. Luis Vásquez Vera
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"

.....
Cristhian Anibal Basurto Murillo

.....
Christyan Israel Idrovo Ortiz

RESUMEN

La finalidad del presente proyecto es determinar en los canales de la banda GSM la disponibilidad del espectro radioeléctrico, para implementar sistemas que funcionen con OSA aprovechando el ancho de banda disponible encontrado.

Se identifica la problemática junto a su concerniente solución en el capítulo 1, en el mismo se determinan los objetivos a cumplidos, la metodología empleada y el alcance del vigente proyecto.

En el capítulo 2 se define el espectro radioeléctrico, se mencionan estudios realizados sobre la disponibilidad del espectro radioeléctrico, se detalla el sistema GSM, el Plan Nacional de Frecuencias, se define la interferencia y el dispositivo de medición utilizado.

En el capítulo 3 se describe el lugar de desarrollo del estudio, así como la metodología utilizada en la recepción de los niveles de potencia, tratamiento y validación de datos. En este capítulo se detalla cada algoritmo utilizado para la toma de decisiones a partir de un valor umbral, el cual fue determinado a través de un histograma obtenido de los datos capturados.

Por último, se presentan en el capítulo 4 los resultados conseguidos a través de graficas obtenidas en el presente estudio, las cuales se originan de un estudio estadístico aplicado a los datos capturados para cumplir con los objetivos planteados en un inicio.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
RESUMEN	v
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
ABREVIATURAS.....	xi
SIMBOLOGÍA.....	xiii
CAPÍTULO 1	1
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	1
1.1. Definición de problema.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Alcance	4
1.5. Metodología	5
CAPÍTULO 2	7
2. ESTADO DEL ARTE	7
2.1. Espectro radioeléctrico.....	8
2.2. Plan Nacional de Frecuencias.....	10
2.3. Interferencia	10
2.4. RTL-SDR.....	10

2.5. Sistema de Telecomunicaciones de la Tecnología GSM	11
2.6 Arquitectura GSM.....	11
2.6.1 Mobile Station	15
2.6.2 Base Station Sybsystem	16
2.6.3 BTS.....	17
2.6.4 BSC	17
2.7 Gestión de Movilidad.....	18
CAPÍTULO 3	20
3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE ESTUDIO	20
3.1. Metodología	21
3.2. Modelamiento.....	22
3.2.1. Disponibilidad de Canales Individuales	26
3.2.2. Disponibilidad de Canales Totales.....	26
3.2.3. Disponibilidad de Canales Conjuntos	26
CAPITULO 4	28
4. RESULTADOS.....	28
4.1. Descripción del Escenario de Estudio	28
4.2. Gráficos de Disponibilidad de Canales Individuales.....	30
4.3. Gráficos de Disponibilidad de Canales Totales	33
4.4. Gráficos de Disponibilidad de Canales Conjuntos	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
Bibliografía	41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 División del espectro Radioeléctrico [9].....	9
Tabla 2 Anchos de Banda y Tecnologías que pueden ser usadas en los Canales Conjuntos Disponibles.....	27
Tabla 3 Valores de Potencia Máximos y Mínimos por Piso.....	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 RTL-SRD dispositivo y accesorios [13]	11
Figura 2. 2 Ejemplo de envío multitrama en GSM	12
Figura 2. 3 Ejemplo de envío de tramas en los canales de frecuencia GSM ...	12
Figura 2. 4 Sistema celular, reutilización de frecuencias celdas	13
Figura 2. 5 Ejemplo de representación de la trisectorización en telefonía móvil.	14
Figura 2. 6 Ejemplo de representación de la trisectorización en telefonía móvil.	14
Figura 2. 7 Elementos de una Arquitectura GSM	15
Figura 2. 8 Número ICCID de una tarjeta SIM.....	15
Figura 2. 9 Conjunto de Estaciones dentro de un código local de área.	16
Figura 2. 10 Controlador Nokia BSC-2i	18
Figura 2. 11 Esquema de representación del handover para un dispositivo móvil	19
Figura 3. 1 Estructura para la toma de datos en la banda GSM.....	21
Figura 3. 2 Metodología de Medición	22
Figura 3. 3 Comportamiento de los niveles de Potencia	23
Figura 3. 4 Algoritmo disponibilidad de canales	23
Figura 3. 5 Algoritmo de Tratamiento de Datos para encontrar la Probabilidad Individual (pdf) y Probabilidad Acumulada (cdf)	24
Figura 3. 6 Matriz de Unos y Ceros con sus respectivas disponibilidades de Canales Individuales y Canales Conjuntos	25
Figura 4. 1 Edificio “Quito”.....	28
Figura 4. 2 Ubicación del Edificio “Quito”	29
Figura 4. 3 Distancia entre el Cerro del Carmen y el Edificio “Quito”	30
Figura 4. 4 Disponibilidad de Canales Individuales de la Planta Baja	31
Figura 4. 5 Disponibilidad de Canales Individuales de la Planta Media	31
Figura 4. 6 Disponibilidad de Canales Individuales de la Planta Alta	32

Figura 4. 7 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales del Edificio	33
Figura 4. 8 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales del Edificio	34
Figura 4. 9 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta baja. 35	
Figura 4. 10 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta baja	36
Figura 4. 11 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta media	36
Figura 4. 12 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta media	37
Figura 4. 13 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta alta	38
Figura 4. 14 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta alta	38

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del literal
FIEC	Facultad de Ingeniería Electrónica y Computación
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
UHF	Ultra High Frequency
OSA	Sistema de acceso Oportunista al Espectro
RTL	Register transfer Language
SDR	Software defined by Radio
MATLAB	Matrix Laboratory
GSM	Global System for Mobile communications
FAE	Fuerza aérea ecuatoriana
CCIR	Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
BC	Radio de banda ciudadana
AM	Modulación de Amplitud
FM	Frecuencia Modulada
USB	Universal Serial Bus
TDMA	Time Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
MS	Mobile Station.
BSS	Base Station Sybsystem.
NSS	Network & Switching Subsystem.
SIM	Módulo de identificación de abonado
IMSI	Identidad Internacional del Abonado Móvil

LAI	Identificador de área local
ICCID	Identificador de la tarjeta del circuito integrado
MAC	Media Access Control
IP	Internet Protocol
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Controller
2G	Segunda generación de telefonía móvil
CDF	Función de distribución acumulativa
PDF	Función de densidad de probabilidad

SIMBOLOGÍA

dB	Decibelio
dBm	Decibelio-milivatio
GHz	GigaHertz
MHz	MegaHertz
m	Metros
Km	Kilómetros

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1.1. Definición de problema

En la actualidad se ha dado un notable incremento en el uso de dispositivos que brindan conectividad inalámbrica afectando la eficiencia de las conexiones antes mencionadas [1]. Podrían surgir serios problemas de interferencia a futuro en zonas donde existen un gran número de servicios ocupando redes inalámbricas, todos los puntos de acceso a internet sobre saturarían la banda que no requiere licencia especialmente en zonas con enorme población y también edificaciones acopladas a las tendencias tecnológicas como el internet de las cosas.

Además de las personas, los equipos electrónicos se conectan a internet; usando parte del espectro radioeléctrico con la finalidad de mejorar su eficiencia y obtener un fácil funcionamiento, por lo cual las telecomunicaciones se ven envueltas en una constante evolución [2]; por lo tanto en un futuro la comunicación inalámbrica dejaría de ser eficiente debido al incremento de problemas de latencia que se daría con el pasar de los años debido a la sobre saturación de las bandas de frecuencia no licenciadas.

La demanda del espectro ha ido creciendo y varias bandas de frecuencias entre ellas la banda GSM han sufrido gran congestión principalmente en zonas urbanas densamente habitados. La escasez de espectro también puede ser producto de los tipos de servicios a los que se hacen atribuciones en zonas geográficas determinadas, como sucede con las bases militares [3]. En la práctica, muchas frecuencias se pueden utilizar para varios servicios específicos; las bandas asignadas para estos servicios son limitadas, al haber mucha congestión existirían usuarios que operen con mala calidad de servicio.

1.2. Justificación

La evolución de la tecnología y una mayor demanda del espectro han dado lugar a que los equipos de radiocomunicaciones lleguen a tener una misma funcionalidad en frecuencias antes no utilizadas, o dan paso a una mayor reutilización de frecuencias con las mismas prestaciones [3].

Han surgido nuevos sistemas como lo es el sistema de acceso oportunista al espectro (OSA), debido a la existencia de problemas con la utilización del espectro radioeléctrico y la disponibilidad de los canales, cuya demanda es mayor; el sistema OSA intenta mejorar la utilización del espectro [4]. Se busca no interferir a los usuarios licenciados cuando estos no utilicen sus canales mientras se proporciona un acceso temporal y oportuno a los usuarios no licenciados, o que los niveles de interferencia de los usuarios no licenciados no sean considerables.

Por ende, es preciso realizar estudios en situaciones prácticas sobre la disponibilidad del espectro y su ocupación por los diferentes usuarios en la banda.

Actualmente se busca migrar a frecuencias como lo son las ondas milimétricas como solución a la escasez del espectro, pero en un futuro podría surgir nuevamente el problema de la saturación debido a que no se posee mayor rango de frecuencias a usar, estudios actuales en diversos países nos dicen que el tiempo de ocupación del canal ronda entre el 15% y 85% acorde a la banda, el momento y el lugar [5], de esta manera se demuestra la baja eficiencia del uso de los canales radioeléctricas en estos lugares. Debido a eso bajo la premisa de que no ocasionen interferencia de los actuales dueños de las licencias, los usuarios puedan usar las frecuencias disponibles no siendo propietarios de las licencias verificando el posible uso de radio cognitiva por medio de un estudio que corrobore la disponibilidad actual del espectro radioeléctrico de un canal de televisión.

Para el estudio a desarrollar es fundamental medir el espectro de la Banda GSM en el escenario propuesto para corroborar el espectro libre y la disponibilidad de canales en nuestro medio de estudio el cual es una zona con gran cantidad de edificios en el sector norte de Guayaquil, lo cual será útil para el desarrollo de dispositivos con acceso oportunista (OSA) en la región, debido a que en otras partes del mundo ya se están estudiando y desarrollando.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un mecanismo para medición espectral y modelado del canal en la banda GSM.

1.3.2. Objetivos específicos

- Conocer el funcionamiento del dispositivo RTL2832U y su comparación con un analizador de espectros.
- Diseñar y probar el mecanismo de medición.
- Capturar y guardar los niveles de potencia de los canales en la banda GSM.
- Calcular la disponibilidad de los canales en la banda GSM.
- Modelar la disponibilidad de canales individuales en la banda GSM.
- Modelar la disponibilidad de canales conjuntos en la banda GSM.

1.4. Alcance

El análisis a desarrollarse tiene como finalidad observar la ocupación de espectro, analizando la disponibilidad de los canales mediante mediciones y análisis de datos obtenidos, para aprovechar el espectro radioeléctrico al máximo, teniendo un gran alcance dentro de las telecomunicaciones inalámbricas.

El propósito del proyecto tiene como objetivo la medición del espectro radioeléctrico en el primero, tercero y quinto piso en un edificio que posee 5 pisos de la ciudadela la FAE el cual se encuentra ubicado en la zona urbana del Norte de la ciudad de Guayaquil, para poder observar el comportamiento de la disponibilidad de canales y su eficiencia en la banda GSM, durante un periodo de 3 horas.

Se utilizarán tres dispositivos de bajo costo para llevar a cabo las mediciones, dicho dispositivo es RTL2832U. Los datos de potencia serán guardados por medio del software MATLAB en una hoja de Excel.

Se podrá promover la implementación de tecnologías revolucionarias en el mundo de las telecomunicaciones a partir de los resultados obtenidos, teniendo como resultado la aparición de sistemas de acceso oportunista al espectro (OSA) los cuales satisfacen la demanda de usuario usando de manera eficaz todo el ancho de banda disponible.

A su vez, surgirá la necesidad de crear nuevos dispositivos utilizando sistemas OSA que sean capaces de buscar canales que se encuentren disponibles dentro de la banda en la que está operando, para ser usados de una manera oportuna.

1.5. Metodología

Lo primero será comprobar el correcto funcionamiento del RTL2832U, por medio del cual realizaremos las mediciones, este dispositivo tiene un bajo costo y una instalación sencilla; por medio del software MATLAB se podrá observar las señales receptadas, para esto contaremos con la ayuda del analizador de espectro proporcionado por el laboratorio de telecomunicaciones de la FIEC - ESPOL.

Por medio de este procedimiento obtendremos una referencia de los niveles de potencia de recepción para luego comparar dichas mediciones con las obtenidas con el RTL2832U. Será necesario comprobar el correcto funcionamiento en cada uno de los dispositivos a utilizar.

Luego de haber comprobado los 3 RTL2832U se movilizará al lugar de análisis para medir las potencias de recepción en el primero, tercero y quinto piso del edificio ubicado en la ciudadela la FAE. En el interior del edificio se seleccionará un lugar, el cual será en lo posible el mismo en cada piso seleccionado; para obtener la mayor similitud posible dentro de cada simulación.

Una vez establecidos los puntos donde se colocarán los equipos de medición en cada piso, se realizarán las mediciones respectivas con los 3 dispositivos RTL2832U en conjunto con una laptop por cada dispositivo, de forma simultánea. Cada laptop deberá contar con el software MATLAB para guardar los datos medidos de forma periódica en una hoja de Excel; las mediciones se realizarán por un periodo de 3 horas.

Se obtendrá el nivel de potencia de cada frecuencia perteneciente a cada canal de la banda GSM en la hoja de Excel, por medio del procesamiento de estos datos se determinará la disponibilidad del canal en esta edificación.

Por medio del análisis de los datos obtenidos se procederá a determinar el grado de eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico de los canales en la banda GSM dentro del edificio ubicado en la ciudadela la FAE.

Una vez verificada la disponibilidad de los canales haremos el modelamiento por medio de graficas de Densidades Acumuladas y Densidades de Probabilidad a partir de los datos obtenidos.

Por medio del estudio propuesto se podrá constatar el espectro libre y la ocupación de canales en la banda GSM y poner en funcionamiento el desarrollo de dispositivos con acceso oportunista.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

Se han dado varios estudios en algunas ciudades en relación a la disponibilidad del espectro radioeléctrico, como es el caso de la ciudad de Loja-Ecuador en donde se realizó un análisis para determinar la ocupación del rango de frecuencias de 54MHz a 1000MHz en edificios de 2 pisos, los cuales se encuentran en sectores con una densidad poblacional no muy alta. Utilizaron un analizador de espectro MT8212B de la marca ANRITSU con una Antena Discono, conectores RF, y cable coaxial con la finalidad de receptar las señales de potencia de recepción.

Posteriormente por medio del procesamiento de los datos adquiridos se determinó la existencia de poca utilización del espectro radioeléctrico en el rango de frecuencias establecido surgiendo la posibilidad de implementar tecnologías como redes de acceso dinámico, las cuales no ocasionan interferencia alguna [6].

La topología del lugar en ciertas áreas no facilita la captación de señales provocando distorsión en audio o video, incluso en ciertos casos pérdida total de la señal. En la ESPOL se realizó un estudio en las frecuencias pertenecientes a UHF, la Facultad de Ingeniería en Electrónica y Computación de esta institución fue escogida para el análisis de las potencias de recepción, con ayuda de instrumentos pertenecientes al laboratorio de telecomunicaciones de dicha facultad como el analizador RF Agilent E4404B y la antena Sirio SD 200U omnidireccional se llevó a cabo la captación de las señales de potencia disponibles en este edificio; para almacenar los datos se utilizó la herramienta Intuilink para posteriormente analizar estos datos.

Para corroborar la ocupación del espectro en el rango de frecuencias desde 512 MHz a 698MHz luego se realizó un modelo estadístico para automatizar el proceso de verificación de canales de frecuencias disponibles, esto es fundamental en los sistemas de acceso dinámico al espectro; se tuvo como resultado una potencia de recepción demasiado baja en ciertas frecuencias con lo cual encontramos una alta disponibilidad del espectro para dichas frecuencias [7].

2.1. Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado, cuyo uso es de carácter público, sobre el espectro radioeléctrico ejerce su soberanía el Estado. Por lo cual, el gobierno ecuatoriano busca la utilización de dicho recurso de forma lucrativa beneficiando a la sociedad, dado que es un medio intangible y puede usarse para varios servicios de telecomunicaciones, radiodifusión y televisión.

Una parte del espectro radioeléctrico es ocupada por los servicios de comunicación, que son conocidas como bandas y se le hace analogía con una carretera que llevan todo tipo de datos, se busca prevenir algún conflicto entre las bandas a través de un mecanismo que es controlado por el ente regulador de las telecomunicaciones, que para cada servicio asigna una parte del espectro radioeléctrico para su uso. [8]

El espectro radioeléctrico se divide en bandas de frecuencia para disponer el servicio que las ondas electromagnéticas proporcionan para los diferentes servicios en las telecomunicaciones, podemos observar la distribución del espectro radioeléctrico en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En esta tabla se encuentra cada tipo de banda con su rango de frecuencias y longitud de onda respectivamente. Adicionalmente el uso típico de cada rango de frecuencia.

En el Ecuador, con la finalidad de garantizar la disponibilidad de los diferentes servicios de telecomunicaciones; La ARCOTEL es la entidad encargada de la administración, regulación y asignación de uso del espectro radioeléctrico.

En el año 1953 el Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-ITU) determinó la división del espectro radioeléctrico. También la UIT dispuso la división del planeta en tres distintas regiones, con la finalidad de que diferentes países formen cada región, los cuales tendrían similares distribuciones de frecuencias para sus servicios. Siendo los países de las Américas la Región 2, La Región corresponde a Europa, África. [9]

Distribución Convencional del Espectro Radioeléctrico				
Sigla	Denominación	Rango de Frecuencias	Longitud de onda	Uso típico
VLF	Muy bajas Frecuencias	3KHz a 30KHz	100000m a 10000m	Enlaces de gran distancia
LF	Bajas Frecuencias	30KHz a 300KHz	10000m a 1000m	Enlaces de gran distancia, navegación marítima y aérea
MF	Medianas Frecuencias	300KHz a 3MHz	1000m a 100m	Radiodifusión
HF	Altas Frecuencias	3MHz a 30MHz	100m a 10m	Comunicación de media y larga distancia
VHF	Muy altas Frecuencias	30MHz a 300MHz	10m a 1m	Enlaces de corta distancia
UHF	Ultra altas Frecuencias	300 MHz a 3GHz	1m a 0.1m	Difusión Televisión y Radioastronomía
SHF	Súper altas Frecuencias	3GHz a 30GHz	0.1m a 0.01	Radar, enlaces de radio
EHF	Extremada alta Frecuencias	30 GHz a 300 GHz	0.01m a 0.001m	radar, enlaces de radio

Tabla 1 División del espectro Radioeléctrico [9]

2.2. Plan Nacional de Frecuencias

El Plan Nacional de Frecuencias es un documento técnico y dinámico sujeto a revisiones periódicas ajustadas a las necesidades nacionales, introducción de nuevas tecnologías y cambio en la regulación internacional; en el cual se establece los canales radioeléctricos y la atribución de las bandas para el uso de cada servicio de telecomunicaciones, con el objetivo de una adecuada gestión del espectro radioeléctrico de forma eficiente y eficaz [10].

2.3. Interferencia

En las telecomunicaciones se entiende como interferencia a toda señal de radiofrecuencia no deseada que dificulta escuchar radio, mirar los canales de televisión, dialogar por teléfono. La Interferencia puede obstruir totalmente la recepción en un equipo, provocar una pérdida momentánea de la señal, o a su vez afectar la calidad de las imágenes o calidad del sonido. La interrupción de la señal puede originarse de varias fuentes, el equipo en sí, la edificación o el vecindario. Las fuentes de interferencias más comunes son los sistemas de comunicaciones tales como radio de banda ciudadana(BC), estaciones de radio(AM/FM) y televisión [11].

2.4. RTL-SDR

Es un dispositivo con conector USB, antena omnidireccional parecido a un pendrive de gran utilidad, pertenece a la tecnología de Radios definidos por Software, está constituido por un chipset RTL2832U, se puede convertir en un receptor SDR(RTL-SDR), acceder a ese dispositivo está al alcance de todos debido a que su costo es bajo, se convierte en una plataforma económica en proceso de desarrollo y mundialmente se usa para fines instructivos y de experimentación principalmente por la radioaficionados.

Aunque existen varios modelos, el RTL2832U es el que posee mayor intervalo de frecuencias cubre, entre 50MHz y 2200MHz, con una pequeña interrupción entre 1100 MHz y 1250 MHz [12].



Figura 2. 1 RTL-SRD dispositivo y accesorios [13]

2.5. Sistema de Telecomunicaciones de la Tecnología GSM

GSM es el estándar más amplio del mundo, sus siglas corresponden al nombre en inglés del sistema global de comunicaciones móviles, cuenta con más de 3000 millones de usuarios en diferentes países, de ésta forma es el estándar que domina continentes como América del Sur, Asia, Oceanía y Europa. [14]

2.6 Arquitectura GSM

El sistema global de comunicaciones móviles se ha desarrollado en algunas bandas de frecuencia (850, 900, 1800 y 1900), la más extendida es la que nació en Europa y es la banda de 900 MHz.

Para optimizar un recurso tan limitado, se debe desarrollar técnicas; es por esto que el sistema GSM combina diferentes modelos de reparto del espectro disponible como es el TDMA (Time Division Multiple Access) significa división del tiempo en emisión y recepción, cada portadora posee "8 time slots" de 577 microsegundos cada uno, y estos forman una trama, se puede agrupar hasta 26 tramas en 120 milisegundos.

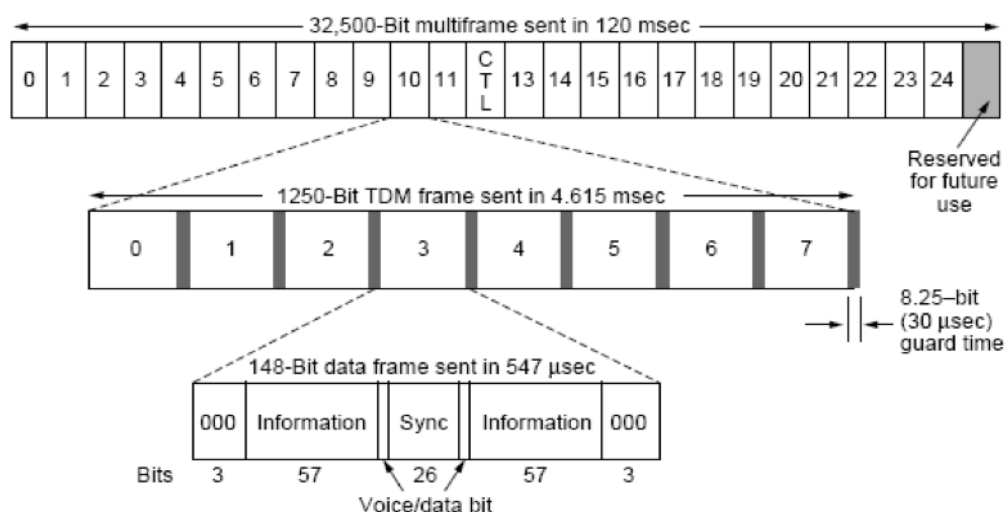


Figura 2. 2 Ejemplo de envío multitrama en GSM

Separación de bandas para emisión, recepción y subdivisión en canales radioeléctricos (FDMA) un número determinado de frecuencias es fijado a cada celda sin ser usadas en celdas adyacentes, puntualmente en GSM dentro de la frecuencia de 900 MHz 124 canales son empleados para la descarga es decir la comunicación existente entre la base y el móvil, para la comunicación del móvil a la base se utilizan otros 124 pares, dando lugar a 124 pares de canales simplex de 200Khz, cada canal soporta 8 usuarios y dentro de estos canales se envían las tramas con la información de diferentes usuarios.

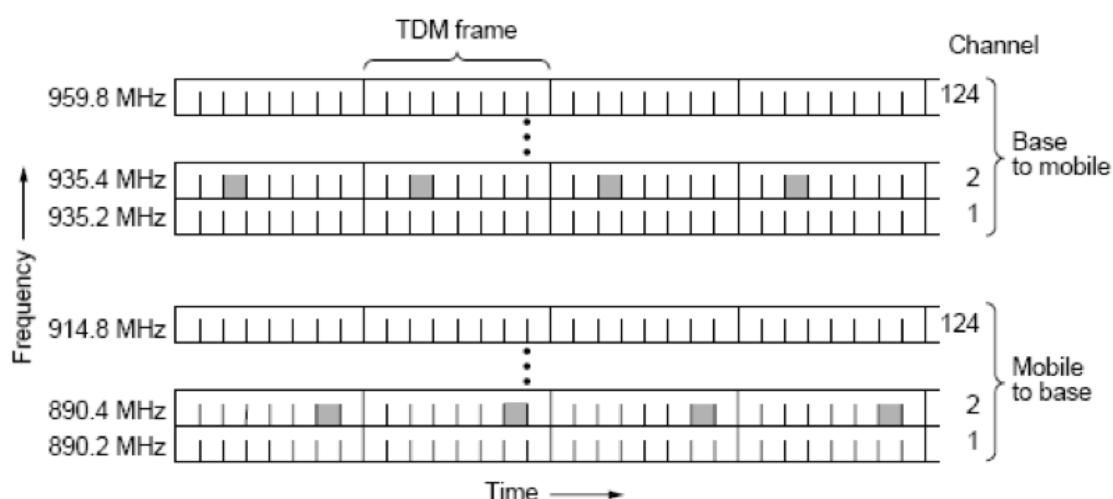


Figura 2. 3 Ejemplo de envío de tramas en los canales de frecuencia GSM

En GSM existen ventajas en el empleo de un sistema celular, el inconveniente ocurre que para abarcar el despliegue establecido por la compañía se necesita un elevado número de antenas, esto empeoraría si la compañía utiliza una banda de frecuencia mayor a 900 MHz.

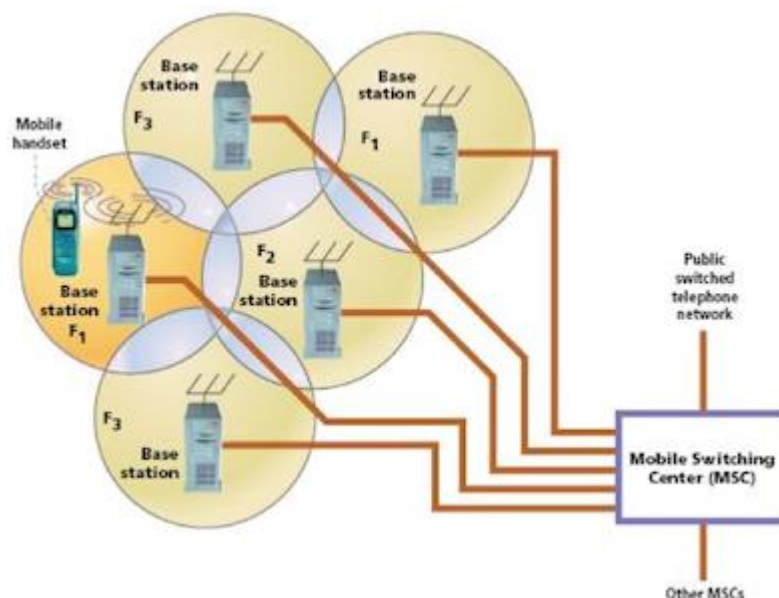


Figura 2. 4 Sistema celular, reutilización de frecuencias celdas

Con respecto a las celdas, su dimensión cambiaría dependiendo de la cantidad de usuarios presentes en un área específica. Entre las cuales tenemos:

Macro células: Colocadas en zonas urbanas, suburbanas, rurales y carreteras, brinda decenas de kilómetros de cobertura, las antenas tienen un patrón de radiación omnidireccional.

Micro células: Colocadas en zonas urbanas. Brindan hasta 1 km de cobertura. Se usa la técnica de trisectorización, y esta consiste en distribuir la célula en tres zonas, que se denominan sectores, las antenas emiten con un rango de 120°, y funcionan como células independientes.

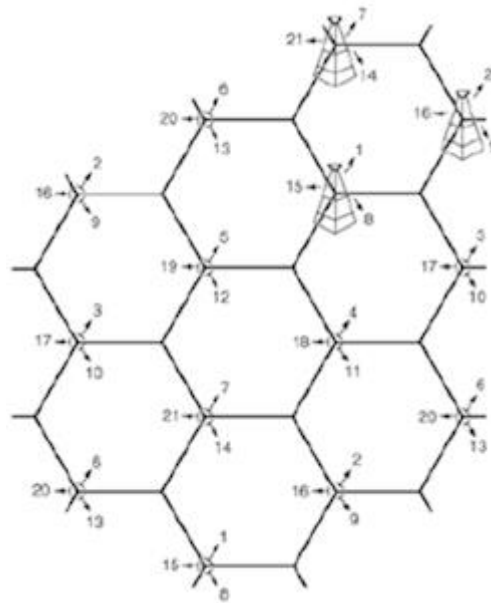


Figura 2. 5 Ejemplo de representación de la trisectorización en telefonía móvil.

Picocélulas: capaces de ofrecer una cobertura de hasta 100 metros, son posicionadas en aeropuertos o centros comerciales.

Femtocélulas: se conectan a la red de banda ancha, permiten extender la cobertura en interiores, posicionadas en residencias o negocios.

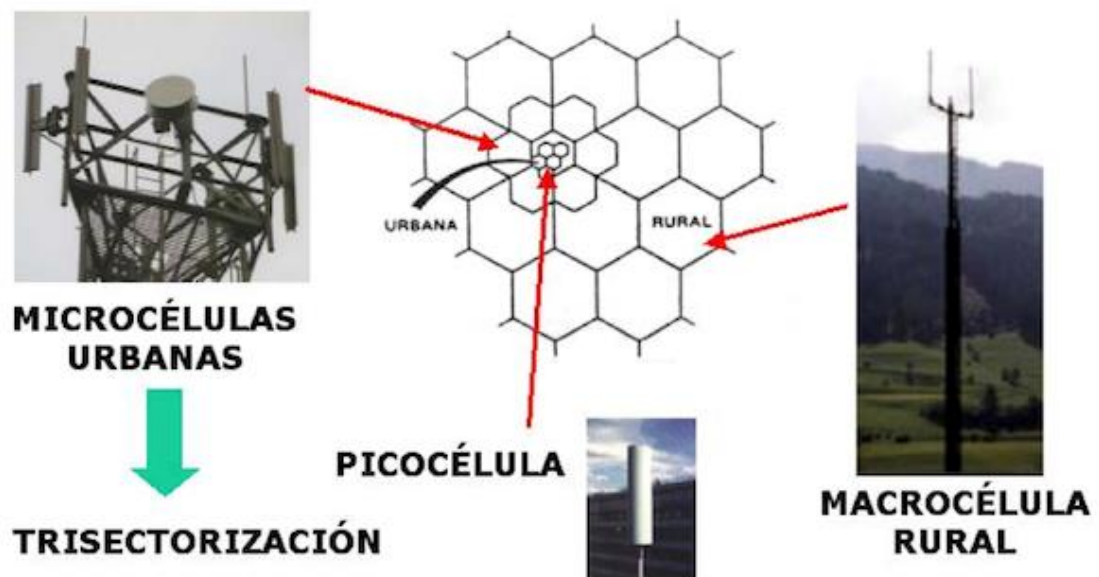


Figura 2. 6 Ejemplo de representación de la trisectorización en telefonía móvil.

La arquitectura GSM es constituida básicamente por tres elementos:

MS: Mobile Station.

BSS: Base Station Sybsystem.

NSS: Network & Switching Subsystem.

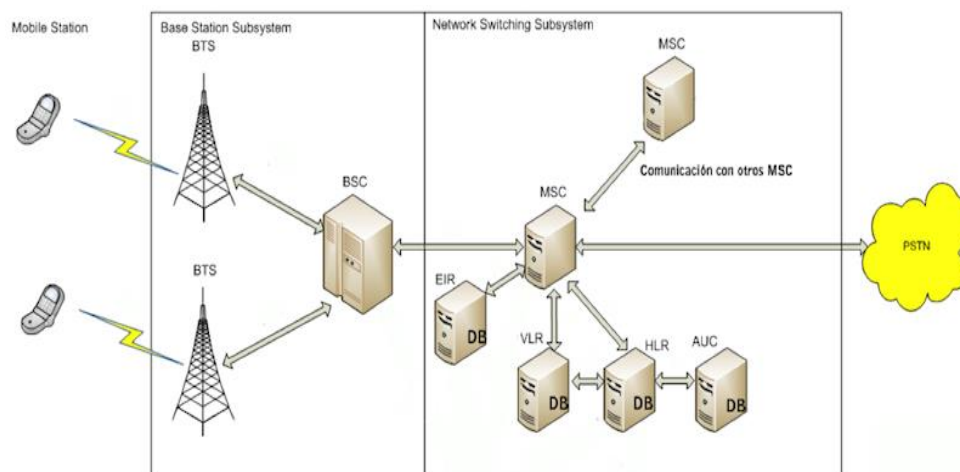


Figura 2. 7 Elementos de una Arquitectura GSM

2.6.1 Mobile Station

La estación móvil hace referencia al dispositivo móvil en sí, en esta encontramos la tarjeta SIM, y es aquella que guarda información. La tarjeta SIM almacena información específica de la red que es utilizada para identificar al cliente y autenticar al cliente, también posee parámetros como el número IMSI que es aquel que identifica al abonado en todo el mundo, este es el número que permite el roaming, así mismo posee el número ICCID y es el número de serie de la tarjeta se podría decir que es la dirección MAC.



Figura 2. 8 Número ICCID de una tarjeta SIM

A su vez posee el identificador de área local(LAI), guardando relación con las celdas y ubicación geográfica donde se localiza el dispositivo móvil, en el instante que el terminal móvil cambia de ubicación se guarda un nuevo LAI en la tarjeta SIM y se la envía al operador para comunicar esta nueva localización.

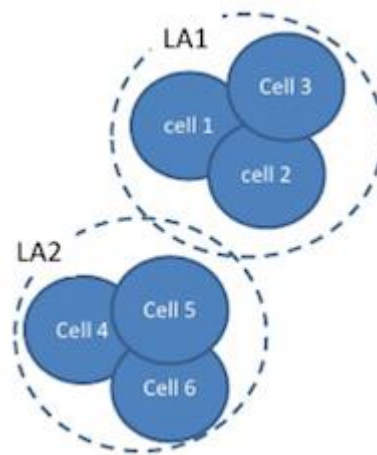


Figura 2. 9 Conjunto de Estaciones dentro de un código local de área.

Haciendo una analógica con redes TCP/IP, el número ICCID es el equivalente a la dirección IP designada a un dispositivo cuando accede a una red de datos.

La tarjeta SIM del sistema GSM ha evolucionado notablemente, reduciendo su tamaño hasta el último conocido como nanoSIM.

2.6.2 Base Station Sybsystem

Intervienen dos elementos importantes que son la estación base BTS (Base Transceiver Station) y el controlador de la estación base BSC (Base Station Controller).

2.6.3 BTS

Las estaciones BTS se encuentran a la vista de los usuarios debido a que corresponde con la llamativa antena por la cual se da la conexión física con el dispositivo móvil. Dentro de la red las BTS se encargan de varias funciones como:

- Brindan Handover a los usuarios; es decir luego de medir el grado de cobertura disponible por medio de un canal de broadcast, de ser necesario se intenta cambiar a otra BTS.
- Brindan a los abonados canales de tráfico para el establecimiento de llamadas telefónicas desde/hacia sus terminales.
- Cuentan con conexiones alámbricas o inalámbricas hacia las centrales telefónicas BSC, desde donde es posible encaminar las llamadas hacia otras zonas de la red.

Las BTS dentro del área geográfica limitada por su cobertura radioeléctrica tienen la capacidad de prestar servicio a un número limitado de abonados. Esto es, que poseen un número determinado de canales de tráfico disponibles para el establecimiento de llamadas telefónicas. En caso que todos los canales mencionados estén ocupados, no será posible que ningún abonado pueda establecer una llamada mientras no exista un canal libre, situación conocida como saturación.

Un BTS convencional de tecnología 2G permite entre 20 y 40 comunicaciones de forma simultánea, debido a su capacidad de mantener de forma simultanea 3 o 5 portadoras de radio.

2.6.4 BSC

El controlador de la estación base o BSC es el equipo que con la función de regular un número específico de BTSs dentro de determinada área. A través de la BSC pasa todo el flujo de comunicaciones de las BTSs del área conectadas a la misma.

La BSC es la encargada del adecuado funcionamiento de las BTSs conectadas, participa de forma activa cada vez que un usuario móvil realiza handover; es decir, pasa una BTS a otra. La BSC maneja las configuraciones de todas las BTSs conectadas a ella. Con las generaciones 2.5 y 2.75 el elemento BSC es capaz de diferenciar el tráfico de voz y de datos puesto que, a partir de ella, estos se separan. [15]



Figura 2. 10 Controlador Nokia BSC-2i

2.7 Gestión de Movilidad

La gestión de movilidad o "handover" es el procedimiento por el cual una comunicación de un canal de voz es transferida de una célula a un nuevo canal de voz, en la misma célula o en otra, cuando el canal se degrada; es decir, una estación base detecta la llegada de una señal procedente de un dispositivo móvil con baja intensidad, por ejemplo, por un problema técnico o porque el móvil pasa de una a otra célula. De esta manera, se puede soportar el servicio de forma continua sin que el usuario perciba el cambio de una célula a otra, el sistema, el móvil o ambos deciden el traspaso de canal. [16]

El dispositivo móvil debe buscar otras estaciones base cercanas donde le sea posible conectarse, siguiendo los siguientes pasos:

- Realizar un barrido en las frecuencias restantes (con la finalidad de buscar otras estaciones base).
- Escoger la estación base más adecuada de entre las estaciones disponibles,
- Cambiar de frecuencia y finalmente finalizar la conexión con la estación anterior.

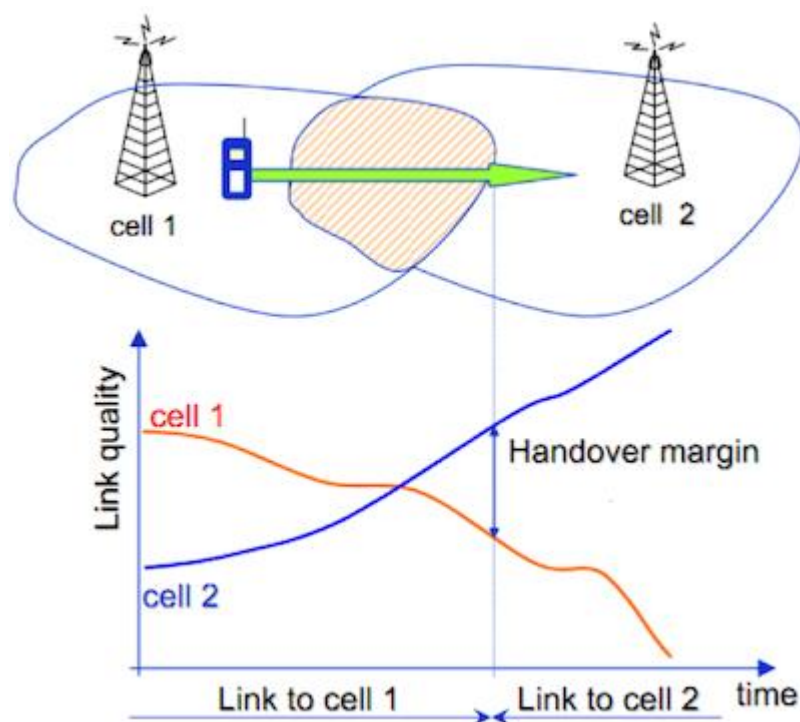


Figura 2. 11 Esquema de representación del handover para un dispositivo móvil

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE ESTUDIO

El problema actual del uso del espectro radioeléctrico ha sido el enfoque en los anteriores capítulos, y es que la tecnología y las telecomunicaciones se han convertido en una necesidad mas no en un lujo, por lo tanto, por esto es administrado por el estado ecuatoriano y se busca encontrar posibles soluciones para que el espectro radioeléctrico sea aprovechado de una manera adecuada, se podrá promover la implementación de nuevas tecnologías aprovechando el ancho de banda de una manera eficiente.

En el presente capítulo se dará a conocer las diferentes técnicas que se pusieron en práctica para la medición de los canales, junto con los diferentes algoritmos creados para realizar los objetivos planteados.

Se escogió la ciudad de Guayaquil para llevar a cabo el estudio de la disponibilidad de canales en la banda GSM debido a que es una ciudad que posee una gran población, por lo cual posee dispositivos de transmisión y recepción inalámbrica en casi todos los sectores de la ciudad.

Específicamente se realizó el estudio del espectro radioeléctrico en el bloque Quito de la Fuerza aérea ecuatoriana(FAE), el cual una edificación de seis pisos de altura. El sector donde se encuentra el edificio posee una población densa en el perímetro que lo rodea puesto que está ubicado en el norte de la Ciudad.

En cuanto a la recepción de la señal se la realizó ubicando los equipos de medición en tres lugares escogidos de forma estratégica; siendo escogidos el primer piso, tercer piso y la planta alta; cuya finalidad es analizar detalladamente el comportamiento del espectro radioeléctrico.

Cabe destacar que los datos que se muestran son niveles de potencia con una separación en su ancho de banda, este valor nos permite comparar el valor umbral de este análisis GSM y decidir si el canal se encuentra ocupado o disponible.

Es importante modelar los datos para estimar a que función estadística conocida se parece el comportamiento de la señal y analizar qué tan factible se puede usar un canal disponible para la futura creación de sistemas de acceso oportunista(OA).

3.1. Metodología

Para obtener los niveles de potencia de la tecnología GSM se utiliza una computadora, un dispositivo llamado RTL-SDR, una antena y una programación que es configurada acorde a nuestros requerimientos en el software Matlab.

La estructura para la toma de datos se aprecia en la figura 3.1.



Figura 3. 1 Estructura para la toma de datos en la banda GSM

Para analizar el espectro se utiliza el dispositivo llamado RTL-SDR de fácil adquisición debido a su bajo costo, cuya función principal es la toma de datos.

Se necesita un software para el uso adecuado de este dispositivo, es importante destacar que se utiliza un código programado en Matlab para obtener los niveles de potencia, instalando previamente la librería “Communications System Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio” para que la información pueda ser receptada en el dispositivo sin inconvenientes.

El dispositivo obtiene los niveles de potencia en dBm, los cuales son convertidos a decibelios por el código de Matlab con la finalidad de permitir mayor agilidad al momento de realizar los futuros cálculos necesarios.

El código realiza un barrido de la banda GSM cada 1 o 2 minutos aproximadamente, esto varía dependiendo de la laptop; es decir si el procesador de la computadora es de última generación se tendrá más barridos por minutos, éstos datos se guardan en un archivo de formato Excel.

Para este análisis la separación entre frecuencias es de 20 kHz y la tasa de muestreo es de 2 MHz, configurado de esta manera para que las pérdidas sean casi nulas y obtener la mayor exactitud posible en los resultados.

El software Matlab genera un valor de potencia por cada 20 KHz, es decir; 10 valores por cada canal debido a que el ancho de banda de cada canal GSM es 200 KHz, por estas razones es necesario obtener un valor promedio de estos datos de potencia para llegar a un valor único (V.U) para cada canal.

El ciclo se repite cada cierto tiempo para obtener una base de datos, todo este método se observa en la figura 3.2.

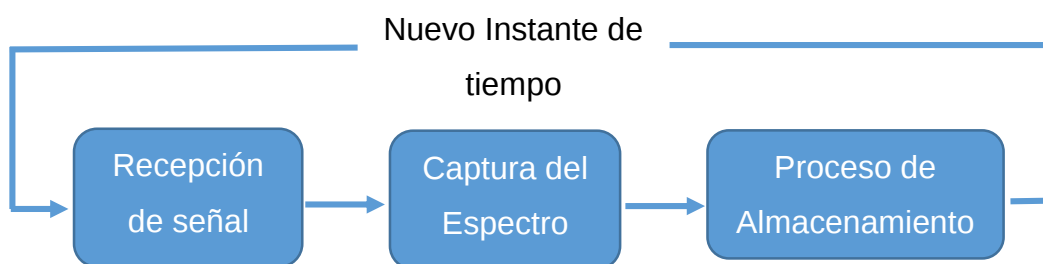


Figura 3. 2 Metodología de Medición

3.2. Modelamiento

Para determinar el modelamiento se procede a tomar los datos de potencia a través de la metodología de medición antes mencionada.

Al tener los datos de potencia se observa que éstos presentan comportamiento estadístico normal gaussiano, lo cual se puede verificar en la figura 3.5, donde los datos de potencia de la edificación están en dBm, cabe recalcar que el propósito de éste histograma es saber con qué umbral de potencia se debe trabajar.

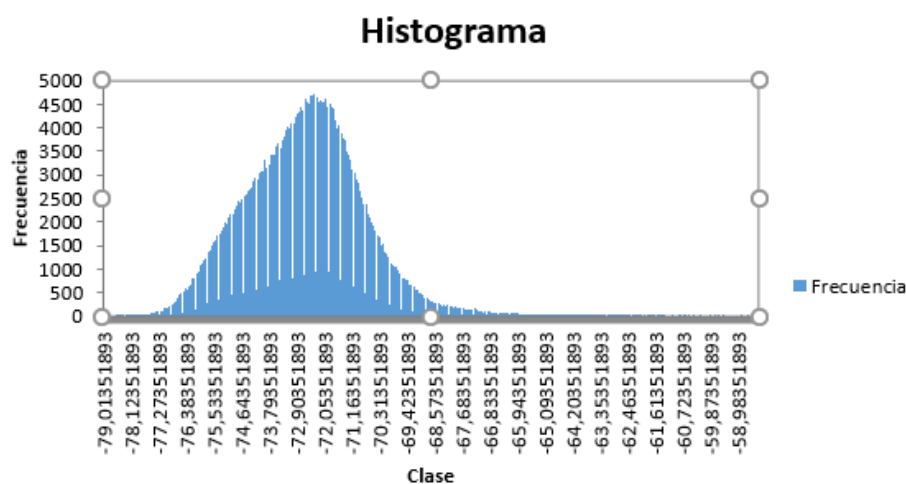


Figura 3. 3 Comportamiento de los niveles de Potencia

Para verificar si un canal está disponible se usa el algoritmo de la figura 3.4 conociendo que el umbral de potencia de éste estudio es -74.36 dBm.

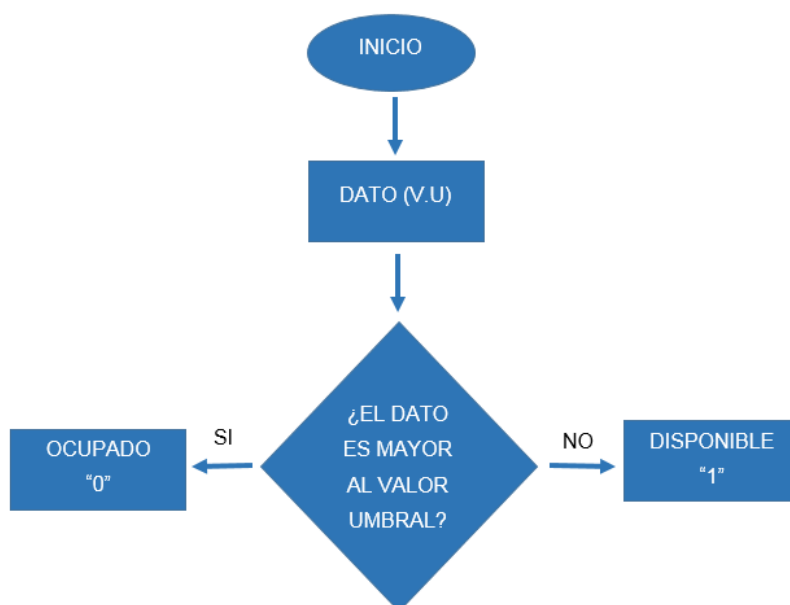


Figura 3. 4 Algoritmo disponibilidad de canales

Se realiza la lectura del dato es decir el valor de potencia que corresponde a un valor único (V.U) por canal de la banda GSM, y luego este valor se compara con el valor umbral mostrado anteriormente. Esto se observa en la Figura 3.4.

Posteriormente se lleva a cabo una comparación respecto al valor único (V.U) si es mayor al valor umbral del análisis se le asigna el valor de “0” lo cual indica que el canal está ocupado, caso contrario se le asigna el valor de “1” para indicar que el canal se encuentra libre; obteniendo así las matrices de unos y ceros correspondientes a cada canal por cada piso estudiado en la edificación.

Luego de construir las matrices de cada piso, estas serán agrupadas para ser tratadas posteriormente como se detalla en la Figura 3.5



Figura 3. 5 Algoritmo de Tratamiento de Datos para encontrar la Probabilidad Individual (pdf) y Probabilidad Acumulada (cdf)

Para obtener la función de probabilidad individual (pdf) y probabilidad acumulada (cdf) es necesario realizar el tratamiento de la Figura 3.5 a los datos, en el cual luego de unir las matrices por piso en una matriz única, este algoritmo cuenta los unos por cada instante de tiempo, obteniendo los canales disponibles.

Posteriormente, se cuentan las repeticiones de unos por cada instante de tiempo por medio de una tabla dinámica de Excel para finalmente, dividir los valores generados para el número total de muestras.

Luego, las probabilidades de disponibilidad de canales individuales, disponibilidad de canales conjuntos y disponibilidad de canales totales serán calculadas, en la Figura 3.6 se detalla este procedimiento.

Tiempo	canal 1	canal 2	canal 3	canal 4	canal 5	canal 6	canal 7	canal 8	canal 9	canal 10	canal 11		
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	7	7
T4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9
T7	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9
T8	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	5	5
T9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	11
T10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8
T11	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7	7
T12	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	7	7
T13	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7	7
T14	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10
T15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	11
	0,26666667	0,2	0,46666667	0,53333333	0,6	0,73333333	0,6	0,73333333	0,8	0,66666667	0,66666667		

Probabilidad de Disponibilidad de Canales Individuales

Probabilidad de Disponibilidad de Canales Conjuntos

Cantidad de canales totales disponibles

Figura 3. 6 Matriz de Unos y Ceros con sus respectivas disponibilidades de Canales Individuales y Canales Conjuntos

Para calcular la probabilidad de canales individuales se suma la cantidad de unos en las columna de la tabla para cada canal y luego esta suma se la divide para el número total de filas, la probabilidad de canales totales disponibles por cada instante de tiempo se calcula realizando la suma de los unos en las filas de la tabla y dividiendo el resultado para el número total de columnas, finalmente la probabilidad de canales conjuntos disponibles se obtiene contando la cantidad de agrupaciones de 2, 3 y 4 unos por fila y dividiendo sus resultados para sus cantidades totales de agrupaciones conjuntas existentes en la banda GSM, las cuales están detalladas en la Tabla 2.

3.2.1. Disponibilidad de Canales Individuales

Para obtener la probabilidad de disponibilidad de canales individuales para cada instante de tiempo es necesario contar los unos que se encuentren en la columna de cada canal a analizar para luego dividir el número total de unos por el número de muestras totales, procedimiento detallado en la Figura 3.6.

La probabilidad de disponibilidad de canales individuales permitirá obtener la representación de la disponibilidad general por cada canal de cada piso, esto será detallado en el posterior capítulo.

3.2.2. Disponibilidad de Canales Totales

Para hallar la probabilidad de disponibilidad de canales totales se necesita contar los unos por cada instante de tiempo y apartar dichos valores en una nueva columna, posteriormente los valores guardados en dicha columna son seleccionados para crear una tabla dinámica. Esta tabla mostrará cuantas repeticiones por cada instante de tiempo se tienen, por ejemplo, si en el instante 1, en el instante 4 y en el instante 5 se encuentran 10 canales disponibles, se tendrá una repetición de tres veces, entonces el valor de tres se dividirá por el número total de muestras por cada instante de tiempo; obteniendo la probabilidad de disponibilidad de canales totales.

3.2.3. Disponibilidad de Canales Conjuntos

La probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos se encuentra utilizando un algoritmo de conteo, ya sea manual o programado por software. Luego de realizar el conteo, el proceso para hallar las probabilidades de canales conjuntos se asimila al proceso de las probabilidades de canales individuales, es decir sigue el algoritmo de la Figura 3.5.

Es necesario encontrar la probabilidad de disponibilidad de encontrar 2, 3 o 4 canales conjuntos. Así se podrá transmitir información a través de los canales conjuntos disponibles como se observa en la Tabla 2.

# de Canales conjuntos	Ancho de banda	Tecnologías que se pueden usar en cada ancho de banda	Cantidad de agrupaciones en la banda UHF
2	400KHz	Radionavegación	62.5
3	600 KHz	Radiocomunicación terrestre	41.66
4	800KHz	Radiodifusión	31.35

Tabla 2 Anchos de Banda y Tecnologías que pueden ser usadas en los Canales Conjuntos Disponibles

En la tabla 2 es posible verificar las diferentes aplicaciones con sus respectivos anchos de banda formando agrupaciones de 2,3 y 4 canales conjuntos, en la última columna se encuentra la cantidad máxima de agrupaciones antes mencionadas que se pueden encontrar en la banda GSM y sus 125 canales analizados.

CAPITULO 4

4. RESULTADOS

4.1. Descripción del Escenario de Estudio

El escenario en el cual se desarrolla el análisis se encuentra en el Norte de la ciudad de Guayaquil, en la avenida Pedro Menéndez Gilbert, con coordenadas de longitud -2.166903 y la latitud -79.880419. Es un bloque que cuenta con 5 pisos de altura y se encuentra rodeado de edificios de igual o mayor altitud. Se puede observar en la Figura 4.1 el edificio desde una vista externa.



Figura 4. 1 Edificio “Quito”

El edificio está ubicado en una zona urbanamente densa, es considerada como tal debido a la gran concentración de habitantes que tienen las edificaciones cercanas, así como la masiva cantidad de automóviles que concurren a diario por la avenida Pedro Menéndez Gilbert, la cual sirve de conexión entre el Norte y el Centro de la Ciudad.

La ubicación y las coordenadas en donde se encuentra el bloque “Quito” en estudio se muestran en la Figura 4.2.

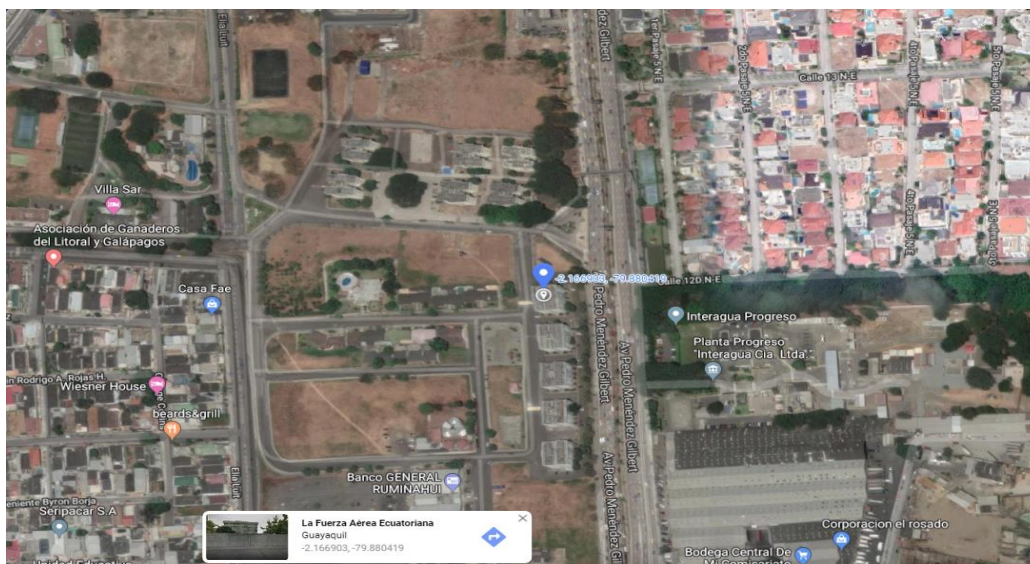


Figura 4. 2 Ubicación del Edificio “Quito”

Se eligió este lugar para el análisis dado que las condiciones que presenta son idóneas para realizar un estudio detallado basado en la propagación de señales inalámbricas en una zona densamente poblada, lo cual ocasiona sobredemanda en el uso del espectro radioeléctrico; ya que el análisis tiene como objetivo la creación de sistemas de acceso oportunista al espectro.

Los análisis se llevaron a cabo en tres pisos del edificio escogidos estratégicamente para analizar los cambios en los niveles de potencia de las señales propagadas en la banda GSM, estos pisos serían: planta baja, la planta media que en este caso es el tercer piso y la planta alta siendo el quinto piso.

Las estaciones bases de las diferentes operadoras móviles en la ciudad de Guayaquil se encuentran ubicadas principalmente en el Cerro del Carmen debido a su gran altura, un poco más de 300 metros.

Se puede observar en la figura 4.3 la distancia que existe entre la edificación de análisis y el cerro del Carmen, la cual corresponde a aproximadamente 1.59 Km.

La figura 4.4 corresponde a la disponibilidad de canales individuales pertenecientes a la banda UHF medidos en la planta baja del edificio en una gráfica Canales vs. Tiempo (minutos).

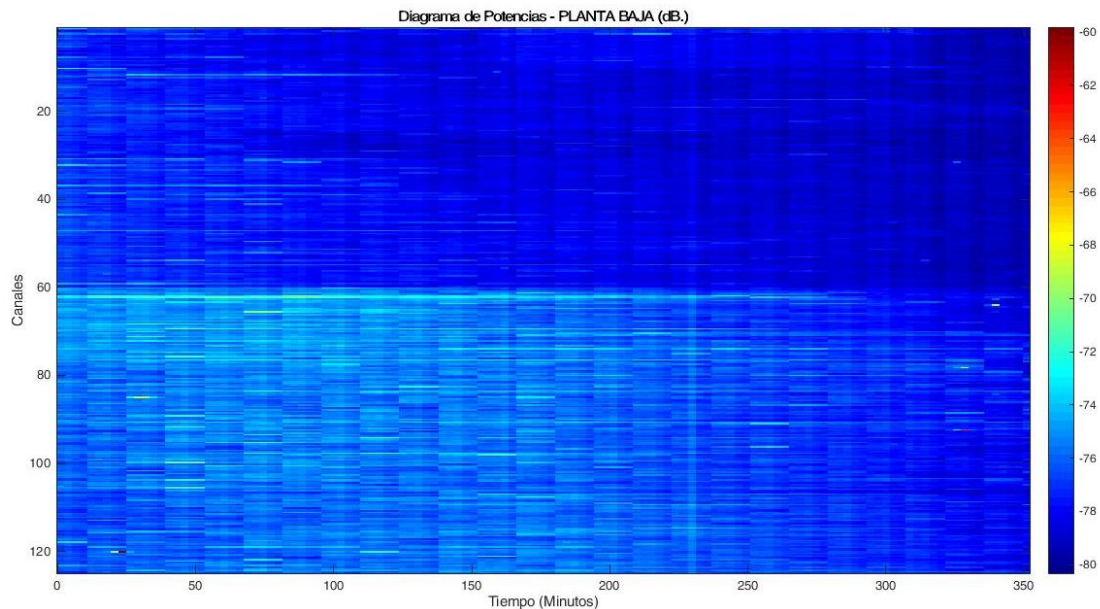


Figura 4. 4 Disponibilidad de Canales Individuales de la Planta Baja

La figura 4.5 corresponde a la disponibilidad de canales individuales pertenecientes a la banda UHF medidos en la planta media del edificio en una gráfica Canales vs. Tiempo (minutos).

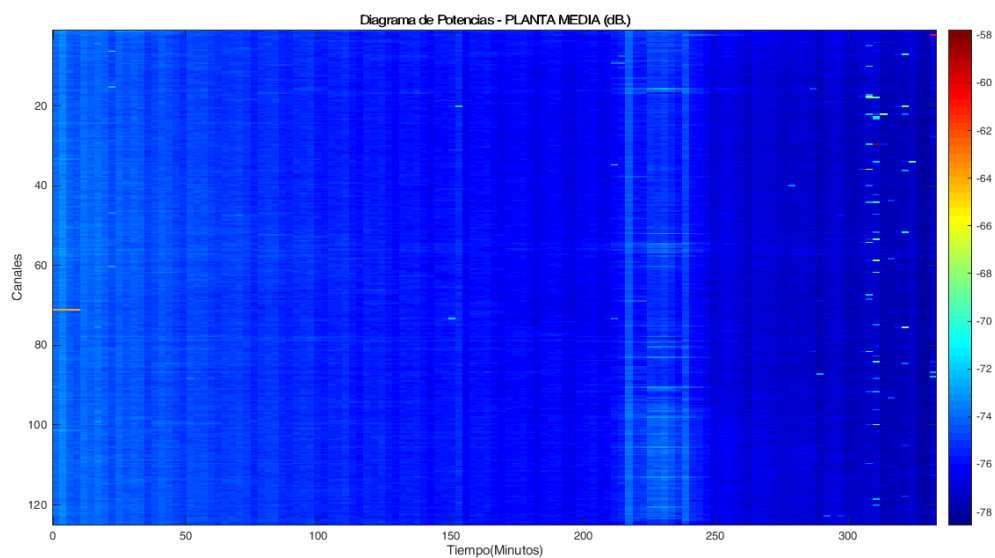


Figura 4. 5 Disponibilidad de Canales Individuales de la Planta Media

En la figura 4.6 se muestra la disponibilidad de canales individuales de la planta alta, donde se aprecia una amplia variación en la disponibilidad de canales debido a que este piso es el de más cercanía con respecto a la terraza superior y la recepción de las señales UHF es mucho más clara comparada con los pisos anteriores, siendo causal de que exista una menor disponibilidad de los canales de esta banda.

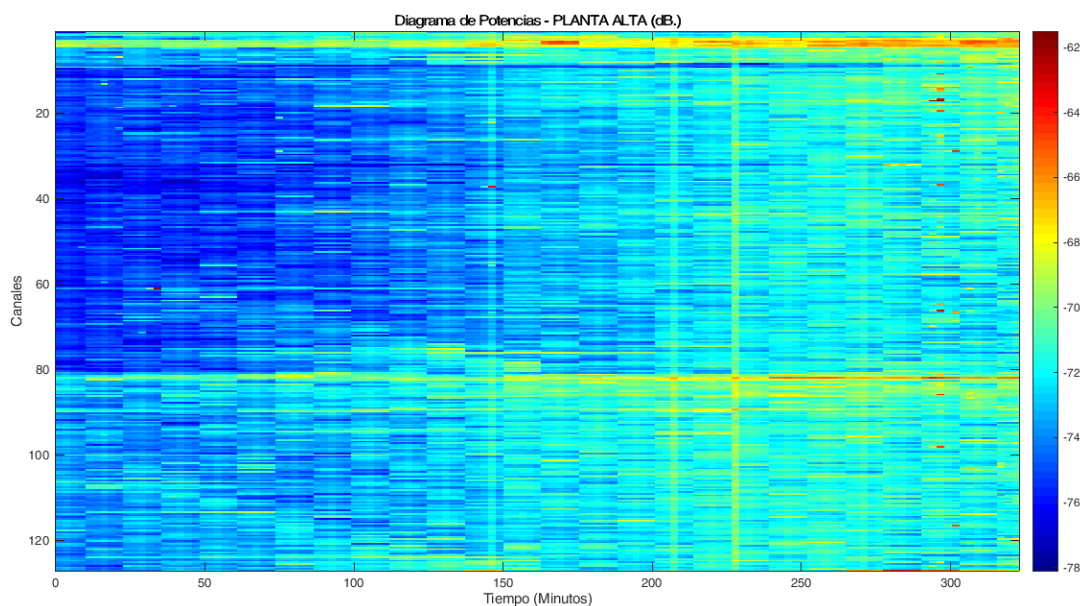


Figura 4. 6 Disponibilidad de Canales Individuales de la Planta Alta

Respecto a las figuras anteriores, se puede observar que hay una relación directa entre nivel del piso y la disponibilidad de canales individuales, dado a que en la planta baja y media existe una amplia disponibilidad de los mismos representada con el color azul mientras que en la planta alta hay una amalgama de canales ocupados y disponibles. Esto se debe a la naturaleza de las señales radioeléctricas, las mismas que, ante una menor interferencia en el medio, pueden llegar mejor a los dispositivos receptores, siendo la planta alta la de menor interferencia en el edificio debido a su proximidad con la parte superior de la construcción.

4.3. Gráficos de Disponibilidad de Canales Totales

Para obtener una mejor idea de cuantos canales totales disponibles existen en el mismo análisis, se opta por gráficos lineales, los mismos que mostrarán la tendencia probabilística de dichas disponibilidades por piso.

Tal como se explicó en el capítulo anterior, se busca graficar la densidad de probabilidad (PDF) y la probabilidad acumulada (CDF) para representar estas disponibilidades.

La figura 4.7 corresponde a la disponibilidad de canales totales del edificio donde se grafica la función densidad de probabilidad con respecto al total de canales individuales disponibles en el análisis, la misma que muestra una disponibilidad generalizada de entre 0 a aproximadamente 60 canales totales en la banda UHF en todos los pisos, siendo su pico máximo en la planta media y una mayor extensión de canales disponibles en la planta baja.

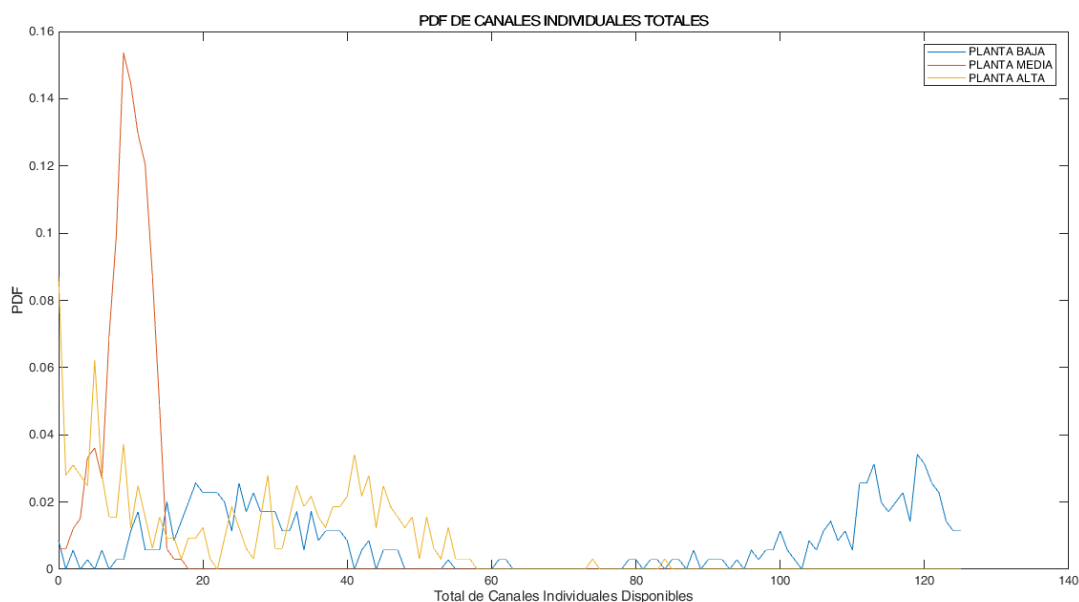


Figura 4. 7 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales del Edificio

La gráfica 4.8 corresponde a la distribución de probabilidad acumulada de disponibilidad de canales totales en su función CDF vs. Disponibilidad de Canales, donde se muestra que esta disponibilidad alcanza sus valores máximos antes de los 20 canales en la planta media y una disponibilidad generalizada de canales totales entre los 40 y 60 canales totales dentro de la banda UHF.

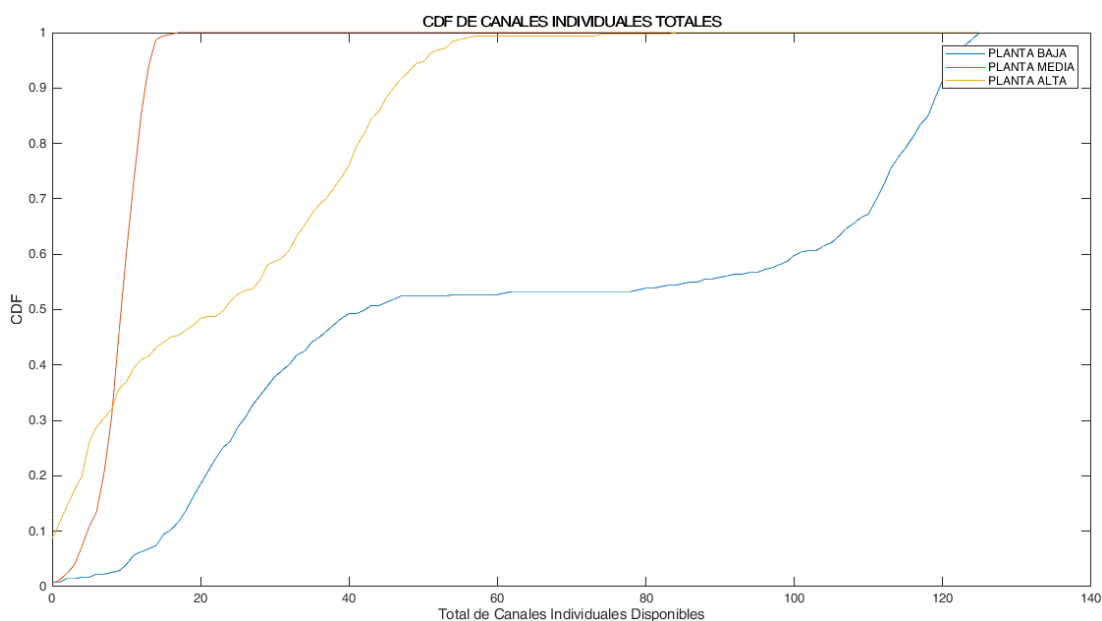


Figura 4. 8 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales del Edificio

Las gráficas anteriores muestran la tendencia decreciente de la disponibilidad de canales totales con respecto al piso en el que se encuentren. Mientras el piso esté más próximo a su altura máxima, la disponibilidad será menor dado a la menor cantidad de interferencia presente en los lugares altos.

4.4. Gráficos de Disponibilidad de Canales Conjuntos

Para representar la disponibilidad de canales conjuntos, se volverá a hacer uso de las gráficas densidad de probabilidad y probabilidad acumulada vs. Disponibilidad de canales para ilustrar la tendencia probabilística de esta disponibilidad conjunta, la misma que permitirá ver la factibilidad de transmisión de alguna de las tecnologías inalámbricas detalladas anteriormente.

La figura 4.9 corresponde a la función densidad de probabilidad con respecto a la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos simultáneos de la planta baja, el cual indica que habrá una mayor disponibilidad de 2 canales conjuntos y una disponibilidad casi equivalente entre 3 y 4 canales conjuntos simultáneos.

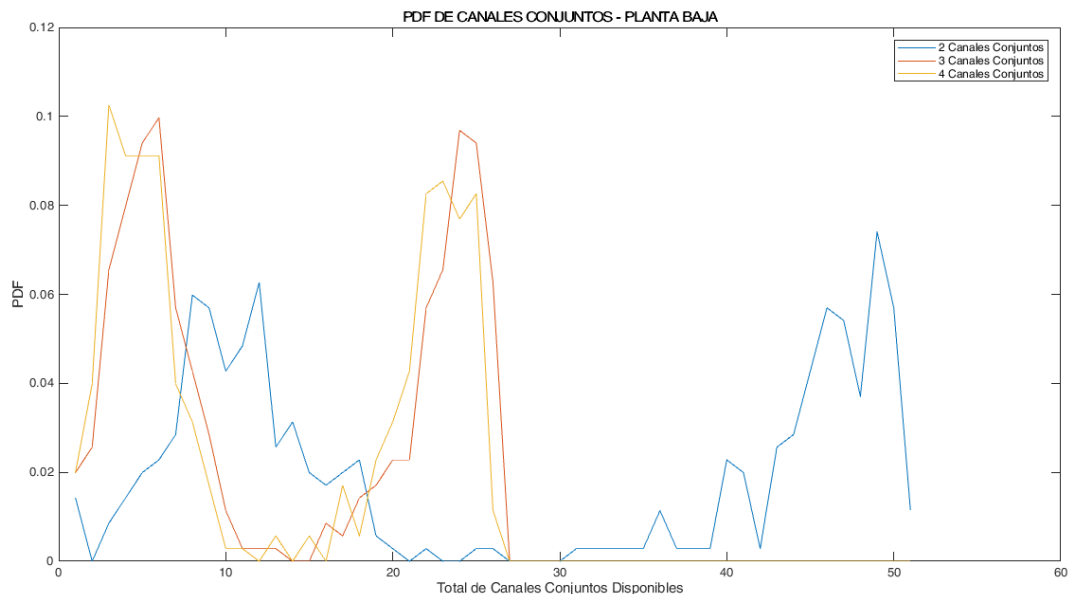


Figura 4. 9 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta baja

La figura 4.10 corresponde a la distribución de probabilidad acumulada con respecto a la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos simultáneos en la planta baja, los cuales muestran una disponibilidad máxima generalizada entre los 20 y 30 canales conjuntos siendo estos valores los máximos posibles según los resultados mostrados en las gráficas de disponibilidad de canales individuales.

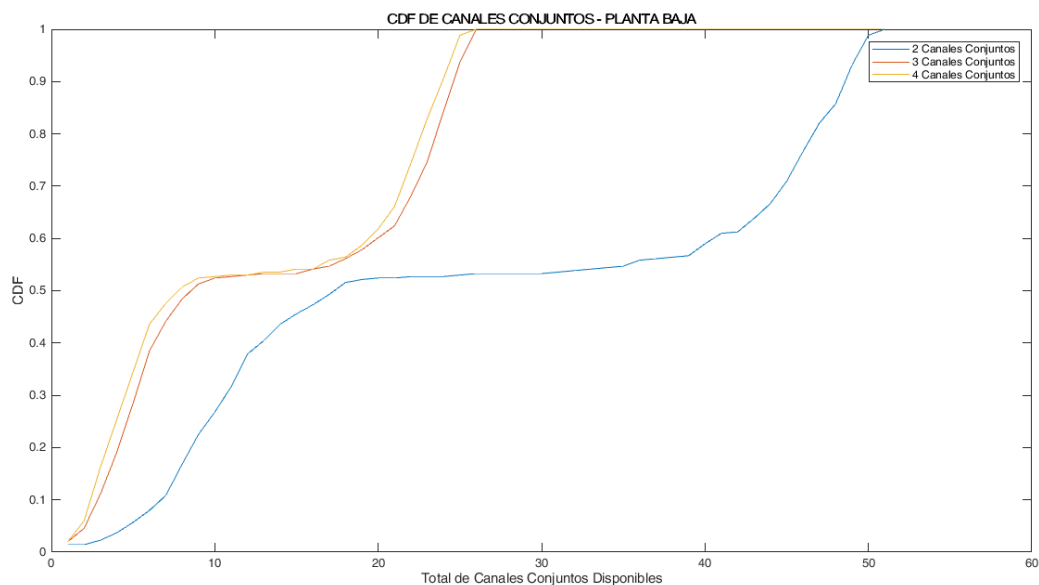


Figura 4. 10 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta baja

La figura 4.11 corresponde a la función densidad de probabilidad con respecto a la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos simultáneos de la planta media, el cual indica que habrá una mayor disponibilidad de 2 canales conjuntos y una disponibilidad casi equivalente entre 3 y 4 canales conjuntos simultáneos. En este piso se aprecia que el mayor valor de probabilidad pertenece a los 4 canales conjuntos disponibles, otorgando así una mayor factibilidad a la transmisión de cualquier tecnología inalámbrica que use un ancho de banda hasta de 800KHz.

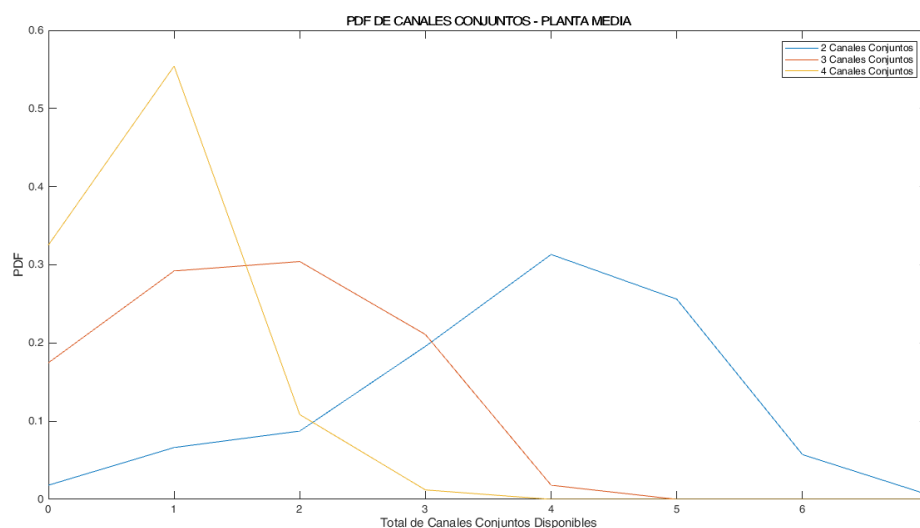


Figura 4. 11 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta media

La gráfica 4.12 corresponde a la probabilidad acumulada de la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos en la planta media con respecto al total de canales disponibles, la misma que muestra una baja totalidad de canales disponibles con respecto al piso anterior al ser la planta media superior respecto a la planta baja donde existen porcentajes mayores de disponibilidad generadas por las interferencias en el medio.

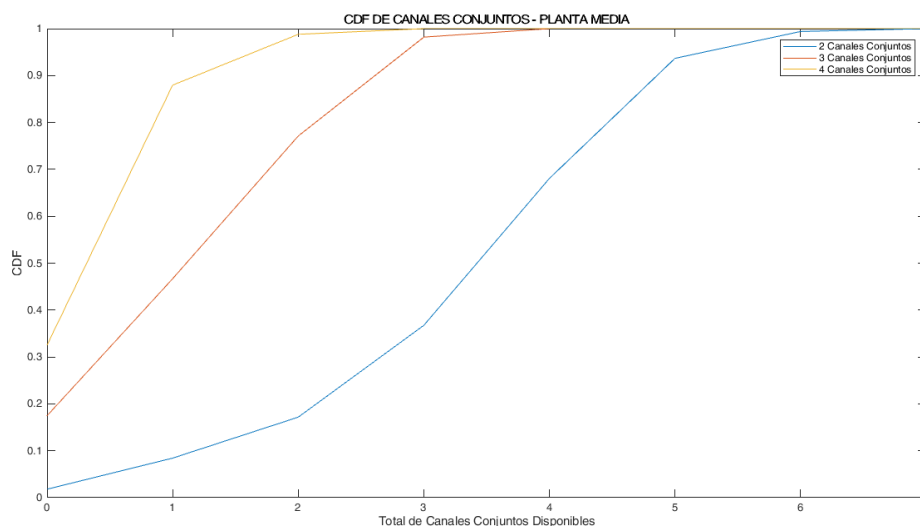


Figura 4. 12 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta media

La gráfica 4.13 corresponde a la función densidad de probabilidad con respecto a la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos simultáneos de la planta media, el cual muestra una irregularidad en cuanto a la disponibilidad de 2 canales conjuntos, y valores máximos y uniformes para 3 y 4 canales conjuntos, lo que refleja una estabilidad ideal para la transmisión de señales inalámbricas que requieran un ancho de banda de entre 600 KHz a 800KHz tales como telefonía móvil o radiocomunicación.

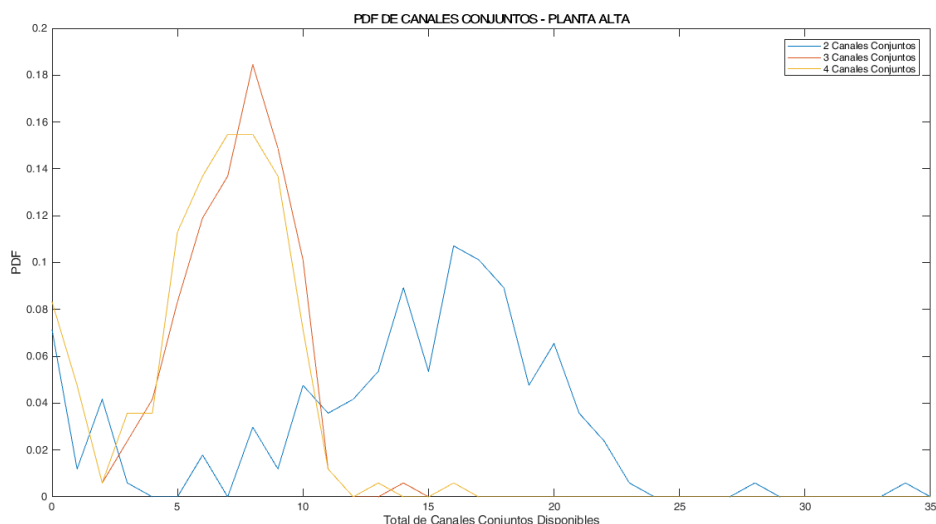


Figura 4. 13 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta alta

La gráfica 4.14 corresponde a la probabilidad acumulada de la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos en la planta alta con respecto al total de canales disponibles, la que indica que existe una disponibilidad conjunta generalizada a partir de los 20 canales para cualquier agrupación que se tome. Al ser este piso el de mayor altitud, también será el de mejor recepción de señales inalámbricas por lo que su disponibilidad general es la menor de todas las gráficas mostradas.

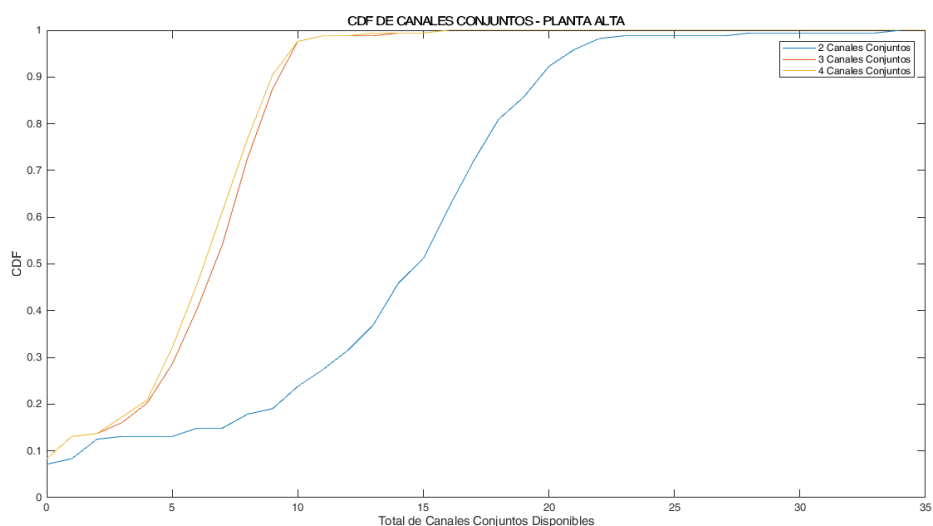


Figura 4. 14 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos de la planta alta

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En referencia al objetivo general de la investigación, se concluye que existe disponibilidad de canales en la banda UHF dentro del sector analizado y que éstas varían en función del piso donde se encuentre el dispositivo receptor acorde con las gráficas de niveles de potencias.

Se concluye que en el edificio “Quito” ubicado en la ciudadela FAE, zona norte de Guayaquil, existe una amplia disponibilidad de canales UHF según lo mostrado en las gráficas CDF con tendencia creciente, es decir que es recomendable para el uso e implementación de sistemas basados en acceso oportunístico al espectro.

Se concluye que la planta baja es el piso con mayor disponibilidad de canales UHF, lo cual hace más factible la implementación de sistemas inalámbricos basados en OSA debido a la baja recepción de los canales analizados.

Mientras aumenta la altura de la edificación, mejora también los niveles de recepción de las señales inalámbricas por lo tanto se concluye que en el piso más alto se encuentra la mayor recepción de señales radioeléctricas dada a la mayor variación de valores medidos en el análisis realizado.

Existe 4 dB de diferencia promedio de recepción de señales inalámbricas entre pisos, esta uniformidad se debe a la poca interferencia del medio externo al ser la edificación de estudio uno de los edificios más altos del sector y estos valores de recepción varía entre -56dB hasta -82dB aproximadamente con umbral criterio de decisión de -74dB.

Se concluye que la disponibilidad de canales también está en función del umbral de referencia para el criterio de decisión, esto se debe a que, si se aumenta el valor del umbral, existirá una mayor disponibilidad de canales totales y conjuntos, pero a su vez disminuirá la densidad probabilística de disponibilidad.

Esto queda demostrado en los análisis PDF y CDF realizados por piso, donde el piso más bajo tenía la mayor disponibilidad de canales, pero a su vez tenía los menores valores de densidad probabilística.

En la banda UHF predominan los canales analógicos dado a que la parte de estudio de esta banda la ocupa la asignación de comunicaciones móviles GSM según el plan nacional de Frecuencias de la ARCOTEL, además de también estar presentes las bandas de radiocomunicación y radionavegación. Los análisis de 2, 3 y 4 canales conjuntos con un ancho de banda individual de 200KHz. nos permite analizar la disponibilidad de canales para transmitir señales inalámbricas por OSA que ocupen un ancho de banda de hasta 800KHz. lo cual ofrece un mayor campo de acción para las señales de radiocomunicación cuando existan saturación de canales en las bandas principales asignadas.

Se concluye que los resultados generales han demostrado la disponibilidad espectral para una futura implementación de sistemas basados en acceso oportunístico al espectro para la banda UHF en ese sector con alta posibilidad de escalamiento debido a la versatilidad del análisis realizado.

Para evitar cualquier interferencia del medio en la toma de datos, se recomienda poner el dispositivo RTL en un ambiente climatizado dado al sobrecalentamiento del propio dispositivo por las horas continuas de uso, además de ubicar la antena del RTL sobre una base magnética para evitar desplazamientos o movimientos bruscos del mismo que afecten directamente las mediciones.

Para verificar la veracidad de los datos del análisis, se recomienda usar un dispositivo celular y realizar una llamada, enviar mensaje o usar internet móvil para detectar la ocupación de la frecuencia a analizar, y así de esta manera corroborar si en ciertas frecuencias la señal llega con claridad o intermitencia para demostrar la disponibilidad o no disponibilidad del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El WiFi al límite de su capacidad por la saturación de redes,» [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/article8853-el-wifi-al-limite-de-su-capacidad-por-la-saturacion-de-redes.html>. [Último acceso: Junio 2019].
- [2] «IoT - Internet Of Things,» [En línea]. Available: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>. [Último acceso: Junio 2019].
- [3] M. F. & C. e. c. c. M. C. y. R. W. Jones, «Gestión del espectro radioeléctrico,» 2009.
- [4] C. Research, «Situación de AWS en las Américas,» Buenos Aires, 2004.
- [5] Federal Communications Commission, «ET Docket No. 02- 135,» Spectrum policy task force report, 2002.
- [6] A. F. Vega León, «EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO VHF/ UHF,» Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestria en Redes de Información y Conectividad, Sangolquí, 2013.
- [7] I. B. Ruiz Quinde y R. R. Malta Bautista, *MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DEL RANGO DE FRECUENCIAS ASIGNADO A RADIOFUSIÓN POR TV (512 – 698 MHz) DE LA BANDA UHF DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA FIEC, CAMPUS PROSPERINA*, Guayaquil, 2017.
- [8] «La Sociedad es la beneficiaria del recurso natural del Espectro Radioeléctrico,» [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/la-sociedad-es-la-beneficiaria-del-recurso-natural-del-espectro-radioelectrico/>. [Último acceso: junio 2019].
- [9] Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, «Boletín electrónico N° 52,» Octubre 2008. [En línea]. Available:

http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro_e.asp.
[Último acceso: Junio 2019].

- [10] Arcotel, «PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS ECUADOR,» Quito, 2017.
- [11] «ENACOM,» [En línea]. Available: https://www.enacom.gob.ar/-que-son-las-interferencias-_p376. [Último acceso: Junio 2019].
- [12] «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/RTLSDR_Dongle. [Último acceso: Junio 2019].
- [13] «HACKER WARE HOUSE,» [En línea]. Available: <https://hackerwarehouse.com/product/rtlsdr/>. [Último acceso: Junio 2019].
- [14] Jean-François Pillou, «CCM,» [En línea]. Available: <https://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>. [Último acceso: JUNIO 2019].
- [15] «Sistemas de telefonía y comunicaciones móviles,» [En línea]. Available: <https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2/sistemas-de-telefonía-y-comunicaciones-moviles#segunda-generacion-2g>. [Último acceso: junio 2019].
- [16] J. M. Huidobro, «Network World,» [En línea]. Available: <https://www.networkworld.es/archive/handover-y-roaming-en-los-sistemas-moviles>. [Último acceso: Junio 2019].

