



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DEL RANGO DE FRECUENCIAS DEL SERVICIO MÓVIL (2110 – 2170 MHZ) DE LA BANDA DOWNLINK LTE DE TRES OPERADORAS MÓVILES EN UN EDIFICIO DEL CENTRO DE GUAYAQUIL, PARA EL POSIBLE USO DE DISPOSITIVOS CON ACCESO OPORTUNISTA”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORES:

- JUAN JOSÉ MOLINA REQUENA
- BRAULIO HALIM SADAKA NOLE

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por darnos las fuerzas, la determinación y energía necesarias para poder cumplir y levantarnos con emoción todos los días y recibir clases de 6 a 7 horas.

A nuestros padres, pilares en toda nuestra carrera, su apoyo para que seamos ingenieros en electrónica y Telecomunicaciones fue fundamental y por ese sentimiento de orgullo que los embargaba cuando comentábamos cada clase y con la culminación de cada semestre, lo que nos motivaba cada paso a seguir hasta llegar a la meta.

Al apreciado Ing. Medina, profesor y tutor nuestro, que siempre estuvo con nosotros madrugando y dándonos la bienvenida con vehemencia, a él que siempre brindó el apoyo a las ideas y resolviendo en el momento cualquier problema que se suscitaba.

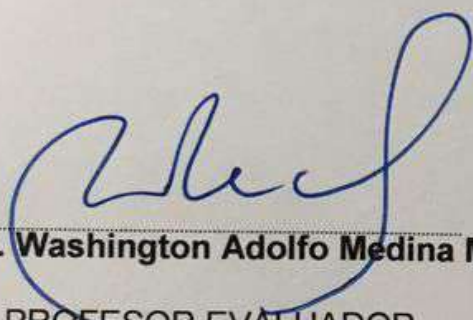
Y a todos los profesores que fueron luz de sabiduría y de los que nos llevamos: muchas anécdotas, motivación, aprendizaje, lecciones. Siempre mostrándonos el camino, pero con la diferencia de haber pasado primero por él y así allanar el recorrido para que podamos también caminarlo, pero sin muchos tropiezos.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios, eje fundamental de nuestra existencia, a nuestros padres que han estado con nosotros a lo largo de toda nuestra vida, siendo nuestros modelos a seguir y nuestra motivación constante.

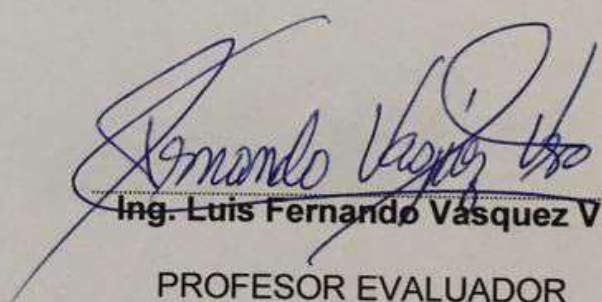
Y por último, esta dedicatoria va del uno a otro, a nosotros mismos, pues este es el último trabajo para poder obtener nuestro título profesional, y constituye una muestra clara de que todos los objetivos, por más difíciles que se vean son alcanzables con dedicación, empeño y ahínco. Esto es el resultado fehaciente que la dedicación de trabajar de lunes a viernes y estudiar fines de semanas y muchas veces de lunes a domingo, al final rindió sus frutos, y que ahora tendremos nuevas metas y objetivos, y sabemos que en base a todo lo aprendido durante este largo período podremos alcanzarlo.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



MSC. Washington Adolfo Medina M.

PROFESOR EVALUADOR

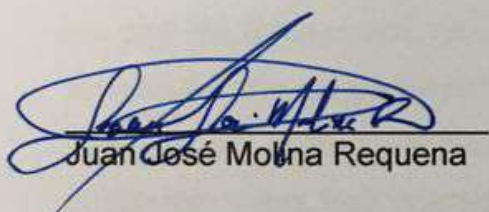


Ing. Luis Fernando Vasquez V.

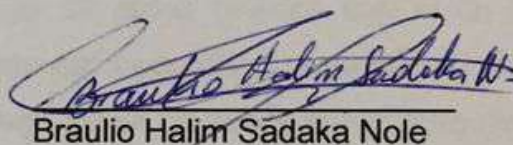
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

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



Juan José Molina Requena



Braulio Halim Sadaka Nole

RESUMEN

En la actualidad existe un gran desarrollo tecnológico, siendo las telecomunicaciones parte fundamental para el crecimiento de la misma, ya que estas permiten acortar distancias en el envío y/o recibo de información, estas permiten optimizar recursos y es vital para la creciente que se vive.

Es por esto que en lo que respecta al espectro radioeléctrico, su necesidad se ha vuelto más notoria y sus escases más preocupantes. Por lo que el problema principal es los escases de frecuencias disponibles para satisfacer las necesidades de una clientela cada vez más demandante. En cada país se ha establecido un agente regulador de radiofrecuencia, tal es el caso de la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones (Arcotel) en el Ecuador, la cual designa bandas de frecuencias para las compañías de redes móviles con el fin de que puedan brindar las concesiones que necesita cada operadora para brindar todos los servicios que requiere el usuario. En este estudio se analizara el espectro de banda designado a las tres operadores que se encuentran en el Ecuador que es desde 2110 Mhz a 2170 Mhz, la cual está prevista para downlink para el servicio LTE.

Se propone un estudio de la banda de frecuencia que soporta la tecnología LTE en su enlace de bajada establecido en los 2100 Mhz censándolo en un edificio en la zona central de la ciudad, con un análisis de la potencia espectral recibida en los pisos 1, 11 y 22, se modelará mediante un proceso estadístico-matemático las señales recibidas en cada banda de 5 Mhz de ancho para las tres operadoras concesionadas en el país las cuales poseen un ancho espectral de 20 Mhz, todo en busca de conocer su comportamiento y brindar las bases para aplicaciones que empleen el acceso oportunista.

En esta ubicación geográfica se encuentra los casos más extremos, por la aglomeración de usuarios por metro cuadrado, es por esto que los resultados de la captación de datos indicaron que en el primer piso vemos cerca de 40 MHz libres para su reutilización, mientras en el vigésimo segundo piso la ocupación completa de canales es notoria, esto se da ya que las operadoras al no poder brindarlos servicios a todos sus usuarios, genera un barring el cual mantiene los canales

ocupados para que los clientes no pierdan su servicio LTE pero no los puedan usar. En el piso 11° se experimentó la intermitencia de ocupación de canal, la cual al ser modelada existe una probabilidad de disponibilidad en los canales y están aptos para ser utilizados con dispositivos que soporten la tecnología de acceso oportuno al espectro, además realizadas las pruebas de Kolmogorov Smirnov se determinó un modelo estadístico el cual ayude a representar el comportamiento de las tecnologías analizadas como probabilidad LOG PEARSON tipo III, la misma que sirve para modelar datos estadísticos extremos con tres variables para determinar su comportamiento.

Vemos un comportamiento inverso en la disponibilidades de canales que brindan este servicio, es decir la disponibilidad fue disminuyendo conforme subían los pisos

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
CAPÍTULO 1.....	1
1. ANÁLISIS DEL ESPECTRO EN LA ZONA URBANA.....	1
1.1 Problema a resolver.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específico.....	2
1.3 Justificación del proyecto	3
1.4 Metodología.....	3
1.5 Alcance	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 Generalidades.....	5
2.2 Telefonía celular	6
2.3 Tecnología LTE.....	8
2.3.1 Tecnología IP	9
2.4 Arquitectura del sistema LTE.	10

2.4.1	Arquitectura general de los sistemas celulares	10
2.4.2	Arquitectura general del sistema LTE	10
2.4.3	Servicios LTE	12
2.5	Elementos lógicos.....	14
2.5.1	Servicios del sistema multimedia IP	14
2.5.2	Red troncal EPC	15
2.5.2.1	Entidades de gestion de movilidad.....	15
2.5.2.1.1	Autenticación.....	16
2.5.2.1.2	Movilidad.....	17
2.5.2.1.3	Manejo y gestión de suscripción y servicios de conectividad.....	17
2.5.2.2	Puertas de enlace de servicio(S-GW).....	17
2.5.2.3	Puerta de red de paquete de datos(P-GW).....	18
2.5.2.4	Función de políticas y reglas de carga	19
2.5.2.5	Servidor de suscripción local(HSS).....	20
2.5.3	Red de Acceso E-UTRAN	20
2.5.3.1	eNodeB.....	20
2.5.3.2	HeNB.....	22
2.5.3.3	Equipo de usuario	22
2.5.4	Interfaces	23
2.5.4.1	Interfaz LTE Uu.....	23
2.5.4.2	Interfaz S1-U.....	25
2.5.4.3	Interfaz S1-MME	26
2.5.4.4	Interfaz X2.....	27
2.5.4.5	Interfaz de Red troncal EPC.....	28
2.6	Tipos de enlaces.....	29

2.6.1	Enlace descendente	29
2.6.1.1	Señales físicas.....	30
2.6.1.2	Canales físicos de tráfico	31
2.6.1.3	Canales de control	31
2.7	Tecnología de nivel físico.....	31
2.7.1	OFDMA	32
2.7.2	SC-FDMA	33
2.8	Parámetros CDMA/LTE del terminal móvil.....	34
2.8.1	Parámetro para uplink	34
2.8.2	Parámetro para downlink	35
2.8.3	Modelo de Acceso Oportunista del Espectro(OSA) ..	36
2.8.4	Estadísticas	37
2.8.5	Parámetros del receptor móvil	43
CAPÍTULO 3.....		45
3.	METODOLOGÍA Y MODELAMIENTO.....	45
3.1	Ubicación	44
3.2	Perfil de elevación.....	46
3.3	Metodología	47
3.3.1	USRP N210	48
3.3.2	Antena Sirio SD 3000	49
3.3.3	Computador receptor	49
3.3.4	LabVIEW	50
3.4	Estado.....	51
3.5	Disponibilidad.....	52
3.6	Procedimiento para obtención de datos de canal.....	52
3.6.1	Matlab	52

3.6.2	Granularidad(G)	53
3.6.3	Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov	54
3.6.4	ASM	56
3.7	Modelamiento	59
3.7.1	Distribución Johnson Sb	59
3.7.2	Distribución generalizada Pareto	60
3.7.3	Distribución generalizada de Valores Extremos	61
3.7.4	Distribución Log Pearson tipo III	62
CAPÍTULO 4		63
4.	ANÁLISIS DE DATOS Y EXPERIMENTACIÓN	63
4.1	Configuración de USRP	63
4.2	Procesamiento de datos en Excel y Matlab	65
4.2.1	Validación de datos de niveles de potencias	66
4.2.2	Muestreo de nivel de potencia en cada canal	66
4.2.3	Obtención de gráficos estadísticos	77
4.2.4	Análisis de datos estadísticos	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		92
CONCLUSIONES		92
RECOMENDACIONES		94
BIBLIOGRAFÍA		96
ABREVIATURAS		100

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Aumento de suscripción de ancho de banda fijo y móvil	7
2. Arquitectura de 4G LTE	11
3. Elementos de la MME	15
4. Elementos de S-GW	18
5. Elementos de P-GW	19
6. Elementos de PCRF	20
7. Red de Acceso E-UTRAN.....	21
8. Nodos HeNB en arquitectura E-UTRAN.....	22
9. Arquitectura de equipo a usuario	23
10. Subcapas de la capa de enlace	24
11. Interfaz S1	25
12. Interfaz S1-X2.....	27
13. Portadoras radio ortogonal en LTE por OFDM.....	29
14. Incremento de radios base operador 1.....	38
15. Radio base por provincia operador 1	39
16. Radio base por provincia operador 3	40
17. Incremento de radios base operador 3.....	41
18. Incremento de radios base operador 2.....	42
19. Radio base por provincia operador 2	43
20. Ubicación del edificio	46
21. Edificio Plaza San Francisco.....	46
22. Perfil de elevación	47
23. Vista posterior de USRP	48
24. Antena discónica	49

25. ASM de la captura de datos.....	58
26. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 1	67
27. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 2.....	68
28. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 3.....	69
29. Muestreo de datos de nivel de potencia del piso 1	70
30. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 1	71
31. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 2.....	72
32. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 3.....	73
33. Muestreo de datos de nivel de potencia del piso 11	74
34. Muestreo de datos de nivel de potencia del piso 22.....	76
35. CDF de los cuatro canales de la operadora 1 en el piso 1	77
36. CDF de los cuatro canales de la operadora 2 en el piso 1	78
37. CDF de los cuatro canales de la operadora 3 en el piso 1	78
38. CDF de los cuatro canales de la operadora 1 en el piso 11	79
39. CDF de los cuatro canales de la operadora 3 en el piso 11	79
40. CDF de los cuatro canales de la operadora 1 en el piso 22	80
41. CDF de los cuatro canales de la operadora 2 en el piso 22	80
42. CDF de los cuatro canales de la operadora 3 en el piso 22	81
43. CDF de los cuatro canales de la operadora 2 en el piso 11	82
44. Función de distribución acumulada de los datos y Johnson SB del canal E.....	83
45. Distribución acumulada de los datos y de Johnson SB del canal E.....	84
46. Pruebas de Kolmogorov Smirnov de los datos del canal E	85
47. Función de distribución acumulada del canal F y Log Pearson tipo III	85
48. Distribución acumulada de forma continua del canal F y Log Pearson tipo III ..	86
49. Pruebas de Kolmogorov Smirnov de los datos del canal F.	87
50. Función de distribución acumulada del canal G y Log Pearson tipo III.....	87

51. Distribución acumulada de forma continua del canal G y Log Pearson tipo III.	88
52. Pruebas de Kolmogorov Smirnov de los datos del canal G.....	89
53. Distribución acumulada del canal H y Log Pearson tipo III.....	89
54. Distribución acumulada de forma continua del canal H y Log Pearson tipo III...	90
55. Pruebas de Kolmogorov Smirnov de los datos del canal H.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

1. Velocidad máxima teórica en la transmisión de datos en enlaces Descendentes (DL) por tecnología	7
2. Registros de operadora 1	37
3. Participación de mercado de operadora 3.....	39
4. Registro de mercado de operadora 2.....	41
5. Valores que pueden tomar las variables $c\alpha$ y α dependiendo la distribución a analizar.....	56
6. Forma de determinar la variable $k(n)$	56
7. Datos de configuración de los canales de operadora 1	64
8. Datos de configuración de los canales de operadora 2.....	64
9. Datos de configuración de los canales de operadora 3.....	65
10. Cantidad de datos obtenidos en las mediciones	65
11. Porcentajes de error para las distribuciones probabilística seleccionada de cada canal.....	83

CAPÍTULO 1

1. ANÁLISIS DEL ESPECTRO EN ZONA URBANA

1.1 PROBLEMA A RESOLVER

En estos días que vivimos un mundo globalizado y en constante actualización, la necesidad de mantenernos comunicados permite el desarrollo de diversas tecnologías para aprovechar los recursos disponibles para estos medios. En este ámbito las comunicaciones inalámbricas se consideran su faceta más predominante permitiendo cantidades significativas de innovación. Los recursos disponibles para llevarlas a cabo se encuentran ya definidos, por lo que la distribución de frecuencias para estos fines limita el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías. Esta es la razón por la que realizaremos este análisis, nuestro objetivo es analizar el uso actual de estas bandas y mediante un modelamiento matemático poder optimizar el aprovechamiento de las mismas.

La transferencia de datos requiere una banda de frecuencia, que permita transferir una gran cantidad de datos a largas distancias.

En el Ecuador existe la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), como agente regulador de las telecomunicaciones, este a su vez tiene la potestad para distribuir las frecuencias a usarse en las diversas tecnologías implementadas en el país, las bandas distribuidas existen bandas desde MF (Media Frecuency) hasta SHF (Super High Frecuency) mientras más alta se encuentre está más compleja se vuelve la comunicación, sufre mayor atenuaciones y solo se puede emplear en menores distancias sin el uso de repetidoras o filtros más avanzados que mitiguen el error que se produce al trasladarse la frecuencia. Del cual podemos observar las asignaciones de frecuencia se encuentran copadas casi en su totalidad.

El análisis propuesto medirá la potencia de las bandas (2110 Mhz-2170 Mhz) para determinar la disponibilidad en los que estas frecuencias son menos usadas y a su vez optimizar el uso de las mismas.

Se busca desarrollar un modelo que permita describir cómo se comportan estas tecnologías en función del tiempo considerando la potencia aplicada y determinar la posibilidad de emplear las frecuencias menos usadas, según el tiempo, en otras tecnologías oportunistas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Analizar, caracterizar y modelar el rango de frecuencia de 2110 Mhz a 2170 Mhz del espectro a un servicio móvil de la banda downlink de la tecnología LTE, en 3 pisos diferentes de un edificio ubicado en el centro de la ciudad de Guayaquil.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Medir la banda 2110 Mhz – 2170 Mhz, en el piso 1, 11 y 22 de un edificio en el centro en de la ciudad de Guayaquil.
2. Modelar los resultados según las muestras obtenidas.
3. Caracterizar con funciones estadísticas los resultados obtenido de la medición.
4. Analizar el porcentaje de ocupación de canal.

1.3 Justificación del proyecto

El proyecto va orientado a modelar mediciones para poder optimizar el uso de las frecuencias a analizar en el área determinadas, mediante un modelamiento matemático para comprender de forma cuantitativa el comportamiento de las mismas en base a la potencia que se aprecia en la zona norte de Guayaquil, medido mediante un USRP, con el fin de poder realizar el rehúso eficiente de frecuencia y dar opciones basadas en disponibilidad para el uso de las mismas en aspectos distintos a los que determina la ARCOTEL, además es un trabajo que le brindará herramientas al administrador del edificio y a las operadoras en fin de brindar un mejor servicio a los habitantes del mismo.

Fijándose en los inconvenientes primordiales que actualmente nos afecte y nos impide la constante crecimiento del ser humano, al modelar la potencia electromagnética del espectro recibido en el sector norte de Guayaquil, se puede comprender su comportamiento y dar un uso más eficiente y generara una condición óptima para el desarrollo de la tecnología, más ahora que nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos se están planteando dentro del país con el Gobierno actual, el cual por la falta de investigación previa tiene un amplio crecimiento y desarrollo por generarse, de tal forma que garantice un mejor uso de frecuencia y permita ofrecer nuevos servicios que beneficien a las personas.

1.4 Metodología

Para la realización del proyecto primero se realizará las mediciones de los canales de la banda UHF- Down link de las operadoras que trabajan dentro de la república del Ecuador, estas mediciones se lo efectuará con el equipo USRP (Universal Software Radio Peripheral), la cual permite mediante un computador, una antena Sirio SD, el software LABVIEW y un algoritmo, medir las frecuencias requeridas en un edificio ubicado en el centro en la ciudad de Guayaquil.

El análisis del comportamiento de espectro es el segundo paso y se lo realizará mediante un algoritmo usando LABVIEW, de esta manera y con el estudio de modelamiento estadístico, podemos asignar un modelo a los resultados arrojados por el USRP.

Finalmente, ya obteniendo el modelo de la frecuencia asignada, podemos predecir su comportamiento, y en base a eso manejar dicho canal para optimizarlo.

1.5 Alcance

En este proyecto se van a tomar muestras de la banda 2100 Mhz, estas serán cesadas mediante un analizador de espectro (USRP) marca Agilent, modelo E4404B y con una antena SIRIO SD 2000U

El USRP se encargará de recolectar las señales de la banda 2100 Mhz y mediante una interfaz usando el ambiente de LABVIEW se validarán los datos y los guardará en una hoja de cálculo de Excel para su análisis posterior en una computadora.

Ya con los datos obtenidos se usara un análisis estadístico, comparando los resultados con tres variables ya conocidas, de esta forma ser capaces de presentar un modelo que represente el proceder de las bandas a analizar.

La finalización de este proyecto se da al comparar los datos obtenidos con el modelo estadístico determinado previamente y poder predecir el comportamiento de estas tecnologías a futuro.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

2.1 Generalidades

La radiodifusión nos permite transmitir información a largas distancias, permitiendo comunicarnos mediante mensajes de texto, audio, imágenes, entre otros; todo esto gracias al estudio de las ondas electromagnéticas.

El mayor problema que se encuentra es que no todas las frecuencias pueden ser empleadas para la transmisión de datos por las propiedades como su amplitud, periodo, longitud de onda, etc. Y se determina que a partir de los 100.000 Hz, es decir ondas inaudibles.

Dichas ondas se usan para la transmisión de voz y datos por telefonía celular, televisión, radares, comunicación espacial, etc.

Todo esto conlleva al problema de ocupar bandas, la demanda de este recurso se vuelve un problema creciente gracias a la implementación y desarrollo de nuevos servicios inalámbricos que ofrecen el avance y crecimiento tecnológico global en las diversas áreas de las telecomunicaciones, y todo esto se debe procurar de que no exista interferencia al momento del envío de información, además de que existe numerosos problemas en cuestión de horarios o lugares en uso de frecuencia por congestión denominado hora pico o zonas densamente pobladas, las cual mediante un ente regulador, en el Ecuador conocido como ARCOTEL, a más de asignar un espectro a las empresas de comunicación, exige el cumplimiento de los parámetros establecidos.

Las nuevas tecnologías que pueden ser ofertados al mercado como servicios está en constante crecimiento a nivel mundial, pero se cada vez va creciendo más su limitante siendo afectado por la escases de reservas de determinadas bandas del espectro electromagnético, y sus servicios se convierten en más limitados o restringidos

La telefonía celular es la tecnología con mayor demanda, es decir tiene más usuarios en ocupación de canales, además de que en el Ecuador existen 3 operadoras que cubren las necesidades latentes.

Los servicios que ofrecen las operadoras se encuentran asignados en altas frecuencias y estas tiene mayor asignación de canales, y se encuentra ubicado en el orden de los Mhz.

2.2 Telefonía celular

En el Ecuador actualmente existen tres operadores que ofrecen servicios celulares, las cuales son compañías que poseen marcadas diferencias en calidad de servicio y usuarios dentro de la localidad.

La primera operadora es la que posee mayor usuario, y se denominara como operadora 2, esta entró en el mercado ecuatoriano en el año 1993, cuando tener un servicio móvil era considerado un lujo en el país, pero a medida que pasaban los años se volvió una necesidad básica para los ecuatorianos. En marzo del 2011 entró en una asociación para abarcar mayor ocupación regional, esto es dado ya que fusionó las operaciones de 2 compañías.

Por otra parte la operadora con segunda mayor cantidad de usuarios en el país que denominaremos como operadora 3, ingresó al país en el año 1998 fue adquirida por una corporación de Estados Unidos, y en el año 2004 con un fuerte gasto de marketing avalado por la compañía, esta empresa fue adquirida por una multinacional de telecomunicaciones, la cual ingresó con un nombre muy conocido por su introducción en toda américa latina, permitiendo conexiones vía celular fuera del país.

La compañía menos popular en el país la denominaremos como operadora 1, esta se introdujo en el mercado ecuatoriano en el año 2003, en el gobierno del presidente Lucio Gutiérrez, como una alternativa adicional para las operadoras tradicionales, y con ofertas más populares para la conexión entre usuarios. Esta compañía fue fundada en base a deudas y administrada en sus inicios por una empresa Sueca, luego por fue manejado por una compañía italiana y luego por otros administradores. Sus accionistas mayoritarios fueron empresas ecuatorianas que dominaban las comunicaciones fijas. Actualmente todas estas compañías son parte de la operadora 3 debido a un decreto presidencial para evitar el quiebre de la estatal móvil.

A partir del año 2005, la telefonía celular tuvo un aumento importante en la solicitud de servicio. En la figura 1 se observa un crecimiento exponencial, por la rápida subida de usuarios que mantienen las compañías notando claramente las suscripciones en tarifa de banda ancha móvil y a su vez el estancamiento con las suscripciones en el servicio de ancho de banda fijo, esto es producto de que el mundo se encuentra en constante desarrollo y

movimiento, y este progreso provoca una diferencia grande entre ambos servicios. Una de las formas para soportar este incremento acelerado por los servicios móviles y más envió de datos por espacio físico, tanto de subida como de bajada, empuja al avance tecnológico, ya que se requiere más servicios en menos espacios y tiempo, y con ello se define nuevos sistemas que pudieran abastecer las necesidades de estos teléfonos móviles.

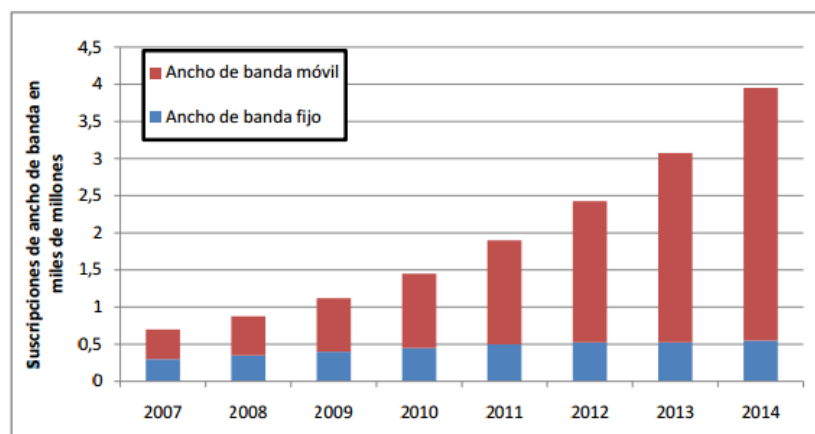


FIGURA 1. AUMENTO DE LAS SUSCRIPCIONES DE ANCHO DE BANDA FIJO Y MÓVIL.
FUENTE: Registros administrativos de ARCOTEL marzo 2015.

Uno de los servicios que genera mayor demanda en la actualidad es la de servicio de datos, alcanzando con la tecnología LTE un sistema que permita enlazar las tecnologías pasadas con las actuales y nacientes. Esto a su vez permite el mayor envió de datos tanto de subida como de bajada mejorando notablemente hasta más de un 10000% tal como podemos observar en la tabla 1.

Sistema de comunicación	Velocidad de transmisión de datos (DL)
GSM	9,6 kbps
GPRS	21,4 kbps
HSPA	14,4 Mbps
HSPA+	28 Mbps
LTE	100 Mbps

Tabla 1 Velocidad máxima teórica en la transmisión de datos en enlace descendente (DL) por tecnología.

FUENTE: Registros administrativos de ARCOTEL

2.3 Tecnología LTE

Desde los inicios de la tecnología celular, la tecnología para brindar mejores servicios y mantener una competencia latente entre operadoras, creció año a año, por lo que no se para de introducir nuevas tecnologías como la historia lo indica con las siguientes tecnologías: 1G, GSM, 2G, GPRS, 3G, UMTS, 3.5G, HSPA y la nueva que se está introduciendo en el país que es 4G LTE, que se la define como “all-ip”, de tal manera de conseguir una movilidad total junto a una gran capacidad multimedia.

El “Long Term Evolution” (LTE), usa varios estándares antiguos, pero esta vez todos sus datos son manejados a través de comunicación IP, de tal manera que aumenta la velocidad de comunicación a 100Mb/s y 1 Gb/s.

La tecnología LTE, se desarrolló con el fin de ser la cuarta generación en tecnología de comunicación celular, los principales objetivos “en su desarrollo fueron alcanzar elevadas eficiencias espectrales (5 bits/s/Hz en el enlace descendente y la mitad en el ascendente) y flexibilidad en la asignación de frecuencia”. [32]

Para el desarrollo de la tecnología 3GPP hubo marcados requerimientos los cuales permitieron gozar de nuevos beneficios, los cuales son:

- Reducción de retardos de transmisión
- Incrementar la tasa de datos por usuarios, es decir para DL 100Mbps y en el UL 50 Mbps.
- Anchos de banda escalable, con el fin de usar lo necesario y soportar bandas de 20, 15, 10, 5, 3 y 1.4 Mhz.
- Uso de banda pareada modo FDD y no pareada modo TDD
- Mejorar tasa de datos en celdas afectadas por interferencias
- Reducir el coste por bit, implicando una eficiencia espectral
- Arquitectura de red simplificada
- Reducir el consumo de potencia por los beneficios obtenido
- Mejorar la cobertura
- Aumento en la calidad de servicio, de tal forma garantizar servicios de extremo a extremo.

LTE ofrece una solución aceptable con una arquitectura de red eficiente, es decir tratar de aprovechar todos los recursos para mejorar los servicios, en

la cual mejora su estabilidad y reduce la latencia mediante la reducción de un número de elementos en la red. En LTE en el NodeB (estación base o celda), se incluyen todos los algoritmos de la arquitectura de red del Release 6 formaban parte del Radio Network Controller, con el fin de manejar una arquitectura de red con mejor distribución.

2.3.1 Tecnología IP

La telefonía IP es una tecnología que permite integrar varios paquetes de datos (servicios) en una misma red, todo esto basado en el protocolo IP de comunicación. Gracias a la mejora y estandarización de los sistemas de control de calidad de servicio (QoS) y a la universalización del servicio de internet se pudo generalizar esta tecnología y poder aprovechar sus beneficios e incluirlos para mejoras del servicio móvil.

La telefonía IP es un conjunto debidamente integrado de elementos que permiten suministrar un servicio de telefonía basado en VoIP a la empresa. Estos elementos son:

- Centralita IP
- Gateway IP
- Teléfonos IP

Esta nueva tecnología posee grandes ventajas las cuales se destacan:

- La simplificación de la infraestructura de comunicaciones en la empresa
- La integración de las diferentes sedes y trabajadores móviles de la organización en un sistema unificado de la tecnología con gestión centralizada.
- Llamadas internas gratuitas
- Plan de numeración integrado
- Y, optimización de las líneas de comunicación, la movilidad y acceso a funcionalidades avanzadas (buzones de voz, IVR, ACD, CTI, etc.)
-

2.4 Arquitectura del sistema LTE

2.4.1 Arquitectura general de los sistemas celulares

Los elementos que conforman un sistema de comunicación celular:

- Equipo de usuario: Dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que nos ofrece la red. El dispositivo del usuario tendrá una tarjeta inteligente, que comúnmente denominamos tarjeta SIM (Subscribe Identity Module), que contendrá la información necesaria para poder conectarse a la red y poder disfrutar de los servicios que nos ofrece nuestro proveedor de servicio. Se conectará a la red a través de la interfaz de radio.
- Red de acceso: es la parte del sistema que realiza la comunicación, transmisión radio, con los equipos de usuario para proporcionar la conectividad con la red troncal. Es la responsable de gestionar los recursos radio que estén disponibles para ofrecer los servicios portadores de una manera eficiente. La red de acceso está formada por estaciones base y dependiendo de la generación, por equipos controladores de estaciones base.
- Red troncal: parte del sistema que se encarga del control de acceso a la red celular, por ejemplo la autenticación de los usuarios, gestión de la movilidad de los usuarios, gestión de la interconexión con otras redes, control y señalización asociada al servicio de telefonía, etc. Los equipos que conforman esta red albergan funciones de conmutación de circuitos, routing, bases de datos, etc.". (Bermeo Nasdup,2014, p. 11)[33]

2.4.2 Arquitectura general del sistema LTE

Esta arquitectura "EPS" es denominada Evolved Packet System, mantiene el concepto de las comunicaciones de otras generaciones, es decir se divide el sistema en tres partes:

- Red de acceso (E-UTRAN o LTE)
- Red troncal (EPC o SAE(System Architecture Evolution))
- Equipo de usuario

Estos componentes funcionan como un solo cuerpo en sí, de tal manera pueden soportar los servicios que la tecnología ofrece mediante mecanismos de conmutación de paquetes, de esta manera obviamos menos instrumentos para cada servicio como en las anteriores tecnologías.

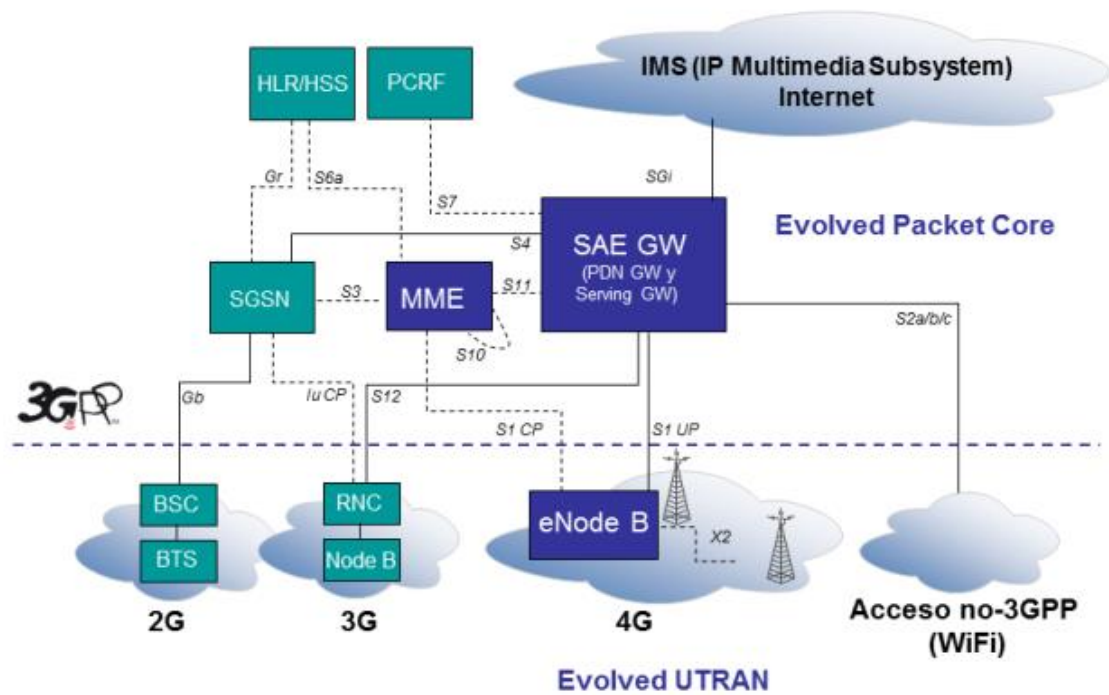


Figura 2. Arquitectura de 4G LTE. [35]
Fuente: www.ramonmillan.com

La tecnología 3G se compone por:

- Red troncal de paquetes de SGSN.
- La puerta de enlace GGSN.
- Acceso radio de NodeB y RNC.[34]

LTE al ser todo IP, se simplifica para optimizar las funcionalidades, de tal manera que simplifica el requerimiento a la red para llevar al máximo la tasa de transferencia de datos y a su vez disminuir la latencia, por lo que omiten los cuatros nodos y emplea arquitectura más simple y sus componentes son:

- eNodeB E-UTRAN
- "Access Gateway "(aGW) EPC

Al contrario de otras tecnologías se elimina el controlador central y sus tareas son repartidas entre el eNodeB B y aGW. De esta manera las estaciones base se conectan con al aGW y a su vez entre sí para poder cambiar información directamente de usuario a control.

El Access Gateway es formado por dos apartados lógicos del nivel de usuario, el PDN Gateway y Serving Gateway, los cuales se nominan SAE GW; y a su vez del Mobility Management Entity (MME) apartado del nivel de control. Estas pueden estar implementadas físicamente en el mismo nodo o en separados, definiendo interfaces estándares para configuraciones multi-vendedor.

2.4.3 Servicios LTE

Esta nueva tecnología al ser todo comunicación IP ofrece múltiples servicios en la cual destacan:

- Soporte de Voz: no se implementan circuitos conmutados en el manejo de llamada de voz como en las anteriores tecnologías como 2G o 3G, ahora existe tres formas que son:
 - CSFB: Circuit switched fallback, usada en las tecnologías antiguas como 2G y 3G, es el método común diseñado en el 3GPP para sus etapas iniciales en la difusión de LTE. A través del CSFB el equipo móvil es redirigido al 2G/3G para recibir o realizar llamadas de voz y permanecer en el circuito conmutado hasta su culminación, esto es importante en redes de poca cobertura LTE, en el Ecuador esto permite que los equipos viejos mantengan utilitarios de tal forma no les genere grandes inversiones la nueva tecnología, además que permite evitar los continuos handover entre conmutación y VoIP, ya que solo ofrece los servicios de voz y mensajes escritos.
 - mVoIP: en la línea Over-the-top (OTT) se encuentran aplicaciones de uso frecuente y populares como: FaceTime™, Skype™, Tango™, Viber™ entre otras. Estas aplicaciones son si costo y de fácil instalación por lo que de ahí radica su éxito, tal que permite llamadas telefónicas sin costo para el usuario o con costo de paquetes de datos que es menor al de voz. Esto permite que varias empresas trabajen en base a dichas aplicaciones para ofrecer mejores

servicios, dado a que todo se convierta en IP y así se mejore las capacidades multimedia.

- VoLTE: Es un servicio fundamentado en los IP Multimedia Subsystem (IMS), este ofrece los servicios que da las anteriores tecnologías con el uso de circuitos conmutados. Ofrece los servicios habituales brindando una mejor calidad debido al empleo de códecs de banda ancha junto al minimizado tiempo de implementación de llamadas que es 3 veces menor que la tecnología UMTS, además que permite usarse en la creación de distintos servicios avanzados proveyendo las bases necesarias para la comunicación en tiempo real y los intercambios multimedia, es decir la intención es manejar mediante aplicación web los servicios de voz. La solución de este servicio permite la integración del Rich Content Suite Enhanced (RCSe), conocida comercialmente mediante WhatsApp™, permite realizar video llamadas, mensajería instantánea, envíos de ficheros, entre otros, y ofrece una seguridad más robusta de tal forma que este servicio sea idóneo para redes LTE más maduras.

- Mayor velocidad máxima de bajada que es alrededor de 100 Mbps y de subida 50 Mbps.
- Otorga a los celulares con la capacidad tecnológica comunicarse en cualquier parte del mundo a velocidades similares y en ciertos casos superiores a la banda ancha tradicional
- Cobertura total, asegura movilidad y compatibilidad entre los sistemas(red propia y otras redes)
- Mayor velocidad de conectividad, podrán los usuarios conectarse diez veces más rápido a través de redes 3G.
- Menor corte, comunicación más fluida en video llamadas, emisiones en vivo entre otros, gracias a las conmutaciones de redes que se efectúan.
- Descargas con mayor resolución, permite mayores y mejores descargas de contenido multimedia de alta definición, es decir se podrá descargar 700 MB en 90 segundos aproximadamente.
- Juegos en red con mayor definición y propiedades.
- Ver televisión en alta definición.

- Realizar Streaming en alta definición y en tiempo real, sin interrupciones por búfer.
- La transferencia de datos se ejecutará con mayor rapidez.
- Mayor cantidad de aplicaciones.

2.5 Elementos lógicos

Los elementos importantes que usa la tecnología LTE son:

- Subsistema multimedia IP.
- Red troncal.
- E-UTRAN (eNodeB).
- Equipo de usuario.

2.5.1 Subsistema multimedia IP

Calificado como un apartado externo a la red LTE, este brinda un mecanismo para proveer en base IP los servicios multimedia, siendo los siguientes elementos los que conforman la infraestructura:

- Servidores
- Bases de datos
- Plataforma

Estos elementos mantienen una comunicación entre sí basados en normas IETF por medio de protocolos, con el objetivo de facilitar la interoperabilidad para las diferentes redes actuales de las terminales móviles.

El IMS puede sustituir todos los servicios en modo de circuito que se ofrecen por un mecanismo de conmutación de paquetes en el que los servicios de tiempo con restricciones real se soportan con el protocolo IP.

Estos protocolos permiten gestionar servicios asociados con la comunicación IP. SIP más conocido como el protocolo de inicio de sesión, es el que soporta la señalización asociada a IMS, por ello la tecnología 3 GPP la adopta como base a protocolo.

El subsistema se compone por 3 capas:

- Capa de control: Es basado en el protocolo SIP, cuando realiza el intercambio de información esta contiene las entidades de control.
- Capa de transporte: Es el que da el enrutamiento a los paquetes IP, es decir representa a la red IP del sistema, esto va en función a la conexión de la tecnología que realiza.
- Capa de aplicación: Esta capa se mientras se realizan intercambios de datos con aplicaciones externas o el usuario, esta almacena a los servidores de las diferentes aplicaciones multimedia.

2.5.2 Red troncal EPC

2.5.2.1 Entidad de gestión de movilidad

Se ubica en la red troncal EPC, esta se encarga de gestionar para que el equipo del usuario pueda acceder al servicio de comunicación mediante la red E-UTRAN. Dependiendo de la localización de cada UE se asigna a una MME este a su vez maneja un grupo de eNodeB considerando la carga o la ubicación de cada elemento de la red.

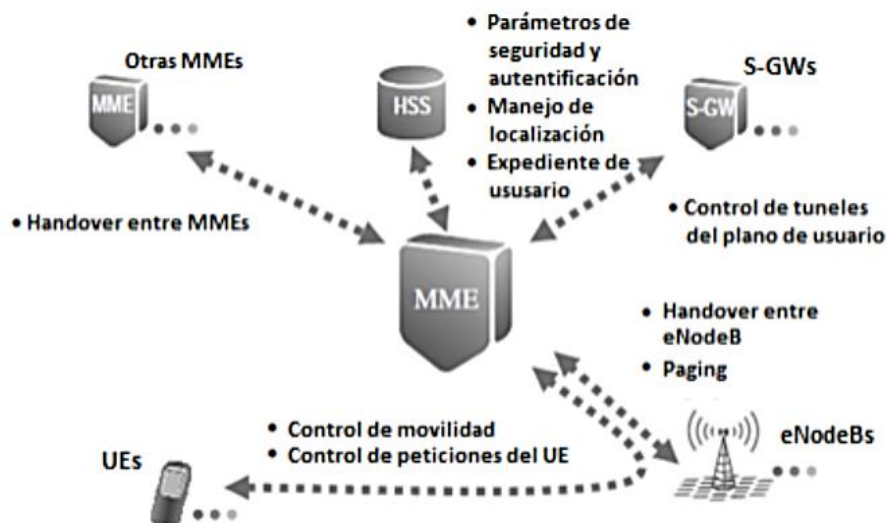


Figura 3. Elementos de la MME

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

La MME maneja tres funciones principales que gestión la comunicación para esta tecnología que son:

1. Autenticación: Esto se basa en verificar la conectividad, es decir autorizar y autenticar a los usuarios dentro del sistema, esto lo realizan mediante un mecanismo conocido como Autenticación y Acuerdo de Clave.
2. Movilidad: Esta función es única en la entidad de la MME, esta rastrea a todos los equipos de los usuarios que se ubican en las zonas determinadas como nodos llamadas Áreas de Seguimiento.
3. Servicios de conectividad, manejo y gestión de suscripción: Esta función de la MME se usa como almacén de información de los servicios que cuenta cada equipo de usuario que se encuentra dentro de la zona asignada.

2.5.2.1.1 Autenticación

El proceso de Autenticación y acuerdo de clave se maneja en la MME cuando recibe del primer mensaje, que se registra en la red o para actualización de área, enviado por el UE como pedido de inicio de servicio.

Si la central del servidor no encuentra la autenticación necesaria del usuario pide a la red mediante un mensaje nuevo que debe incluir el código específico del usuario IMSI. Una vez ya contando con los datos necesarios para la MME, se pide nuevamente autenticar al usuario nuevamente pero esta vez debe incluir el identificador corto, un parámetro de autenticación y un número aleatorio, ya con dicho mensaje el USIM (Modulación de identificación Universal del Suscriptor) verifica la validez del parámetro de validación con el fin de conocer cual red el usuario desea realizar conexión, y esto se realiza llamado a cada una y esperando respuesta de aceptación, y esta para finalizar la acción debe ser idéntica al vector de autenticación.

2.5.2.1.2 Movilidad

LA MME controla varias Tas, todas estas manejadas por un eNodeB distinto con el fin de mitigar el solapamiento entre las zonas de servicio.

La movilidad es controlada por la MME por TA o eNodeB, mediante mensajes de avisos que se denomina paging. Estos mensajes son enviados a la MME hasta ubicar al equipo del usuario ya que a más de mantener el registro de movimiento, esta controla las señales para el handover entre eNodeB, S-GW o MMEs.

Las características de las redes KLTE es que la señalización que se produce en ciertas áreas de límites entre Tas sea reducida, permitiendo registrar a un UE en múltiples Tas, siendo que la localización sea de forma de aviso seden solo cuando un UE se mueve fuera el grupo al que se encuentra anexo

2.5.2.1.3 Manejo y gestión de subscripción y servicios de conectividad

Con esta función se busca rescatar el perfil de servicio con los que cada UE cuenta, mientras este dentro de los datos de la red. Esto se da mediante conectividad IP que realiza la MME, además del envío de datos como señal que se da entre el eNodeB y la S-GW.

2.5.2.2 Puertas de enlace de servicio(S-GW)

Esta es parte de la Red Troncal EPC. La MME controla todo su recurso, por lo que sus funciones son secundarias.

El equipo del usuario puede estar enganchado a solo un S-GW y dependiendo su ubicación se determina a cual enlazar, la zona de enlace cubierta por eNodeB. Si el equipo del usuario sale de la zona de cobertura determinada por la S-GW se realiza un handover para engancharse a otra, este proceso también se efectúa al salir de la zona designada del eNodeB para cobertura. Todo este proceso es controlado por la MME.

La función principal de la S-GW es permitir el enlace de una red LTE con otras redes que posean tecnologías inferiores.

La S-GW una de las funciones principales es encaminar el tráfico de usuarios tanto como de subida (desde el UE hacia la P-GW) o de bajada (de P-GW a los eNodeB). A su vez almacena los paquetes IP con destinatario para cuando se encuentra fuera de línea el usuario, de esta manera cuando el usuario intente comunicarse con la S-GW, es decir cuando se enganche de nuevo a su red, recibe todos los paquetes IP retenidos.

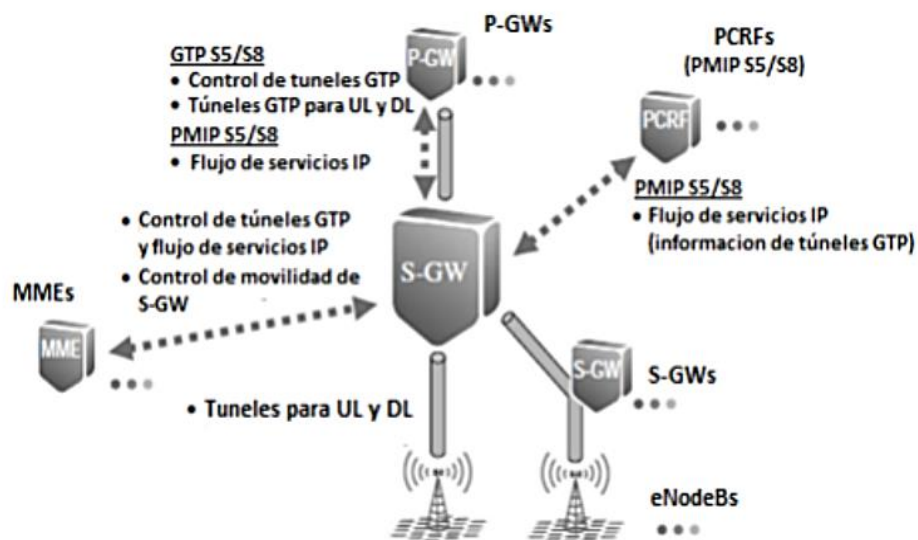


Figura 4. Elementos de S-GW.

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

2.5.2.3 Puerta de red de paquete de datos (P-GW)

Los usuarios cuando generan los paquetes de IP en una red externa de la LTE, este elemento se encarga de volver a transmitir los paquetes de IP, esta puerta también agrega direcciones de IPv4 y/o IPv6 a cada UE que lo ha solicitado mediante DHCP.

Al entrar un paquete la P- GW analiza cada una de ellas y elimina aquellos que no forman del tráfico regular, además esta ayuda al servidor a calcular el costo que se genera por el tráfico solicitado por el usuario y cuanto este debe cancelar.

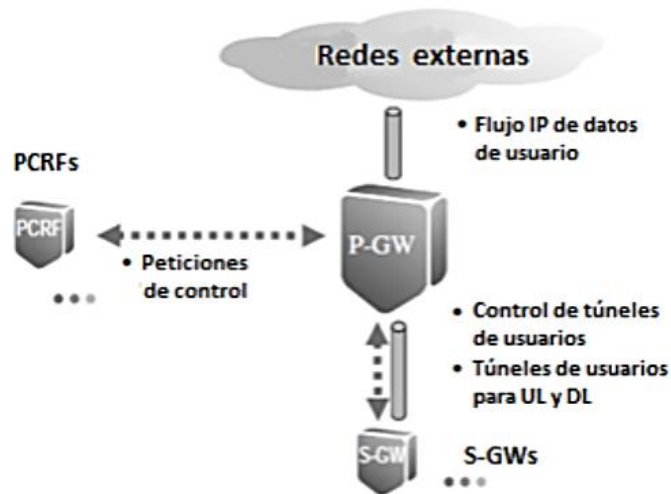


Figura 5. Elementos de P-GW.

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

La MME va a gestionar la asignación de portadora que se requiera para el envío de transferencia de datos que provenga de la S-GW.

2.5.2.4 Función de políticas y reglas de carga

La función de políticas y reglas de carga (PCRF), viene desde la tecnología anteriores en las redes 3GPP. La función de esta es la de administrar portadoras utilizadas por la P-GW y la S-GW. Todo en base a la tarificación y los parámetros de QoS.

Si el usuario se encuentra con crédito para el uso de conexión de servicio, esta se valida únicamente con el UE.

La red es la que se encarga de determinar los QoS que el usuario solicita, mediante la gestión de portadoras.

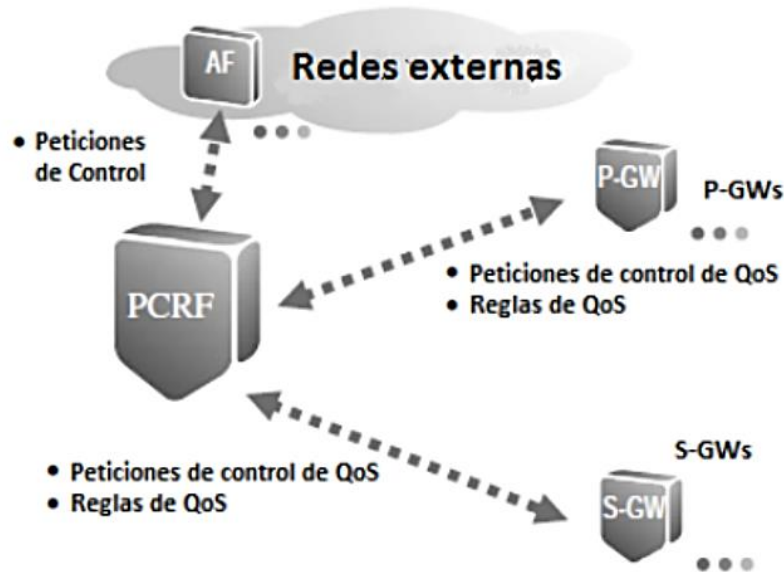


Figura 6. Elementos de PCRF.

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

2.5.2.5 Servidor de suscripción local (HSS)

El HSS está compuesto por dos elementos que son:

- HLR(Registro de localización Local): Es la que se encarga de almacenar toda la información de cada uno de los usuarios, esto incluye las condiciones de servicios de cada uno de ellos, así como su ubicación temporal, la cual se usa esta información consultarlo y modificarlo constantemente por los servidores.
- AuC (Centro de Autenticación): La autenticación se lo realiza con vectores de autenticidad, que incluye el IMSI del UE, para proteger la transmisión de datos y confirma la existencia dentro de la red del usuario.

2.5.3 Red de acceso E-UTRAN

2.5.3.1 eNodeB

La tecnología LTE usa un nodo único llamado eNodeB (Evolved NodeB), la misma que tiene funcionalidad similar a la de una estación base. Es capaz de manejar una o más celdas E-UTRAN.

En la nueva tecnología LTE, se eliminan componentes intermedios para que se maneje de forma más fluida, bajando drásticamente los errores producidos por latencia y ayuda a procesar datos para que pueda distribuirse entre los eNodeB.

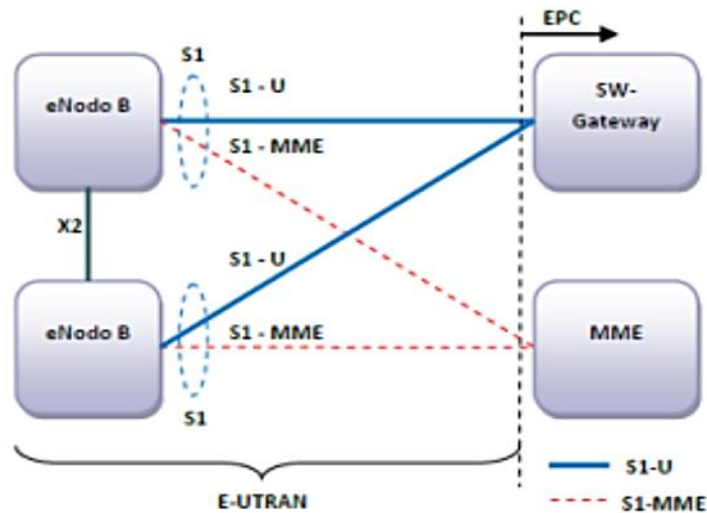


Figura 7. Red de Acceso E-UTRAN

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

Por ser el único elemento de la E-UTRAN se concentra las funciones para el acceso a la red, las cuales son:

- Manejo de Recursos de Radio (RRM): La portadora de radio obtiene todo el control, lo cual implica el balanceo, manejo y asignación y balanceo de los recursos de radio en los canales de subida y de bajada.
- Manejo de las funciones paging: La MME realiza mensajes los cuales son receptados por la interfaz S1-MME. Cuando la información va de bajada, la cual la MME indica la UE que existe tráfico que se ha ingresado con dirección a la misma.
- Gestión handover: Se basa en medición de intensidad de la portadora.

La interfaz X2 es la encargada de conectarse al eNodeB, y a su vez es la que conecta a la Red Troncal es la interfaz S1, la misma que se fracciona en dos subinterfases, S1-U y S1-MME, estas intercomunican al S-GW y eNodeB con la MME.

2.5.3.2 HeNB

Arquitectura HeNB, también conocida como Home eNodeB, femtocélulas o femtoceldas, usadas para coberturas de áreas pequeñas como habitaciones que necesitan mayor capacidad.

Usando la interfaz S1 o el elemento intermedio HeNB-GW, esta se conecta con la red troncal y realiza las funciones de director para con la red de acceso tronca para conectarlo. Pero no existe una directa conexión entre HeNBs, por lo que las ventajas son limitadas de las redes LTE en base a la latencia.

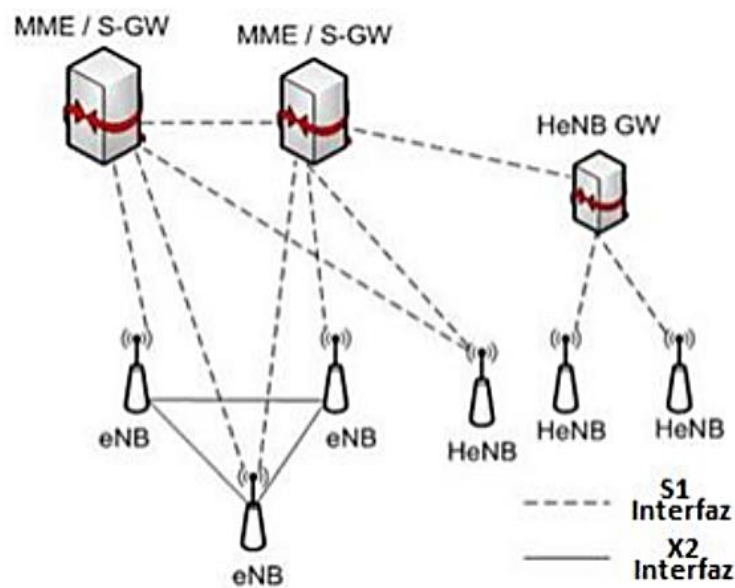


Figura 8. Nodos HeNB en arquitectura E-UTRAN
Fuente: LTE and the Evolution to 4G Wireless

2.5.3.3 Equipo de usuario

Son los terminales o dispositivos móviles del usuario la cual permiten acceder a los múltiples servicios que se ofrece mediante las aplicaciones de interfaz. Están compuestos por dos elementos:

- El USIM (Identificación Universal del Subscriptor): Se ubica en el interior de una tarjeta removible (UICC), es una aplicación que se encarga de autenticar a un usuario en el sistema de tal forma que la transmisión de datos sea entre los usuarios a quienes le interesen solamente.

- El equipo móvil: dispositivo o equipo que usa el consumidor del servicio (ser humano) para poder acceder a la red amigable que tenga los servicios que requieran.

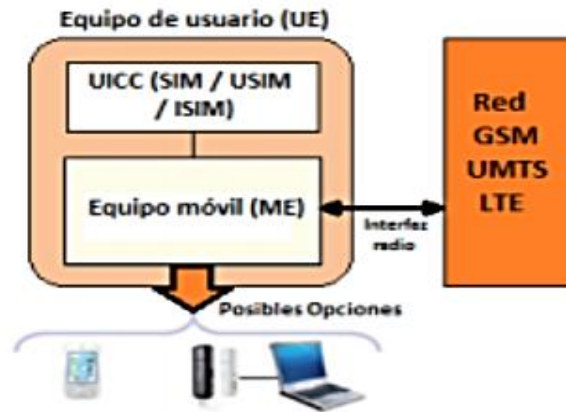


Figura 9. Arquitectura de equipo de usuario
Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles

2.5.4 Interfaces

2.5.4.1 Interfaz LTE Uu

Esta interfaz es también conocida como de aire o de radio. En dicha interfaz es con la que se establece comunicación con los paquetes de datos IP tratando el control, información y señalización entre el eNodeB y el UE.

De esta forma la información es enviada para el control específicamente de las redes troncales y de acceso, y a su vez se genera el paging.

Se realiza en dicha interfaz unos procesos para el envío de datos en base a los protocolos, a su vez esta se ubica fraccionada en la capa de física y de enlace, esto se observa en el plano de control y del usuario.

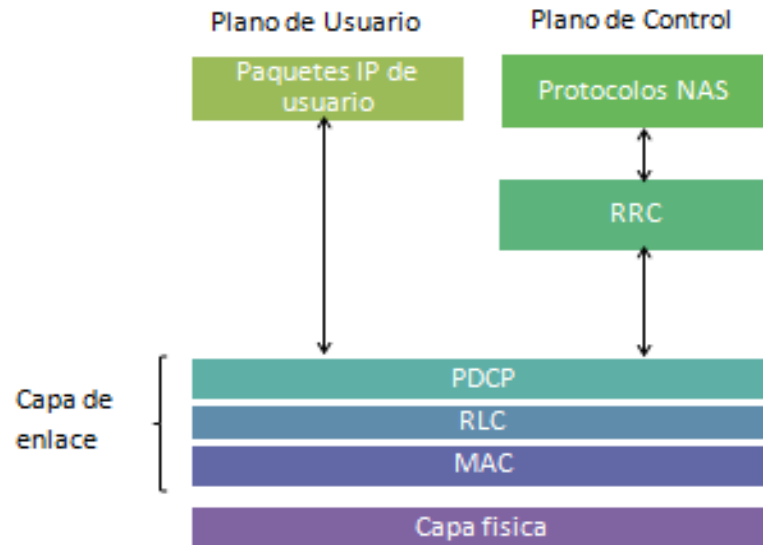


Figura 10. Subcapas de la capa de enlace
Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles

La capa de enlace se encuentra dividida en varias subcapas las cuales son:

- Protocolo de convergencia de paquetes de datos (PDCP): Se encarga de que las cabeceras IP sean comprimidas y de cifrarlos para mantener la integridad de la información. De esta forma añade bits a esta etapa la cual sirve para indicar como es la secuencia de los paquetes.
- Control del enlace de radio(RLC): Este enlace es la que corrige los errores de cada una de las tramas en ARQ, también las ordena y re ensambla en la capa PDCP donde es entregada
- Control de acceso al medio (MAC): Los distintos paquetes se multiplexan en la capa RLC de esta forma envía a los diferentes usuarios mediante canales lógicos, los múltiples paquetes proveniente por dicha capa.

La capa que se encarga de gestionar la transmisión del canal es la física y se encuentra la característica de la señal de modulación gracias a las técnicas MIMO.

Dentro del plano de control se encuentra la capa de control de recursos radio conocida como RRC, esta es la que se

encarga de la gestión de la interfaz y el control de radio, las cuales admiten a las funciones de manejo de recurso para que las portadoras sean asignadas por los usuarios, broadcasting, control de handover, etc., para esto se vale el protocolo NAS (Almacenamiento Adjunto en Red) de almacenamiento corresponde a cada uno de los usuarios.

2.5.4.2 Interfaz S1-U

Esta interfaz ayuda a comunicar a S-GW con los eNodeB, además de ser usada como ducto entre eNodeB cuando se conmuta durante el handover.

Los protocolos de esta interfaz están fragmentados en dos capas: RNL (Capa de red de radio o acceso) y la TNL (Capa de transporte de red).

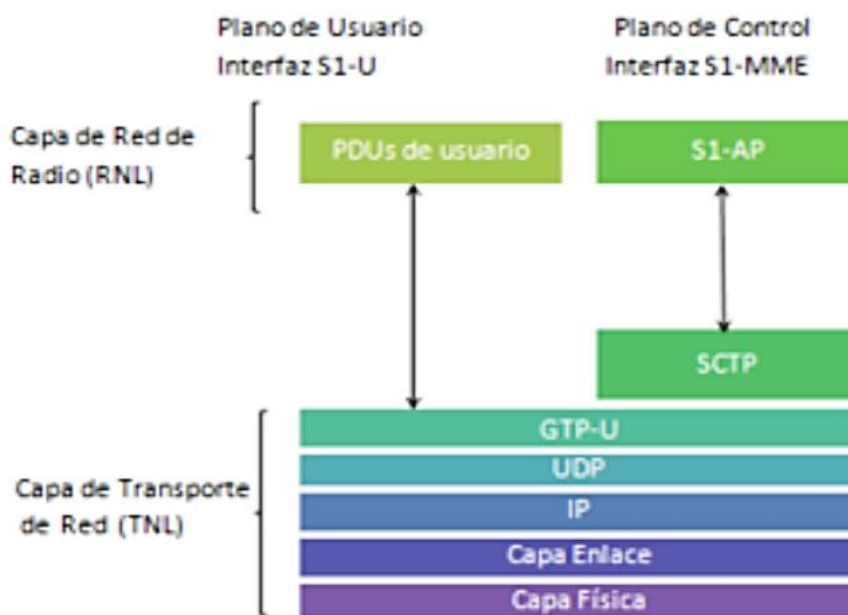


Figura 11. Interfaz S1

Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles

El protocolo PDU de usuario es la que contiene la capa RNL. La cual es la que gestiona todos los recursos de la

comunicación entre la red de acceso. En la capa TNL los protocolos que se usan son:

- GTP-U: La función principal es el tunelamiento del GPRS, la cual facilita dentro de las redes 3GPP la movilidad. Aquí se incluye en la cabecera de cada paquete IP lo que se encapsula, el número de secuencia, y el identificador del túnel la cual va a identificar su tamaño.
- UDP/IP: Envía datagramas en forma de paquetes dentro de las redes IP de forma directa. Esta comunicación puede trabajar sin conexión, ya que no existe alguna forma de detección y control de errores dentro de los paquetes que llegan provenientes de la capa física.

2.5.4.3 Interfaz S1- MME

Sirve como medio de comunicación entre los eNodeB y los MME. Esta comunicación se basa en que mediante mensajes de control se envían al eNodeB, para que después sean reenviados al usuario, además transmiten la gestión de localización en forma de mensaje en una celda de los usuarios, también avisos de paging en forma de paquetes y los handover, es decir todos los servicios que gestiona la MME.

La interfaz S1-U, está compuesta por las capas TNL y RNL. En la capa TNL se obtiene en el protocolo SCTP la cual ejerce la misma función que los protocolos UDP y GTP-U. La siguiente capa que es la RNL es donde se ubica el protocolo S1-AP la misma que soporta lo que la MME ejerce como funciones iniciales como son: paging, handover, localización, entre otros.

La transmisión del control de la corriente como protocolo (SCTP), es conocido como de transporte la cual mantiene características y funciones similares de TCP, además se incorpora algunas funciones adicionales como multihoming y multi-stream, la cual permite una mayor robustez de los

paquetes que se trasladan. Estos paquetes no son estructuras de bytes como lo hacía TCP sino se basan en mensajes.

2.5.4.4 Interfaz X2

La interfaz X2 es la encargada de trasladar los datos entre eNodeB adyacentes, esto incluye la información de traslados de datos que se requiere para provocar el handover y los paquetes de cada usuario.

Esta maneja muy similar a la interfaz S1-U, la cual maneja el mismo plano, con la diferencia que en el protocolo S1-AP dentro de la capa RNL es cambiado por el X2-AP tal como se ve a continuación.

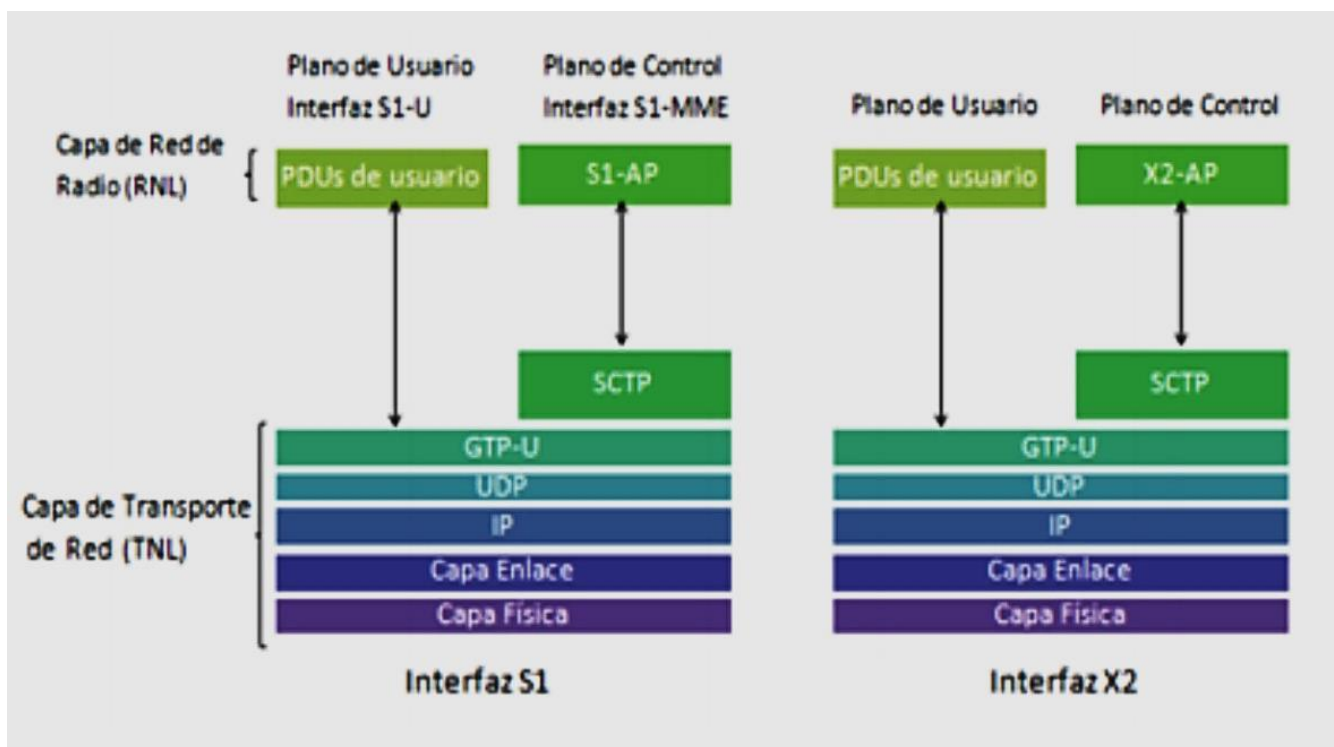


Figura 12. Interfaz S1-X2

Fuente: LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles

El protocolo X2-AP transporta datos utilizados para la gestión de movilidad, manejo de carga, informe de situaciones de errores, actualizaciones en la configuración y

el ahorro de energía la cual permite una mejor operación con otros eNodeB.

2.5.4.5 Interfaz de red troncal EPC

Se divide en cinco interfaces las cuales manejan toda la red troncal que son:

- Interfaz SGi: Sirve para enlazar a las redes las cuales portan datos externos (Internet o IMS) con la P-GW. Se envían datos tanto en protocolos IPv6 como en el protocolo anterior que es el IPv4. Esta interfaz es lo mismo que la ya mencionada Gi para las tecnologías 2g y 3G.
- Interfaz S5-S8: Interconectan las entidades S-GW y P-GW. La cual difieren entre las interfaces S8 y S5, se basa en que la S8 se comunica en diferentes entidades de redes, en cambio que la S5 sirve para comunicar elementos dentro de una misma red. Los protocolos para esta interfaz son: GTP/UDP/IP.
- Interfaz S11: Esta interfaz es la que se encarga de comunicar dos elementos que son la S-GW y la MME. Además sirve para transportar datos de señalización dirigida hacia los usuarios. Cuando se realiza el handover, la MME es la que se encarga de controlar el envío de información de las S-GWs que participan en esta interfaz. Aquí se involucran los protocolos : GTP/UDP/IP
- Interfaz S10: Se usa para enviar información de los handover que realizan los usuarios designados en la zona entre MMEs. En esta etapa es la que se mantiene la información de los usuarios para la seguridad de las mismas, además de servicios portadores y gestionar la movilidad. Los protocolos que usan son: GTP/UDP/IP.
- Interfaz S6a: Comunica la MME con el elemento HSS. Permite realizar funciones propias de gestión de usuarios que incluyen autenticación, localización, identificación y perfil de suscripción tanto de usuarios de la red como de otras redes. El Diameter es el protocolo que usa en esta interfaz, la cual se conoce como el protocolo evolucionado RADIUS, la cual permite completar las operaciones que

realiza considerado como el protocolo de evolución de RADIUS que complementan las funciones establecidas para la autenticación, autorización y contador, conocida como (AAA).

2.6 Tipos de enlaces

En LTE existe una comunicación directa con eNodeB, conocida como uplink (UL), a los datos que envía el usuario hacia el nodo y downlink (DL) los datos del nodo como respuesta al usuario. Todo esto es una tecnología de acceso de multiportadoras, Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA) en el DL y Single Carrier – Frequency Division Múltiple Access (SC-FDMA) en el UL, las cuales aportan ortogonalidades en ambos enlaces, presentan gran robustez ante propagación multicamino y permite asignación de recursos ajustados.

2.6.1 Enlace descendente

Este, más conocido como downlink, se implementa mediante accesos múltiples por divisiones de frecuencias, sistema conocido como OFDMA por sus siglas en inglés “Orthogonal frequency-division multiplexing access”, este sistema se divide mediante portadoras de 15Khz, ortogonales entre sí a la banda de transmisión, ilustrado con la Figura 13. Esta tecnología es la más eficiente para trabajar con altas velocidades de transmisión de datos mientras se cuenta con un ancho de banda grande.

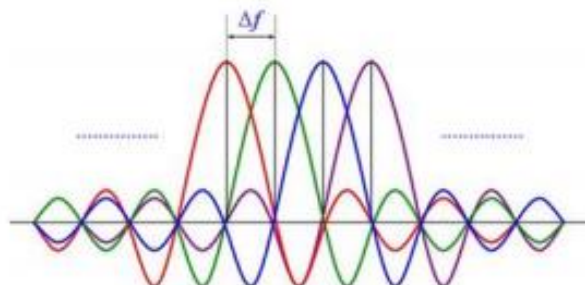


Figura 13. Portadoras radio ortogonal en LTE por OFDM [5]

Las subportadoras siendo ortogonales entre sí pueden transmitirse sin que haya interrupciones entre ellas sin embargo eso es en teoría, en la

practica la dispersión temporal del canal contrarresta esta característica. En aras de evitar este fenómeno, se emplea un prefijo cíclico donde se toma la parte final del símbolo de OFDM antes del comienzo del mismo; aplicando este método se logra evitar que la dispersión temporal influya negativamente con la ortogonalidad de las subportadoras.

Otra característica del sistema OFDM, es que permita que cada usuario emplee una sub-portadora diferente implicando en una distribución en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, aprovechando de mejor forma el ancho de banda concesionado. Las principales características que permiten al terminal demodular las señales en OFDMA y sincronizarse con el sistema son:

- Señales físicas
- Canales físicos de tráfico
- Canal de control

2.6.1.1 Señales físicas

Existen 2 tipos de señales que son:

- Señales de referencias (RS): sirve para obtener medidas de calidad en el enlace descendente, estima la respuesta del canal en lo que refiere a detección coherente y demodulación, y permite implementar sincronización inicial y un mecanismo de búsqueda de celdas.
- Señales de sincronización (SCH): Se usa para facilitar y agilizar los procedimientos, al nivel de trama y sub-trama, de sincronización temporal del sistema y se clasifican en :
 - P-SCH (Primary SCH) : Permite la sincronización temporal a nivel de subtramas
 - S-SCH (Secondary SCH): Permite sincronizar la trama temporalmente

2.6.1.2 Canales físicos de tráfico

También conocido como PDSCH (Physical Downlink Channel), este canal transmite habitualmente información del usuario entregada por la capa MAC mediante el canal de transporte DL-SCH (Downlink Shared Channel), además mediante el PCH puede transportar avisos y aquellas señales de radiodifusión que no sea imprescindible para que el terminal móvil se enganche a la red, y se mapea usando el dominio de la frecuencia- tiempo PRBs.

2.6.1.3 Canales de control

Como el nombre lo indica, estos canales sirven para mantener el control de la comunicación por el periodo del mismo, se dividen en cuatro tipos de canales que son:

- Physical Broadcast Channel (PBCH): Transporta la información básica de la red, que permite la conexión inicial de un terminal móvil a la misma.
- Physical Down link Control Channel (PDCCH): Canal de control genérico del enlace descendente, informa sobre los recursos en el enlace descendente asignados al PDSCH [37].
- Physical Hybrid ARQ Channel (PHICH): Transporta información de reconocimiento (ACK/NACK) correspondientes a las transmisión del enlace ascendente [37].
- Physical Control Format Channel (PCFICH): Informa al terminal móvil sobre el número de símbolos utilizados para transmitir el PDCCH [37].

2.7 Tecnología de nivel físico

Parte del sistema de comunicación aparece la capa de nivel físico, el cual permite alcanzar mejores niveles de eficiencia y capacidad en la administración de los recursos de radio que en sistemas previos. Para el enlace descendente se usa la técnica de acceso múltiple denominada

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Múltiple Access) y para el enlace ascendente se usa la técnica denominada CS-FDMA (Single Carrier Frequency Division Múltiple Access). [38]

2.7.1 OFDMA

El acceso múltiple OFDMA está basado en la modulación OFDM, una modulación recurrente en un extenso abanico de servicios de comunicaciones tales como: “Asymmetric Digital Subscriber Line” (ADSL), “Digital Video Broadcasting – Terrestria” (DVB-T), “Wireless Local Area Network” (WLAN) o “Worldwide Interoperability for Microwave Access” (WiMAX).

Las propiedades del OFDMA hace que sea usado para esta tecnología, y las propiedades son:

- Seguridad en la propagación multi-camino
- Modulación rápida a través de la transformada de Fourier.
- Flexibilidad en la adaptación con canales que cuenten con un ancho de banda amplio debido a su ecualización en el campo de frecuencia.
- Compatible con las técnicas de comunicación MIMO
- Sistemas con mayor ancho de banda que el de coherencia.
- Despliegue de redes de iso-frecuencia con las que varios transmisores emiten señales idénticas a pesar de estar separados geográficamente.

El OFDM se basa en la división de un flujo de datos de alta velocidad en un número de flujo paralelo y de menor velocidad, cada uno de estos corresponde a una señal de banda estrecha en una subportadora. Los diferentes flujos de banda estrecha se generan en el rango de frecuencia y más tarde se combinan para formar el flujo de la banda ancha mediante una “Transformada de Fourier Inversa” (IFFT). En el caso particular de LTE, las subportadoras mantienen una separación de 15 kHz, la misma que es mantenida en cualquier ancho de banda del sistema.

A la señal obtenida a la salida de la IFFT se le añade un prefijo cíclico para satisfacer el símbolo OFDM. Este prefijo cíclico es

fundamentalmente un periodo de guarda el cual reduce la “Interferencia Intersimbólica” (ISI). Para este intervalo de guarda se utiliza una repetición de la parte inicial de la señal, de manera que la señal cíclica, al crearse con el filtro conformador, lo sigue siendo.

Todos estos principios son aplicados en el acceso múltiple OFDMA, de tal forma que para diversos usuarios compartan una misma banda de frecuencia se lo efectúa manteniendo ortogonalidad entre ellas, para poder cumplir con esto cada usuario utilizara un conjunto de subportadora un conjunto de subportadora para la transmisión, las cuales pueden ser contiguas o no. Todo esto se lo realiza en el enlace descendente la cual consiente una asignación a recursos de frecuencias oportunistas, con periodicidad de que un TTI se asigne un conjunto de subportadora al usuario cuyo canal presente la mejor SNR en ese mismo conjunto.

2.7.2 SC-FDMA

En los terminales móviles la duración de la batería es un parámetro limitante en las comunicaciones. Aunque la capacidad de las mismas mejora con el tiempo y los recursos de optimización de estas son más eficientes, aún es necesario que el terminal móvil utilice la menor cantidad de batería posible. En el terminal, se espera que el uso de potencia del transmisor sea manejado con la mayor eficiencia posible, ya que es el elemento que más de esta emplea. Las señales con un alto “Pick-to-Average Power Ratio” (PAPR), es decir, señales cuyas variaciones entre la media de los valores de potencia y la potencia pico es elevada, no utilizan los amplificadores de potencia de manera eficiente. Por esto, es necesario utilizar un modo de transmisión que tenga un nivel de potencia constante. OFDM no es un buen candidato ya que tiene un alto PAPR, además que el nivel de potencia no supone un mayor problema en el enlace descendente. Por lo que, LTE emplea una modulación notada como SC-FDMA, la cual hace las veces de un sistema que combina el bajo PAPR ofrecido por sistemas de única portadora y las ventajas del OFDM. De esta manera, “se simplifica el transmisor y se mantiene la ortogonalidad, los modos de transmisión TDD y FDD y la compatibilidad con las técnicas MIMO” [5].

La tecnología SC-FDMA permite utilizar los mismos bloques de procesamiento que OFDM y la misma asignación de recursos en tiempo y frecuencia. Debido a su propiedad de única portadora, exige que los usuarios del sistema transmitan en un grupo de sub-portadora adyacentes.

Los símbolos de la modulación se generan igual que en el sistema OFDM, la diferencia es que a estos símbolos se les aplica una FFT seguida de una IFFT. El bloque de señal tiene aspecto de una modulación de portadora única. La duración de este bloque con el ancho de banda se presenta igual que en OFDM, sin embargo, en SC-FDMA las subportadora están corraladas, pues en OFDM se modulan de forma independiente. Una vez formado el bloque de señal, se agrega el intervalo de guarda en aras de prevenir la interferencia intersimbólica. A causa de su naturaleza de portadora única, el SC-FDMA obliga a los usuarios del sistema a transmitir en un conjunto de subportadora adyacentes

Las ventajas del sistema SC-FDMA para el UL, son: Transmisiones ortogonales en el UL. Buena relación PAPR posibilidad de asignación de recursos igual que el sistema OFDMA

2.8 Parámetros CDMA/LTE del terminal móvil

Para poder recibir señal LTE se requiere de ciertos parámetros que lo permitan, estos parámetros están presentes cuando se utilizan servicios de cuarta o tercera generación del grupo de servicio móvil.

Los parámetros que no se encuentran en la mayoría de servicios, son los siguientes:

2.8.1 Parámetro para uplink

- Régimen binario(Kbps) : Tasa percibida con la que transmite el equipo móvil, excluyendo la codificación de canal y demás procesos que puedan modificar la tasa binaria, el promedio es de 12.2 Kbps

- Margen de potencia (dB): CDMA emplea un control rápido de potencia buscando compensar el desvanecimiento multitrayecto. El valor máximo efectivo de la potencia promedio a las oscilaciones rápidas se consigue considerando la potencia pico menos un margen establecido [0,4 dB]

2.8.2 Parámetros downlink

- Relación E_B/N_0 requerida (dB) : Su valor significa el nivel de señal requerido superior a las señales interferentes para establecer comunicación, siendo hasta 5 dB permitido
- Factor de ruido (dB): En el equipo móvil suele ser 7 dB.
- Factor de carga (%): Se entiende como el promedio de factor descarga en la celda, comúnmente se consideran valores levemente mayores que en enlaces ascendentes, dicho valor puede alcanzar valores de hasta el 75%.
- Ganancia por SHO multitrayecto (dB): Es otra consecuencia por la variedad de recepción ligada al traspaso, disminución en la relación E_B/N_0 requerida. Si el valor de E_B/N_0 especificado ya considera la ganancia obtenida por el traspaso, no se necesita emplear correcciones. Estos valores se sitúan [0, 2 dB].
- Ancho de banda empleado (KHz): Los usuarios comparten el ancho de banda total para transmisión, dinámicamente. El que debe ser un múltiplo de 180 KHz, esto es la ocupación espectral que se encuentra en un bloque de recursos conocido como “resource block” (RB), este es la unidad mínima de asignación de ancho de banda LTE.
- SNR necesaria (dB): Relación-signal ruido más interferencia conocida como SNR, obtenida mediante simulaciones de enlaces o de medidas. Deriva de los formatos de modulación y codificación empleados por el ancho de banda del servicio y la tasa binaria supuesta. Esta considera la sobrecarga implantada por los canales de control que se transmiten ascendentemente, así mismo se considera la variedad de antena se considera e el valor de esta.
- Sensibilidad (dBm): Potencia necesaria en recepción, calculada con de los parámetros, por lo general va entre -85 dBm a -117dBm.

2.8.3 Modelo de acceso oportunista del espectro (OSA)

Se considera acceso oportunista del espectro, a cualquier medio que pueda reconocer que parte del espectro de alguna tecnología licenciada pudiera ser empleada sin afectar el funcionamiento de la licencia primaria.

Este concepto se ha estado empleando buscando mejorar el empleo del espectro licenciado, es ahora un asunto de mayor importancia si consideramos el aumento de requerimientos que el usuario solicita al proveedor, facilitadas por:

- Masificación de teléfonos inteligentes
- Aumento de contenido disponible
- Aumento poblacional
- Escenarios urbanos densos
- Abaratamiento de la tecnología.
- Impulso político hacia la sociedad de la información
- Globalización

Todo esto ha envuelto a las regulaciones impuestas sobre los títulos habilitantes en el manejo del espectro radioeléctrico en un debate sobre como optimizar su uso.

El método OSA se basa en censar el espectro que desea utilizar, para verificar la presencia de usuarios de la tecnología licenciada con lo que basado en las políticas y regulaciones del caso identifica las oportunidades de comunicaciones, a las que llamaremos “huecos” en frecuencia, tiempo e incluso en código; considerando esto transmite limitando la interferencia que pudieran percibir los usuarios primarios. El uso de este sistema implica un uso optimizado del espectro en un área determinada, permitiendo a su vez la reutilización de frecuencias en otras tecnologías que pudieran ser consideradas más necesarias según los requerimientos del área censada.

Este método considera un impacto considerable a las comunicaciones privadas y las estatales incluyendo las militares, es decir permite emplear cualquiera de estas según la oportunidad se presente para brindar un mejor servicio en tecnologías que no requieran un título habilitante o licencia.

Aunque se lo presente como un concepto de sencilla asimilación hay que considerar muchas variables que pueden volver su implementación un reto considerable.

Entre los problemas a considerar pudieran verse enumerados los siguientes:

- Censar sobre un banda de frecuencia grande
- Identificar la presencia de usuario de la tecnología primaria
- Determinar la naturaleza de las oportunidades
- Coordinar el uso de estas oportunidades con otros nodos
- Definir y aplicar las políticas de interferencia sobre las tecnologías primarias y a su vez adaptarlas a las tecnologías oportunistas a aplicar.

En nuestro caso analizaremos las oportunidades que se pudieran presentar en la tecnología LTE FDD AWS que contiene frecuencias especificadas a continuación:

- Operadora 1 E.P. A-A' B-B' C-C' D-D' (2110-2130 Mhz) 20+20 Mhz
- Operadora 2 E-E' F-F' G-G' H-H' (2130-2150 Mhz)
- Operadora 3 I-I' J-J' K-K' L-L' (2150-2170 Mhz)

2.8.4 Estadísticas

Según las estadísticas de la ARCOTEL publicadas en su página tenemos los siguientes datos con una población de 16'216.000

Operadora 1 E.P.	RADIO BASES 2014	RB GUAYAS NOV 2015	RB GUAYAQUIL NOV 2015	LÍNEAS ACTIVAS OCT 2015	PARTICIPACIÓN	AB MHZ
LTE AWS	113	154	130	1'050.069	7.31%	100

Tabla 2. Registros de operadora 1.
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

La tabla 2 muestra las radios bases ubicadas en la provincia y se observa que en Guayaquil se encuentra la mayor concentración de estas, teniendo esta la empresa una participación baja de mercado con tan solo el 7.31%.

Estas radios bases año a año incrementan dado a que el incremento de los usuarios crece constantemente por lo que en las siguientes figuras nos muestra como la operadora 1, incrementa sus bases para brindar mejores servicios.

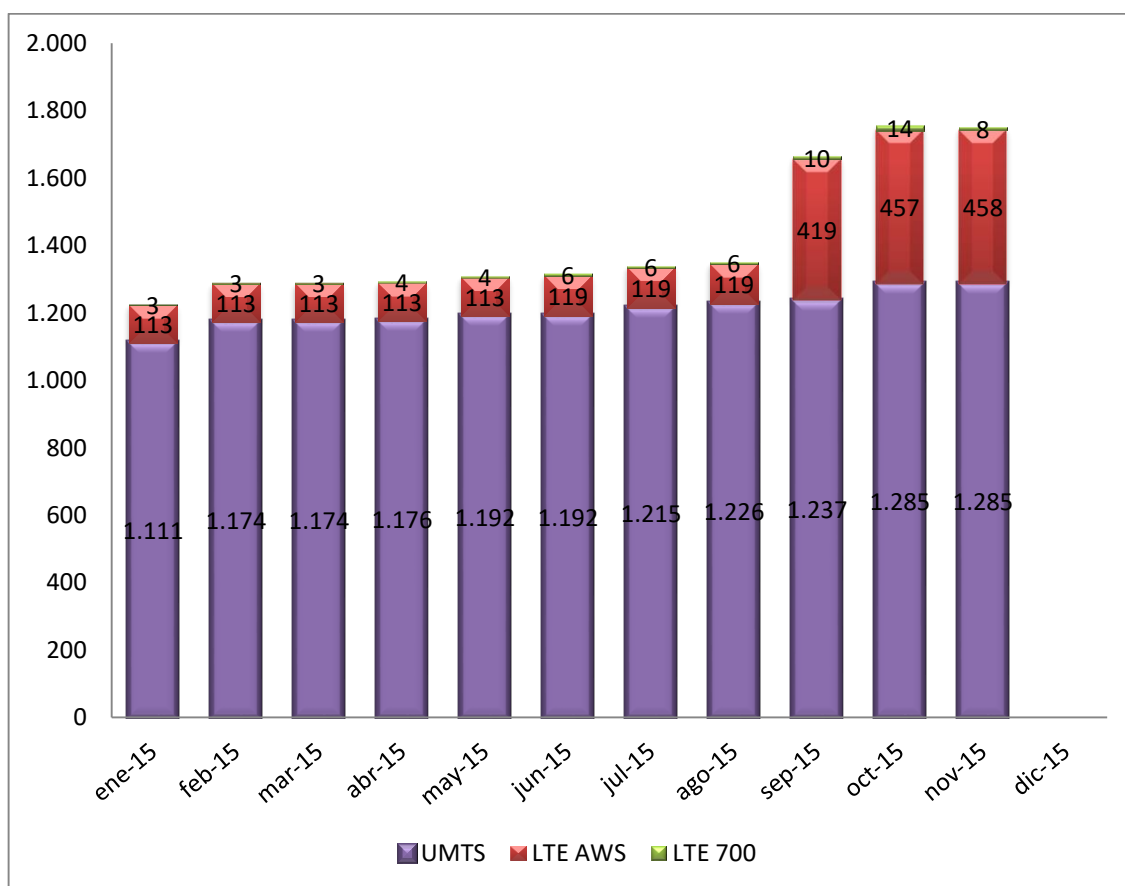


Figura 14 .Incremento mensual de radios base operadora 1
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

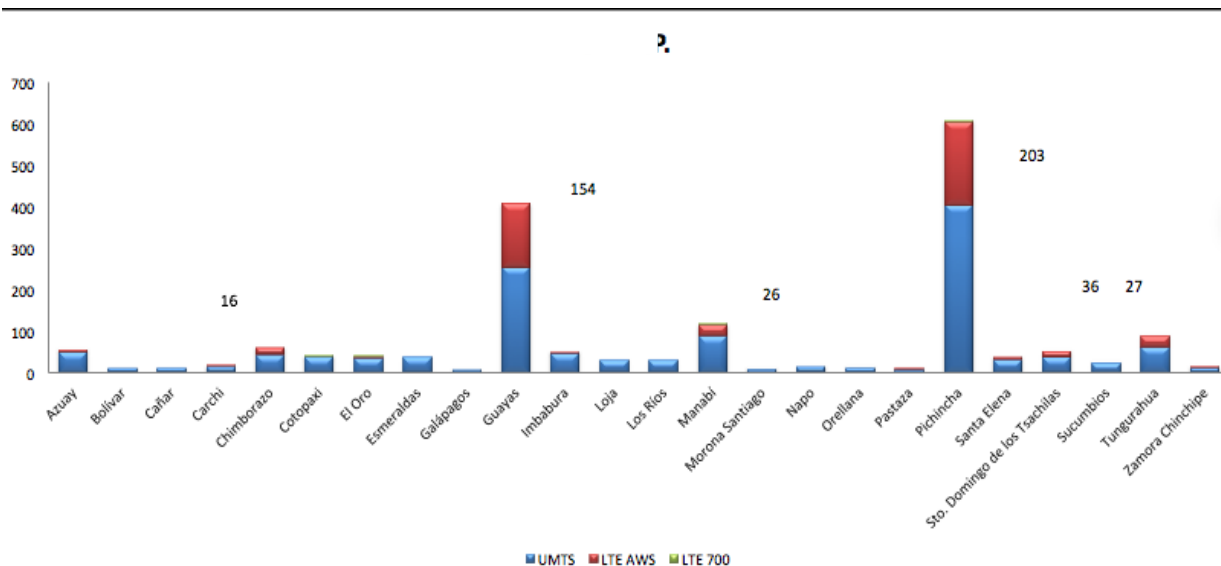


Figura 15. Radio Bases por provincia operadora 1
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

Otras empresas como el caso de la operadora 3, mantiene la competencia diaria y la cobertura de todos sus servicios para sus clientes los cuales son el 29.46%

Operadora 3	RADIO BASES 2014	RB GUAYAS NOV 2015	RB GUAYAQUIL NOV 2015	LÍNEAS ACTIVAS OCT 2015	PARTICIPACIÓN	AB MHZ
LTE AWS				4'232.428	29.46%	85

Tabla 3. Participación de mercado de operadora 3
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

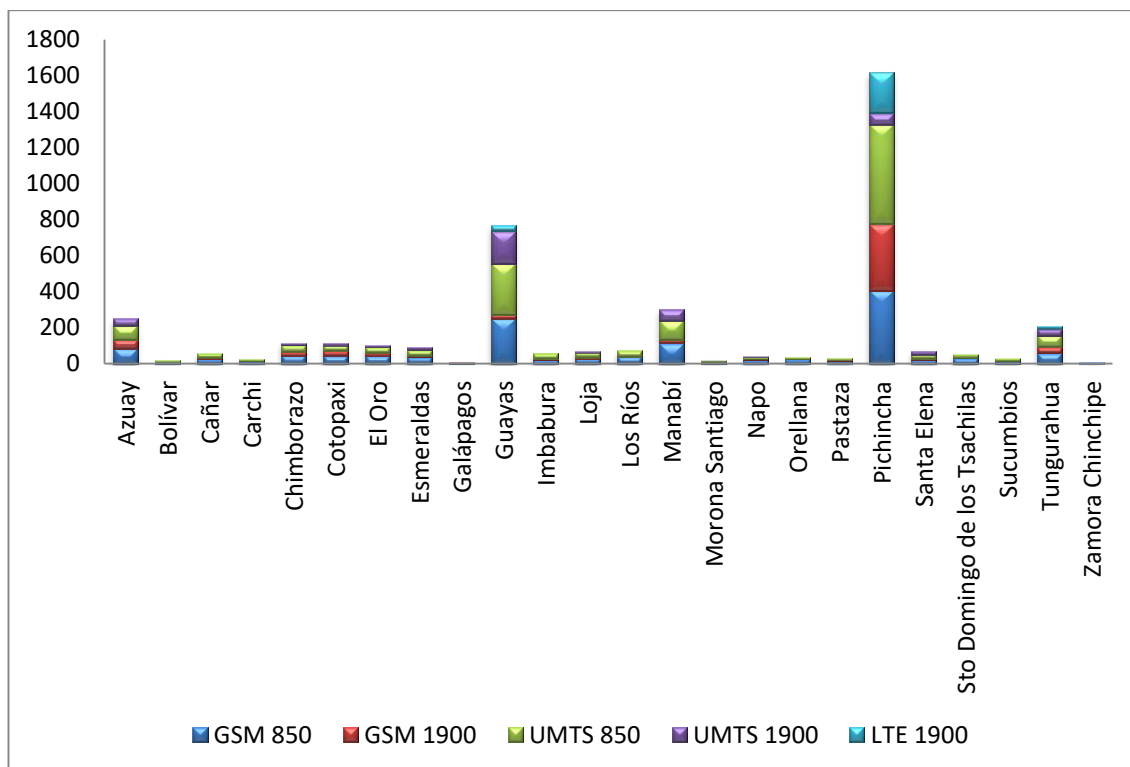


Figura 16. Radio bases por provincias operadora 3
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

Evidentemente donde mantiene la mayor concentración de clientes es en la provincia del Pichincha la cual es donde se ha establecido gran impacto de participación de mercado.

Para poder mantener competencia y ofrecer mejor calidad en sus servicios la empresa invierte en más radio bases la cual las distribuye en Ecuador como se observa en la siguiente figura.

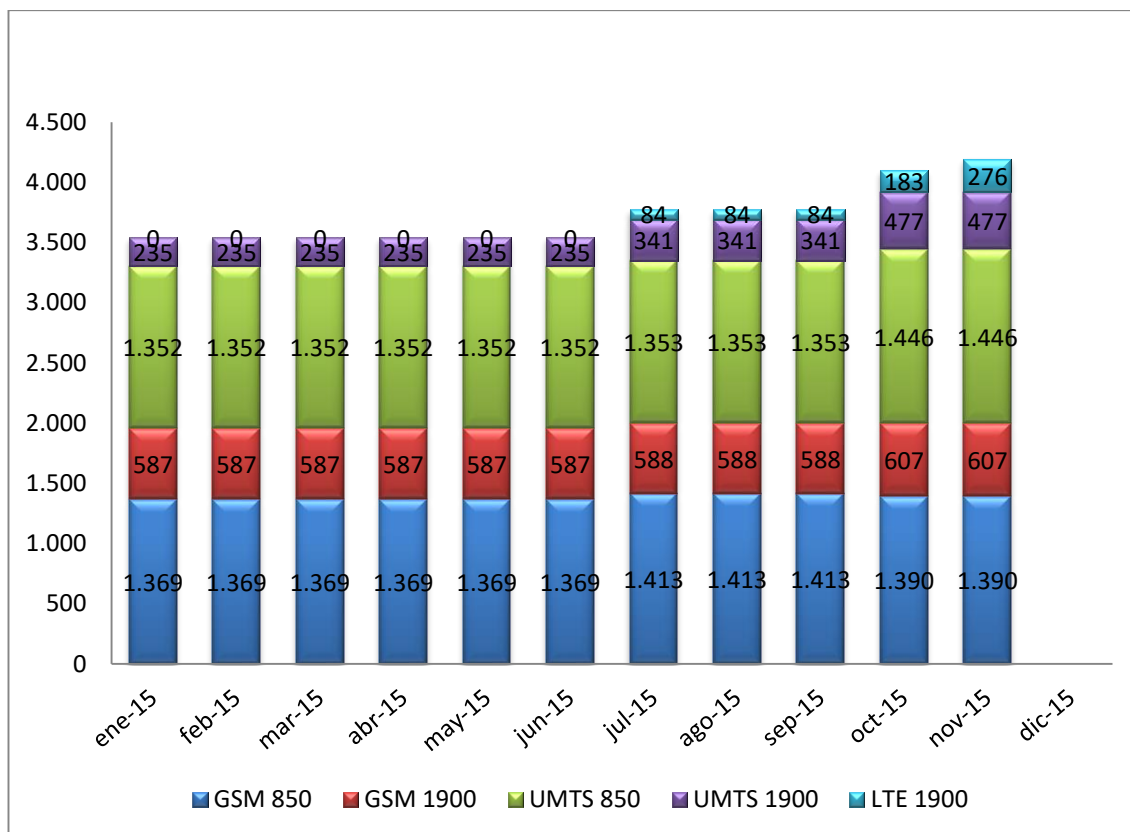


Figura 17. Incremento mensual radio bases operadora 3.
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

La empresa con mayor participación en el Ecuador es la operadora 2 la cual en el último año registra el 63.23%, es por esto la empresa con más radio bases en el Ecuador, además en la ciudad de Guayaquil.

Operadora 2	RADIO BASES 2014	RB GUAYAS NOV 2015	RB GUAYAQUIL NOV 2015	LÍNEAS ACTIVAS OCT 2015	PARTICIPACIÓN	AB MHZ
LTE AWS		188	158	9'084.496	63,23%	95

Tabla 4. Registro de mercado de operadora 2.
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

Esta empresa para poder cubrir con las exigencias y demandas de los clientes mantiene un crecimiento anual de radio bases importante, como podemos ver en la figura siguiente.

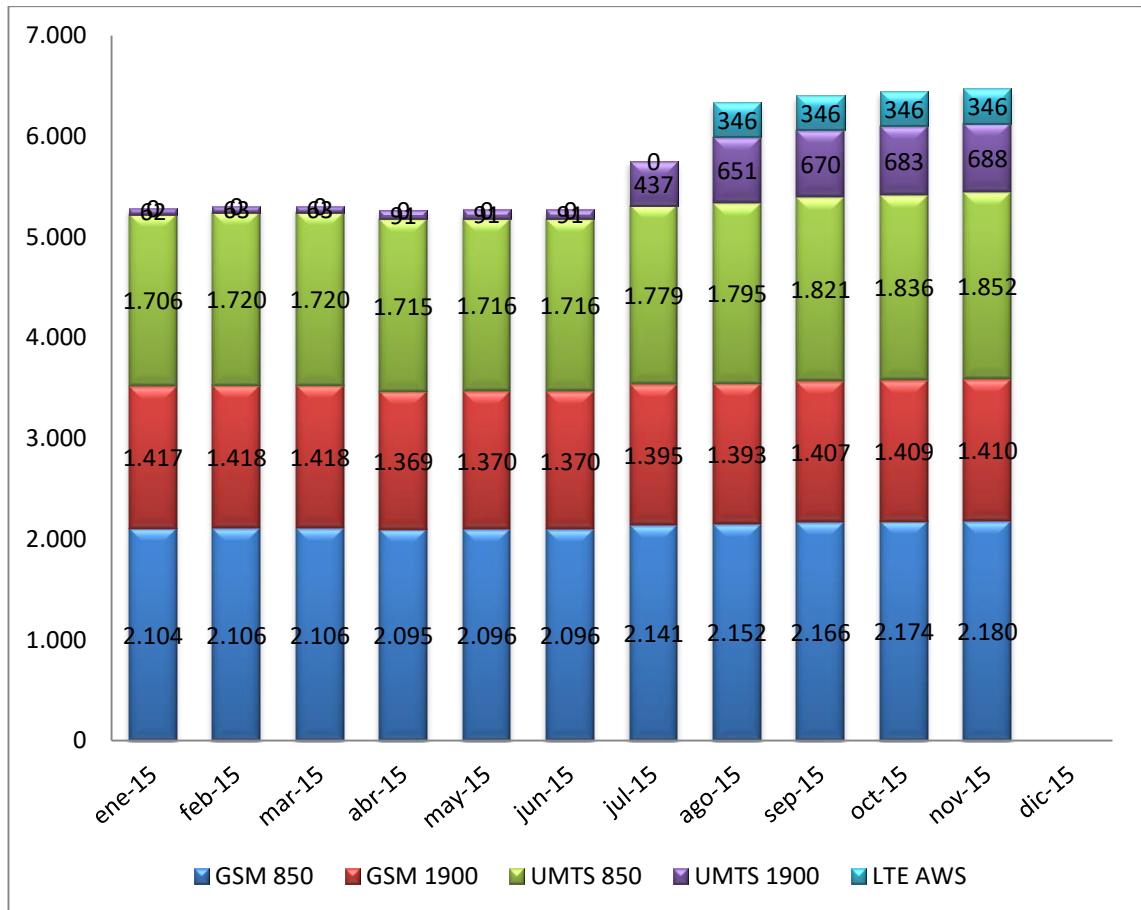


Figura 18. Incremento de radio bases operadora 2

Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

En la provincia del Guayas es la mayor concentración de clientes, siguiendo de cerca la del Pichincha, es por esto que es ahí donde mantienen mayor concentración de radio bases.

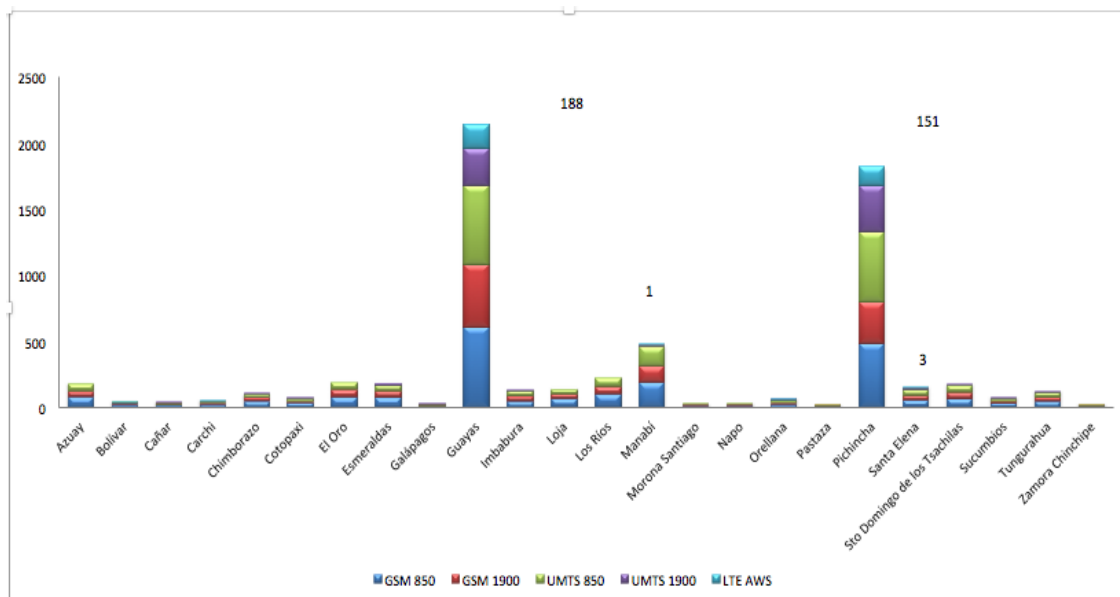


Figura 19. Radio bases por provincias operadora 2
Fuente: Registros administrativos de ARCOTEL

2.8.5 Parámetros del receptor terminal móvil

Los parámetros de radiación móvil por defecto son empleados al momento de seleccionar un servidor en dispositivos móviles, es decir selecciones valores típicos adecuados o de simulación, los elementos de pérdida como cables o elementos pasivos son precisados por el usuario dependiendo del material a usarse para comunicarse entre dispositivos. Los valores que afectan dichos parámetros son:

- Antena: Depende del material construido y del diseño de la misma, pero los parámetros a analizar es su ganancia y su configuración polar.
- Frecuencia: La frecuencia a analizar va ser la de recepción y es determinada por el servidor.
- Polarización: Es la dirección que toma el vector del campo electromagnético producido por la antena receptora. Se puede escoger entre vertical, horizontal, cruzada o circular.
- Altura de antena: La ubicación de la antena, diferencia entre la emisora vs receptora.
- Orientación: Donde apunta la antena, de forma horizontal.
- Inclinación: Donde apunta la antena, de forma vertical.
- Umbral de recepción: Nivel de intensidad mínimo para poder recibir la señal.

- Pérdidas: Se da por elementos pasivos, por ejemplo:
 - Conectores
 - cables
 - entre otros.
- Discriminación: Atenuación sufrida por la antena.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA Y MODELAMIENTO

En este capítulo se tratara más a fondo los aspectos correspondientes al escenario en el que realizamos la medición junto con información correspondiente a los equipos empleados en la determinación de los niveles de potencia y el almacenamiento de los mismos. Se busca permitir conocer las ventajas y limitaciones del área empleada, de los instrumentos de medición y el software empleado para el modelamiento de la disponibilidad de canales en la tecnología LTE AWS.

3.1 Ubicación.

El lugar donde se realizan las mediciones respectivas del estudio, se realizan en el edificio San Francisco 300 de la ciudad de Guayaquil. El edificio se encuentra en zona urbana central de la ciudad, ubicada en la Av. 9 de Octubre y Córdova. Ver figura 15.

La misma cuenta con 25 pisos en los cuales la planta baja y el mezanine serían destinados para locales comerciales de diversos tipos. En los pisos 2.º-5.º hay solo parqueaderos y del piso 7.º hasta el 22.º hay oficinas; del 23.º al 25.º solo hay viviendas.

Este edificio cuenta con diversas antenas en la terraza del piso 25.º entre ellas tenemos antenas de radio FM y repetidoras de señal celular. Cuenta con una peculiaridad, tiene un armazón de concreto armado en forma de "T" que va desde el último piso hasta la planta baja dividiendo en dos secciones el edificio.



Figura 20. Ubicación del edificio.
Foto tomada por www.googlemaps.com

Coordenadas de la ubicación. Ver fig. 16 con el edificio en 3D.

Latitud: 2° 11'30.90"S Longitud: 79°52'53.13"O



Figura 21. Edificio Plaza San Francisco.

3.2 Perfil de elevación

En la figura 21, se muestra el perfil de elevación del punto A-B.

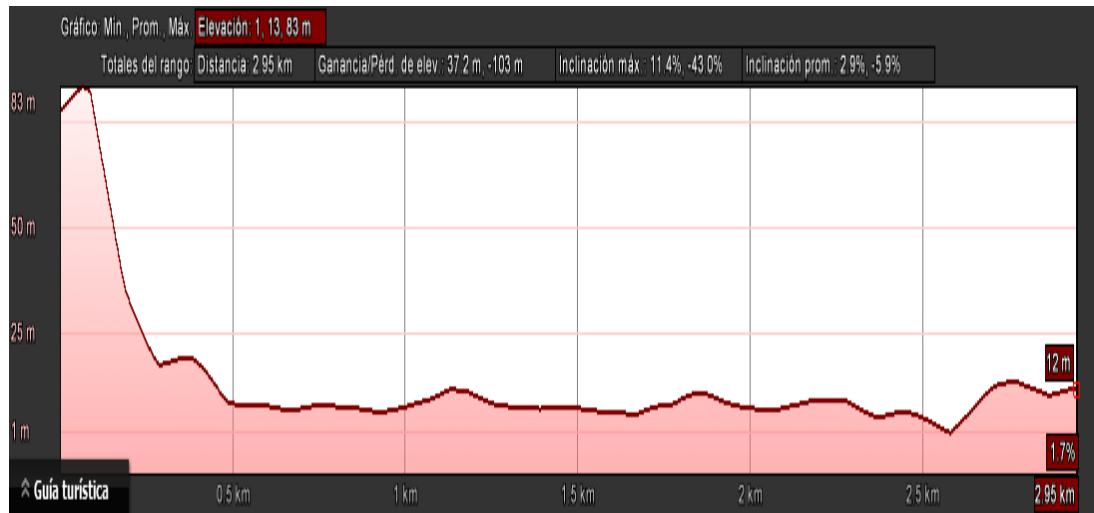


Figura 22. Perfil de elevación

3.3 Metodología

Las mediciones se realizan en 3 sesiones, durante el lapso de 20 días aproximadamente, se inicia en la planta alta del edificio y cada semana después de obtener unas 20000 muestras de los 12 canales de LTE AWS concesionados a las operadoras, se cambia de lugar, al primer piso, el piso 11.º y el piso 24.º para finalizar las mediciones

En el primer piso se ubicara los equipos de medición en una oficina de administración del área de locales comerciales ubicada justo en el mezanine.

En el piso 11.º se ubicarán los equipos dentro de las instalaciones de seguros Alianza junto a la oficina del gerente general.

En el piso 24.º se ubicarán en la sala de un departamento alejada del marco de hormigón estructurado que se encuentra en el edificio

Utiliza un dispositivo llamado USRP que es un software universal de radio periférico, el cual recepta la potencia de la señal FM y luego los datos se procesan en un algoritmo de LABVIEW. Después de tener la matriz con los valores de potencia, se los analiza para obtener un vector de Estado, luego se calcula el criterio de disponibilidad y por último se realiza el modelo estadístico del espectro para la radiodifusión FM.

3.3.1 USRP N210



Figura 23. Vista Posterior del USRP.

Dispositivo empleado para las mediciones de los canales LTE en las bandas definidas previamente, la ventaja de emplearlo es su diseño modular, con este mediante el uso de diferentes tipos de tarjetas pudiéramos obtener el rango de frecuencias ideales para las mediciones a efectuar

En nuestro caso al vernos incluidos con un grupo que debía realizar mediciones de 50 canales FM, la tarjeta provista tenía un rango desde los 30 Mhz hasta los 3000 Mhz abarcando tanto las señales encontradas en las bandas FM del otro grupo como a su vez las señales dentro de los canales LTE AWS que se especificaron en los capítulos anteriores.

Los particulares de este equipo [1] son:

- Capacidad de trabajar con interfaces como GNU radio, “LabVIEW” y “Simulink” (Matlab)

Gracias a su compatibilidad con diversos entornos de programación nos permitimos escoger trabajar con “LabVIEW”.

- Gigabit Ethernet interface

Es mediante esta interface que conectamos el USRP al computador que funcionaría como receptor

Se conectó la antena Sirio SD 3000 al puerto RF1

3.3.2 Antena Sirio SD 3000

La antena empleada para la toma de niveles de potencia es ilustrada en la figura 24.



Figura 24. Antena discónica

Las especificaciones de la antena [2] son las siguientes:

- Rango de frecuencias 300-3000 Mhz.
- Tipo discónica
- Ganancia: 0 dBi-2.15 dBi
- Materiales: Aluminio y acero inoxidable.
- Conector tipo N
- Dimensiones: 73x23 cm
- Peso 0.83 Kg.

3.3.3 Computador receptor

El computador que hará las veces de receptor de datos y almacenara alrededor de 20000 muestras por canal en cada piso cumple con las siguientes especificaciones:

- Inter Core i7 2.3 GHz
- 8 GB Ram DDR3
- 1 TB HDD 5400 rpm

- 1 Puerto Gigabit Ethernet

El mismo permanecerá encendido todos los días que dure la medición en el piso, manteniendo los discos funcionando durante todo ese periodo y aplicando una configuración que apague la pantalla pero no permita entrar en reposo al computador

3.3.4 LabVIEW

El software que se utilizara para establecer una interface entre el USRP 210 y equipo recopilador de información será LabVIEW 2014 añadiéndole el repositorio de aplicativos referentes al USRP para que pueda realizar esta comunicación vía el puerto de Ethernet

Para este procedimiento es necesario establecer la dirección IP del computador de auto asignada a una estática que cumpla con los siguientes parámetros:

- IP equipo recopilador: 192.168.10.100
- Máscara Subred: 255.255.255.0
- Gateway: 192.168.10.1
- IP USRP: 192.168.10.4
- Máscara Subred: 255.255.255.20

Los parámetros del USRP se los define dentro del aplicativo diseñado en LabVIEW.

Es importante recalcar que para el funcionamiento correcto de estas mediciones hay que considerar que la versión del software a emplear debe de ser la correspondiente al 2014 y debe de estar instalado a su vez la USRP Utility 14.

Una vez definidos los parámetros IPv4 a emplearse para establecer la comunicación hay que definir tanto las frecuencias centrales

propias de los canales a medir como a su vez declarar la ubicación y cantidad de archivos a ser generados con estas mediciones

Para el proyecto fueron necesarios declarar 12 frecuencias centrales que corresponden a los 12 canales LTE AWS downlink que disponemos en el país; a su vez se tienen que declarar los 12 archivos en formato XLS que en los que las mediciones se tomarían, esto último se lo realiza en un SubVIS que usaría el programa principal, este se llamaría GRABAR.VI y su principal tarea fuera la de generar los archivos cuando el dispositivo este censando la potencia en el canal definido previamente, luego se encargará de actualizar el contenido de las hojas de cálculo que contengan las muestras de los canales definidos.

Luego en el VI principal se definen las frecuencias centrales de cada canal que se vayan a censar, estas funcionarían como los índices con los cuales se selecciona la hoja de cálculo correspondiente para que grabará la información.

Durante nuestras pruebas pudimos ver que durante 1 minuto el sistema de medición recolectaba 4 muestras por canal

3.4 Estado

En el criterio de estado o detección de la señal, se obtiene la respuesta a un par de hipótesis y al rendimiento de la detección de energía (Sensing Energy), donde la detección y la probabilidad de falsa alarma están asociadas especialmente al umbral de potencia (threshold), que es un valor de sensibilidad definido para la tecnología LTE AWS en interiores que sería del -81dBm y -103 dBm para exteriores. Niveles que deberían de ser ocurridos un 90% del tiempo Se define como la siguiente función:

$$f(Pr) = \begin{cases} 0, & Pr > \lambda \\ 1, & Pr < \lambda \end{cases}$$

Donde (0) significa ocupación del canal y (1) canal libre

El umbral de potencia de FM es -81 dBm.

3.5 Disponibilidad

El criterio de Disponibilidad es un porcentaje para definir si el canal está disponible u ocupado. Con los valores del vector de Estado se calcula este porcentaje y se usa la siguiente función:

$$A = \sum_{i=1}^N \text{State}(i) / N$$

3.6 Procedimiento para obtención de datos de canal

Con los instrumentos de “LabVIEW” y la antena con las especificaciones ya mencionadas, se procede a obtener los datos a considerar, dichos instrumentos arrojan datos de forma lineal durante el periodo de cálculo.

Para poder trabajar los datos con los canales asignados se maneja el programa Matlab con el fin de tratar los canales como matrices siendo los valores la intensidad de potencia recibida como los datos obtenidos en un periodo de tiempo determinado

3.6.1 Matlab

Es un software de análisis matemático con el que se permite ayuda de manejo de matrices, empleando un lenguaje de programación de sencillo para el desarrollo de sistemas de control.

EL código que se uso fue el siguiente:

```
>> A=mat (: 1); [1]
```

```
>> B=double (A<-93); [2]
```

```
>> C=B (1:35266); [3]
```

```
>> D=reshape (C, 22, 1603); [4]
```

```
>> D=D'; [5]
```

```
>> E=mean (D, 2); [6]
```

1. Se escoge un matriz, esta matriz es el canal a analizar
2. Del canal seleccionado se comparan los valores que nos dio la antena al umbral de la zona
3. Redimensionar el vector a $M \times 1$
4. Transformar la matriz de $M \times 1$ a $G \times N$
5. Transponer la matriz a $N \times G$
6. Se saca promedios de las filas y tenemos una matriz de $N \times 1$

La obtención de los valores de M, G y N se explicara a continuación.

3.6.2 Granularidad (G)

La Granularidad mide la cantidad de procesamiento necesaria en un proceso, viéndolo en mediciones directas, es cuantos segundos se demora una muestra en ser capturada

Para el cálculo de la granularidad debemos de tomar en cuenta los días que se han medido y los datos que se obtuvieron en esos días, conforme a la siguiente expresión:

$$G = \frac{300 \times \text{Días} \times 24 \times 3600}{\text{Número de muestras}}$$

Con esto se divide el número de muestras para la granularidad y obtendremos

$$N = \frac{\text{Número de muestras}}{G}$$

Es decir N es el tiempo total de captura de datos que va ser evaluado, y

$$M = N \times G$$

Al realizar esta multiplicación, M es la variable que nos determina el número de muestra que se obtuvo en el proceso.

3.6.3 Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba permite analizar si el modelo matemático sugerido se adhiere o no al sistema analizado, se verifica mediante una comparación para conocer que distribución es la que permite asimilar lo capturado para su respectivo análisis. Pero solo mediante este método se puede determinar la validez del modelo sugerido, ya que compara cada dato entre la función de distribución que más se asemeja a frecuencia acumulada de las mediciones obtenidas.

Esto se realiza mediante la siguiente hipótesis a contrastar:

- H0: Los datos analizados que siguen la linealidad de la función M
- H1: Los datos analizados que no siguen la linealidad de la función M

Una vez obtenido la función y los datos para el análisis, estos son ordenados de menor a mayor y se contrastan ambas funciones mediante la siguiente fórmula

$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} \left| \hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i) \right|$$

Donde:

- “xi es el i-ésimo valor observado en la muestra”[39]
- “ $\hat{F}_n(x_i)$ es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que x”. [39]
- “ $F_0(x)$ es la probabilidad de observar valores menores o iguales que xi cuando H0 es cierta”. [39]

De tal forma sea D el mayor valor de diferencia absoluta observada entre $\hat{F}_n(x_i)$, la cual es la frecuencia acumulada observada y $F_0(x)$ que es la frecuencia acumulada teórica, obtenida a partir de la distribución de probabilidad que se especifica como hipótesis nula. [39]

Si $\hat{F}_n(x_i)$ tiene parecido con los valores dados de $F_0(x)$, D va a ser un valor pequeño, es decir mientras más grande sea la diferencia entre la distribución empírica de $\hat{F}_n(x_i)$ y la retórica $F_0(x)$, el valor de D será a su vez mayor. Por lo que de esta manera se puede tomar una decisión entre las hipótesis planteadas.

- Si $D \leq D_\alpha$ se acepta H_0 .
- Si $D > D_\alpha$ se rechaza H_0 .

Donde el valor D_α se determina:

- $P(\text{Rechazar } H_0/H_0 \text{ es cierta}) = P(D > D_\alpha / \text{Los datos siguen la distribución } M) = \alpha$. [39]

Siendo α la cota significativa de contraste.

Para el cálculo necesario D se obtiene de la siguiente manera:

$$D^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - F_0(x_i) \right\}, \quad D^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ F_0(x_i) - \frac{i-1}{n} \right\}$$

Dónde:

$$D = \max \{ D^+, D^- \}$$

D_α se determina dependiendo el tipo de distribución a tabular, la fórmula general es la siguiente:

$$D_\alpha = \frac{c_\alpha}{k(n)}$$

C_α y $k(n)$ estos denominados en las tablas 5 y 6:

C_α	α		
	0.1	0.05	0.01
Modelo			
General	1.224	1.358	1.628
Normal	0.819	0.895	1.035
Exponencial	0.990	1.094	1.308
Weibull n=10	0.760	0.819	0.944
Weibull n=20	0.779	0.843	0.973
Weibull n=50	0.790	0.856	0.988
Weibull n= ∞	0.803	0.874	1.007

Tabla 5. Valores que pueden tomar las variables c_α y α dependiendo la distribución a analizar, Fuente: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Complemento 3[39].

DISTRIBUCIÓN QUE SE CONTRASTA	$k(n)$
General. Parámetros conocidos.	$k(n) = \sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}$
Normal	$k(n) = \sqrt{n} - 0.01 + \frac{0.85}{\sqrt{n}}$
Exponencial	$k(n) = \sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}$
Weibull	$k(n) = \sqrt{n}$

Tabla 6. Forma de determinar la variable $k(n)$. Fuente: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov” Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Complemento 3[39].

3.6.4 ASM

Con ayuda del USRP se capturaron los datos, para esto se analizan parámetros específicos del equipo y de los datos que se desean, este se inicializa y empieza la capturar datos por cada canal los cuales en total son 12, en cada canal se realiza captura de muestra la cual se encuentra definida dentro del rango de 2110 Mhz a 2170 Mhz, se analiza bandas de 5 Mhz las cuales se encuentra dentro del tamaño de cada canal. El valor que capturan es el máximo valor simple

obtenido, graba lo medida y cambia de canal. Este procedimiento se repite hasta obtener el tamaño de muestra deseado, este diagrama se ilustra en la figura 24.

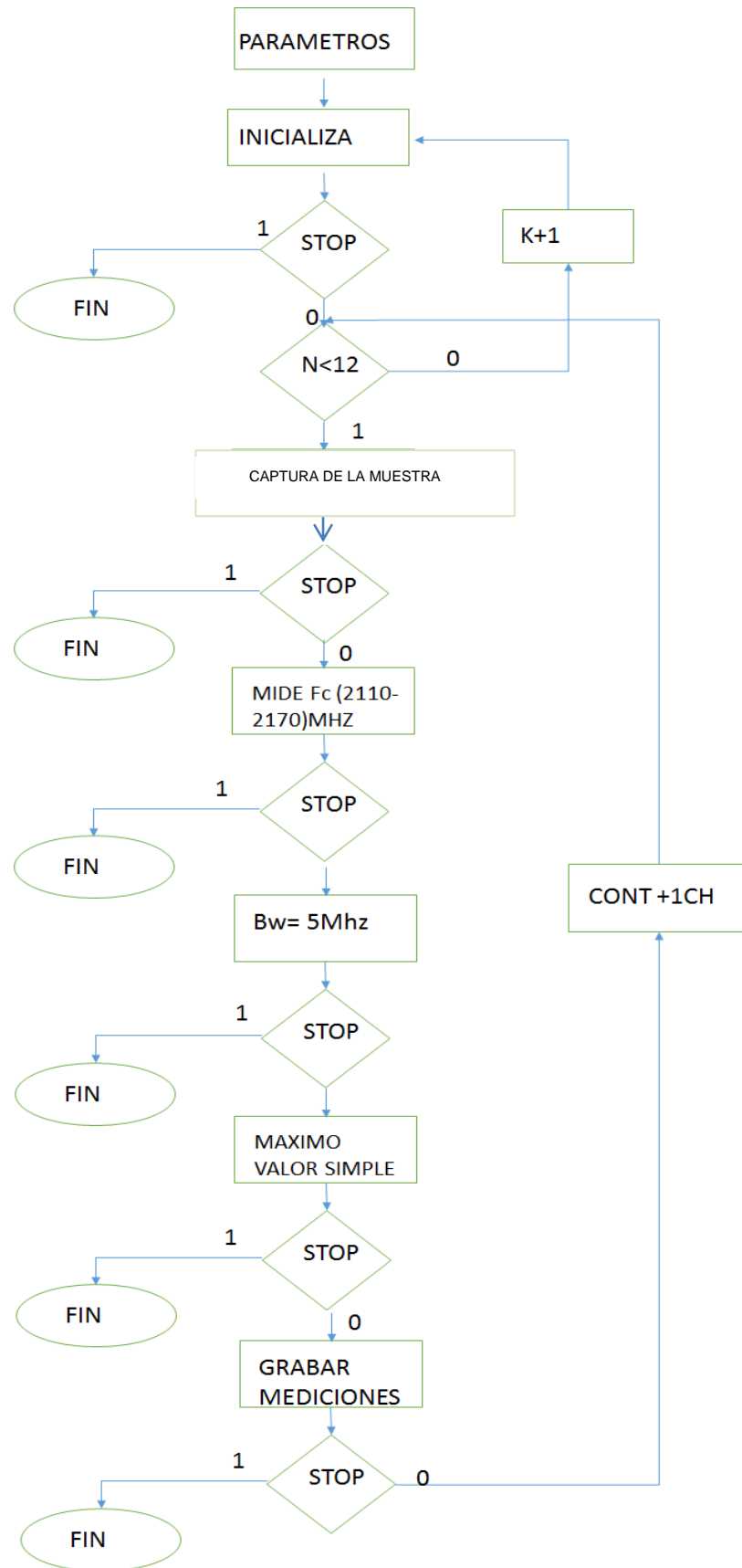


Figura 24. ASM de la captura de datos.

3.7 Modelamiento

Ya obtenido los datos por el equipo USRP, el análisis determina que los modelos más empleados son:

- Distribution Johnson Sb
- Distribution Generalized Pareto
- Generalized Extreme Value Distribution
- Log-Pearson 3 Distribution

3.7.1 Distribución Johnson Sb

Es una herramienta estadística frecuente usada dentro del control estadístico. Dichos parámetros son los siguientes:

- γ - Parámetros de forma
- δ - Parámetros de forma ($\delta > 0$)
- λ - Parámetros de Escala ($\lambda > 0$)
- ξ - Parámetros de localización

La cual debe encontrarse dentro de un dominio de datos determinados de la siguiente forma

$$\xi \leq x \leq \xi + \lambda$$

“La densidad de probabilidad se determina mediante la siguiente fórmula

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right)$$

Donde $z \equiv \frac{x - \xi}{\lambda}$

La función de densidad de probabilidad acumulada es dada mediante la siguiente fórmula:

$$F(x) = \Phi \left(\gamma + \delta \ln \left(\frac{z}{1-z} \right) \right)$$

Donde Φ es una Integral de La Place". [40]

3.7.2 Distribución generalizada Pareto

Es una distribución de probabilidad continua, que sirve como modelamiento de comportamiento estadístico para realizar un estudio determinado. Se rige bajo los siguientes parámetros:

- k - Parámetro de forma continuo
- σ - Parámetro de escala continuo
- μ - Parámetro de localización continuo

Dichos parámetros se rigen bajo el siguiente dominio

$$\begin{aligned} \mu \leq x < +\infty & \quad \text{for } k \geq 0 \\ \mu \leq x \leq \mu - \sigma/k & \quad \text{for } k < 0 \end{aligned}$$

La función densidad de probabilidad se determina mediante la siguiente fórmula

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} \right)^{-1 - 1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases}$$

La función de densidad de probabilidad acumulada es dada mediante la siguiente fórmula [41]:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1/k} & k \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases}$$

3.7.3 Distribución generalizada de valores extremos

La distribución de valores extremos sirve para describir sucesos más comunes, analiza valores extremos observados para prevenir los valores extremos del futuro, de tal forma poder soportar resultados dentro de estos parámetros.

Esta distribución se guía según los siguientes datos:

- k - Parámetro de forma continuo
- σ - Parámetro de escala continuo ($\sigma > 0$)
- μ - Parámetro de localización continuo

Esto aplica dentro del siguiente dominio

$$\begin{aligned} 1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0 & \quad \text{for } k \neq 0 \\ -\infty < x < +\infty & \quad \text{for } k = 0 \end{aligned}$$

La función densidad de probabilidad se determina mediante la siguiente fórmula

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp\left(-(1 + k z)^{-1/k}\right) (1 + k z)^{-1 - 1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$$

La función de densidad de probabilidad acumulada es dada mediante la siguiente fórmula:

$$F(x) = \begin{cases} \exp(-(1+kz)^{-1/k}) & k \neq 0 \\ \exp(-\exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$$

Dónde:

$$z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$$

3.7.4 Distribución Log-Pearson tipo III

Esta distribución se usa para análisis probabilísticos extremos, el cual se usa variable $y=\log(x)$ para reducir la simetría, de tal forma que pueda prevenir eventos futuros con manejos de tres variables, máximo, mínimo y medio.

Los parámetros son los siguientes:

- α - Parámetro continuo ($\alpha > 0$)
- β - Parámetro continuo ($\beta \neq 0$)
- γ - Parámetro continuo

Esto aplica dentro del siguiente dominio

$$\begin{array}{ll} 0 < x \leq e^\gamma & \beta < 0 \\ e^\gamma \leq x < +\infty & \beta > 0 \end{array}$$

La función densidad de probabilidad se determina mediante la siguiente fórmula

$$f(x) = \frac{1}{x |\beta| \Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)$$

La función de densidad de probabilidad acumulada es dada mediante la siguiente fórmula:

$$F(x) = \frac{\Gamma_{(\ln(x)-\gamma)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

CAPÍTULO 4

3 ANÁLISIS DE DATOS Y EXPERIMENTACIÓN

Para poder la solución al problema planteado dentro de los objetivos se requiere seguir un procedimiento que permita el análisis y experimentación de la intensidad de potencia de las señales capturadas y esto son:

1. Configuración del equipo USRP
2. Procesamiento de datos en Excel y Matlab
3. Obtención de gráficos estadísticos
4. Escoger el modelo para la solución del problema

4.1 Configuración del equipo USRP

El equipo usado para las mediciones, especificado en el capítulo anterior tuvo que ser configurado considerando los siguientes parámetros:

- Cantidad de canales a medir.
- Ancho de banda de los canales a medir.
- Frecuencias iniciales, finales y centrales de cada canal.
- Cantidad de muestras tomadas.

Como se definió en capítulos anteriores los canales a medir pertenecientes a LTE AWS de los operadores presentes en el país

Para la programación del USRP se introducirá como dato la frecuencia central de cada canal a emplear y son los siguientes:

La operadora 1 posee un ancho de canal de 20 Mhz el cual es asignado a la frecuencia 2110 Mhz hasta 2130 Mhz, para el servicio de downlink LTE

Operador	OPERADORA 1			
Canal	A'	B'	C'	D'
Frecuencia inicial	2110 Mhz	2115 Mhz	2120 Mhz	2125 Mhz
Frecuencia final	2115Mhz	2120 Mhz	2125 Mhz	2130 Mhz
Frecuencia central	2112,5Mhz	2117.5 Mhz	2122.5 Mhz	2127.5 Mhz
Ancho de banda del canal	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz

Tabla7. Datos de configuración de los canales de operadora 1

La operadora 2 posee un ancho de canal de 20 Mhz el cual es asignado a la frecuencia 2130 Mhz hasta 2150 Mhz, para el servicio de downlink LTE

Operador	OPERADORA 2			
Canal	E'	F'	G'	H'
Frecuencia inicial	2130 Mhz	2135 Mhz	2140 Mhz	2145 Mhz
Frecuencia final	2135Mhz	2140 Mhz	2145 Mhz	2150 Mhz
Frecuencia central	2132,5Mhz	2137.5 Mhz	2142.5 Mhz	2147.5 Mhz
Ancho de banda del canal	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz

Tabla8. Datos de configuración de los canales de operadora 2

La operadora 3 posee un ancho de canal de 20 Mhz el cual es asignado a la frecuencia 2150 Mhz hasta 2170 Mhz, para el servicio de downlink LTE

Operador	OPERADORA 3			
Canal	I'	J'	K'	L'
Frecuencia inicial	2150 Mhz	2155 Mhz	2160 Mhz	2165 Mhz
Frecuencia final	2155Mhz	2160 Mhz	2165 Mhz	2170 Mhz
Frecuencia central	2152,5Mhz	2157.5 Mhz	2162.5 Mhz	2167.5 Mhz
Ancho de banda del canal	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz

Tabla9. Datos de configuración de los canales de operadora 3

Los canales a medir son continuos, por lo que se poseen un nombre cada uno. El tiempo de medición por piso es de una semana, los pisos a analizar son el 1, 11 y 22. Se tomó un total de 106.255 datos, que representan los niveles de potencia en determinado tiempo, esto medido por la granularidad del sistema.

Los datos tomados se guardan en el software Excel para poder manejarlo para su respectivo análisis.

La cantidad de muestras tomadas en cada piso son mostradas a continuación

<i>Ubicación</i>	<i>San Francisco 300</i>
<i>Primer piso</i>	35757
<i>Piso 11</i>	41245
<i>Piso 22</i>	29253

Tabla 10. Cantidad de datos obtenidos en las mediciones

4.2 Procesamiento de datos en Excel y Matlab

Una vez obtenido los datos por el USRP y la antena, los datos ingresados iban directamente a Excel mediante el programa LabVIEW, y pasaban a realizar en Matlab el proceso mencionado en capítulos anteriores, dichos procesos realizaban la siguiente ejecución:

- Validación de datos de niveles de potencia obtenidos.
- Muestreo del nivel de potencia en cada canal.

- Muestreo del promedio de los datos de potencia de cada canal.
- Muestreo del resultado de los tres pisos.

4.2.1 Validación de datos de niveles de potencias

Una vez obtenido los datos de cada canal mediante el proceso de matrices explicado en el capítulo anterior, se realiza el cálculo del umbral determinado para esta tecnología en la ubicación seleccionada, la cual dio como resultado (-98.998 dBm), por lo que cada dato pasa por el proceso de aceptación mediante la comparación con el umbral. El programa Matlab mediante la función `double` la cual da respuesta de forma booleana, es decir 0 al ser negativo y 1 afirmativo. Esta función compara el umbral con los datos recibidos, de esta manera se conoce el uso del canal.

La siguiente figura muestra cómo se determinó el umbral para la zona

4.2.2 Muestreo del nivel de potencia en cada canal

Una vez obtenido la validación de datos por medio de niveles de potencia con la aceptación del umbral determinado, se realiza la gráfica de dicha validación la cual mediante colores nos indica la disponibilidad que presenta cada canal.

El programa Matlab mediante su función `lamgesc`, recibe tres variables siendo la columna el canal o ancho de banda, la fila el muestreo en el tiempo y la Potencia del canal representado por colores, indica el uso del canal con respecto a las dos variables antes mencionadas.

En el primer piso se analizó los datos de las tres operadoras, al resultado de la Operadora 1 en el piso 1, se presenta con la figura 25.

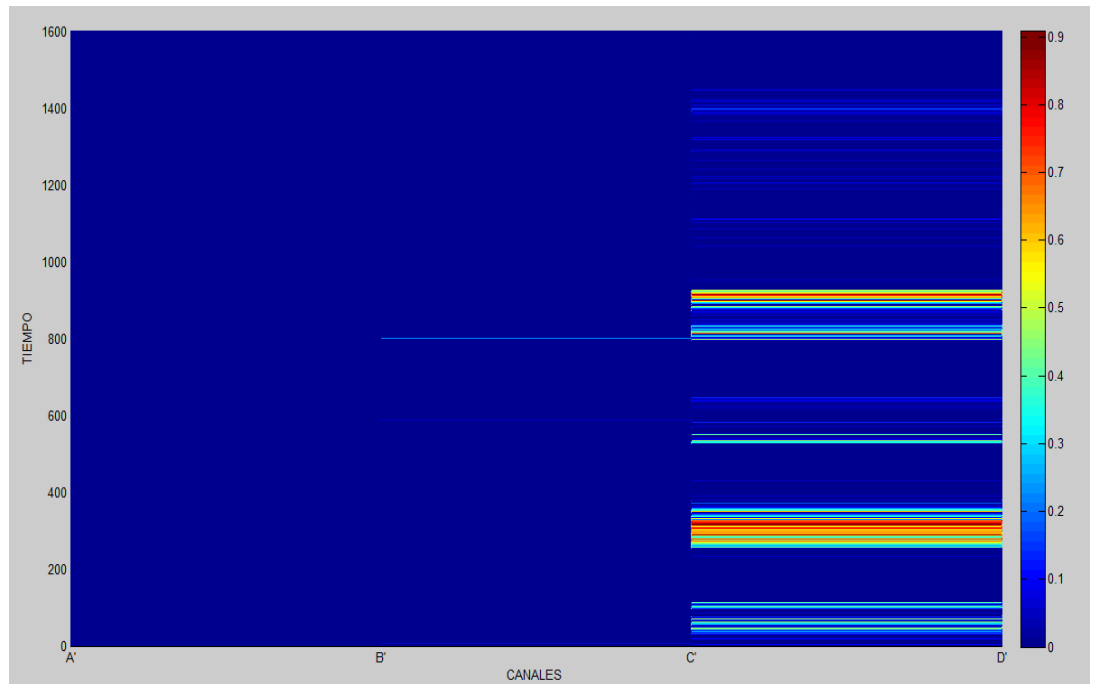


Figura 26. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 1

Se puede observar que todos los canales se encuentran ocupados, dado por la cantidad de personas concentradas en la zona puede ser un efecto de barring de canal, pero exceptuando el último que tiene una intermitencia media la cual es dada por ruido que puede ser ocasionado por el equipo o casos particulares del entorno.

Los resultados del análisis de la Operadora 2, se exponen en la figura 26:

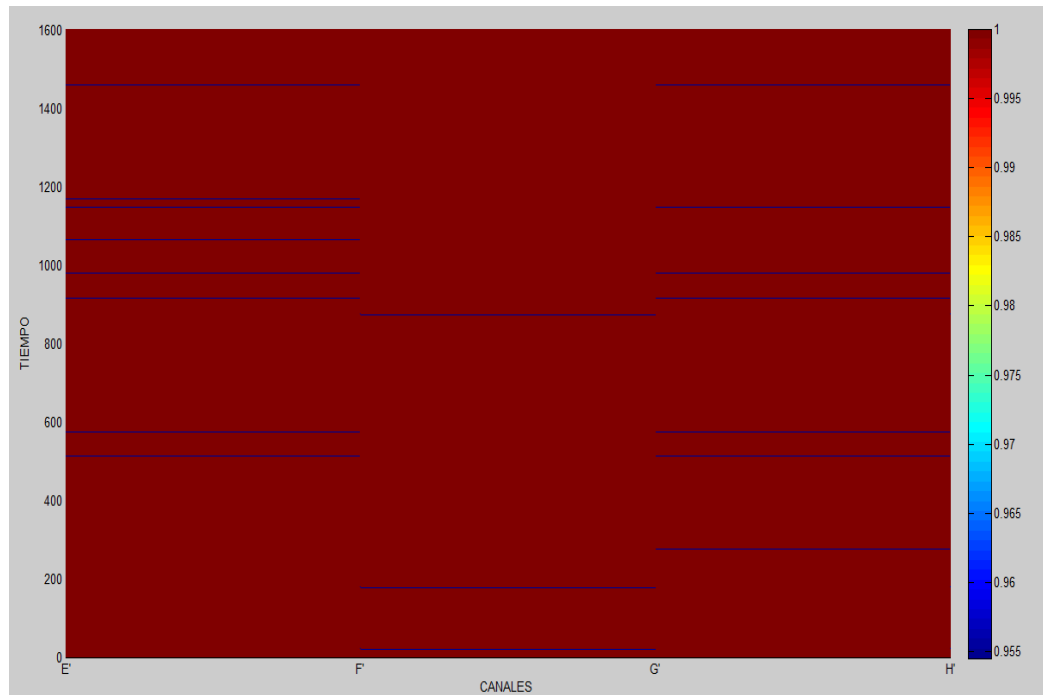


Figura 27. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 2

Se encuentra libre los canales en su totalidad, esto se da por la cantidad de cliente que presenta la solicitud de uplink, la cual no permite generar respuestas por colapso, exceptuando ciertos casos que si da respuesta pero es muy atípico, además es una tecnología que recién se está aplicando en el medio.

La siguiente figura muestra los resultados del análisis de la Operadora

3

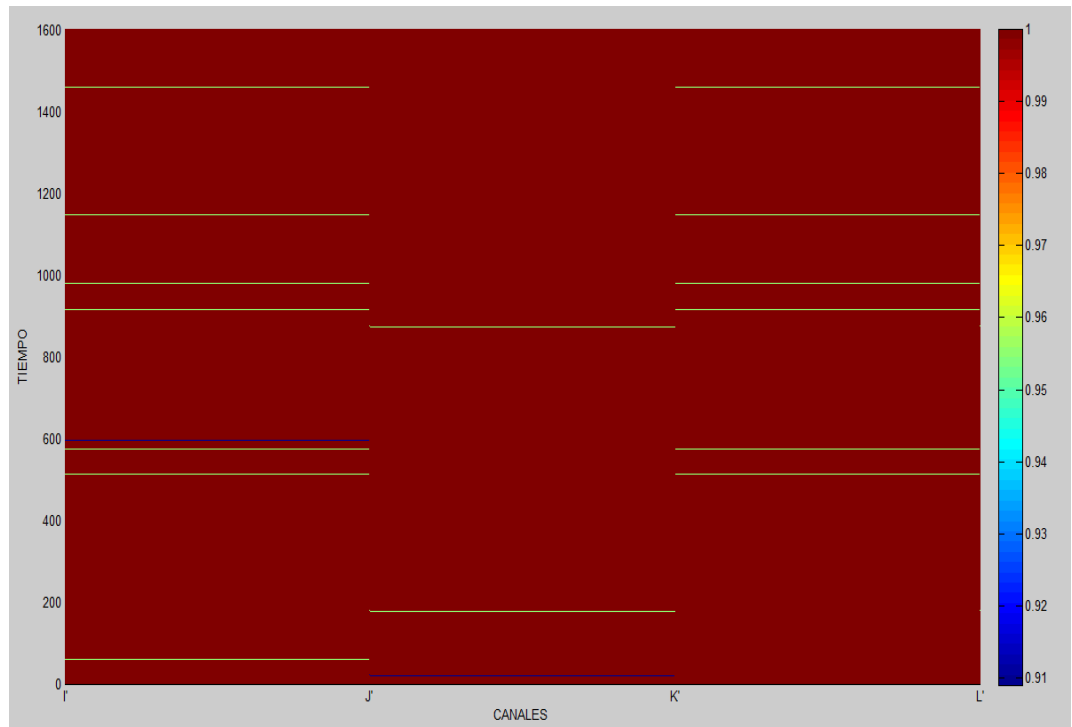


Figura 28. Muestreo de datos de nivel de potencia de operador 3

Se observa la banda libre en los canales medidos, esto se da por la cantidad de cliente que presenta la solicitud de uplink, la cual no permite generar respuestas por colapso, y en ciertos momentos se observa errores por dados por el equipo. Además tomando en cuenta que es una tecnología que recién está aplicando la operadora y puede tener fallos de respuesta en ubicaciones que exista gran cantidad de solicitudes.

El resultado del primer piso se ilustra con la figura 28:

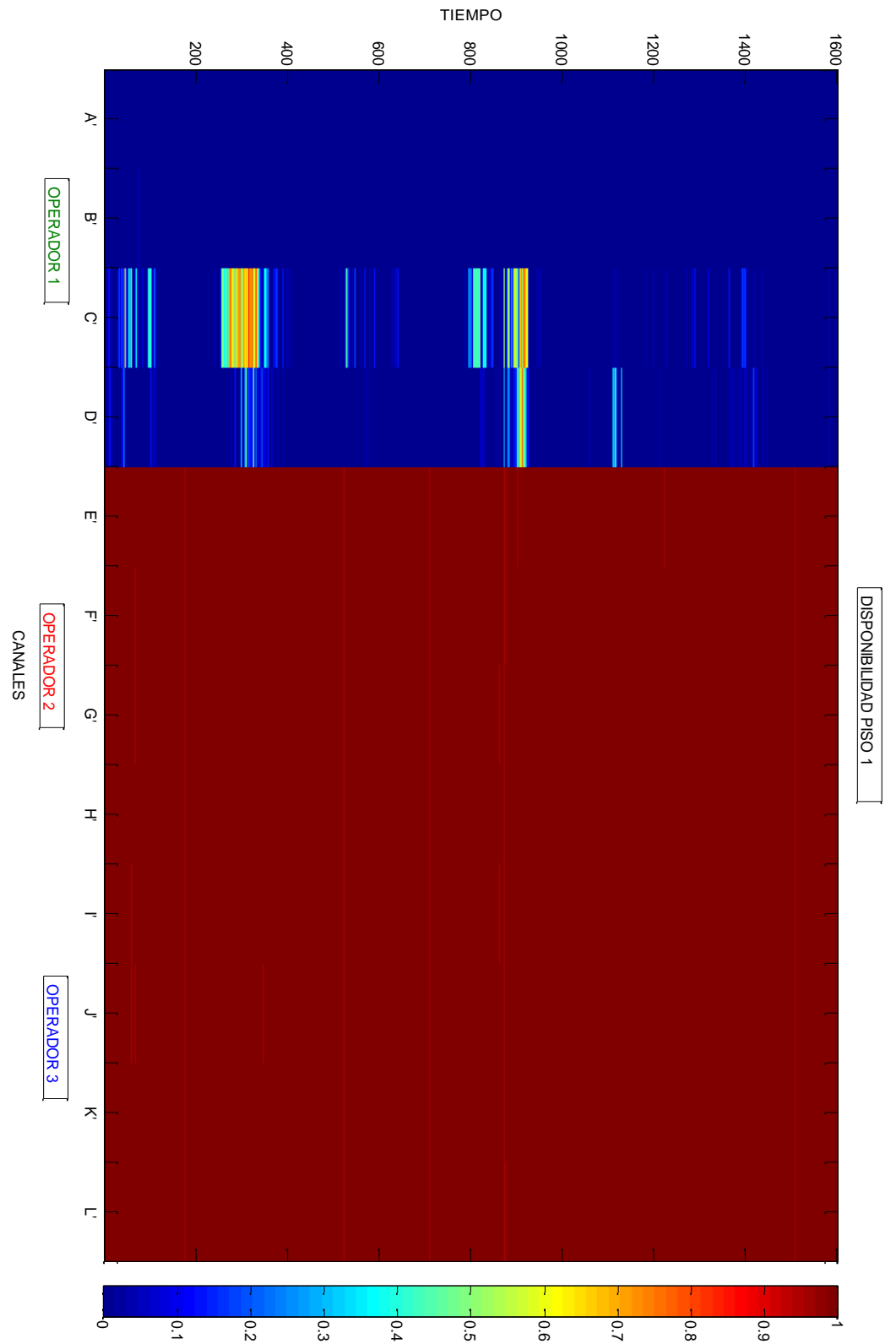


Figura 29. Muestreo de datos de nivel de potencia del piso 1.

Una vez concluida las mediciones en el piso 1, se trasladaron los equipos al piso 11 para proceder las mediciones, las cuales mostró los siguientes resultados.

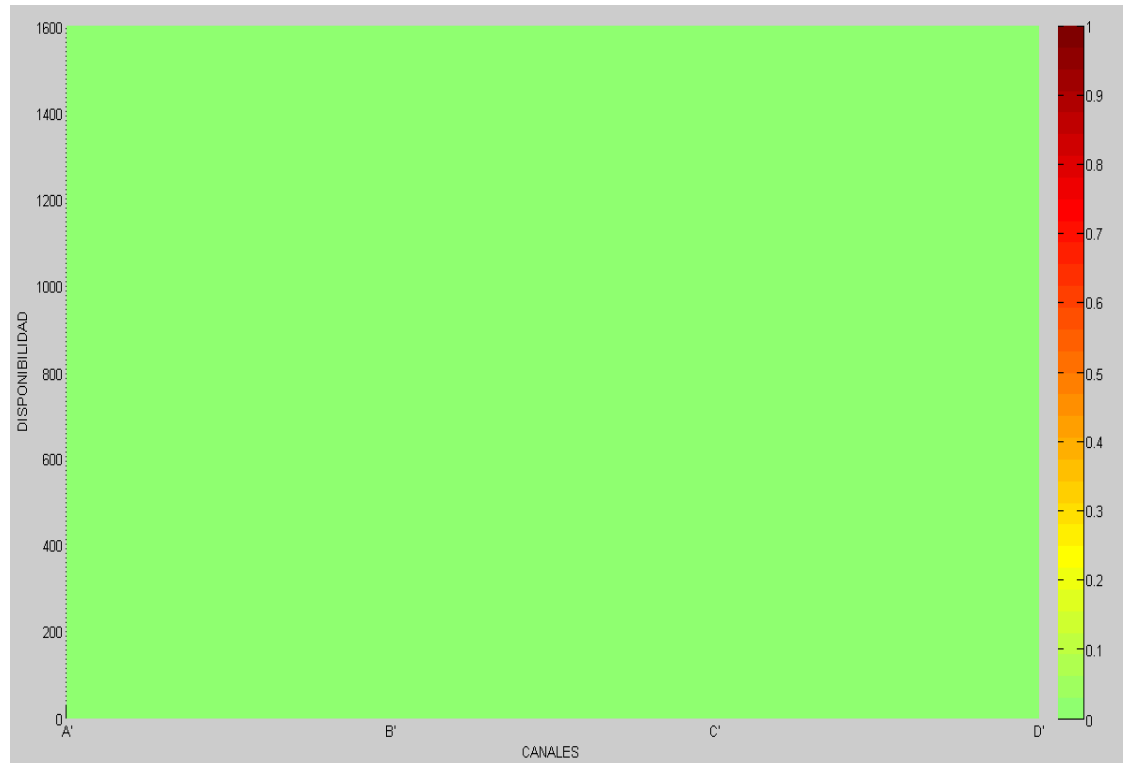


Figura 30. Muestreo de datos del nivel de potencia del operador 1

En la operador 1 se puede observar el canal completamente ocupado, caso similar que ocurría en el primer piso, lo cual indica que mantienen el barrido del canal dado que en a esta altura la afluencia de usuario es mucho menor que en el piso de abajo pero mantienen el canal lógico con esta señal.

La siguiente figura muestra los resultados del análisis de la operadora 2

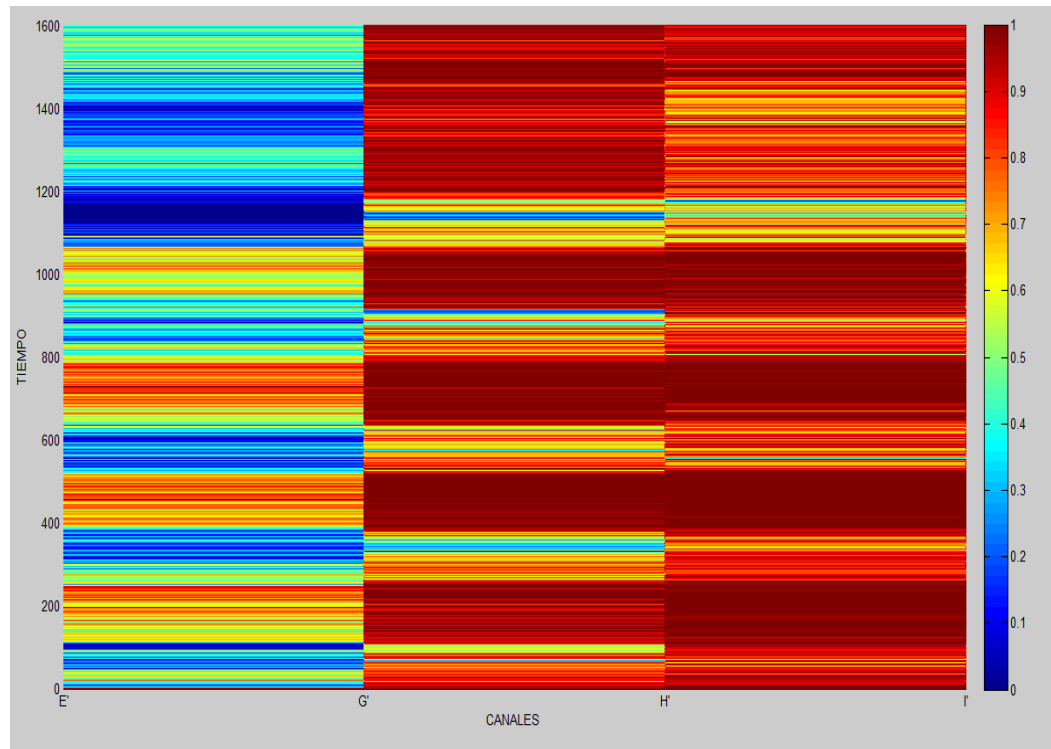


Figura 31. Muestreo de datos del nivel de potencia del operador 2

Como se pudo observar en el piso 1 este operador mantenía ciertos niveles de ocupación, esto varia en este piso dado que al disminuir la cantidad de requerimiento de servicio, este cubre todo los pedidos manteniendo intermitencia de ocupación. Este canal nos permite realizar un análisis para optimizar frecuencia y reusarla.

La siguiente figura muestra los resultados del análisis de la operadora 3



Figura 32. Muestreo de datos del nivel de potencia del operador 3

Al igual que en el piso 1 esta operadora mantiene vacío sus canales asignado, esto es producto de que es un servicio que recién están introduciendo y aun no lo cubren en su totalidad.

A continuación se muestra el resultado de los datos obtenidos en el piso 11, donde muestra una marcada diferencia de uso del espectro de cada operadora, la cual por razones propias de cada una, produce tres resultados distintos, dando como resultado solo la Operadora 2 para nuestro análisis.

En la siguiente grafica se puede observar el distinto uso de frecuencia que tiene cada operadora

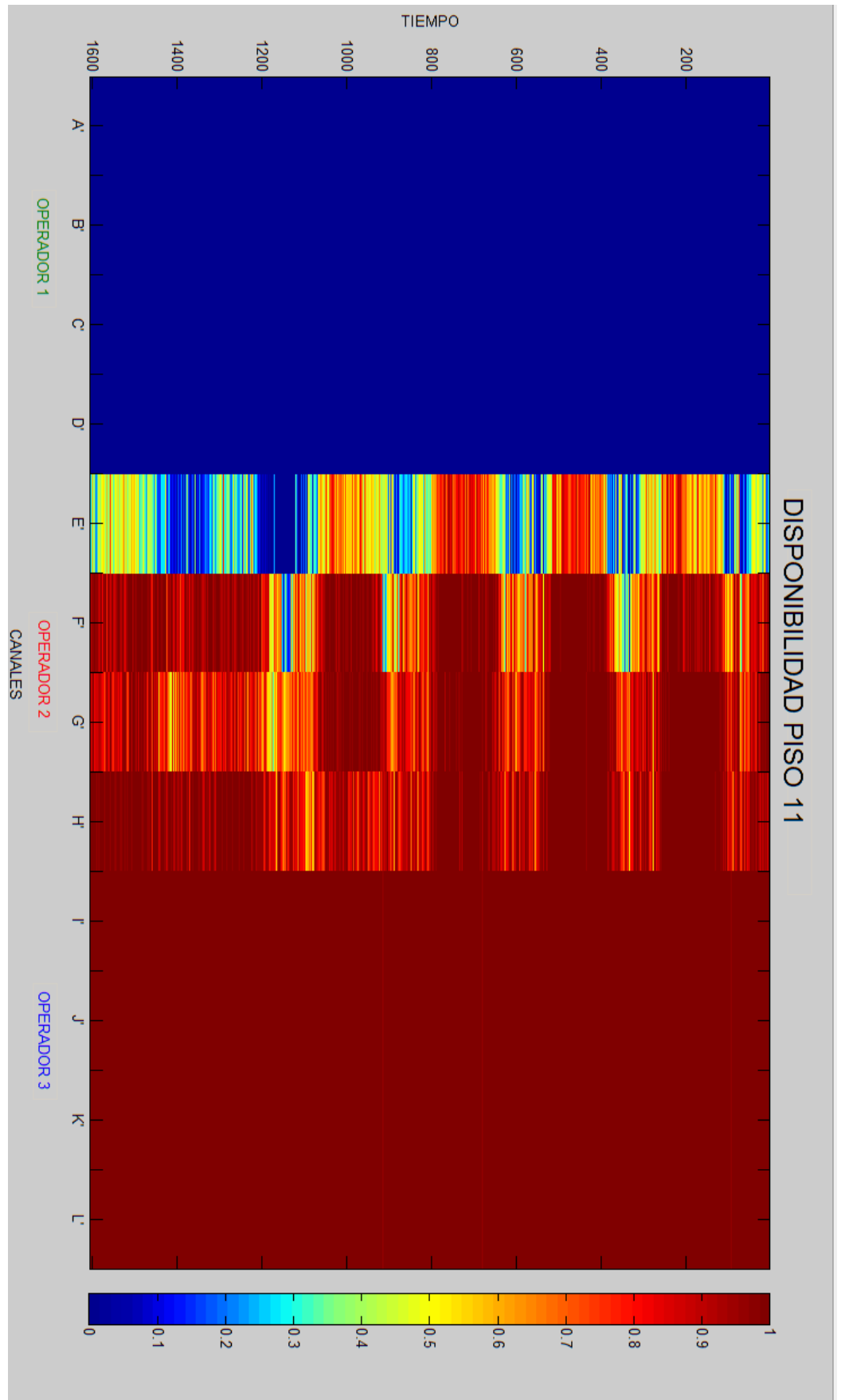


Figura 33. Muestreo de datos de nivel de potencia del piso 11

Las siguientes capturas de pantalla se realizaron el piso 22 los cuales arrojaron los siguientes resultados por operadora.

En la siguiente gráfica se puede observar que todos los canales del piso 22 se encuentran totalmente ocupados, esto se da ya que todas las operadoras usan barring de canal con el fin de mantener la recepción de servicio en los móviles de los clientes, pero no pueden usarlo por lo que el canal lógico de comunicación envía la información indicando que todos los canales del operador se encuentran llenos. Este mecanismo se usa con el fin de mantener a los usuarios en el servicio sin ofrecerlos.

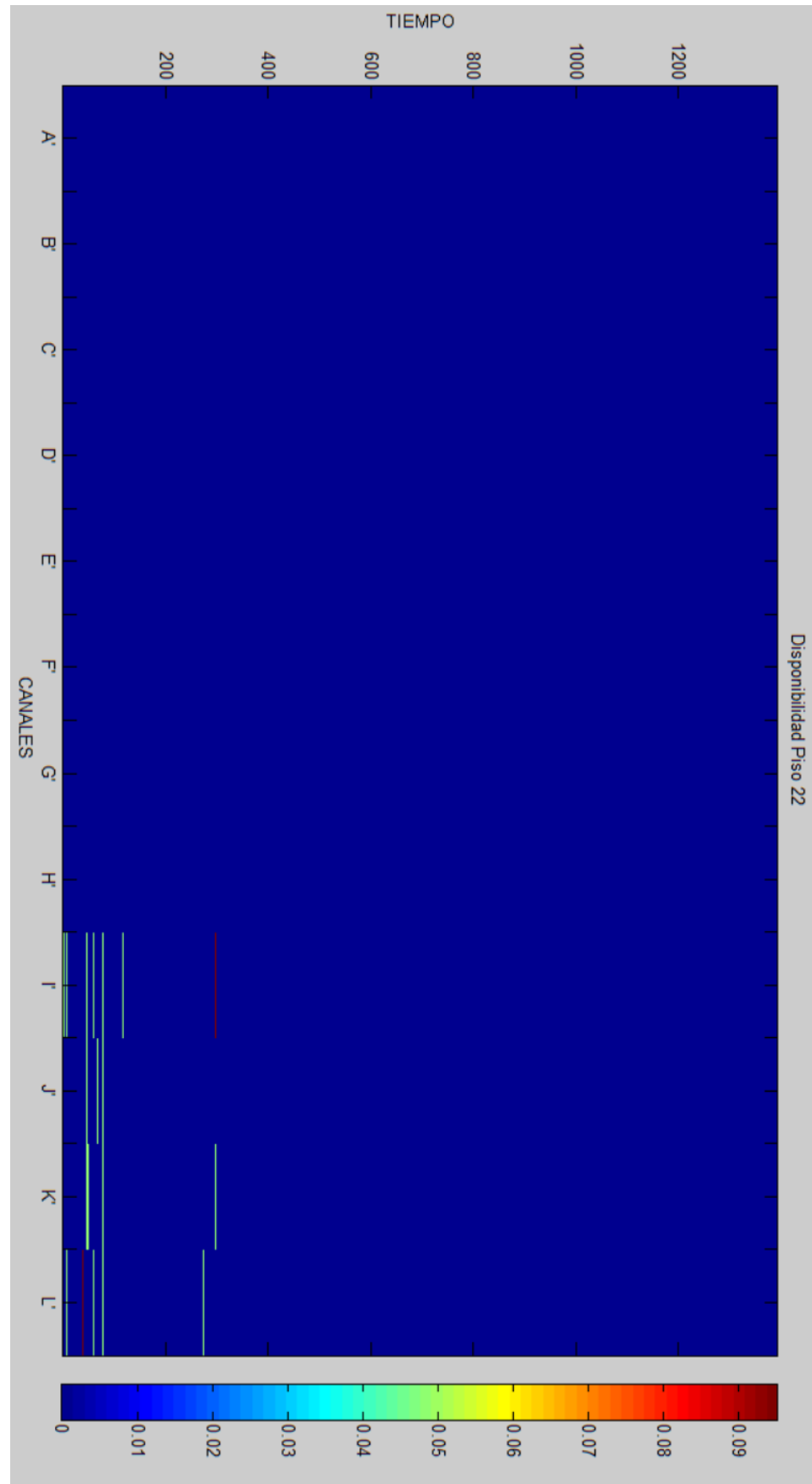


Figura 34. Muestreo de datos de nivel de potencia del piso 22

Tanto el piso 1 y 22 no aplican para realizar análisis estadístico dado los extremo que presentan, además de las operadoras 1 y 3 del piso 11. Solo la operadora 2 del piso 11 nos permitirá relajar el análisis espectral de frecuencia para el acceso oportunista.

4.2.3 Obtención de gráficos estadísticos

Una vez obtenido los gráficos de resultado de potencia por piso, se usa el software EASYFIT como herramienta para realizar el análisis estadístico de las señales que se ingresan, este proceso se basa en ingresar los datos promedios de potencia y graficarlos, con el fin de realizar una comparación con probabilidades estadísticas ya conocidas y escoger la que más se asemeje a la de los canales, se escoge tres opciones de las más aceptable para posteriormente realizar un segundo análisis comprobatorio conocido como Kolmogorov Smirnov. Las probabilidades estadísticas más frecuentes son las antes mencionas en el capítulo 3.

El primer paso para realizar el análisis es generar una función de distribución de probabilidad acumulada de cada canal por piso para posteriormente realizar la comparación con la distribución de probabilidad más óptima.

A continuación se muestra la distribución probabilística acumulada de cada canal y cada piso.

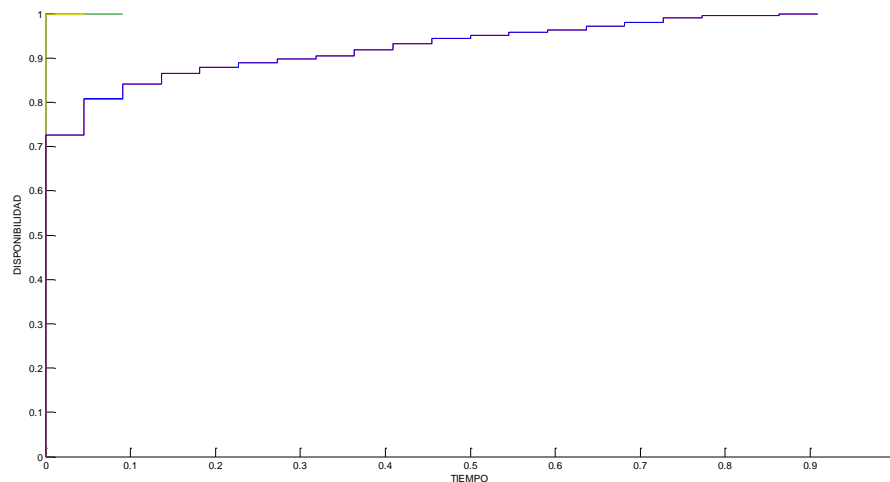


Figura 35. CDF de los cuatro canales de la operadora 1 en el piso 1

Al ser un canal vacío nos muestra probabilidades altas de disponibilidad de canal, es por esto que permite el acceso oportunista del espectro al 100%.

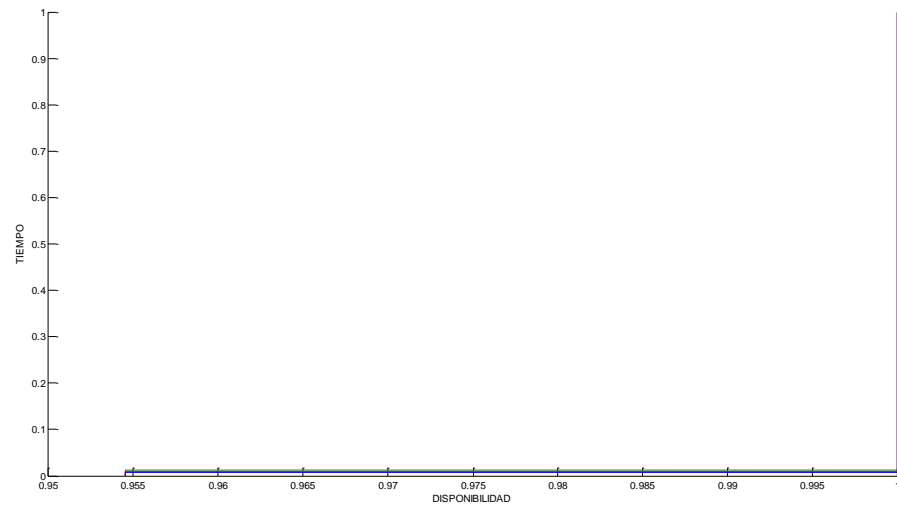


Figura 36. CDF de los cuatro canales de la operadora 2 en el piso 1

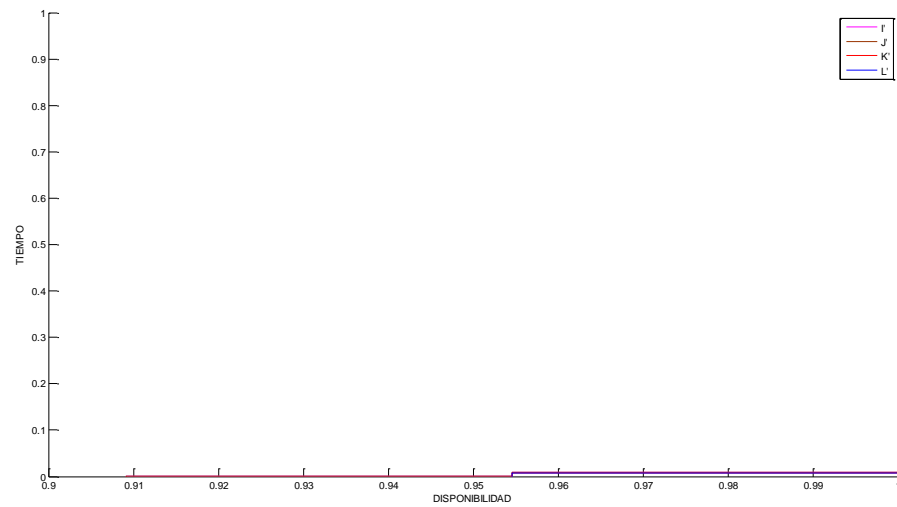


Figura 37. CDF de los cuatro canales de la operadora 3 en el piso 1

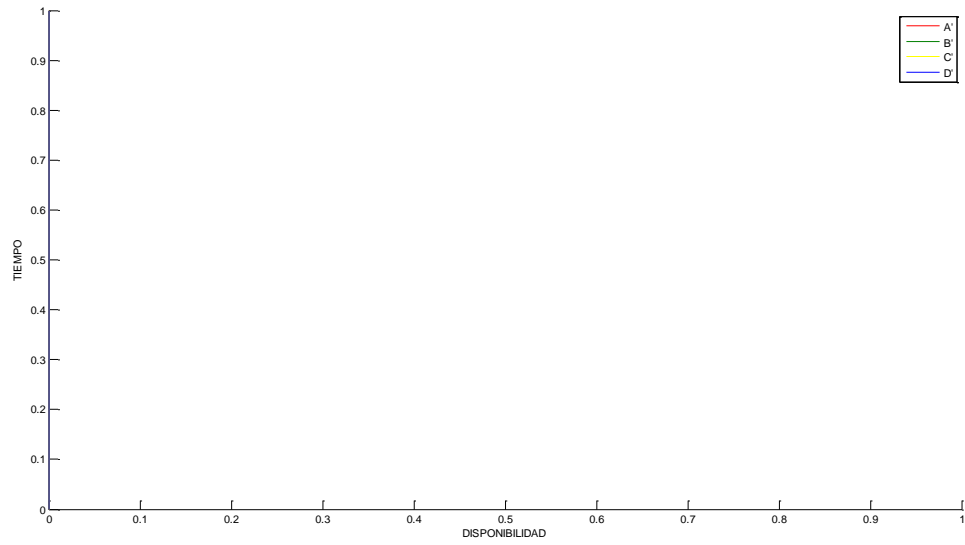


Figura 38. CDF de los cuatro canales de la operadora 1 en el piso 11.

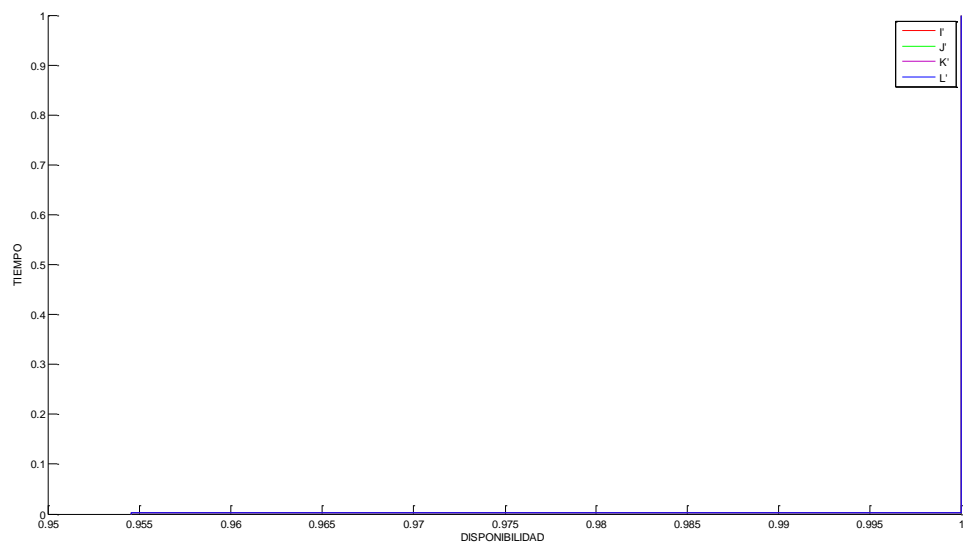


Figura 39. CDF de los cuatro canales de la operadora 3 en el piso 11

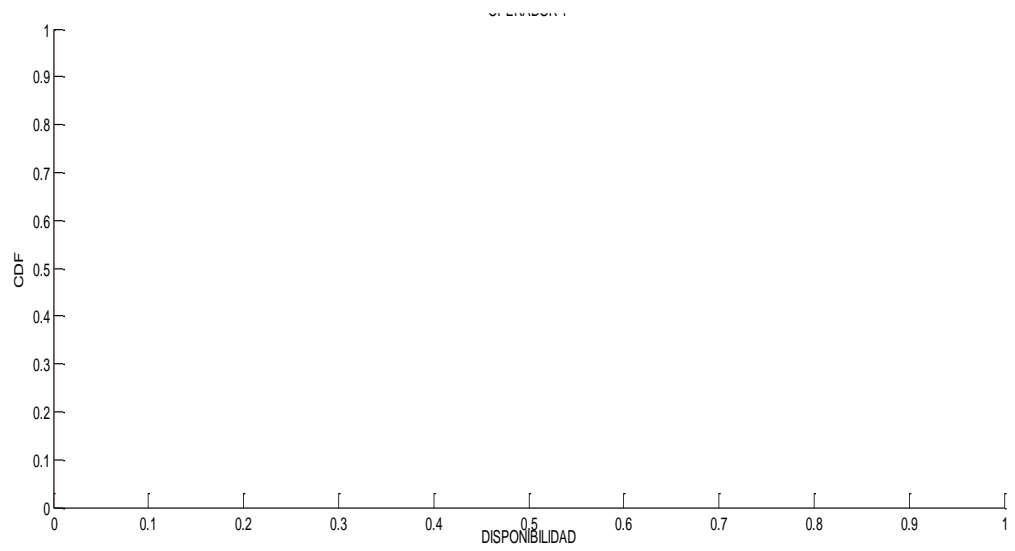


Figura 40. CDF de los cuatro canales de la operadora 1 en el piso 22

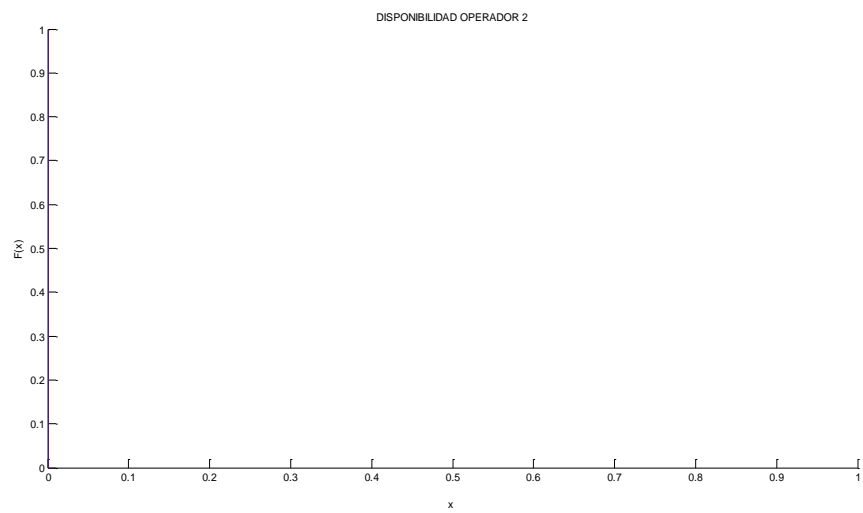


Figura 41. CDF de los cuatro canales de la operadora 2 en el piso 22

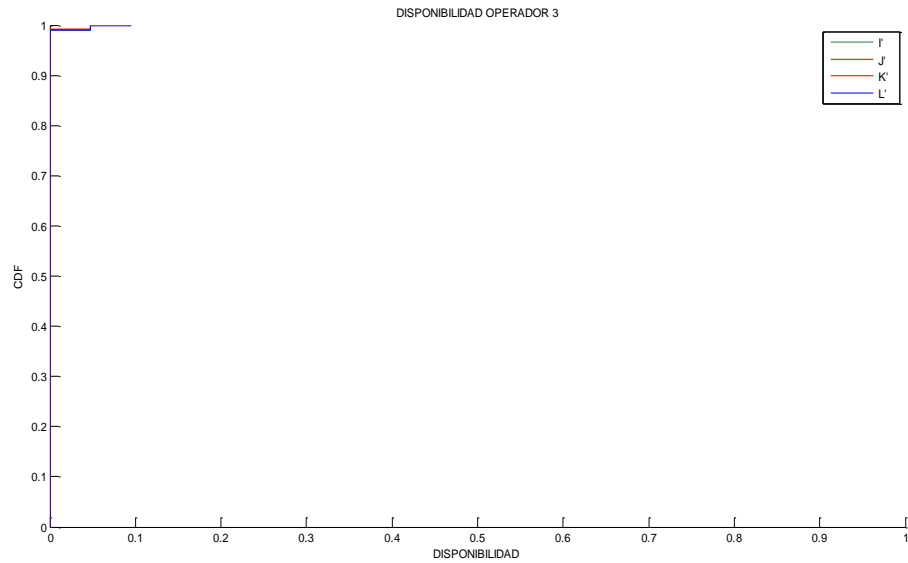


Figura 42. CDF de los cuatro canales de la operadora 3 en el piso 22

Al ser canales llenos nos muestran probabilidades altas de ocupación de canal, es por esto que no permite realizar el estudio de acceso oportunista del espectro.

En la siguiente figura se muestra la distribución probabilística acumulada de la operadora 2 en el piso 11, el cual cada canal tiene diferente tipo de disponibilidad pero mantiene una simetría con una curva suavizada, excepto el canal E que muestra una creciente continua es decir es una probabilidad lineal.

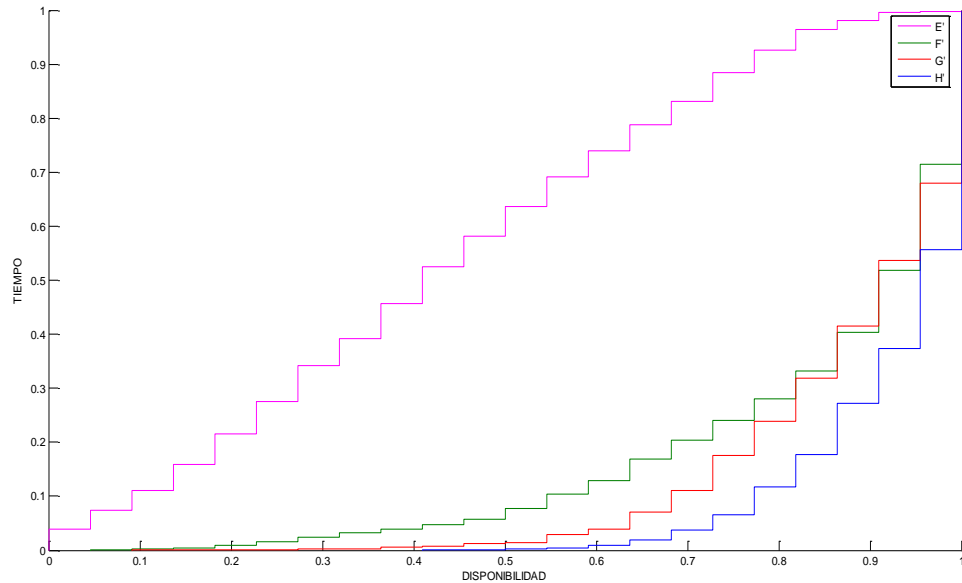


Figura 43. CDF de los cuatro canales de la operadora 2 en el piso 11

Esta diferencia marcada entre canales indica da como resulta dos formas distintas de distribución de probabilidad, es decir solo tres canales van a cumplir similitud de distribución probabilística conocida por su comportamiento.

4.2.4 Análisis de datos estadísticos

Una vez escogido el canal a analizar mediante la herramienta EASYFIT se escoge las tres graficas que más coincidan con las distribuciones acumuladas de los datos obtenidos.

Se muestra los porcentajes de no aceptación para las distribuciones que más coincidieron según la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov, la cual indica marcadas diferencias entre el canal E y el resto de canales analizados.

CANAL	Johnson Distribución	Sb	Log-Pearson Distribución	3
E	0.018%		NO APLICA	
F	3.4%		0,13%	
G	9.5%		0,25%	
H	9.56%		0,062%	

Tabla 11. Porcentajes de error para las distribuciones probabilística seleccionada de cada canal.

La siguiente figura muestra como la distribución acumulada discreta de las muestras obtenidas en el piso 11 se compara con la gráfica de la distribución acumulada de la probabilidad estadística ya conocida Johnson SB, y se puede observar que se encuentra simetría entre ambas.

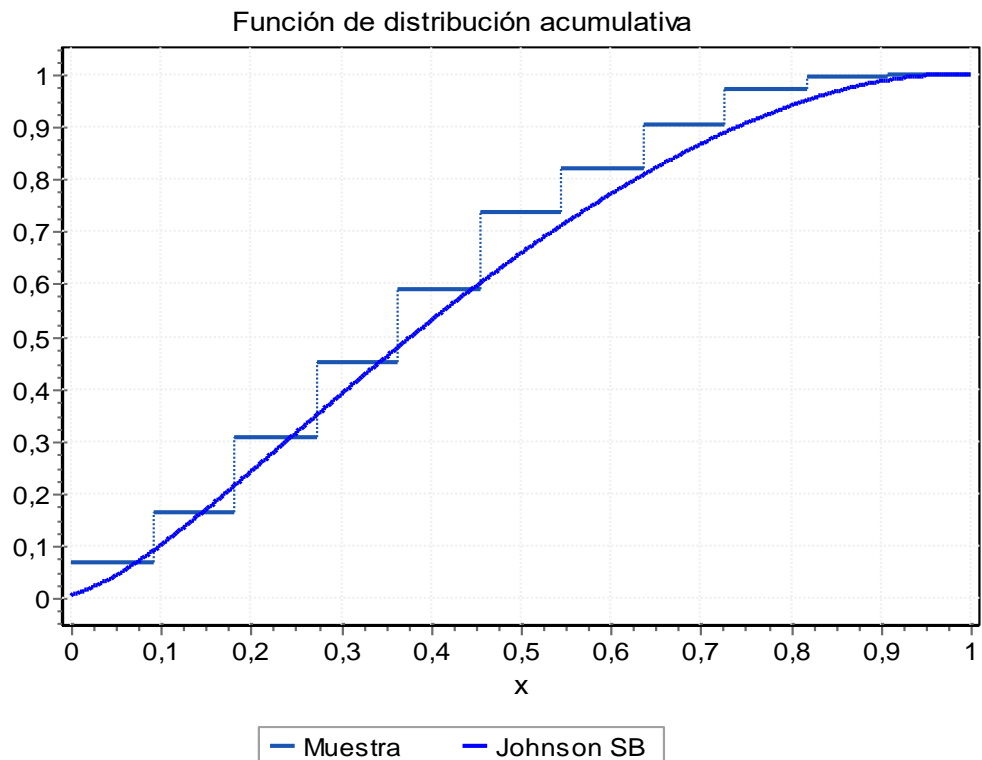


Figura 44. Función de distribución acumulada de las muestras vs Johnson SB del canal E.

Se escoge esta distribución como la adecuada para describir los datos y se compara de forma lineal como se observa en la siguiente figura.

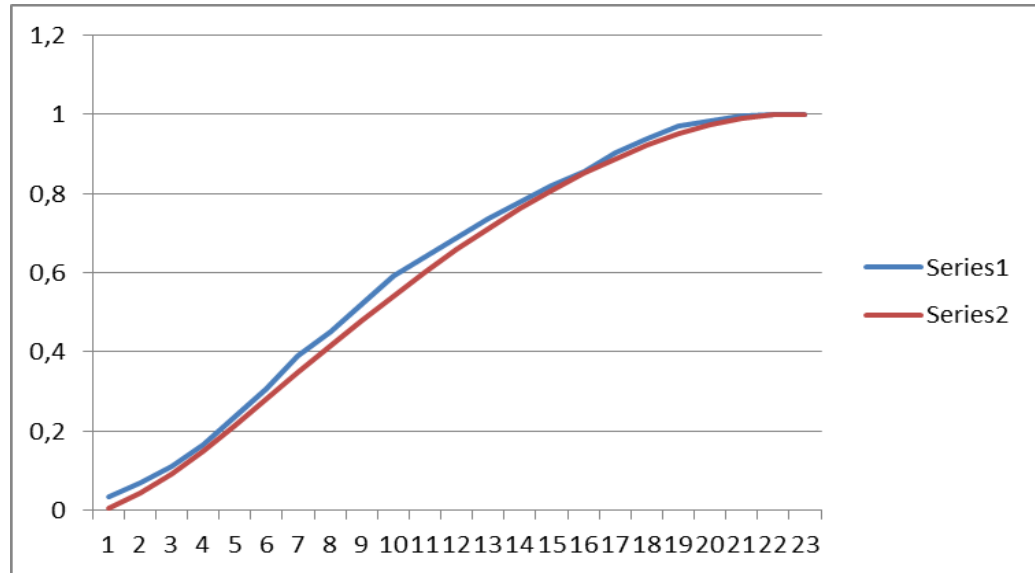


Figura 45. Distribución acumulada de los datos y de Johnson SB. Del canal E.

Para comprobar los resultados obtenidos se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnov para asegurar que los datos obtenidos del programa EASYFIT, los cuales determinaron la aceptación con un porcentaje de error mínimo de 0.017% en el 95% y error del 0.7% en el 99.9% de la herramienta estadística.

Por lo que se acepta como distribución que represente los datos obtenidos, se muestra el análisis realizado.

DATOS	FRECUENCIA	ACUMULADA CDF	JOHNSON SB	RESTA CDF		maximo	0,04478534		
0	64	0,03402446	0,00738854	0,02663591	no aplica				
0,04545455	65	0,06858054	0,04396144	0,0246191	0,00993698	99%	0,03758315	no se acepta	0,00720219
0,09090909	80	0,11111111	0,09080372	0,02030739	0,0222318	99,99%	0,04496144	se acepta	0,0001761
0,13636364	103	0,16586922	0,1507598	0,01510942	0,03964869				
0,18181818	133	0,23657629	0,21547952	0,02109677	0,043915	datos	1881	gamma	0,37
0,22727273	133	0,30728336	0,28214602	0,02513734	0,04478534			delta	0,87451
0,27272727	154	0,3891547	0,34901842	0,04013629	0,04173506			lambda	1,0605
0,31818182	119	0,45241893	0,4149778	0,03744113	0,02582309			xi	-0,04111
0,36363636	132	0,52259436	0,47927528	0,04331908	0,02685636				
0,40909091	129	0,59117491	0,54138588	0,03758315	0,01879151				
0,45454545	93	0,64061669	0,60091964	0,03969705	0,00974473				
0,5	92	0,68952685	0,65756497	0,03196188	0,01694827				
0,54545455	88	0,73631047	0,7110503	0,02526017	0,02152345				
0,59090909	79	0,77830941	0,76111655	0,01719286	0,02480608				
0,63636364	76	0,81871345	0,80749548	0,01121797	0,02918607				
0,68181818	70	0,859277	0,84989123	0,00603647	0,03117778				
0,72727273	86	0,90164806	0,88796318	0,01368488	0,03203548				
0,77272727	67	0,93726741	0,92130969	0,01595772	0,01966163				
0,81818182	60	0,96916534	0,94945437	0,01971097	0,01218696				
0,86363636	28	0,98405104	0,9718428	0,01220824	0,00267746				
0,90909091	23	0,99627858	0,98787792	0,00840065	0,00382688				
0,95454545	4	0,9984051	0,99709791	0,00130719	0,00081934				
1	3	1881	1	0,99994176	5,8239E-05				

Figura 46. Pruebas de Kolmogorov-Smirnov de los datos del canal E.

Los siguientes canales tienen una distribución acumulada similar, en el canal F el software EASYFIT determino semejanza con la distribución acumulada probabilístico Log Pearson tipo III, como se puede ver en la siguiente figura.

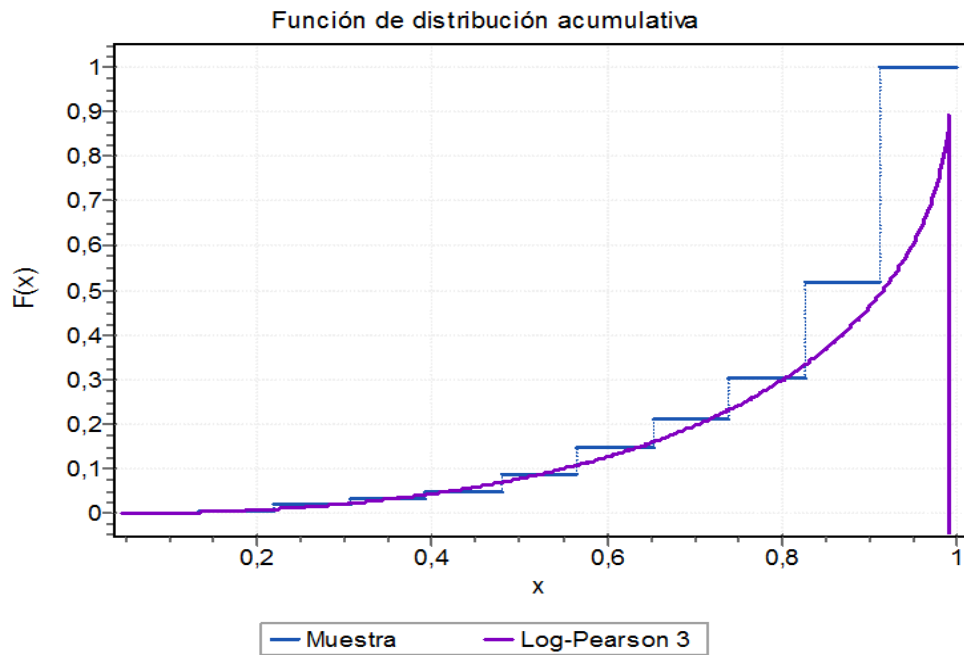


Figura 47. Función de distribución acumulada del canal F y Log Pearson tipo III.

Linealizando los datos obtenidos se muestra la figura en comparación de la distribución acumulada Log Pearson tipo III, de esta manera se selecciona esta distribución como la que mejor describe el comportamiento de los datos obtenidos.

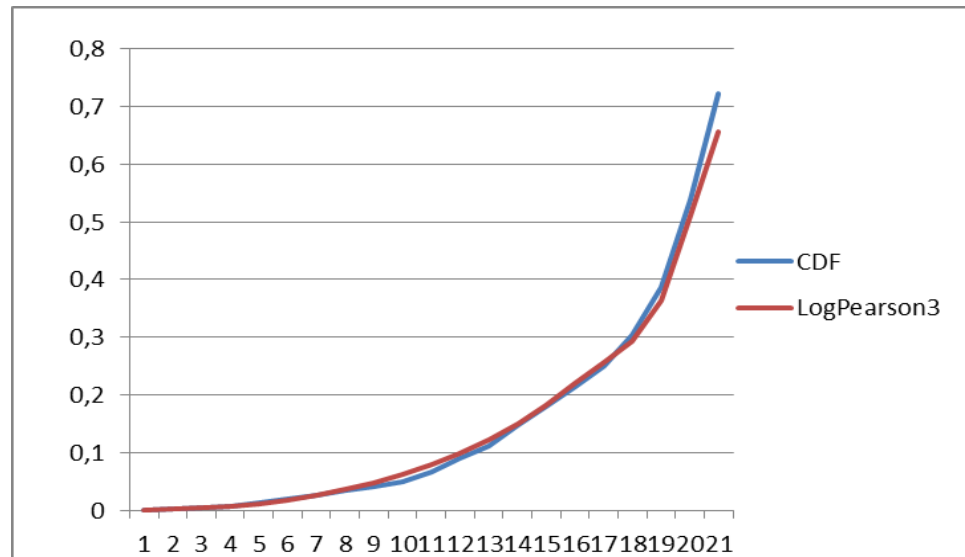


Figura 48. Distribución acumulada de forma continua del canal F y Log Pearson tipo III.

Para comprobar los resultados obtenidos se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnov para asegurar que los datos obtenidos del programa EASYFIT, los cuales determinaron la aceptación con un porcentaje de error mínimo de 0.012% en el 95% y error del 0.6% en el 99.9% de la herramienta estadística.

Por lo que se acepta como distribución que represente los datos obtenidos, en la siguiente figura se muestra el análisis realizado.

DATOS	FRECUENCIA	ACUMULADA	CDF	LogPearson3	RESTA CDF				
0,04545455	1	1	0,00053163	0,00034719	0,00018444	no aplica			
0,09090909	4	5	0,00265816	0,00155125	0,00110691	0,00101962	maximo	0,04368436	
0,13636364	3	8	0,00425306	0,00378438	0,00046868	0,00112622			
0,18181818	6	14	0,00744285	0,00719944	0,00024341	0,00294639	99%	0,03758315	no se acepta
0,22727273	11	25	0,0132908	0,01195011	0,0013407	0,00450726	99,99%	0,04496144	se acepta
0,27272727	13	38	0,02020202	0,01819884	0,00200318	0,00490803			
0,31818182	13	51	0,02711324	0,02612288	0,00099036	0,00592086	datos	1881	
0,36363636	13	64	0,03402446	0,03592023	0,00189578	0,00880699			
0,40909091	12	76	0,04040404	0,04781657	0,00741253	0,01379211	Alpha	0,4202	
0,45454545	18	94	0,04997342	0,06207412	0,0121007	0,02167008	beta	-0,50639	
0,5	31	125	0,06645401	0,07900357	0,01254956	0,02903015	gamma	-0,00653	
0,54545455	46	171	0,09090909	0,09898075	0,00807166	0,03252673			
0,59090909	39	210	0,11164274	0,12247098	0,01082823	0,03156189			
0,63636364	67	277	0,1472621	0,15006616	0,00280407	0,03842342			
0,68181818	60	337	0,17916002	0,18254392	0,0033839	0,03528183			
0,72727273	64	401	0,21318448	0,22096765	0,00778317	0,04180763			
0,77272727	71	472	0,25093036	0,25686884	0,00593848	0,04368436			
0,81818182	98	570	0,3030303	0,29261372	0,01041659	0,04168336			
0,86363636	158	728	0,38702818	0,36295096	0,02407722	0,03992066			
0,90909091	248	976	0,53887294	0,51095007	0,02792287	0,0239219			
0,95454545	383	1359	0,72248804	0,65591579	0,03657225	0,01704285			
1	522	1881	1	no aplica	no aplica	no aplica			

Figura 49. Pruebas de Kolmogorov Smirnov de los datos del canal F.

El canal G muestra una distribución acumulada similar al canal anterior, usando la herramienta EASYFIT muestra tres probabilidades estadística la cual más destaca la distribución probabilística Log Pearson tipo III, como se muestra en la siguiente gráfica.

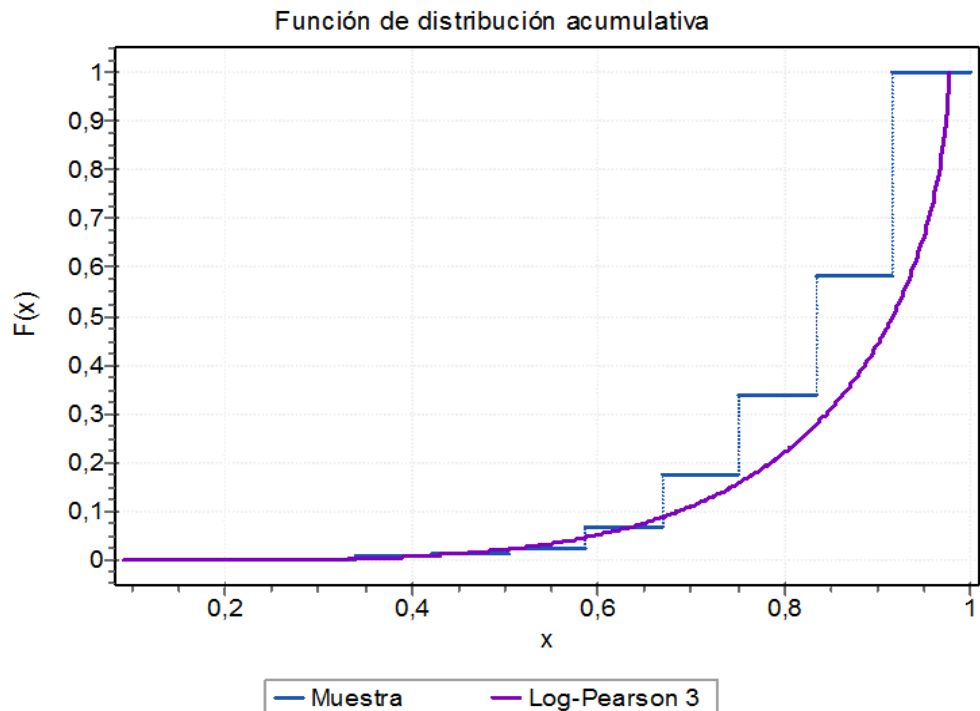


Figura 50. Función de distribución acumulada del canal G y Log Pearson tipo III.

Para realizar un análisis más exhaustivo se linealiza la distribución acumulada de la muestra obtenida en el piso 11, con esto se observa la simetría entre ambas gráficas de distribución.

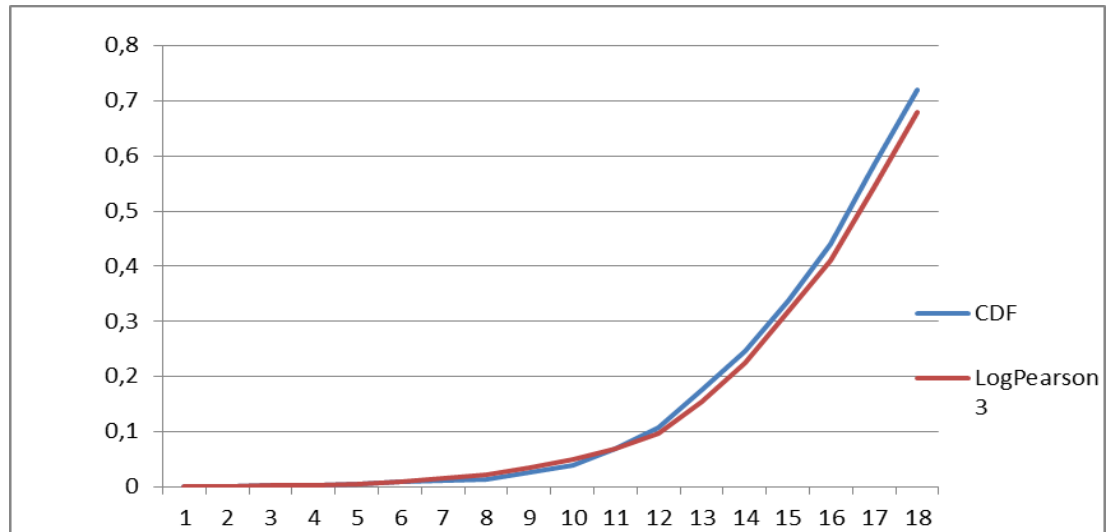


Figura 51. Distribución acumulada de forma continua del canal G y Log Pearson tipo III.

Para comprobar los resultados obtenidos se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnov para asegurar que los datos obtenidos del programa EASYFIT, los cuales determinaron la aceptación con un porcentaje de error mínimo de 0.25% en el 95% y error del 0.48% en el 99.9% de la herramienta estadística.

Por lo que se acepta como distribución que represente los datos obtenidos, en la siguiente figura se muestra el análisis realizado.

DATOS	FRECUENCIA	ACUMULADA	CDF	LogPearson3	RESTA CDF		maximo	0,04244799	
0,09090909	1	1	0,00053163	1,4899E-05	0,00051673	no aplica			
0,27272727	3	4	0,00212653	0,00156501	0,00056152	0,00103338	99%	0,03758315	no se acepta
0,31818182	1	5	0,00265816	0,00305344	0,00039528	0,00092691	99,99%	0,04496144	se acepta
0,36363636	5	10	0,00531632	0,00547688	0,00016056	0,00281872	datos	1881	0,00251345
0,40909091	5	15	0,00797448	0,00921665	0,00124217	0,00390033			
0,45454545	7	22	0,01169591	0,01475645	0,00306055	0,00678197	alpha	0,53	
0,5	5	27	0,01435407	0,02270632	0,00835225	0,01101041	beta	-0,25	
0,54545455	24	51	0,02711324	0,03383543	0,00672219	0,01948136	gama	-0,0238	
0,59090909	21	72	0,03827751	0,04911894	0,01084143	0,0220057			
0,63636364	57	129	0,06858054	0,06980752	0,00122697	0,03153			
0,68181818	73	202	0,10738969	0,09753606	0,00985363	0,02895551			
0,72727273	127	329	0,17490696	0,15450482	0,02040214	0,04011514			
0,77272727	134	463	0,24614567	0,22380658	0,02233909	0,03889961			
0,81818182	174	637	0,33864965	0,31808595	0,02056371	0,04194028			
0,86363636	193	830	0,44125465	0,41109765	0,030157	0,04244799			
0,90909091	267	1097	0,58320043	0,54248414	0,04071629	0,02229485			
0,95454545	258	1355	0,72036151	0,67861014	0,04175137	0,03540972			
1	526	1881	1	no aplica	no aplica	no aplica			

Figura 52. Pruebas de Kolmogorov Smirnov de los datos del canal G.

El ultimo canal analizado muestra tres probabilidades para modelar siendo la distribución Log Pearson tipo III la que mejor describe el comportamiento de los datos captados, como se puede observar en la figura 48, la cual muestra los datos obtenidos de forma discreto en comparación a la probabilidad ya conocida Log Pearson tipo III.

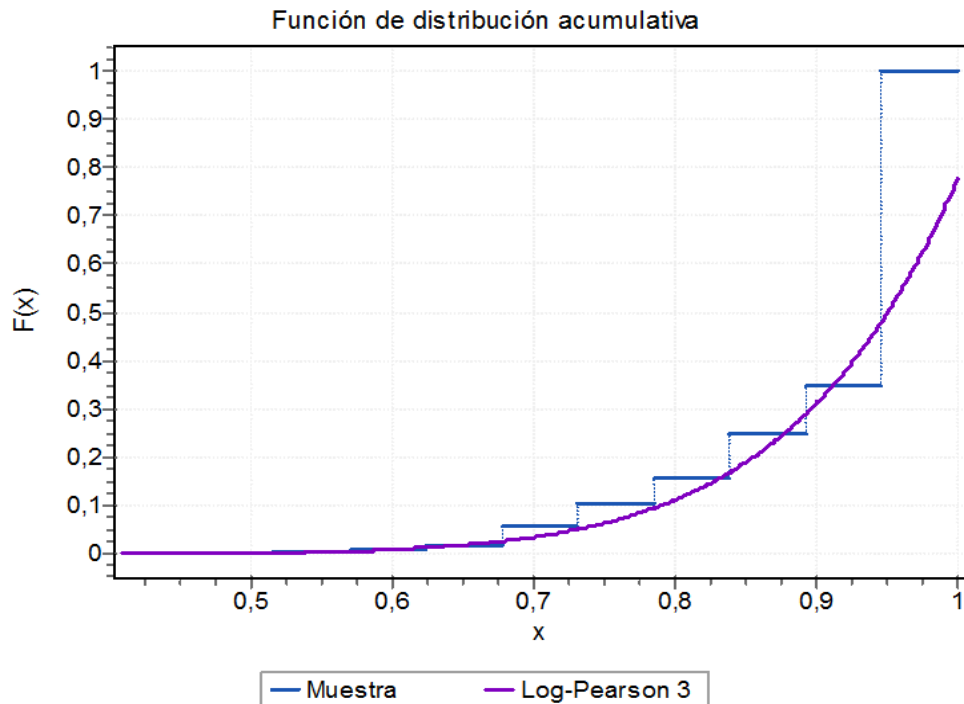


Figura 53. Distribución acumulada del canal H y Log Pearson tipo III.

Se observan casi todos los puntos coinciden con la gráfica de la distribución conocida, Figura 49.

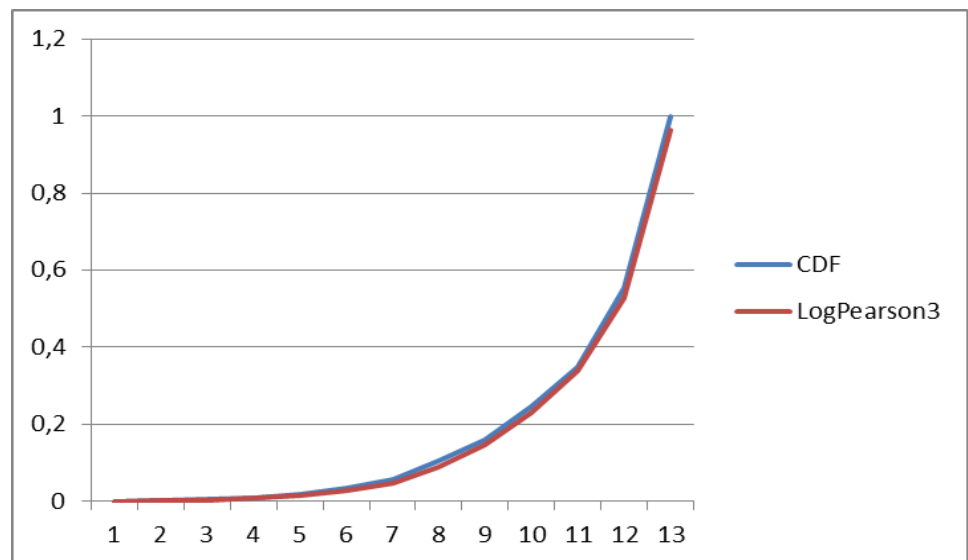


Figura 54. Distribución acumulada de forma continua del canal H y Log Pearson tipo III

Para comprobar los resultados obtenidos se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnov para asegurar que los datos obtenidos del programa EASYFIT, los cuales determinaron la aceptación con un porcentaje de error mínimo de 0.06% en el 95% y error del 0.68% en el 99.9% de la herramienta estadística.

Por lo que se acepta como distribución que represente los datos obtenidos, en la siguiente figura se muestra el análisis realizado.

DATOS	FRECUENCIA	ACUMULADA	CDF	LogPearson3	RESTA CDF		maximo	0,04434262		
0,40909091	1	1	0,00053163	0,00033245	0,00019918	no aplica				
0,5	3	4	0,00212653	0,00189663	0,0002299	0,001365	99%	0,03758315	no se acepta	0,00675947
0,54545455	4	8	0,00425306	0,00403547	0,00021759	0,00190894	99,99%	0,04496144	se acepta	0,00061882
0,59090909	7	15	0,00797448	0,00808246	0,00010798	0,0038294				
0,63636364	18	33	0,01754386	0,01537544	0,00216842	0,00740096				
0,68181818	30	63	0,03349282	0,02797917	0,00551366	0,01043531	datos	1881		
0,72727273	47	110	0,05847953	0,04898411	0,00949543	0,01549128	alpha	1		
0,77272727	85	195	0,10366826	0,08889449	0,01477377	0,03041496	beta	-0,11524		
0,81818182	103	298	0,15842637	0,14612359	0,01230278	0,04245532	gamma	0,02914		
0,86363636	165	463	0,24614567	0,22961638	0,01652928	0,02119002				
0,90909091	193	656	0,34875066	0,33962211	0,00912856	0,03347644				
0,95454545	385	1041	0,55342903	0,5274118	0,02601723	0,04366114				
1	840	1881	1	0,96265738	0,04434262	0,04134262				

Figura 54. Pruebas de Kolmogorov Smirnov de los datos del canal H.

Dada las cuatros opciones de distribución probables de los canales modelados, la distribución Log Pearson tipo III, es la que describe de una manera más adecuado el comportamiento de los datos capturados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se logró analizar las bandas de los 3 operadores en el país que brindan el servicio LTE downlink en una ubicación de alto tránsito en la ciudad de Guayaquil.
2. En el primer piso analizado se nota que el operador 1 tiene un 100% de ocupación en todos sus 4 canales, esto se da por lo que al considerar que la radio base de este operador se encuentra a menos de 300 metros y siendo unos de los operadores que han tenido la concesión de este servicio por mucho más tiempo.
3. El Operador 2 está en un 99% libre sus 4 canales en el primer piso.
4. El tercer operador está en un 99% libre en sus 4 canales, al revisar las estadísticas vemos que a pesar de la concesión que se le dio a este operador, este aun no presenta radio bases en LTE AWS en las bandas 21150 Mhz a 2170 Mhz.
5. Este comportamiento de las mediciones se da ya que al tratarse de una área de alta densidad de personas y es una tecnología que tiene muy poco tiempo de haber sido concesionada, por todo esto se considera que al haber pocas solicitudes de uplink y que el canal se encuentre en pruebas en la zona medida, su estado sea el medido.
6. En el piso 11° se ve una conducta afín tanto en el primer operador como con el tercero por razones iguales a las expuestas previamente para cada caso particular,
7. En el piso 11° la Operadora 2 se ve en cambio que la intermitencia en la disponibilidad permite realizar el análisis de modelamiento de los canales presentes.
8. El área donde se realizaron las mediciones del onceavo piso corresponde a una agencia de seguros muy conocida del país, que tiene su departamento de cobranzas, recepción de documentos y siniestros. Por lo que cubren prácticamente la mitad del piso, al otro lado del edificio tenemos los primeros departamentos residenciales, por lo que se puede concluir que se trata de un área concurrida por personas de un nivel económico medio que

se pueden permitir diversos servicios celulares como esta tecnología analizada que tiene de por sí un costo extra para el usuario

9. Los canales modelados serían los canales E', F', G' y H' que como se vio en el capítulo 4 se prestan a ser comparados a una distribución Log Pearson 3 con los valores definidos en ese capítulo.
10. Considerando que la distribución escogida nos permite entender mejor el comportamiento de este operador en el piso medido, ya que suele usarse en casos extremos basándose en 3 parámetros que serían la media, el pico superior y el pico inferior, lo cual indica cuán alejado de la media se encuentran los datos, con todo esto a pesar de ser mediciones con resultado extremos obtenemos un modelo más representativo de la realidad censada, como se aprecia en los modelos presentados este último valor (Gamma) no muestra valores superiores a 0,03 lo cual nos permite pensar en una distribución Log Pearson tipo III, además que la flexibilidad que provee en su forma este tipo de distribución permite adaptarse mejor a las variaciones estocásticas que se pueden percibir en la descripción del comportamiento humano en las comunicaciones y entretenimiento.
11. En el piso 22.º se ve un fenómeno particular llamado barring, que se entiende por un bloqueo deseado de los servicios para permitir el paso de los requerimientos a la siguiente radio base más cercana, debido a que nos encontramos a más de 50 metros del nivel del mar, en una estructura cerrada y no tener una radio base cercana pudimos notar que los canales se encontraban ocupados para no permitir el paso de requerimientos, sin embargo se nota que sí había cobertura celular en nuestros móviles
12. En el piso 1.º existe un total de 40 Mhz de disponibilidad para su reuso, en el piso 11.º en cambio 20 Mhz libre en el último operador, y un aproximado de 15 Mhz en el canal del segundo operador, esto claro está obedeciendo la distribución Log-Pearson III que expuesto previamente.
13. Con el estudio realizado en este edificio y los análisis se puede ver que en ciertas tecnologías concesionadas por el ARCOTEL el subempleo de estos espectros pudieran reflejar una oportunidad para generar figuras que permitan alquilar frecuencias de esta tecnología que sin estorbar la licencia principal pueda dar un uso más eficiente del espectro libre.

Recomendaciones

1. Al terminar las mediciones en este edificio, se observa que los datos se vieron afectado debido a la forma con la que se realizó las mediciones, es decir cuando estas se efectuaron se tomaron también datos de 50 canales de la banda FM que se encuentran fuera del rango aprobado por el diseñador de la antena empleada, los datos han presentado mucha distorsión contra los valores esperados al inicio del documento.
2. Se debe considerar la opción de ubicar una repetidora de interiores para los últimos pisos del edificio en cuestión ya que el servicio brindado no basta para proveer los servicios que requieran los usuarios finales.
3. Realizar mediciones con una antena disponible únicamente para el censo de la tecnología escogida.
4. Ubicar los equipos de medición en zonas más concurridas del edificio, para permitir de esta forma obtener una representación más realista del comportamiento de los usuarios y niveles de potencia de la señal provista por los operadores
5. Emplear un sistema de recolección de datos que tenga como fuente de almacenamiento un disco de estado sólido en una estación de escritorio para evitar inconvenientes como lo sucedido en último piso de medición, donde experimentamos una falla crítica del sistema que al final se solucionó cambio el disco duro de la computadora ya que este no permitía la lectura y escritura de datos de forma satisfactoria lo que incurría en cuelgues constantes del sistema y volcados de memoria, impidiéndonos obtener mediciones realistas.
6. Realizar mediciones en los pisos alrededor del piso 11° para permitir observar el comportamiento de los usuarios que se encuentran en esos pisos.
7. Facilitar las mediciones con una antena más pequeña que pueda ser ubicada con mayor facilidad sin estorbar el área donde sería ubicada.
8. Mejorar los tiempos de respuesta ante eventos fortuitos como los que se experimentó en el piso 22°.

9. Impedir la manipulación de terceros en el equipo de recolección de datos para evitar cambios o alteraciones de los datos.
10. Utilizar algún sistema de control remoto de los equipos dispuestos a la medición para obtener en menor tiempo los datos y las irregularidades que puedan suceder.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Distribución Normal (2013). [Online] Disponible en:
http://www.vitutor.com/pro/5/a_1.html
- [2] I. Arroyo; L.C. Bravo M.; Dr. Ret. Nat. H. Llinás, “Distribuciones Poisson y Gamma”, Prospect. Vol. 12, No. 1, Enero - Junio de 2014, págs. 99-107.
- [3] http://www.ssb.de/product_info.php?language=en&info=p3281_SIRIO-SD-3000-N-Discone-Antenne.html
- [4] <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- [5] “Estudio de Prueba de Bondad de Kolmogorov – Smirnov”
http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad_de_Ajuste_de_Kolmogorov_Smirnov.pdf
- [6] J.M. Millan Esteller “Configuración de infraestructura de sistema de Telecomunicaciones”. Autor pagina 130 a 160.
- [7] Elementos de sistemas de telecomunicaciones. Autor Sergio Gallardo pagina 70 a 150
- [8] Sistema de telefonías Autor José Damián Cabezas páginas 90 a 120
- [9] “Consultoría Estratégica de la Información y la comunicación”. Artículo Ramón Millán
- [10] “Sistemas de Telecomunicación”, Constantino Pérez Vega, Universidad de Cantabria, 2007
- [11] “Comunicación por satélite”, AHICET, 2000, Carlos Rosado, 1998
- [12] “Comunicaciones por satélite”, curso 2008-09, Ramón Martínez, Miguel Calvo.
- [13] “Transmisión por radio”, Hernando Rábanos, ed. Ramón Areces 2006

[14] C.D. Valenzuela Bascuñán “Estimación de parámetros para un módem satelital y su cadena de transmisión y recepción”. Memoria de, Universidad Técnica Federico Santa María

[15] Tesis de grado: “Transmisión satelital, UTN-FICA-EISIC”, Universidad Técnica Nacional

[16] “Radio communications in the Digital Age. VHF/UHF Technology”, Volume Two. Harris Corporation, 2000.

[17] “3GPP Technical Specification 36.101”, User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (Release 8)”, www.3gpp.org.

[18] Sesia, S., Toufik, I. & Baker, M. 2009, "LTE–The UMTS Long Term Evolution", From Theory to Practice, published in, vol. 66. Editorial: Wiley & Sons

[19] Guía Para el uso de Matlab Parte 1:
<http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/control/archivos/material/Anexos/apunte%20matlab%20parte1%20y%202>

[20] <http://www.angelfire.com/la/hmolina/matlab4.html>

[21] Top Optimized Technologies, “Estudio sobre los requisitos técnicos que permitan caracterizar la cobertura con tecnología LTE necesaria para proporcionar determinados servicios de datos.”.
<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/cobertura/Otros%20documentos%20interes/Estudio-requisitos-tecnicos-coberturaLTE.pdf>

[22]http://www.ustatunja.edu.co/ciiam/images/ingeniomagno2/metodologia_ajuste_modelos.pdf

[23] USRP N200 / N210 Networked Series
https://www.ettus.com/content/files/07495_Ettus_N200-210_DS_Flyer_HR_1.pdf

[24] http://www.sirioantenne.it/product-manual/Id-274_04-06-1999.pdf

[25] <http://www.ni.com/es-cr/support.html>

[26] <http://www.arcotel.gob.ec>. Datos de servicios móviles avanzados. Año 2015

[27] I. Arroyo; L. C. Bravo M.; Dr. Ret. Nat. H. Llinás, “Distribuciones Poisson y Gamma”, Prospect. Vol. 12, No. 1, Enero - Junio de 2014, p. 99-107.

[28] <http://www.mathwave.com> . Artículo de distribución Johnson SB. Año 2014

[29] “Top Optimized

Technologies,”<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/cobertura/Otros%20documentos%20interes/Estudio-requisitos-tecnicos-coberturaLTE.pdf>, 2015.

[30] J. Vega, “Estudio y Diseño de una red inalámbrica de banda ancha para ofrecer servicios de voz y datos en las comunidades del milenio”, 2014, p.127.

Proyecto de Titulación de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones.

Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, .Ecuador.

[31] European Telecommunications Standard Institute, ETSI, “Digital cellular telecommunications system; Call Barring (CB) Supplementary Services-Stage 1, GSM 02.88”, Noviembre 1996, version 5.0.0

[32] Top Optimized Technologies, “Estudio sobre los requisitos técnicos que permitan caracterizar la cobertura con tecnología LTE necesaria para proporcionar determinados servicios de datos”, estudio realizado para la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, Pág. 9,<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/cobertura/Otros%20documentos%20interes/Estudio-requisitos-tecnicos-coberturaLTE.pdf>

[33] S.A. BERMEO NASPUD,” COMUNICACIÓN MOVIL: 4G LTE /LTE AVANZADO PARA BANDA ANCHA MOVIL”, trabajo de investigación previa a la obtención del título de ingeniero en sistemas, Universidad Católica de Cuenca, Unidad Académica de Ingeniería de sistemas, eléctrica y electrónica, Pág. 11, <http://docplayer.es/3558281-Universidad-catolica-de-cuenca.html>

[34] R. Millán , “ Qué es VoLTE (Voice over Long Term Evolution) “ , trabajo para el colegio oficial asociacion española ingenieros de telecomunicación, BIT digital, Pág. 65, septiembre 2012, <http://www.ramonmillan.com/documentos/volte.pdf>

[35] R. Millán , “Qué es VoLTE (Voice over Long Term Evolution)” , trabajo para el colegio oficial asociación española ingenieros de telecomunicación, BIT digital, Pág. 66, septiembre 2012 <http://www.ramonmillan.com/documentos/volte.pdf>

[36] H. Holma (Editor), A. Toskala (Editor) ,Figura 4 de “LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access”, ISBN: 978-0-470-74547-2 April 2009

[37] C. Ayala, “LTE o la cuarta generación(4G) de comunicaciones móviles”, Pág. 23 https://www.academia.edu/12458306/Cap%C3%ADtulo_2_-_LTE

[38] R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez-Romero, O. Sallent, Fundacion Vodafone España ,“LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles”, Autor(es):, ISBN: 84-934740-4-5 D.L:M-34503-2010, Pág. 204 © Copyright 2010. Fundación Vodafone España.

Pág. 23 https://www.academia.edu/12458306/Cap%C3%ADtulo_2_-_LTE

[39] “Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov(KS)”, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Complemento 3; http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad_de_Ajuste_de_Kolmogorov_Smirnov.pdf

[40] J. Suárez, Member, IEEE, G. Llano and G. Hernández, “Development of an analytic model that characterizes the fade depth of IEEE 802.15.4a UWB channels”, IEEE Latin America Transactions (Impact Factor: 0.33). 09/2011; 9(5):644-648. DOI: 10.1109/TLA.2011.6030971, 2011

[41]I. Ponzoni, “Distribuciones Probabilísticas”, Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación Universidad Nacional del Sur Año 2005, Clase IV: <http://slideplayer.es/slide/4178773/>

ABREVIATURAS

- MF: Media frequency
- ARCOTEL: Agencias de las regulaciones y control de las telecomunicaciones
- SHF: Super high frequency
- Mhz: Mega Hertz
- UHF: Ultra High Frequency
- USRP: Universal Software Radio Peripheral
- Hz: Hertz
- CNT: Corporación Nacional de Telecomunicaciones
- LTE: "Long Term Evolution"
- GSM: "Global System for Mobile".
- GPRS: "General Packet Radio Service".
- G: Generation
- UMTS: Universal Mobile Telecommunication System
- HSPA: "High Speed Packet Access"
- 3GGP: "Third Generation Partnership Project"
- Mbps: Megabits por Segundo
- FDD: Frequency Division Duplex
- TDD: Time Division Duplex
- IP: Dirección para identificar Computadoras
- QoS: Sistema de control de calidad de servicio
- IVR: Interactive VoiceResponse
- ACD: Automatic Call Distributor
- SIM: Subscribe Identify Module
- EPS: Evolved Packet System
- SAE: System Architecture Evolution
- aGW: Access Gateway
- MME: Mobility Management Entity
- CSFB: Circuit Switched Fallback
- OTT: Over the top
- IMS: IP Multimedia System
- RCSE: Rich Content Suite Enhanced
- MB: Mega byte
- UE: Equipo de usuario
- IETF: Grupo de trabajo de ingeniería de Internet
- SIP: Protocolo de inicio de sesión
- AKA: Autenticación y acuerdo de clave
- HSS: Servidor de suscripción local
- AUTN: Parámetro de autenticación
- USIM: Universal Subscriber Identify Module
- PCRF: "Función de políticas y reglas de carga"
- HLR: Registro de localización local
- AuC: Centro de Autenticación
- RRM: Manejo de recursos de radio
- USIM: Identificador universal de suscriptores
- PDCP: Protocolo de convergencia de Paquetes de datos
- RLC: Control de enlace de Radio
- MAC: "Control de acceso al medio"
- MIMO: Múltiple entrada múltiple salida
- RRC: Control de recursos de radio
- NAS: Almacenamiento adjunto en Red
- RNL: Capa de red de radio
- TNL: Capa de transporte de red

- PDU Unidad de datos de Protocolo
- UDP User Datagram protocol
- AP: Punto de acceso inalámbrico
- SCTP: Protocolo de transmisor del control de corriente
- AAA: Authentication Authorization Accounting
- UL: uplink
- DL: Down Link
- OFDMA: Acceso de multipotadoras de frecuencia Ortogonal Multiplexado
- RS Señales de referencias
- SCH: Señales de sincronización
- P-SCH: Señales primarias de sincronización
- S-SCH: Señales secundarias de sincronización
- PDSCH: Canal físico de Down link
- PBCH: Canal físico de Broadcast
- PDCCH: Physical Control Format Channel
- PHICH: Physical Hybrid ARQ Channel
- PCFICH: Physical Control Format Channel
- ADSL: "Asymmetric Digital Subscriber Line"
- PARR: Pick to Average Power Ratio
- dB: Decibelios
- OSA: Modelo de Acceso Oportunista