

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título
de Ingeniero Electrónico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE SOCIAL

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DESDE
UN VEHÍCULO HACIA LA INFRAESTRUCTURA DE NODOS
LTE PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DEL SERVICIO
MÓVIL AVANZADO EN LA PARROQUIA EL VECINO DE LA
CIUDAD DE CUENCA**

AUTORES:

XAVIER ANDRÉS MACANCELA POVEDA
ISRAEL ALEJANDRO ORDOÑEZ SARMIENTO

TUTOR:

ING. EDGAR EFRAÍN OCHOA FIGUEROA, Mg.T

CUENCA – ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Xavier Andrés Macancela Poveda con documento de identificación N° 0105950471 e Israel Alejandro Ordoñez Sarmiento con documento de identificación N° 0104701859, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DESDE UN VEHÍCULO HACIA LA INFRAESTRUCTURA DE NODOS LTE PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN LA PARROQUIA EL VECINO DE LA CIUDAD DE CUENCA**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Electrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2019

Xavier Andrés Macancela Poveda
C.I. 0105950471

Israel Alejandro Ordoñez Sarmiento
C.I. 0104701859

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DESDE UN VEHÍCULO HACIA LA INFRAESTRUCTURA DE NODOS LTE PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN LA PARROQUIA EL VECINO DE LA CIUDAD DE CUENCA**, realizado por Xavier Andrés Macancela Poveda e Israel Alejandro Ordoñez Sarmiento, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque social* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2019




Ing.-Edgar Ochoa Figueroa Mg.T

CI: 0102134574

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Xavier Andrés Macancela Poveda con documento de identificación N° 0105950471 e Israel Alejandro Ordoñez Sarmiento con documento de identificación N° 0104701859, autores del trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DESDE UN VEHÍCULO HACIA LA INFRAESTRUCTURA DE NODOS LTE PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN LA PARROQUIA EL VECINO DE LA CIUDAD DE CUENCA**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque social* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, noviembre del 2019



Xavier Andrés Macancela Poveda

C.I. 0105950471



Israel Alejandro Ordoñez Sarmiento

C.I. 0104701859

AGRADECIMIENTOS

A Dios por otórgame la vida y la oportunidad de formarme como persona y como profesional por medio de su voluntad.
A mi familia, por el apoyo incondicional que me ha brindado todos estos años en los estudios.

A mi compañero Israel Ordoñez, por mantenerse firme en el transcurso del proyecto técnico.

Al Ingeniero Esteban Andrade, quien fue el pilar fundamental para el desarrollo de este proyecto brindándonos su tiempo, paciencia y conocimientos en el área.

Y a mi tutor, Ing. Edgar Ochoa Figueroa, quien me brindó la oportunidad de realizar este proyecto técnico y guiarme en el proceso con sus conocimientos.

Xavier Andrés Macancela Poveda

A Dios por darme oportunidades de progresar en la vida como profesional y personal, por medio de esperanza y fe.

A mi familia por darme el apoyo que me dio a lo largo de la carrera, dándome consejos y motivándome en los momentos más duros de mi carrera.

A mis hermanos por ser los que me inculcan experiencias demostrándome lo valioso que es de aprovechar cada momento para progresar más espiritual y personalmente.

A la dirección de carrera de Ing. Electrónica porque siempre estaban dispuestos a darnos ideas y pulir nuestras habilidades para los retos de un profesional.

A los ingenieros: Edgar Ochoa y Esteban Andrade por darnos ideas y el tiempo para poder tener un avance productivo en nuestro conocimiento.

Israel Alejandro Ordoñez Sarmiento

DEDICATORIAS

A Dios por estar presente en mi vida y guiarme como buena persona.

A mis padres, Leonardo y Sinaida por enseñarme que la vida se puede cumplir todas las metas que te propongas, siempre que te dediques y te esfuerces a diario.

A mi hermano Jean Carlo Macancela por estar presente en mis años de estudio en la carrera y guiarme en mi formación como Ing. Electrónico.

A mi hermana Michelle Macancela quien es la persona que me enseñó a levantarme y seguir tus sueños.

Xavier Andrés Macancela Poveda

Dedico a Dios por estar presente en mi formación y ser partícipe de todos los eventos en mi vida.

A mi padre Cesar Ordoñez y mi madre Ninfa Sarmiento que me dieron su atención, cariño y tiempo demostrándome que con dedicación y esfuerzo uno logra metas en la vida.

A mi hermano Cesar Ordoñez y mi hermana Katherine Ordoñez que me dieron fuerzas para nunca parar de progresar.

Israel Alejandro Ordoñez Sarmiento

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	IX
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO.....	X
JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES).....	XI
OBJETIVOS.....	XII
OBJETIVO GENERAL.....	XII
OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	XII
Capítulo 1: Fundamentación Teórica o Estado del Arte.....	1
1.1 Fundamentos Del Servicio Móvil Terrestre.....	1
1.1.1 Espectro Radioeléctrico.....	1
1.1.2 Telefonía móvil.....	2
1.2 Teoría De La Información.....	3
1.2.1 Técnicas De Acceso Múltiple.....	3
1.2.2 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).....	3
1.2.3 Acceso Múltiple Por División De Tiempo (TDMA).....	4
1.2.4 Acceso Múltiple Por División De Código (CDMA).....	4
1.3 Generación De Tecnología.....	4
1.3.1 Primera Generación.....	4
1.3.2 Segunda Generación (2G).....	5
1.3.3 Tercera Generación (3G).....	6
1.3.4 Cuarta Generación (LTE).....	6
1.4 Arquitectura LTE.....	12
1.4.1 Parámetros de Calidad Usados en LTE.....	15
1.5 Redes Vehiculares.....	17
1.5.1 Arquitectura De Las Vanets.....	17
1.5.2 LTE en Redes Vehiculares.....	18
Capítulo 2: Marco Metodológico.....	19
2.1 Sistemas De Medición.....	19
2.1.1 Sistema 1.....	19
2.1.1.1 Raspberry PI.....	19
2.1.1.2 Raspberry PI 3B.....	20
2.1.1.3 Sistema Operativo Raspbian.....	21

2.1.1.4	Qt Creator	21
2.1.1.5	SIM7100	22
2.1.1.6	Comunicación Entre Raspberry Y Sim7100	23
2.1.1.7	Comunicación Entre Vehiculo Hacia Nodo Lte	24
2.1.2	Sistema 2	27
2.1.2.1	Sistema Autonomo De Redes Moviles (SAMM)	27
CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		28
3.1	Diseño Del Sistema De Análisis De Calidad Del SMA	28
3.1.1	Comandos AT	29
3.1.2	Interfaz Para El Usuario	29
3.1.3	Información De Celda Y Localización	34
3.1.4	Procesamiento De Datos	36
3.1.4.1	Excel	36
3.1.4.2	Matlab	37
3.1.4.3	Google Earth	38
3.2	Análisis Y Resultados	39
3.2.1	Resultados De Las Medidas	39
3.2.1.1	Operadora 1	40
3.2.1.2	Operadora 2	41
3.2.1.3	Operadora 3	43
3.2.2	Análisis De Resultados	44
3.2.2.1	Operadora 1	45
3.2.2.1.1	Normativa ARCOTEL	45
3.2.2.2	Operadora 2	48
3.2.2.2.1	Normativa ARCOTEL	48
3.2.2.3	Operadora 3	51
3.2.2.3.1	Normativa ARCOTEL	51
3.2.3	RSRQ	54
3.2.3.1	Operadora 1	54
3.2.3.2	Operadora 2	55
3.2.3.3	Operadora 3	55
3.2.4	SINR	56
3.2.4.1	Operadora 1	56
3.2.4.2	Operadora 2	57
3.2.4.3	Operadora 3	58
3.2.5	Análisis De Operadoras	59
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
4.1	CONCLUSIONES	61
4.2	RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		64
APÉNDICES		67
APÉNDICE A: CÓDIGO DE MATLAB PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS		67
APÉNDICE B: ADQUISICIONES DEL SISTEMA DE ANÁLISIS DE CALIDAD		78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Contorno de una celda.	2
Figura 1.2 Reusó de Frecuencia y subdivisión de celdas.....	3
Figura 1.3 Red GSM.	5
Figura 1.4 Modulación OFDM en frecuencia.	7
Figura 1.5 Recurso radio de transmisión tiempo-frecuencia (RB) en LTE	7
Figura 1.6 Estructura de tramas en LTE para FDD	8
Figura 1.7 Señal OFDM en Tiempo y Frecuencia.	9
Figura 1.8 Funcionamiento OFDM y OFDMA.	10
Figura 1.9 Diferencias principales entre el funcionamiento OFDMA y SC-FDMA.	10
Figura 1.10 Diferencias FDD y TDD.....	11
Figura 1.11 Arquitectura Red LTE.	12
Figura 1.12 Funciones principales de la red de acceso E-UTRAN.....	12
Figura 1.13 Arquitectura plana de LTE.	13
Figura 1.14 Arquitectura E-UTRAN (RAN en LTE).	13
Figura 1.15 Arquitectura Core en LTE.	14
Figura 1.16: Latitud y longitud ubicación.....	15
Figura 1.17 Redes Vehiculares	18
Figura 2.1 Raspberry PI 3 B entradas GPIO	20
Figura 2.2 Sistema Operativo Raspbian.....	21
Figura 2.3 Software Qt Creator 4.3.1	22
Figura 2.4 Características Generales SIM7100A.....	23
Figura 2.5 Interfaz UART	24
Figura 2.6 Modulo SIM7100A con Operadora	24
Figura 2.7 Antena LTE	25
Figura 2.8 Antena GPS	26
Figura 2.9 Comunicaciones del Vehículo con Nodos LTE.....	26
Figura 2.10 Arquitectura del SAM.....	27
Figura 3.1 Diagrama del sistema de análisis de calidad del SMA.	29
Figura 3.2 Interfaz principal.....	30
Figura 3.3 Barra de estado de conexión.	30
Figura 3.4 Parroquia el Vecino.	31

Figura 3.5 Polígono de la parroquia El Vecino cargada en el programa.	32
Figura 3.6 Interfaz tabla de datos.	32
Figura 3.7 Grafica RSRQ.	33
Figura 3.8 Grafica RSRP.	33
Figura 3.9 Grafica RSSI.	33
Figura 3.10 Grafica RSSNR.	34
Figura 3.11 Diagrama de flujo para la obtención de los parámetros de calidad SMA.	35
Figura 3.12 Diagrama de flujo para grafica de la ruta con el nivel de señal.	36
Figura 3.13 Importación de datos a Google Earth.	38
Figura 3.14 Cobertura operadora 1 nivel de señal del SAMM	40
Figura 3.15 Cobertura operadora 1 nivel de señal operadora	41
Figura 3.16 Mapa de cobertura SAMM de la operadora 1.	41
Figura 3.17 Cobertura operadora 2 normativa de operadora	42
Figura 3.18 Cobertura operadora 2 normativa del SAMM	42
Figura 3.19 Mapa de cobertura SAMM de la operadora 2.	43
Figura 3.20 Cobertura operadora 3 normativa de la operadora	43
Figura 3.21 Cobertura operadora 3 normativa del SAMM	44
Figura 3.22 Mapa de cobertura SAMM de la operadora 3.	44
Figura 3.23 Datos adquiridos por el SAMM y el sistema de análisis de calidad operadora 1.	45
Figura 3.24 Cantidad de muestras en los niveles de señal operadora 1.	46
Figura 3.25 Distribución de las muestras operadora 1.	46
Figura 3.26 Distribución acumulada operadora 1.	47
Figura 3.27 Mapa de cobertura Operadora 1 normativa SAMM	47
Figura 3.28 Datos adquiridos por el SAMM y el sistema de análisis de calidad operadora 2.	48
Figura 3.29 Cantidad de muestras en los niveles de señal operadora 2.	49
Figura 3.30 Distribución de las muestras operadora 2.	49
Figura 3.31 Distribución acumulada operadora 2.	50
Figura 3.32 Mapa de cobertura Operadora 2 normativa SAMM	50
Figura 3.33 Datos adquiridos por el SAMM y el sistema de análisis de calidad operadora 3.	51
Figura 3.34 Cantidad de muestras en los niveles de señal operadora 3.	52

Figura 3.35 Distribución de las muestras operadora 3.....	52
Figura 3.36 Distribución acumulada operadora 3.....	53
Figura 3.37 Mapa de cobertura Operadora 3 normativa SAMM.....	53
Figura 3.38 RSRQ operadora 1.....	54
Figura 3.39 RSRQ operadora 2.....	55
Figura 3.40 RSRQ operadora 3.....	55
Figura 3.41 SINR operadora 1.....	56
Figura 3.42 CDF de la SINR de la operadora 1.....	57
Figura 3.43 SINR operadora 2.....	57
Figura 3.44 CDF de la SINR de la operadora 2.....	58
Figura 3.45 SINR operadora 2.....	59
Figura 3.46 CDF de la SINR de la operadora 3.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Banda de Frecuencias y Aplicaciones.....	1
Tabla 1.2 Sistemas de primera generación [3].....	5
Tabla 1.3 Canalización con su ancho de banda. [4].....	7
Tabla 1.4 Comparación entre LTE-FDD y LTE-TDD [4].....	11
Tabla 3.1 Comandos AT para configurar el módulo SIM7100.....	29
Tabla 3.2 Coordenadas delimitadoras de la parroquia El Vecino.....	31
Tabla 3.3 Parámetros obtenidos.....	37
Tabla 3.4 Calidad de cobertura SAMM.....	38
Tabla 3.5 Calidad de cobertura operadoras.....	39
Tabla 3.6 Calidad RSRQ.....	54
Tabla 3.7 valores de cobertura SINR.....	56

RESUMEN

El Servicio Móvil Avanzado (SMA) son los servicios móviles terrestres que ofrecen las telecomunicaciones, dando la posibilidad de enviar y recibir información. Las tecnologías que aparecen en cada generación tienen una ventaja frente a la otra, pero siempre restringe la calidad de servicio a los usuarios. Para brindar una buena eficiencia a los usuarios, se establecen parámetros de calidad que debe cumplir cada operadora en sus nodos de cobertura establecido por sistemas internacionales.

El proyecto tiene como objetivo realizar una comunicación vehículo a interfaz (V2I) en la parroquia El Vecino de la Ciudad de Cuenca, para analizar la calidad del Servicio Móvil Avanzado (SMA) en la red LTE por medio de los parámetros de calidad RSRP, RSRQ y SINR, con el fin de estudiar una posible conexión entre vehículos hacia nodos LTE (V2I), ya que estudios demuestran que LTE es un candidato ideal para soportar operaciones de V2I gracias a su amplia área de cobertura y conectividad.

El sistema de análisis de calidad es un conjunto de dispositivos que permiten adquirir los parámetros de los nodos LTE, mostrando una tabla de información y graficando por muestra en el tiempo. Además, la interfaz permite visualizar el mapa de recorrido del sistema y las zonas de análisis, informando en donde se localiza cada punto con los niveles de señal y realizando una comunicación con la estación base.

Los resultados analizados al ejecutar el sistema de análisis de calidad en la parroquia El Vecino de la Ciudad de Cuenca, donde existen distintos mapas de cobertura de cada operadora para mostrar los tramos de desconexión y conexión con la operadora en la tecnología LTE. En las tres operadoras se obtuvo que en la operadora 1 el 40.49% de las muestras son inferiores a -97dBm, en la operadora 2 el 65.32% de las muestras son señales por encima del nivel de señal medio que contrasta como buena y la operadora 3 tiene el 34.88% muestras están por encima de la señal media que no se recomienda utilizar con esta operadora.

El sistema será utilizado principalmente por el área de regulación de la ARCOTEL para el análisis de calidad del Servicio Móvil Avanzado para determinar zonas de coberturas donde existan nodos LTE.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se realiza la implementación de una OBU, esta se diseña mediante 2 dispositivos, una Raspberry PI 3B y un módulo SIM7100, estos se realizará un montaje a un vehículo, el cual será el encargado de realizar el recorrido en la parroquia El Vecino de la Ciudad de Cuenca determinando conexiones hacia nodos LTE.

La función de la OBU será realizar la comunicación del vehículo hacia el Nodo LTE más cercano, en el cual esta recogerá los datos de la potencia de la señal recibida a nivel de la celda (RSRP, RSRQ y RSINR) los cuales se necesitan para el analisis de calidad correspondiente de cobertura de todas las operadoras.

El desarrollo de un sistema de gestion se basa en crear una herramienta que permita graficar, localizar y ubicar la OBU. El sistema grafica todas las potencia de señal que tienen los nodos LTE de las operadoras.

El sistema tiene un GPS que permitira la geolocalizacion del vehiculo en donde se encuentre, con el fin de localizar mediante mapas, los puntos donde existen poca cobertura. Tambien todo este proceso se guardara mediante un archivo .CVS con el fin de realizar un analisis a profundidad con el programa de MATLAB y poder comparar con el equipo SAMM brindado por la ARCOTEL.

Con estos datos obtenidos, se realiza la comparacion con la normativa vigente que tiene ARCOTEL para el analisis, por el momento la normativa que siguen es la misma que se utiliza para redes 3G.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

El Servicio Móvil Avanzado (SMA) este compuesto por servicios de las telecomunicaciones entorno al servicio móvil terrestre, teniendo la posibilidad de enviar, transmitir y recibir de distintos tipos de datos procesables de manera digital. [1]

Estos servicios han experimentado cambios y avances a través de los años debido a la innovación tecnológica de la telefonía móvil, por medio de sus cambios a solventado problemas y eliminando debilidades por sus múltiples servicios que abarca la red, estos cambios se dieron en las generaciones 2G, 3G y 4G denominada LTE.

Para que el SMA pueda ser asequible para los usuarios se asignan frecuencias esenciales en el espectro radio eléctrico, que son brindadas a las operadoras para poder usar estos rangos y brindar el respectivo servicio con la calidad establecida.

Para que la eficiencia de los servicios ofrecidos logra alcanzador una buena garantía, se requiere utilizar un análisis en los parámetros de calidad que regular por medio de normal el funcionamiento de sus estaciones dentro de los valores limites asignados para el servicio que se brinde. Existen entidades que regulan estos valores como Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI).

Este estudio podrá determinar qué tan factible puede ser la implementación de sistemas V2I a nodos LTE si cumplen los parámetros de calidad que se deben analizar en la zona de cobertura, para un avance tecnológico puede que las redes vehiculares LTE sea una solución para las estas, no obstante, se requiere un análisis más profundo para asegurar que sistemas V2I pueda conectarse a redes LTE.

JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

El sistema busca monitorear los parámetros de calidad mínimos en nodos LTE en la Parroquia del Vecino de la Ciudad de Cuenca, en la cual todas las operadoras móviles deben estar funcionando, con el fin de reconocer las áreas de cobertura donde hace falta esta tecnología, potencia de las estaciones bases de las operadoras en dicho sector para comparación de potencia de funcionamiento establecido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones y ubicación del sistema por georreferenciación en el cual se pueda conocer la posición en donde el sistema está realizando el monitoreo.

Este sistema beneficiara a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones Coordinación Zonal 6. El sistema será utilizado principalmente por el área de regulación de la ARCOTEL para el análisis de calidad del Servicio Móvil Avanzado en nodos LTE.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar la calidad del Servicio Móvil Avanzado (SMA) mediante comunicaciones V2I hacia nodos LTE en la parroquia el Vecino de la Ciudad de Cuenca.

OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Realizar el estudio del estado del arte de comunicaciones Vehiculares hacia la Infraestructura (V2I) mediante tecnología LTE.
- Implementación de un sistema de comunicación V2I mediante tecnología LTE.
- Diseño e implementación de una aplicación para la gestión de los parámetros de calidad adquiridos por el sistema.
- Analizar la calidad del servicio móvil con los parámetros: Señal a interferencia más ruido (SINR), Señal de referencia de potencia recibida (RSRP) y Señal de referencia de calidad recibida (RSRQ).
- Ubicación del sistema de comunicación mediante georreferenciación (GPS) para localizar nodos LTE disponibles.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE

1.1 Fundamentos Del Servicio Móvil Terrestre

1.1.1 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Está conformado por un grupo de ondas electromagnéticas establecidas por debajo de 3000GHz, estas ondas pueden ser propagadas sin necesidad de una guía artificial y a través de dispositivos llamados antenas que son encargadas de enviar y recibir este tipo de ondas. [1]

El espectro radio eléctrico se divide en bandas de frecuencias como se indica en la Tabla 1.1, cada una de ellas es utilizado para brindar servicios de telecomunicaciones.

Tabla 1.1 Banda de Frecuencias y Aplicaciones.

BANDA	NOMENCLATURA	RANGO DE FRECUENCIAS	APLICACIONES
Extremely Low Frequency	ELF	<3kHz	Comunicación Submarina
Very Low Frequency	VLF	3kHz-30kHz	Radionavegación
Low Frequency	LF	30kHz-300kHz	Radionavegación Aeronáutica y Marítima
Medium Frequency	MF	300kHz-3MHz	Radiodifusión AM y SW
High Frequency	HF	3MHz - 30MHz	Servicio Móvil Marítimo, Aficionados
Very High Frequency	VHF	30MHz - 300MHz	Televisión, Radiodifusión FM
Ultra-High Frequency	UHF	300MHz-3GHz	Servicio Móvil y Fijo
Super-High Frequency	SHF	3GHz - 30GHz	Servicio Fijo y Fijo por Satélite
Extra High Frequency	EHF	30GHz - 300GHz	Radioastronomía e Investigación Espacial

1.1.2 TELEFONIA MOVIL

La telefonía móvil reutiliza frecuencias y está conformado por sistemas celulares, que son una red de celdas conformadas por antenas encargadas de transmitir la información identificadas como estaciones base (BS). La ubicación de cada estación base tiene un análisis estratégico para cubrir áreas grandes y representadas en maneras de hexágonos para un acople mejor entre cada celda.

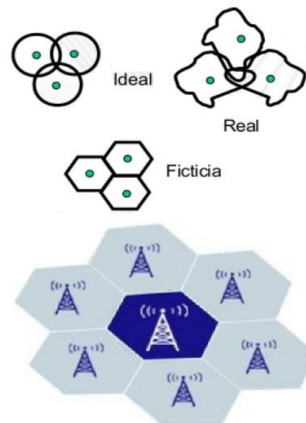


Figura 1.1 Contorno de una celda.

Fuente: Los Autores

Para obtener un enlace entre las estaciones se necesita de una frecuencia por cada estación móvil y en el proceso de diseño se toma en cuenta que la demanda de este servicio hace falta más frecuencias con la solución de enfocarse a reutilización de frecuencias.

En la aplicación de reutilización de frecuencias se tiene en consideración que pueden producir interferencia y se limita su uso, para ello se reducen el tamaño de las celdas. Mientras más estaciones base se ubiquen en un sector de manera separada y en gran cantidad se puede superar la cantidad de usuarios.

Es posible subdividir celdas con mayor tráfico de usuarios, cuando el tráfico que se ofrece sobrepasa a una celda conduce por debajo del umbral establecido, dicha celda se subdivide en una celda con menor rango que emitan menos potencia, donde todas ellas encajen en la celda original.

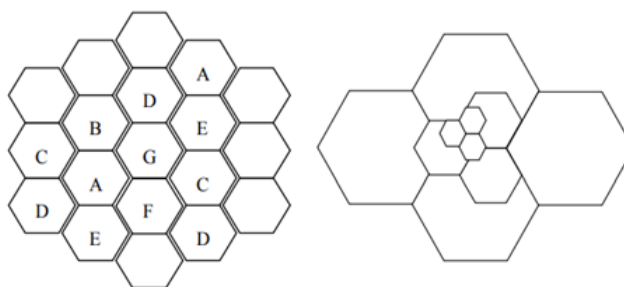


Figura 1.2 Reusó de Frecuencia y subdivisión de celdas.
Fuente: Obtenido en [3]

El inconveniente que tiene más importancia para la planificación del mecanismo celular es en los traspasos de celdas donde se gestiona una serie de parámetros y procesos. El portador de un móvil establece una comunicación tomando una frecuencia de una determinada de la estación base. En la comunicación el móvil se desplaza libremente, de modo que el teléfono se puede salir de la celda y entrar a otra celda diferente. Este proceso hace un traspaso de frecuencia a una celda nueva para tener una reconexión conocida como handover.

1.2 Teoría De La Información

1.2.1 Técnicas De Acceso Múltiple

La técnica de acceso múltiple permite establecer una conexión entre las estaciones base permitiendo transmitir a dispositivos móviles sin interferencia, por medio de separación de frecuencia, tiempo y código.

1.2.2 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Una técnica más común en las telecomunicaciones de radio es la FDMA, que realiza la separación de frecuencias entre los distintos operadores. Lo que se busca es que los transmisores envíen la información en diferentes frecuencias y poniendo a consideración que su modulación no debe hacer que los anchos de banda de la portadora se superpongan. Debe haber tantos usuarios como sea posible utilizando las frecuencias. Este método se aplica en las redes celulares analógicas de primera generación.

1.2.3 Acceso Múltiple Por División De Tiempo (TDMA)

Durante la evolución de la tecnología móvil en la segunda generación (2G), FDMA no se utilizó de una forma efectiva, por lo que se enfocó en el acceso múltiple por división de tiempo.

Por lo tanto, muchos usuarios pueden usar la misma frecuencia ya que cada frecuencia puede dividirse en pequeños intervalos de tiempo llamados intervalos de tiempo, que se generan continuamente.

1.2.4 Acceso Múltiple Por División De Código (CDMA)

Este método aplica la modulación y el acceso múltiple para brindar protección de la información y una eficiencia en el envío de datos.

Los primeros usos de este método eran para militares porque se obtenía un mejor ancho de banda y calidad de servicio donde existía una gran cantidad de congestión espectral e interferencia. El código se enfoca a dar a los receptores para que la información adecuada sea posible de entender solo para las personas asignadas evitando usar separación de frecuencia o tiempo.

1.3 Generación De Tecnología

1.3.1 Primera Generación

En 1980 se utilizaba comunicación analógica que era los inicios de la primera generación de tecnología móvil, en esta época no existían estándares técnicos para estos sistemas [3]. En los países Nórdicos el primer despliegue que se realizó era con teléfonos móviles nórdicos (NMT), mientras Reino Unido e Irlanda optaron por sistemas de acceso total o TAGS.

Las características básicas de estos sistemas celulares analógicos se muestran en la Tabla 1.2 y a pesar de estar basados en la misma filosofía de funcionamiento, estos son incompatibles entre sí y el uso eficiente del espectro de frecuencia no existía [3].

Tabla 1.2 Sistemas de primera generación [3]

Sistema	AMPS	TACS	NMTS	NAMTS
Enlace móvil-base	824 849 MHz	872 905 MHz	890 915 MHz	925 940 MHz
Enlace base-móvil	869 894 MHz	917 950 MHz	935 960 MHz	870 885 MHz
Ancho de Banda/ canal	30 KHz	25 KHz	12,5 KHz	25 KHz
N.º de canales	832	1320	1999	600
Desviación Frecuencia	12 KHz	9,5 KHz	5 KHz	5 KHz
Señalización	FSK	FSK	FSK	FSK

1.3.2 Segunda Generación (2G)

A los inicios de 1980 se creó la ETSI, encargada de estandarizar las comunicaciones ubicada en Europa [3]. Durante su proceso crearon el sistema GSM (Global System for Mobile communications) que se estableció en muchos países de diferentes continentes.

En Japón se realizó diferentes estándares durante la segunda generación y uno de ellos fue JDC (Japan Digital Cellular), con los sistemas IS-54 e IS-95 de los cuales el IS-54 está aplicado a Estados Unidos siendo importante para el acceso FDD,FDMA y TDMA.

El sistema global para comunicación móvil (GSM) se encarga de brindar los servicios básicos de 9,6kbps de voz y datos. La red GSM tiene la configuración como se muestra en la Figura 1.3.

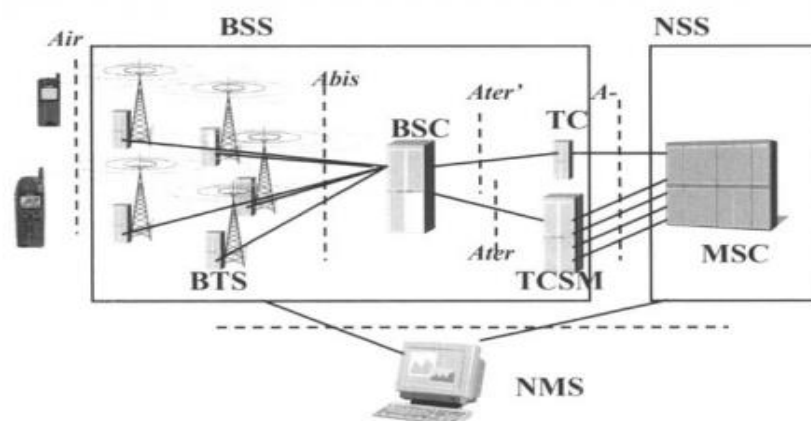


Figura 1.3 Red GSM.
Fuente: Obtenido en [3]

La evolución de GSM permitió agregar nuevas plataformas como el sistema de correo y voz (VMS) y el centro de servicio de mensajes cortos (SMSC). Las dos plataformas fueron las fuentes de un éxito en el servicio móvil por conformar parte del tráfico de SMS junto al VAS.

Al intentar enviar grandes cantidades de datos por diferentes medios como el aéreo se implementaron SGSN que es un servicio de GPRS y GGSN que es la puerta de enlace del GPRS al sistema existente. Estos sistemas contienen enrutadores IP para tener una ubicación o dirección destino, servidores de firewall para su seguridad en la recepción de datos y DNS para manejar nombres de dominio incrementando la velocidad de envío en 150 kbps.

En la búsqueda de mejorar el envío se diseñó EDGE que ocupa métodos de codificación más complejos de programación a través de internet, obteniendo como resultado un incremento en 384 kbps.

1.3.3 Tercera Generación (3G)

En el progreso de la tecnología se pasó a la tercera generación con un sistema móvil terrestre universal (UMTS), siendo manejada por la ETSI. Con esta plataforma se logran servicios que mueven el avance de la sociedad por medio de internet que se permitió la realización de videollamadas, imágenes y distintos tipos de envíos de datos.

UMTS utiliza tecnología WCDMA para la interfaz aérea, donde se establecen las estaciones base con un centro de conmutación móvil CDMA de banda ancha y los sistemas de GSM que son SGSN y GGSN.

1.3.4 Cuarta Generación (LTE)

Como un avance más actual se llegó a la tecnología de cuarta generación denominada Long-Term Evolution (LTE) [4]. El sistema emplea conmutación de paquetes IP en lo que se enfocan es al envío de grandes paquetes de datos.

LTE ocupa un proceso de división de subportadoras moduladas en partes pequeñas del ancho de banda y además siendo ortogonales entre sí, a esto se le llama acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA), aumentando las velocidades de envío de datos a su capacidad máxima con un gran ancho de banda.

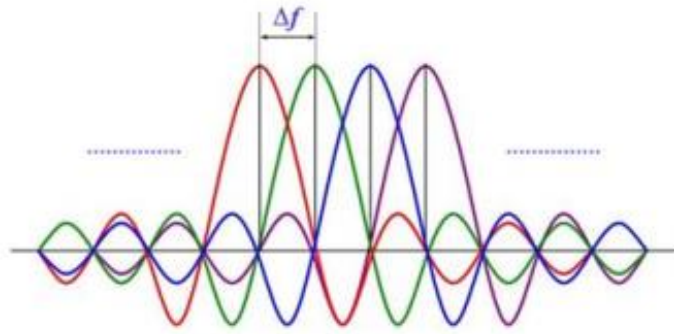


Figura 1.4 Modulación OFDM en frecuencia.

Fuente: Obtenido en [5]

Tramas radio

Las tramas de radio están conformadas por bloques de recursos (RB) que se pueden obtener por medio de los enlaces ascendente o descendente por el eNodo B a un terminal móvil.

Tabla 1.3 Canalización con su ancho de banda. [4]

Canalización	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Cantidad RB	6	15	25	50	75	100

El estándar LTE determina que un RB tiene 12 subportadoras con una separación de 15 KHz entre cada RB y una longitud de símbolo de 1/15 KHz. Una configuración de las tramas FDD es que tiene 20 slots de 0.5ms con una duración de 10ms con un bloque de información de 6.144 bits y para detección de errores ocupan CRC-24 representado en la Figura 1.5.

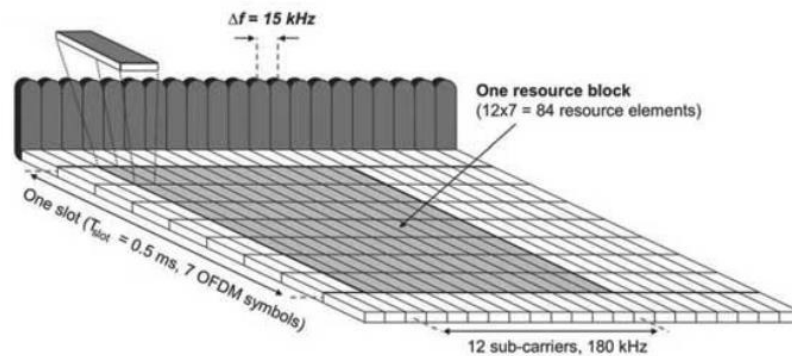


Figura 1.5 Recurso radio de transmisión tiempo-frecuencia (RB) en LTE

Fuente: Obtenido en [9, 10]

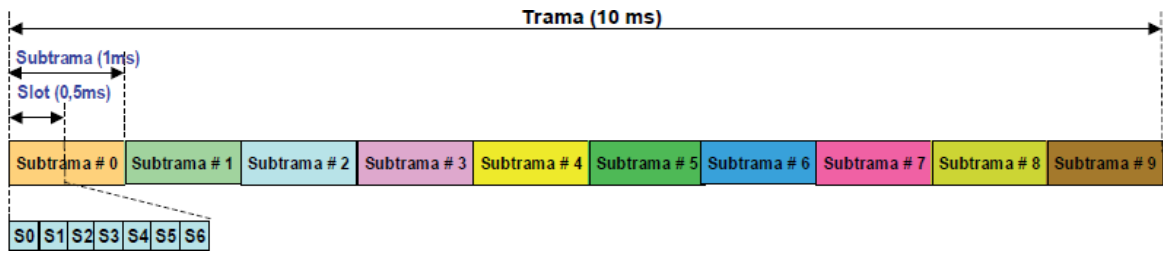


Figura 1.6 Estructura de tramas en LTE para FDD
Fuente: Obtenido en [9, 10]

En un análisis ideal se puede llegar a tasas de velocidad de enlace descendente de 100 a 326.4 Mbps y en ascendente de 50 a 86.4 Mbps.

HARQ (Hybrid Automatic Repeat ReQuest)

HARQ es una técnica que permite identificar los errores producidos en la transmisión dando una orden para retransmitirlos desde el eNodo B dando una confiabilidad del sistema.

AMC (Adaptive Modulation and Coding)

El sistema AMC está basado en la modulación y decodificación del enlace descendente tomando en cuenta los estados del canal de los usuarios, se usa en canales con desvanecimiento mejorando su rendimiento.

Las tecnologías que se emplean en LTE para enlace de subida y enlace de bajada son, SC-FDMA y OFDMA respectivamente.

OFDMA

Este sistema ocupa grandes cantidades de subportadoras ortogonales que se transmiten en paralelo, cada una de ellas son independientemente moduladas con sus datos. Para evitar interferencia en el receptor (ISI) se aplican bandas de guarda entre cada una de ellas aceptando un poco de retraso al rato de ser recibido por el receptor.

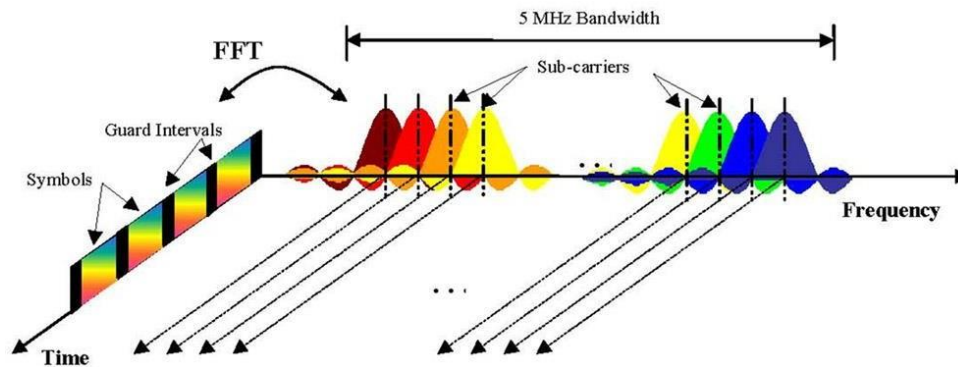


Figura 1.7 Señal OFDM en Tiempo y Frecuencia.

Fuente: Obtenido en [8]

Con OFDM se puede dejar de lado a CDMA por su fácil implementación de los equalizadores del canal y su representación en el dominio de la frecuencia, la dispersión de retardo por multitrayecto no tiene mucho efecto por el prefijo cíclico (CP). El CP elige el símbolo final insertándolo al principio y aplicando un método de muestreo se elimina la interferencia trabajándolo en el dominio del tiempo.

El prefijo cíclico CP es la copia de un símbolo final que se inserta al principio. Mediante el muestreo de la señal recibida, el receptor puede eliminar la interferencia en el dominio del tiempo.

OFDM tiene inconvenientes por errores en la frecuencia y ruido de fase por el estrechamiento entre las subportadoras y tiene interferencias entre subportadoras por ser afectada por la frecuencia de efecto Doppler.

OFDM produce desvanecimiento e interferencia de banda estrecha en su modulación por las terminales UE, con este problema se aplica TDMA que está dentro de OFDMA.

Durante el proceso de OFDMA se mezclan las subportadoras de cada usuario para la transmisión de alta velocidad, mientras en OFDM solo se transmiten todos los usuarios en el mismo tiempo representado en la Figura 1.8.

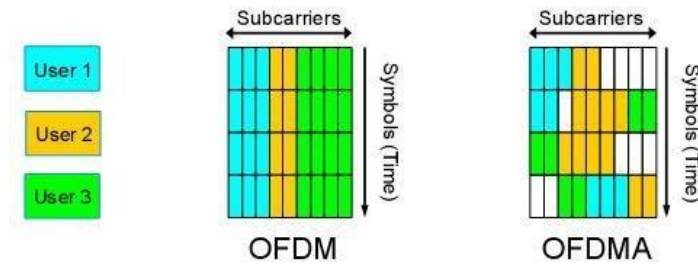


Figura 1.8 Funcionamiento OFDM y OFDMA.

Fuente: Obtenido de [8]

SC-FDMA

En el enlace de subida para soportar interferencias y una aceptable distribución de frecuencias que son producidas en OFDMA es la tecnología SC-FDMA que esta conformada por un modelo híbrido.

El proceso que realiza este modelo es pasar los símbolos a dominio frecuencia por medio de la transformada discreta de fourier (DFT) y fijando en el ancho de banda completo, despues se regresa al dominio del tiempo por la transformada inversa de fourier (IFFT) para insertar el prefijo ciclico [6].

Entre OFDMA y SC-FDMA la diferencia es en el envio de sus símbolos ya que OFDMA ocupa QPSK en paralelo mientras SC-FDMA los manda en serie representado en la Figura 1.9.

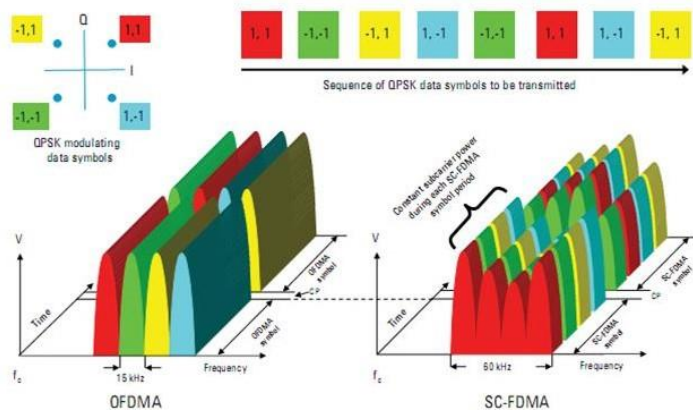


Figura 1.9 Diferencias principales entre el funcionamiento OFDMA y SC-FDMA.

Fuente: Obtenido de [8]

Modos de Funcionamiento: TDD y FDD

La duplexación por división en el tiempo (TDD) realiza conversiones de canal simplex a duplex utilizando la separación temporal en las señales enviadas y recibidas por intervalos.

En cambio la duplexación por división en frecuencia (FDD) envía y recibe al mismo tiempo cambiando la frecuencia de envío y recepción observado en la Figura 1.10.

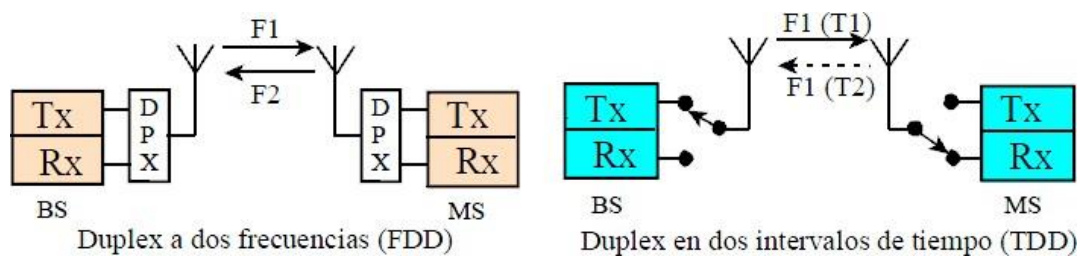


Figura 1.10 Diferencias FDD y TDD

Fuente: Obtenido de [12]

Para definir los usos de FDD y TDD tenemos que tomar en cuenta sus necesidades como FDD es bueno en llamadas de voz por su tráfico constante, mientras que TDD se puede utilizar para tráfico en un sentido y no se necesita una respuesta al mismo como una solicitud [5].

Tabla 1.4 Comparación entre LTE-FDD y LTE-TDD [4]

Parámetro	LTE-FDD	LTE-TDD
Reciprocidad de canal	Las características del canal son diferentes en ambos sentidos	Es la misma en ambos sentidos (Full Duplex).
Coste del sistema	Es requiere duplexor para aislar Transmisores de Receptores.	No requerir duplexor
Espectro usado	Requiere mayor ancho de Espectro.	La Transmisores y Receptores se llevan en la misma banda
Banda de guarda	Banda de guarda necesaria para separar enlace de subida y enlace de bajada.	Banda de guarda necesaria.
Transmisión discontinua	Transmisión constante	Transmisión separada para enlace de subida y enlace de bajada, baja el rendimiento
Asimetría Enlace de subida/bajada	La capacidad de enlace de subida y enlace de bajada se da por la asignación de frecuencias	La relación de enlace de subida y enlace de bajada se cambia dinámicamente en función de la demanda de usuarios

1.4 Arquitectura LTE

La red LTE se basan en una estructura jerarquica por lo que se considera algo menos complicado en su implementacion [4, 6]. En la figura 1.11 se observar la arquitectura completa LTE, que se puede distinguir su red de acceso (E-UTRAN) y el core (EPC, Evolved Packet Core).

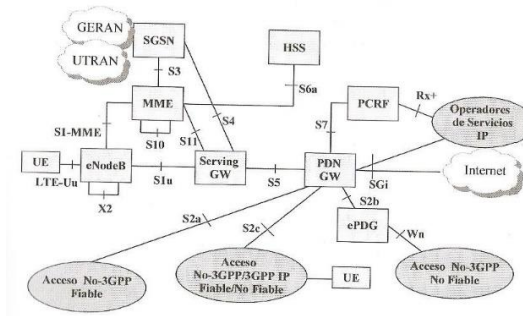


Figura 1.11 Arquitectura Red LTE.

Fuente: Obtenido de [4]

Red de Acceso (E-UTRAN)

La red de acceso tiene la características de soportar variedades de redes de acceso y dar un mantenimiento de calidad al servicio del sistema, utilizando la conmutacion de paquetes y a su infraestructura que soporta velocidades altas de datos disminuyendo la latencia de envio y recepcion, contando con un soporte mejorado en tecnologías de acceso radio [8].

La red de acceso en LTE está conformada por un eNodo B principal que se enlaza con otros eNodo B y el core o núcleo LTE como se da a conocer en la Figura 1.12.

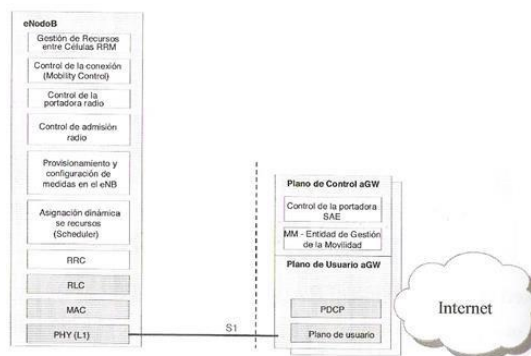


Figura 1.12 Funciones principales de la red de acceso E-UTRAN.

Fuente: Obtenido de [4, 11]

E-UTRAN esta formada de varios eNBs dando un plano de usuario E-UTRA y el plano de control (RRC).



Figura 1.13 Arquitectura plana de LTE.
Fuente: Obtenido de [4, 11]

Para facilitar el handover de las llamadas se realiza una comunicación en la red intercambiando información y señalización de los elementos, por medio de la interfaz X2 que comunica los eNBs.

El E-UTRAN se alimenta al EPC (el core de LTE) con la interfaz S1, es el encargado de conectar los eNBs a dos elementos: MME y SGW. En la Figura 1.14 se representa la arquitectura E-UTRAN junto con el EPC.

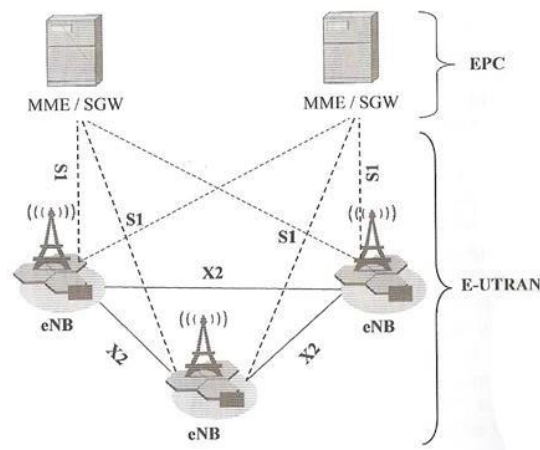


Figura 1.14 Arquitectura E-UTRAN (RAN en LTE).
Fuente: Obtenido de [4, 11]

Red de Acceso (eNode B)

Es la evolución de UTRAN de 3G y tiene las siguientes características esenciales:

- Enrutamiento de los datos hacia gateway.
- Asignación del MME elegida a un usuario.

- Medida y configuración de informe.
- Configuración y transmisión de mensajes.
- Asignación dinámica de los recursos radio en enlace de subida y bajada.
- Interfaces: interfaz entre el eNodo B.
- Comunicación entre eNBs se llama interfaz X2.

Red Núcleo (EPC)

La arquitectura del núcleo LTE se representa en la Figura 1.15 que tiene comunicación con la tecnología 2G y 3G ya que esta basada en el protocolo IP.

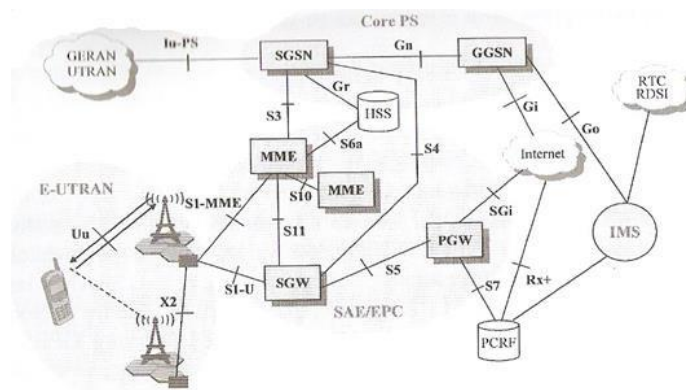


Figura 1.15 Arquitectura Core en LTE.
Fuente: Obtenido de [4, 11]

Georreferenciación

“La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG.” [2]

Sus coordenadas están descritas por latitud y longitud que se utilizan en el sistema geográfico, las mediciones de longitud se basan en el meridiano de Greenwich, que es una línea imaginaria que atraviesa desde el Polo Norte hasta el Polo Sur pasando por Greenwich, Inglaterra.

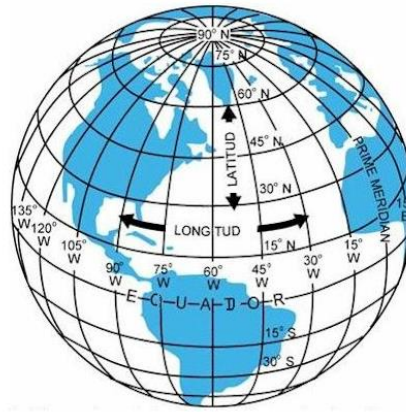


Figura 1.16: Latitud y longitud ubicación
Fuente: Obtenido de [2]

Por medio de estos parámetros se puede integrar un sistema GPS o Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema de navegación que usa satélites que están sincronizados para que sus señales transmitidas se efectúan en el mismo instante, también se agrega el valor de altitud con respecto al nivel del mar.

1.4.1 Parámetros de Calidad Usados en LTE

Señal RSRP (*Reference Signal Received Power*)

Las redes móviles tienen procesos de conexión, desconexión y asignación de celdas por medio de los parámetros que indican el nivel de señal y calidad de la celda.

El parámetro RSRP es un promedio de la energía de las señales de referencia de la celda obteniendo dentro de la frecuencia asignada, las cuales se obtienen al sincronizar la celda teniendo como resultado los canales P-SCH y S-SCH. [10,11]

Otra forma de representar este parámetro es basándonos en los recursos elementales (RE) los cuales cumplen la función de enviar la señal de referencia y con estos se realiza el promedio para obtener el RSRP. [14,22]

La importancia de este parámetro es que analiza la señal recibida separando el ruido y la interferencia externas a su sector de medición, también tiene valores que dan una media de -75dBm como buena a un valor de -140dBm como mala y su mínimo nivel de señal en los receptores. [14,22]

Señal RSRQ (*Reference Signal Received Quality*)

En el parámetro RSRQ tiene información sobre una estimación de calidad dentro de una celda ya que relaciona al nivel de señal con respecto al ruido más interferencia, dando así un rango de análisis para su asignación de celda y la reconexión (handover) que está definida por la siguiente formula:

$$RSRQ = \frac{N_{RBs} * RSRP}{RSSI}$$

En la cual intervienen los bloques de recursos ya que su cantidad está relacionada con el ancho de banda del sistema.

Este parámetro es un auxiliar del parámetro RSRP ya que por falta de identificar si el valor RSRP es confiable, utiliza el RSRQ para poder hacer un traspaso o asignación de celda. [8]

Señal RSSI (*Receive Strength Signal Indicator*)

El parámetro RSSI está relacionada con los símbolos OFDM los que internamente están compuestos por bloques de recurso (RB) que tienen variación según el ancho de banda que se utilice para la canalización y tomando en cuenta el ruido térmico interno e interferencia. [14]

La interferencia se basa en las señales conjuntas a nuestra celda de conexión puede ser directa de la misma operadora y poniendo a consideración el tráfico del servicio y cada una de las subportadoras que se miden dentro de su alcance.

Este parámetro se obtiene por medio del RSRP y el RSRQ por su relación con el nivel de potencia en la señal y la calidad que tiene la señal recibida para el respectivo cambio de celda, esto también se usa por que la base informa estos parámetros constantemente.

Señal SINR (*Signal to interference plus noise ratio*)

La SINR es otra medida para el análisis de calidad de la señal, ya que indica la potencia de las señales alrededor de receptor y tiene relación con las señales de referencia con su enlace descendente.

Al tener el análisis completo involucra a la interferencia de las señales medidas de otras celdas dentro de la zona de medición y también tiene una detección de ruido de fondo relacionados con el ancho de banda y coeficientes de ruido en el receptor.

En la actualidad la SINR no está definida con rangos dentro de 3GPP ya que está enfocado a las UE que permiten calcular la calidad del canal (CQI). Su uso puede enfocarse en encontrar la velocidad de enlace con el usuario haciendo una relación con el throughput.

1.5 Redes Vehiculares

Las redes vehiculares se forman cuando dos o mas dispositivos se conectan entre ellos por medio de enlaces inalámbricos, estas redes se dividen en 2 tipos, la primera son redes basadas en infraestructura, dispositivos que dependen de una conexión inalámbrica como un punto de acceso como por ejemplo Wi-Fi, 2G, 3G ,LTE, etc. La segunda son redes no basadas a la infraestructura cuyos dispositivos se conectan entre si como por ejemplo redes ad hoc.

1.5.1 Arquitectura De Las Vanets

La comunicación en las VANETs se obtiene a traves de un medio inalámbrico llamado WAVE (*Wireless Access Vehicular Environment*). Existen tres tipos de comunicación para esto: vehiculo a vehiculo (V2V), vehiculo a infraestructura (V2I) e hibrida (ambos). Los componentes principales de las VANET son:

- Las unidades de carretera (RSU)
- Las unidades a bordo (OBU)
- Las unidades de aplicación (AU).

La OBU se conoce tambien como un dispositivo de usuario ya que se instala sobre los vehiculos para acceder a los servicios que proporciona la RSU [19].

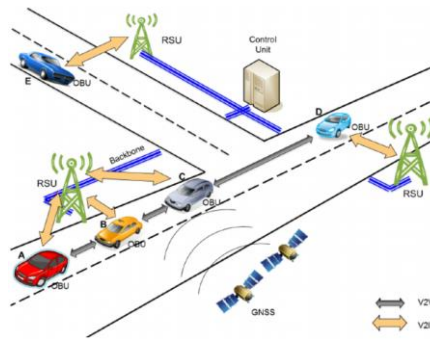


Figura 1.17 Redes Vehiculares
Fuente: Obtenido de [19, 24, 25]

1.5.2 LTE en Redes Vehiculares.

Desde su inicio, la tecnología LTE a sido el candidato ideal para soportar operaciones V2I. Primero, LTE se basa en un despliegue de eNBs que ofrece cobertura de área amplia y conectividad de larga duración [23]. En segundo lugar, la asignación de recursos es gestionada centralmente por un eNBs en cada oportunidad de transmisión, satisfaciendo así las restricciones de calidad del servicio mientras se gestionan las prioridades en caso de que las aplicaciones V2I compitan por los recursos. En tercer lugar, LTE opera a través de transmisiones omnidireccionales y, por lo tanto, admite las distribuciones de datos de difusión y en cuarto lugar, la interfaz LTE puede garantizar latencias de transferencias en el acceso de radio teóricamente inferiores a 100 ms, lo que es particularmente beneficioso para aplicaciones de vehículos sensibles al retraso.

Sin embargo, LTE se diseñó originalmente para el tráfico de banda ancha móvil y su capacidad para soportar comunicaciones V2I sigue siendo un problema abierto. La principal preocupación proviene de la arquitectura de LTE, que está configurada para mantener los terminales no activos en modo inactivo: las transiciones al modo conectado pueden requerir varios segundos, que es intolerable para los servicios vehiculares [23, 25]. La latencia de acceso y transmisión también aumenta con el número de usuarios en la celda, lo que plantea problemas. Además, a pesar de la cobertura casi ubicua de LTE, aun así, la conexión puede no estar siempre disponible (por ejemplo, en áreas subterráneas). Finalmente, LTE ofrece una capacidad limitada de enlace descendente, que podría no ser suficiente para satisfacer los requisitos de algunas aplicaciones V2I.

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo, se describe componentes, herramientas y software usados para la implementación del proyecto técnico.

2.1 Sistemas De Medición

2.1.1 Sistema 1

2.1.1.1 Raspberry PI

Para el sistema integrado ocupamos el dispositivo Raspberry PI que es una minicomputadora con una estructura de 85 x 54 mm, que tiene la capacidad de procesar grandes cantidades de datos creando respaldos y funciones para diseños de programas.

La arquitectura de la Raspberry PI se basa en el sistema de Broadcom System on a chip (SoC) que contiene un procesador de gráficos. Puede ejecutar GNU/Linux, Linux es de código abierto y este tiene como objetivo de promover la enseñanza de la informática básica en escuelas y colegios.

Características de la Raspberry Pi

- SoC Brandom BCM2835
- Procesador grafico de Video Core IV
- Puertos USB 2.0
- Salida analógica de audio estéreo por Jack de 3.5mm
- Salida analógica de video RCA
- 1 puerto HDMI
- Pines de entrada y salida

- Alimentación micro USB
- Lector de tarjetas SD

Para su funcionamiento, se necesita una memoria SD de 4, 8 o 16 Gigabytes, esta memoria debe tener cargado un sistema operativo, el sistema operativo de preferencia es Raspbian, el cual está basado en Debian y este es un software libre.

2.1.1.2 Raspberry PI 3B

La Raspberry PI 3B es un miniordenador con un procesador BCM2837 siendo la primera Raspberry que soporte sistemas operativos de 64 bits, como características principales tiene:

- Procesador: 1,2 GHz de cuatro núcleos ARM Cortex-A53
- GPU: Dual Core Video Core IV
- RAM: 1GB LPDDR2
- Bluetooth 4.1
- 4 puertos USB 2.0
- 1 HDMI
- 1 puerto RJ45 (Ethernet)
- 40 pines GPIO
- Lector de Tarjeta SD
- Alimentación micro USB

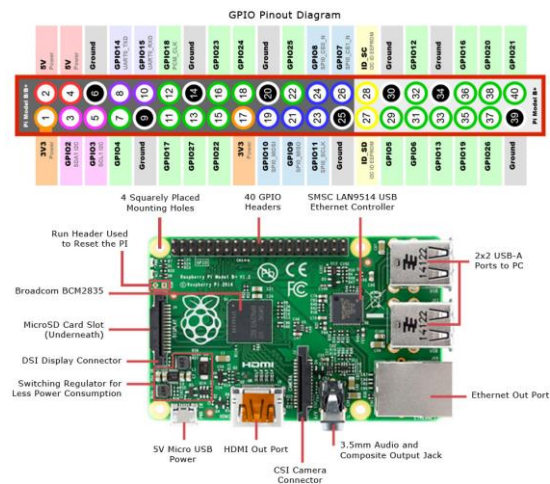


Figura 2.18 Raspberry PI 3 B entradas GPIO

Fuente:

https://www.jameco.com/Jameco/workshop/circuitnotes/raspberry_pi_circuit_note_fig2a.jpg

2.1.1.3 Sistema Operativo Raspbian

Para el uso del sistema operativo ocupamos Raspbian por su uso libre y gratuito diseñado de manera óptima para la Raspberry PI, por su compatibilidad con GNU/Linux se puede diseñar programas que pueden ser compilados dentro de su sistema.

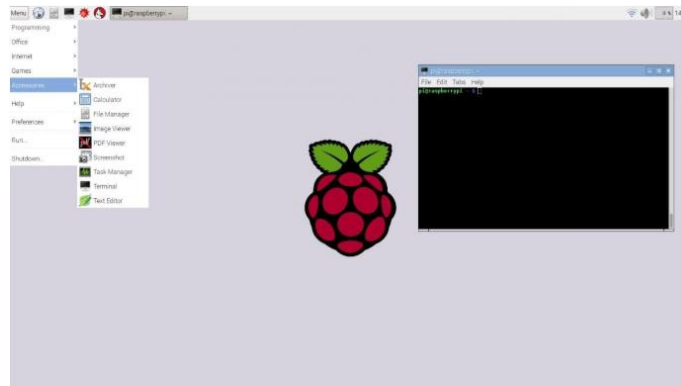


Figura 2.19 Sistema Operativo Raspbian

Fuente: Los Autores

2.1.1.4 Qt Creator

Qt Creator es una herramienta excelente IDE multiplataforma para desarrollar aplicaciones en C++, JavaScript y QML de manera rápida y sencilla. Los sistemas operativos que soporta de forma oficial Qt Creator son:

- GNU/Linux para versiones de 32 y 64 bits
- Mac OS X
- Windows XP y superiores

Qt Creator tiene características de aprendizaje rápido con un desarrollo comprensible para el usuario, permitiendo la productividad de nuevos programas con las siguientes características:

- Editor de código con soporte para C+, QML y ECMAScript
- Soporta lenguajes Python: PyQt y PySide, Ada, Pascal, Perl, PHP y Ruby
- Herramientas para la rápida navegación del código
- Interfaces Graficas de Usuario (GUI) y diseñador de formularios.
- Resultado de sintaxis y autocompletado de código
- Herramientas para la administración y construcción de proyectos
- Depurado Visual

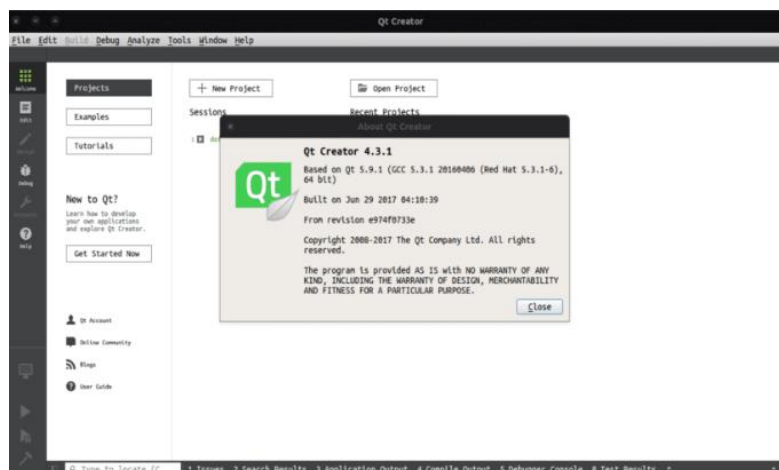


Figura 2.20 Software Qt Creator 4.3.1

Fuente: Los Autores

2.1.1.5 SIM7100

SIM7100A es un módulo LTE/WCDMA/GNSS multibanda completo diseñado con procesadores muy potentes. Se pueden manejar aplicaciones enfocadas al envío de paquetes y direcciones IP para la integración de aplicaciones.

Características Generales:

- Quad-Band LTE-FDD B2 / B4 / B5 / B17
- Dual-Band UMTS / HSDPA / HSPA + B2 / B5
- Control a través de comandos AT o API Gobi
- Rango de Voltaje de suministro: 3.4V a 4.2 V
- Temperatura de funcionamiento: -40 grados centígrados a + 85 grados centígrados
- Dimensiones: 30 x 30 x 2.9 mm
- LTE-FDD / Rel-9 Cat3
- HSPA + DC-HSPA +, Rel-10 HSPA +
- GNSS gpsOne Gen 8B; independiente; asistido, XTRA
- Tarjeta SIM: tamaño estándar, 25 * 15 mm (largo x ancho)

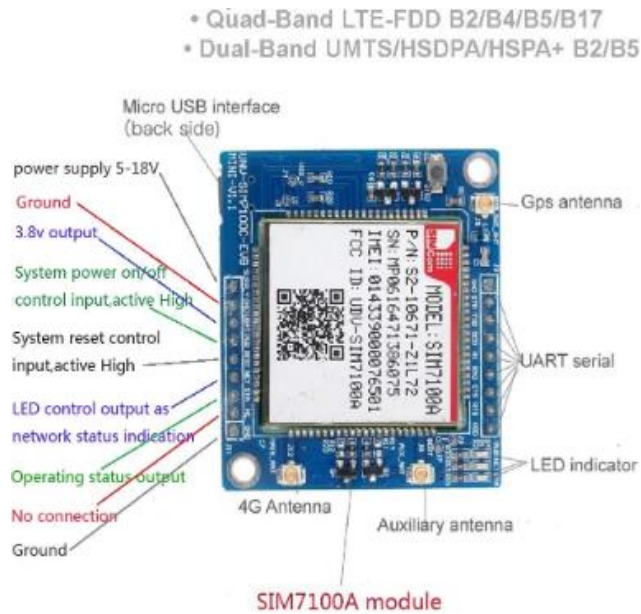


Figura 2.21 Características Generales SIM7100A

Fuente: http://mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim7100-pcie_hardware_design_v1.05.pdf

Características de Comunicación:

- Control mediante comandos AT
- Soporte de suministro de energía: 5-18V
- Soporte de interfaz en serie: 3.3V y 5V
- Interfaz de antena GPS
- Puerto Serie UART
- Indicador Led
- Interfaz de antena auxiliar
- Interfaz de antena 4G
- Interfaz micro USB

2.1.1.6 Comunicación Entre Raspberry Y Sim7100

El módulo SIM7100A diseñado como un DCE (Equipo de Comunicación de Datos). Proporciona un módem simple o RS232 que se utiliza para la transmisión de datos y el envío de comandos AT.

La velocidad de transmisión predeterminada es de 115200 bps, el tamaño de los datos es de 8 bits, los bits de parada son de 1 bit y la paridad es ninguno. La conexión predeterminada es Módem simple, el PIN de las señales de control debe

configurarse como función de señal de control UART correspondiente si el usuario necesita soporte Módem simple. Al igual manera se le configura a la Raspberry el puerto UART.

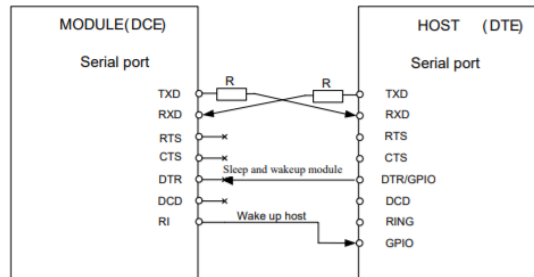


Figura 2.22 Interfaz UART

Fuente: http://mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim7100-pcie_hardware_design_v1.05.pdf

2.1.1.7 Comunicación Entre Vehículo Hacia Nodo Lte

Para la comunicación de los equipos, se requiere que el módulo SIM7100A tenga una tarjeta SIM de cualquier operadora.



Figura 2.23 Módulo SIM7100A con Operadora

Fuente: Los Autores

También se necesita que el módulo esté conectado con una antena LTE, la cual esta se comunicara con los nodos, las características principales de esta antena LTE son:

- Sensibilidad: -106.2 dBm
- Quad-Band LTE-FDD B2 / B4 / B5 / B17



Figura 2.24 Antena LTE

Fuente: Los Autores

El módulo contiene una antena GPS, esta servirá para la geolocalización del sistema y estas son las características principales:

- Sensibilidad de seguimiento: -159 dBm (GPS) / -158 dBm (GLONASS)
- Sensibilidad de arranque en frío: -148 dBm
- Precisión (cielo abierto): 2.5m (CEP50)
- TTFF (cielo abierto): arranque en caliente <1s, arranque en frío <35s
- Tipo de receptor: 16 canales, código C/A
- Frecuencia GPS L1: 1575.42 ± 1.023 MHz
- GLONASS: 1597.5 ~ 1605.8 MHz
- Velocidad de actualización: Predeterminado 1 Hz
- Formato de datos GNSS: NMEA-0183
- Consumo de corriente GNSS: 100 mA



Figura 2.25 Antena GPS
Fuente: Los Autores

Estos equipos se montarán en un vehículo brindado por la ARCOTEL, el cual este establecerá una ruta para cubrir la zona a analizar, esta zona es la parroquia El Vecino.

Este sistema es el encargado de establecer la comunicación entre el Vehículo hacia el Nodo LTE (V2I), en el que este recibe todos los datos que nos emite los Nodos LTE y realiza los cálculos para obtener los parámetros de calidad deseados. También este sistema se encargará de realizar la geolocalización, que nos den datos de posición como Latitud y Longitud en donde se encuentra el vehículo y poder ubicarlo mediante mapas.

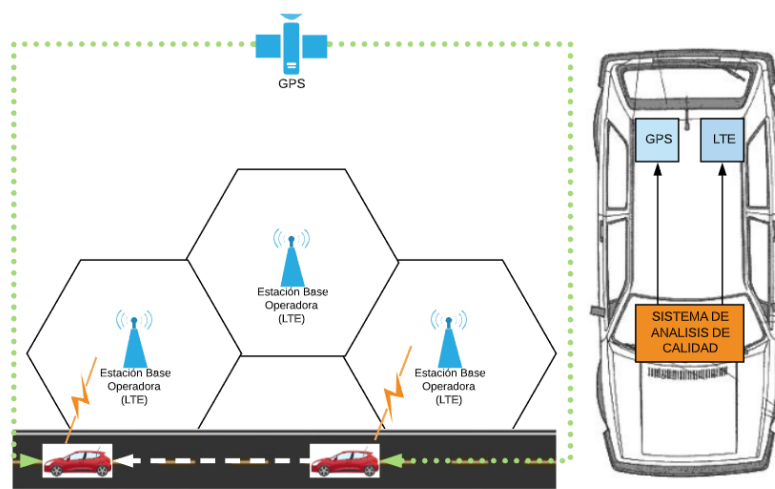


Figura 2.26 Comunicaciones del Vehículo con Nodos LTE
Fuente: Los Autores

2.1.2 Sistema 2

2.1.2.1 Sistema Autonomo De Redes Moviles (SAMM)

El SAMM es un sistema que permite la obtención de los parámetros de calidad del servicio móvil avanzado (SMA), siendo utilizado por la ARCOTEL para el monitoreo de calidad.

El uso del sistema se enfoca en verificar que las operadoras brinden un servicio adecuado a los usuarios según la tecnología de cada red, pudiendo así obtener los usuarios una respectiva información del rendimiento de las redes SMA de las operadoras.

El SAMM tiene características eficientes para un análisis rápido por medio de bases de datos configuradas en una programación por bloques y así pudiendo dar un informe final de los niveles de señal de cada operadora en un informe respectivo para la ARCOTEL.

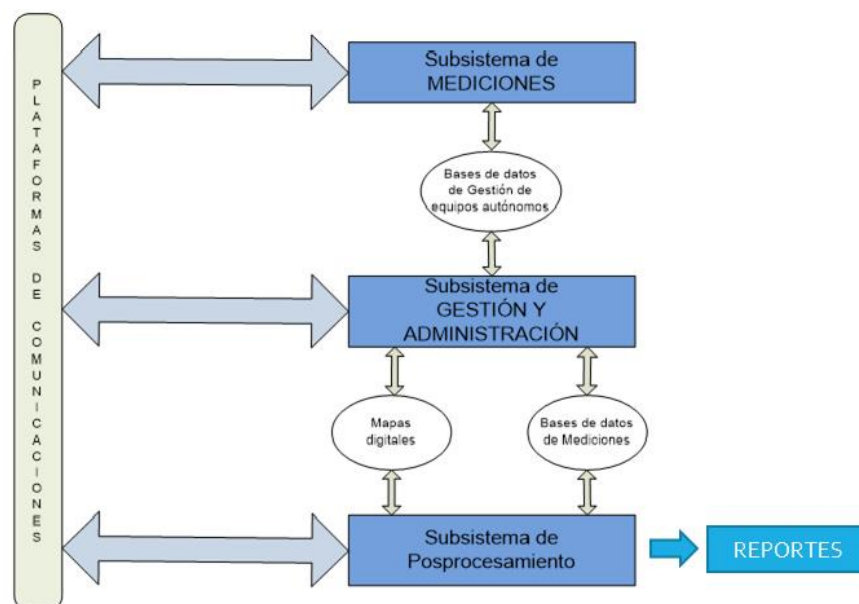


Figura 2.27 Arquitectura del SAM.

Fuente: A. D. R. Y. C. D. L. T. (ARCOTEL), «SISTEMA AUTÓNOMO DE CONTROL DE REDES MÓVILES»

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Diseño Del Sistema De Análisis De Calidad Del SMA

El presente diseño tiene como objetivo implementar un sistema de análisis de calidad del Servicio Móvil Avanzado, junto a un sistema global de posicionamiento mediante satélites con los componentes que se describen a lo largo del capítulo.

El sistema de análisis de calidad en su primera acción se enlaza a la antena base LTE más cercana y recibiendo datos de georreferenciación para la ubicación del dispositivo. Posteriormente los datos son solicitados cada segundo donde se pasa en un proceso de tabulación, visualización y guardado de datos, esto se implementó para impedir el solapamiento de datos y el guardado de los mismos que se representa en la Figura 3.1.

La implementación completa del proyecto de manera general presenta las siguientes características:

- Obtención de parámetros de calidad del SMA.
- Tabla de información sobre calidad SMA, hora y localización del dispositivo.
- Visualizar la trayectoria recorrida por el vehículo en un mapa por medio del GPS.
- Visualizadores gráficos de los parámetros de calidad del SMA en tiempo real.
- Sistema de guardado automático y manual registro de datos.

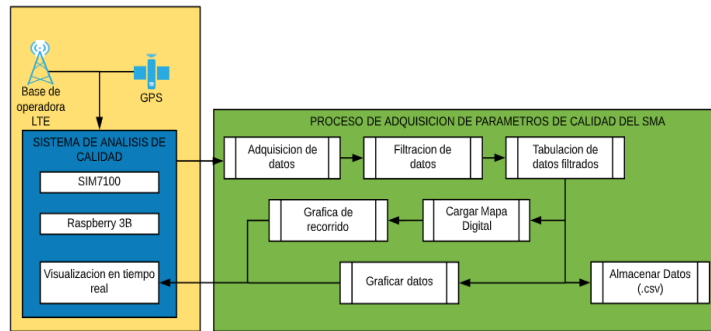


Figura 3.1 Diagrama del sistema de análisis de calidad del SMA.
Fuente: Los Autores

El sistema de calidad fue diseñado en Qt Creator debido a su uso en módulos Raspberry que nos permite una programación más fluida, con usos en monitoreo GPS por medio de QML para aplicaciones enfocadas a la interfaz gráfica para los usuarios.

3.1.1 Comandos AT

Los comandos ocupados para la configuración del SIM7100 se presentan en la tabla 3.1, que indica como realiza la petición identificación de la celda y ubicación por GPS.

Tabla 3.1 Comandos AT para configurar el módulo SIM7100

COMANDOS AT	DESCRIPCION
AT	“OK”
AT+IPR	Baud Rate
AT+ICF	data bit, stop bit y parity bit
AT+CRESET	Reset the module
AT+CCLK	Time real module
AT+CNAOP	Acquisitions order preference
AT+CPSI	system information
AT+CLEDITST	Intensity of the LED
AT+CPING	Ping destination address
AT+CGPS	Start/Stop GPS
AT+CGPSINFO	Current position information
AT+CGPSCOLD/HOT	Mode Star GPS
AT+CGPSAUTO	Start GPS automatically
AT+CGPSNMEA	Configure NMEA output
AT+CGPSFTM	GPS test mode
AT+CGPSDEL	Delete GPS information
AT+CGPSINFOCFG	Report NMEA-0183
AT+CGPSPMD	Configure positioning modes support
AT+CGPSHOR	Configure positioning desired accuracy threshold

3.1.2 Interfaz Para El Usuario

El sistema de análisis de calidad está diseñado con una interfaz principal como se observa en la Figura 3.2 y está compuesta por dos secciones. La primera sección esta

encargada de la comunicación entre dispositivos y solicitar los parámetros de calidad con su ubicación.



Figura 3.2 Interfaz principal.

Fuente: Los Autores

La segunda sección contiene los datos que son representados de manera entendible para el usuario separados por tres pestañas, la primera pestaña muestra la tabla con los datos obtenidos en tiempo real, mientras la segunda pestaña grafica estos resultados de cada parámetro y la tercera grafica en un mapa georreferenciado la ruta recorrida con los datos obtenidos por el GPS y su nivel de señal con los parámetros de calidad.

Cuando se inicia el sistema como se observa en la Figura 3.3, la conexión de los dispositivos por el puerto correcto, bits de paro y la velocidad de comunicación, también se genera una tabla con los datos adquiridos del dispositivo y se carga un sector del mapa analizar el recorrido. Los datos son guardados en un archivo (.csv) por el motivo de procesamiento en tablas de datos. En el mismo instante se realizan las gráficas lineales para visualizar el cambio entre muestras y puntos de adquisición.

Conectado en COM6 : 115200, 8, No paridad, 1 bit de paro, Sin control de flujo

Figura 3.3 Barra de estado de conexión.

Fuente: Los Autores

En la Figura 3.4 se obtuvo la información de la parroquia El Vecino utilizando Google Earth, donde se crea el polígono dentro de su aplicación donde se hace el análisis de calidad para un mejor procesamiento del sistema se toma las coordenadas

indicadas en la base de datos del programa y delimitar la parroquia donde se obtienen las mediciones en latitud y longitud.



Figura 3.4 Parroquia el Vecino.

Fuente: Los Autores

Para comparar ingresar los datos en el programa se pasan a un archivo Excel donde exportamos los valores de cada punto en la delimitación de la parroquia, con este proceso se puede intercambiar de parroquias de análisis obteniendo un archivo con sus coordenadas con la mayor cantidad de puntos como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Coordenadas delimitadoras de la parroquia El Vecino

PARROQUIA EL VECINO	
LONGITUD	LATITUD
-78.9738722703781	-2.882204880847678
-78.9831658577406	-2.879362588546534
-78.99885643926608	-2.880651303564522
-78.99889966121802	-2.88209946190909
-78.99894214213728	-2.882698678625239
-78.9989793052966	-2.884248141413532
-78.99902034079479	-2.885609886277603
-78.99940249734215	-2.888857209876067
-78.99612006619375	-2.890981196833543
-78.99520846557755	-2.891882917901731
-78.99461279784001	-2.892618546479144
-78.9936532934783	-2.893456087950055
-78.99115705289538	-2.891876145028843
-78.98703271901833	-2.889138092005669
-78.98531772734903	-2.887700485612976

Con los datos ya procesados importamos al programa donde carga el polígono por medio de rectas que unen cada coordenada dando forma a la parroquia El Vecino,

por lo tanto, la interfaz del mapa será manipulable durante el proceso de adquisición como se aprecia en la Figura 3.5.

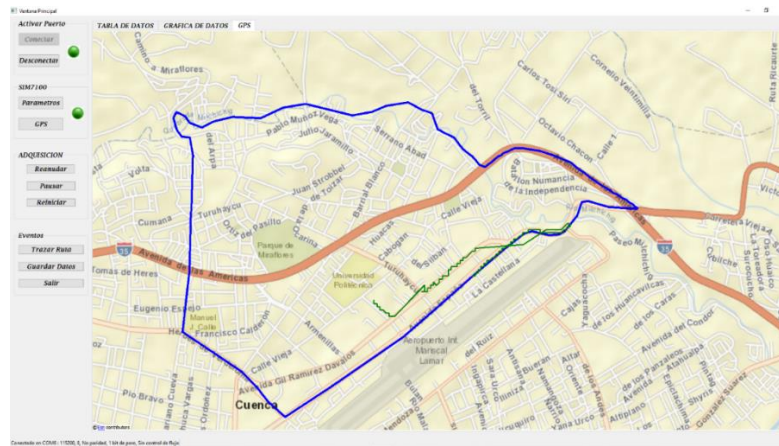


Figura 3.5 Polígono de la parroquia El Vecino cargada en el programa.
Fuente: Los Autores

Los parámetros de calidad procesados se separan en una tabla durante el recorrido con los datos de ubicación y la hora de obtención como se muestra en la Figura 3.6.

Activar Puerto	TABLA DE DATOS	GRAFICA DE DATOS	GPS													
Conectar	LATITUD (S)	LONGITUD (W)	SysMod	DspMod	CeRoD	BANDA	FRECUENCIA	RSRQ dBm(y10)	RSRP dBm(y10)	RSSI dBm(y10)	RSSNR	MES/DIA/HORA				
Desconectar	35		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-128	-1182	-865	10		Thu Jun 6 11:28:13 2019				
	36		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-160	-1193	-859	7		Thu Jun 6 11:28:14 2019				
	35		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-140	-1191	-860	8		Thu Jun 6 11:28:15 2019				
	36		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-137	-1192	-870	6		Thu Jun 6 11:28:16 2019				
	37		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-124	-1177	-864	7		Thu Jun 6 11:28:17 2019				
	38		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-124	-1177	-864	7		Thu Jun 6 11:28:18 2019				
	39		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-142	-1194	-865	8		Thu Jun 6 11:28:19 2019				
	40		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-153	-1195	-852	6		Thu Jun 6 11:28:20 2019				
	41		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-186	-1218	-843	4		Thu Jun 6 11:28:21 2019				
	42		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-186	-1218	-843	4		Thu Jun 6 11:28:22 2019				
	43		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-152	-1202	-849	5		Thu Jun 6 11:28:23 2019				
	44		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-151	-1187	-862	6		Thu Jun 6 11:28:24 2019				
	45		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-133	-1180	-856	6		Thu Jun 6 11:28:25 2019				
	46		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-150	-1198	-862	5		Thu Jun 6 11:28:26 2019				
	47		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-150	-1198	-862	5		Thu Jun 6 11:28:27 2019				
	48		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-144	-1192	-860	5		Thu Jun 6 11:28:28 2019				
	49		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-147	-1198	-865	6		Thu Jun 6 11:28:29 2019				
	50		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-147	-1192	-843	6		Thu Jun 6 11:28:30 2019				
	51		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-147	-1192	-843	6		Thu Jun 6 11:28:31 2019				
	52		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-163	-1206	-860	5		Thu Jun 6 11:28:32 2019				
	53		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-155	-1197	-852	5		Thu Jun 6 11:28:33 2019				
	54		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-137	-1181	-858	6		Thu Jun 6 11:28:34 2019				
	55		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-138	-1188	-865	6		Thu Jun 6 11:28:35 2019				
	56		LTE	Online	287	EUTRAN-BANDA 2050	-138	-1188	-865	6		Thu Jun 6 11:28:36 2019				
	57		LTE	Online	0	EUTRAN-BAND0 65335	0	0	0	-1		Thu Jun 6 11:28:37 2019				
	58		LTE	Online	0	EUTRAN-BAND0 65335	0	0	0	-1		Thu Jun 6 11:28:38 2019				
	59		LTE	Online	0	EUTRAN-BAND0 65335	0	0	0	-1		Thu Jun 6 11:28:39 2019				

Figura 3.6 Interfaz tabla de datos.
Fuente: Los Autores

Para una mejor demostración de los datos implementando en tiempo real graficas de cada parámetro de calidad (RSRQ, RSRP, RSSI, RSSNR) con respecto al número de muestras, también se grafica por punto y por recta viendo las variaciones como se procede en las siguientes graficas.

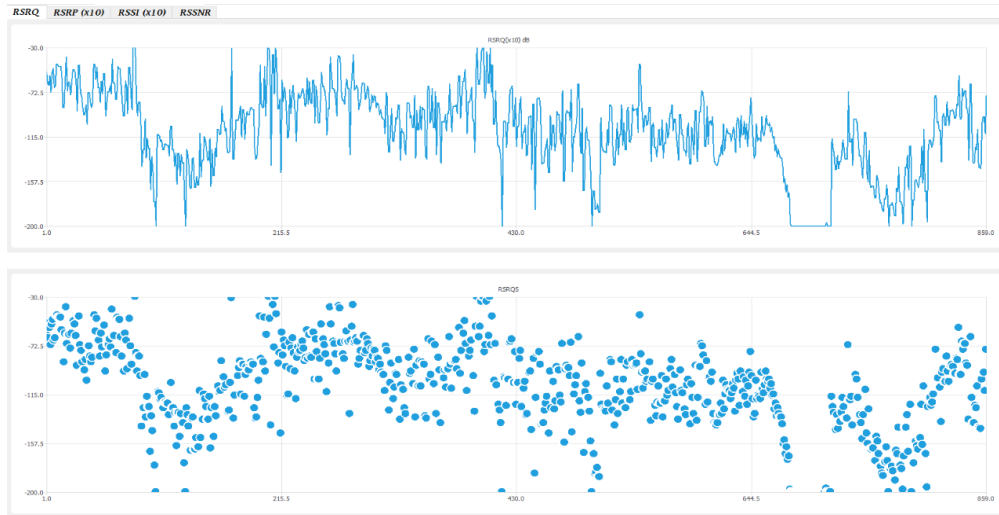


Figura 3.7 Grafica RSRQ.
Fuente: Los Autores

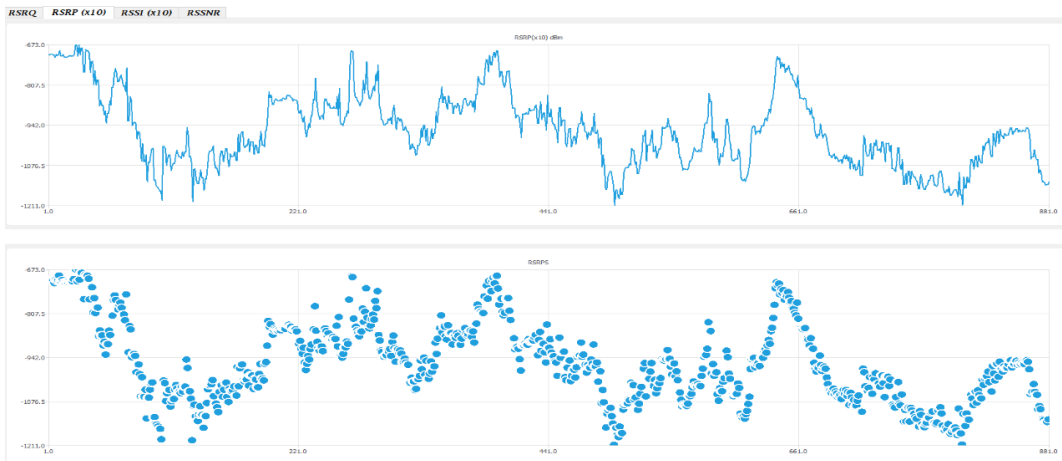


Figura 3.8 Grafica RSRP.
Fuente: Los Autores

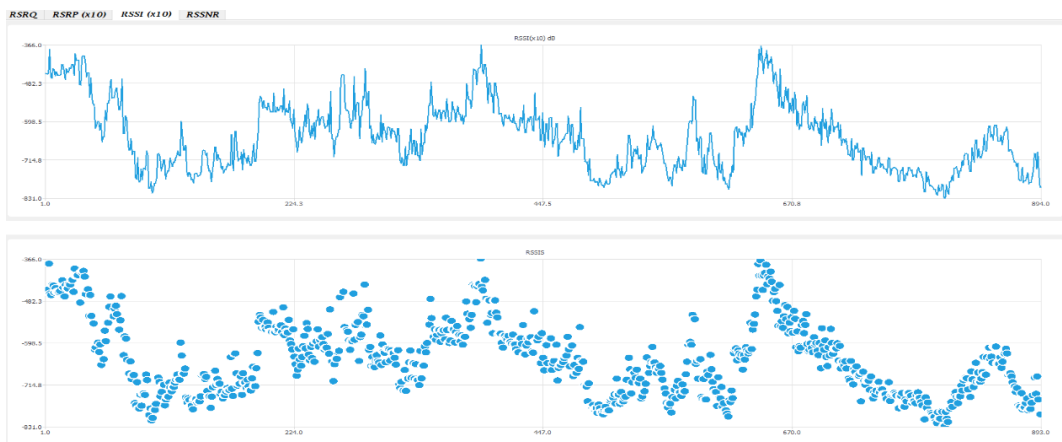


Figura 3.9 Grafica RSSI.
Fuente: Los Autores



Figura 3.10 Grafica RSSNR.
Fuente: Los Autores

3.1.3 Información De Celda Y Localización

En la Figura 3.11 está el proceso de enlazarse el sistema de análisis de calidad con la base LTE representado por un diagrama de flujo, donde se manda un mensaje AT+CPSI, con el cual recauda información de la celda a la que se está enlazado el dispositivo. Para procesar los datos deben ser transformados de binarios a texto donde se filtran los parámetros necesarios para el análisis de calidad, en caso de la hora de adquisición se pide datos de la Raspberry que esta sincronizado con su reloj.

Cuando se ingresa al proceso de filtrado separamos los datos relevantes de la respuesta del comando AT ya que este nos entrega aparte información que no se utilizara en este caso de análisis, pero siempre se podría modificar este sistema para obtener todos los datos de la celda. La información en caso de pérdida de señal o datos erróneos se corrigen mediante una nueva solicitud en el caso que el dato está incompleto o no contiene toda la información solicitada.

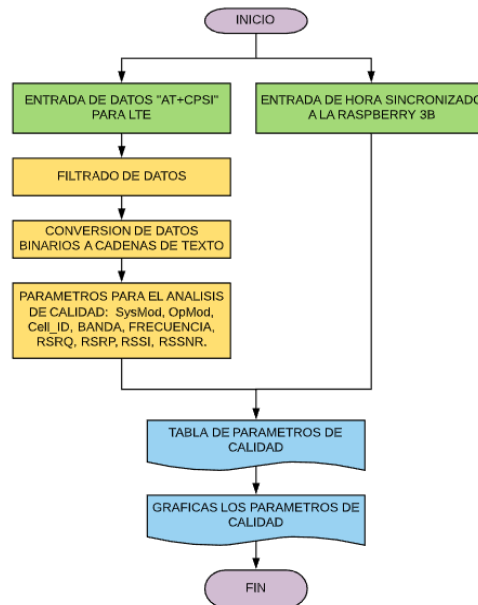


Figura 3.11 Diagrama de flujo para la obtención de los parámetros de calidad SMA.
Fuente: Los Autores

Una vez obtenida la red celular se procede a la localización por GPS en la que se manda una solicitud AT+CGPS, para la localización el sistema de análisis de calidad se considera un margen de error de diez metros que tendrá una ubicación más aproximada, para dar proceso a graficar la ruta se filtran los datos de la tecnología LTE separando por colores por el nivel de señal como se representa en la Figura 3.12.

En el GPS existe los arranques en frío y caliente definidos dentro de los comandos como HOT y COLD, el comando en frío sirve para borrar todo el cache de enlace al satélite e información de ubicaciones anteriores del sistema de análisis de calidad, esto sucede cuando el dispositivo comienza una ruta nueva de recorrido. El arranque caliente se da cuando el sistema de análisis de calidad está realizando mediciones y pierde la señal satelital por zonas sin cobertura o con demasiadas perdidas de señal, esto hace que envíe más solicitudes para volver a enlazarse al satélite para recibir la información sin necesidad de reiniciar el sistema.

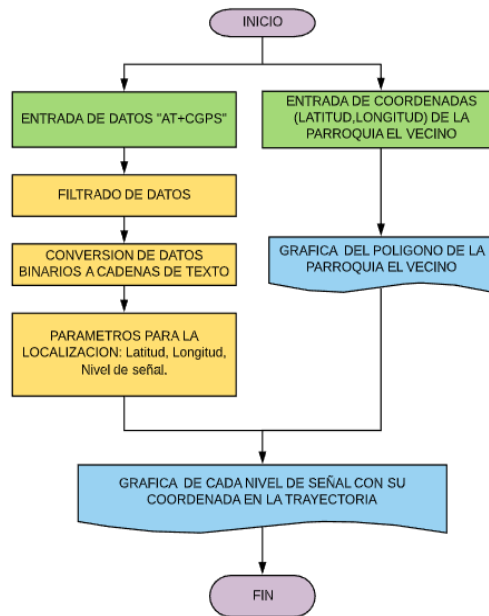


Figura 3.12 Diagrama de flujo para grafica de la ruta con el nivel de señal.
Fuente: Los Autores

Un método de auxiliar para guardar los datos se realiza con un proceso continuo de guardado donde se almacena cada dato obtenido por el dispositivo evitándola desconexión o pérdida de información durante mediciones con trayectos largos o con problemas en recursos separando por cada medición.

3.1.4 Procesamiento De Datos

3.1.4.1 Excel

El archivo generado por el sistema de análisis de calidad puede ser abierto como archivo en Excel que será organizado y separado, en la tabla se tienen los parámetros de calidad (RSRQ, RSRP, RSSNR, RSINR) junto a su ubicación y hora de medición.

En la Tabla 3.3 se encuentran los datos que se van a necesitar para analizar los rangos de calidad según las normativas investigadas. La primera columna es la fecha para obtener referencia de cuándo y a qué hora se toma la muestra de cada dato, la muestra identifica desde donde se inició la adquisición y finalizo la ruta, la posición que es la Latitud y Longitud son necesarias para colocar puntos en la ruta según la calidad de señal y los parámetros de calidad que son las cuatro últimas columnas donde serían los datos referenciados a cada celda de conexión.

Tabla 3.3 Parámetros obtenidos.

MES/DIA/HORA	MUESTRA	LATITUD (S)	LONGITUD (O)	RSRQ (dB)	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSSNR
Mon Sep 30 11:50:39 2019	0	-2.8845	-78.9835	-9.0	-106.0	-76.5	13
Mon Sep 30 11:50:40 2019	1	-2.8845	-78.9835	-11.5	-106.0	-74.6	11
Mon Sep 30 11:50:41 2019	2	-2.8845	-78.9835	-10.1	-105.7	-75.3	12
Mon Sep 30 11:50:44 2019	3	-2.8845	-78.9835	-10.8	-105.2	-74.5	12
Mon Sep 30 11:50:45 2019	4	-2.8845	-78.9835	-9.7	-105.0	-74.4	11
Mon Sep 30 11:50:46 2019	5	-2.8845	-78.9835	-10.4	-105.2	-74.8	13
Mon Sep 30 11:50:47 2019	6	-2.8845	-78.9835	-11.0	-105.0	-74.0	11
Mon Sep 30 11:50:48 2019	7	-2.8845	-78.9835	-12.7	-105.9	-72.5	13
Mon Sep 30 11:50:49 2019	8	-2.8845	-78.9835	-12.7	-105.9	-72.5	13
Mon Sep 30 11:50:50 2019	9	-2.8845	-78.9835	-10.5	-105.1	-74.6	12
Mon Sep 30 11:50:51 2019	10	-2.8845	-78.9835	-9.3	-105.9	-76.6	13

3.1.4.2 Matlab

En el programa de Matlab utilizaremos el procesado en manera gráfica que nos ayuda en los análisis de manera visual y explicable por medio de porcentajes y cantidad de datos procesados. Los comandos y códigos utilizados se adjuntan en el apéndice A, la cantidad de muestras analizar son 3006 muestras por operadora en la parroquia El Vecino de la ciudad de Cuenca.

Se deben importar los datos desde las tablas en Excel y transformar a una matriz numérica para obtener cada columna con su muestra de manera entendible en Matlab, también utilizaremos estos datos para realizar otros métodos de análisis.

Por códigos ocupamos una CDF, que es una Función de Distribución de Matlab con el objetivo de identificar el nivel de señal de potencia registrado por el dispositivo de manera porcentual, para poder analizar la calidad de cobertura en la parroquia El Vecino.

3.1.4.3 Google Earth

Con los datos de ubicación y nivel de señal obtenidos en el Excel los importamos a Google Earth, para generar la ruta recorrida en el proceso de adquisición de datos. Con la parroquia ya definida se importan los datos desde el archivo Excel convirtiendo a .csv todos los datos necesarios como se muestra en la Figura 3.13.

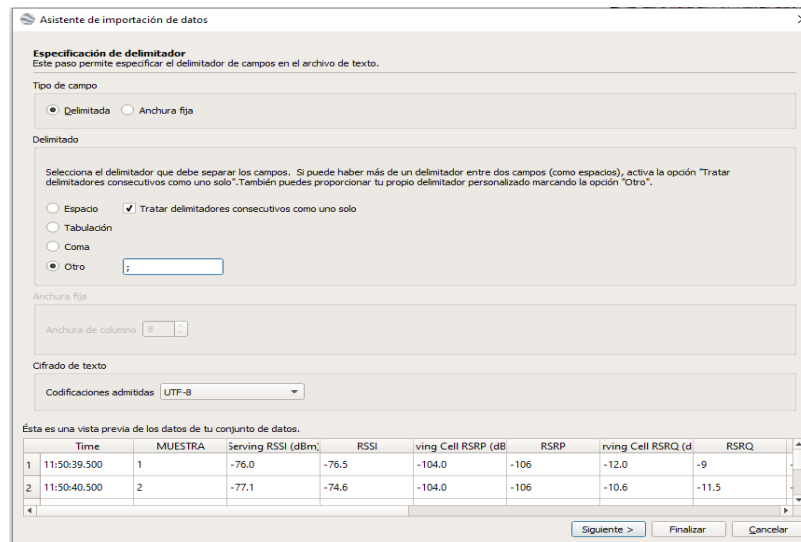


Figura 3.13 Importación de datos a Google Earth.

Fuente: Los Autores

Una vez ya obtenido los datos importados se procede a separar por el nivel de señal por el parámetro de análisis RSRP, cambiando su color por su nivel de señal clasificado por los regímenes de las operadoras como se observa en la siguiente Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Calidad de cobertura SAMM.

CALIDAD	MEDIDA DE RSRP
Alto	[+infinito, -85] dBm
Medio	[-85, -98] dBm
Bajo	[-98, -infinito] dBm

En el caso de cada operadora tienen unos sistemas diferentes de calidad de cobertura donde tomaremos la Tabla 3.5 como referencia hacia su análisis.

Tabla 3.5 Calidad de cobertura operadoras.

CALIDAD	MEDIDA DE RSRP
Alto	[+ infinito, -100] dBm
Medio	[-120, -140] dBm
Bajo	[-140, -infinito] dBm

Ahora tenemos que configurar para que cada nivel de señal tenga el color y la forma asignada para puntos, definiendo en carpetas creadas dentro del estudio creado en Google Barth y para poder separar datos agregando mas según el análisis requerido.

3.2 Análisis Y Resultados

En esta parte daremos a conocer los datos recolectados, con una media de 2 horas de análisis por operadora. Se ha recorrido la parroquia en vehículo prestado por la ARCOTEL, para las medidas con el sistema de análisis de calidad implementado (Raspberry 3B y SIM7100) y el SAMM. El sistema de análisis de calidad puede conectarse a la red 4G LTE y su sensibilidad es de -120dBm, los datos se obtuvieron con los comandos AT y sus especificaciones técnicas.

3.2.1 Resultados De Las Medidas

Como resultado del procesamiento de los datos adquiridos por el sistema de calidad se han obtenido los mapas de cobertura de la parroquia El Vecino de la ciudad de Cuenca por su nivel de señal (RSRP) y graficado en Google Earth.

La ruta tiene lugares donde se indican niveles muy cambiantes de cobertura en la red LTE y existan cambios de tecnología, para poder ver los procesos de reconexión y el sistema como recupera la conexión con la tecnología y las respuestas adquiridas.

Se asignaron los márgenes basándonos en los mapas de cobertura de las tres operadoras, con lo cual clasificamos con dos análisis gráficos uno del SAMM y otro de los niveles por operadoras. En los rangos de colores se orienta al mapa de cobertura del SAMM. Se considero los siguientes márgenes:

- SMMM
 - [+infinito, -85] dBm. - Alto color verde
 - [-85, -98] dBm. - Medio color amarillo
 - [-98, -infinito] dBm. - Bajo color rojo

- OPERADORAS
 - [+infinito, -100] dBm. - Alto color verde
 - [-100, -120] dBm. - Medio color amarillo
 - [-120, -infinito] dBm. - Bajo color rojo

Los resultados de cada operadora se pasaron a Google Earth separados por el nivel de cobertura detectado por el SMMM y el sistema de análisis de calidad diferenciado por los colores verde, amarillo y rojo, también existiendo cambios de tecnología que son eliminados ya que nos enfocamos en la red LTE.

Se adjuntan en el apéndice B las gráficas obtenidas en el sistema de análisis de calidad.

3.2.1.1 Operadora 1

Como resultado de la operadora 1 se observan los datos del sistema implementado en la parroquia comparados con los del SMMM que obtiene una gráfica similar con niveles de señal un poco variantes en zonas donde se pierde cobertura.



Figura 3.14 Cobertura operadora 1 nivel de señal del SMMM

Fuente: Los Autores



Figura 3.15 Cobertura operadora 1 nivel de señal operadora
Fuente: Los Autores

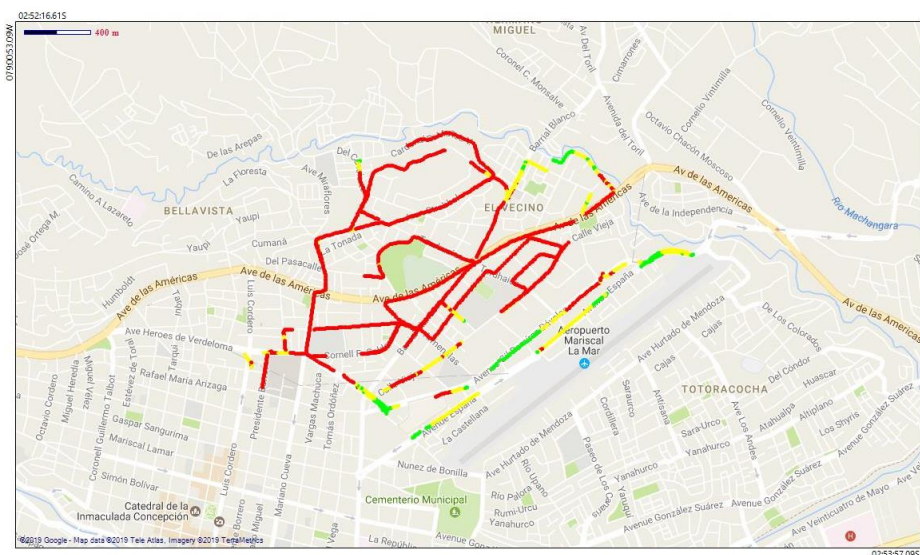


Figura 3.16 Mapa de cobertura SAMM de la operadora 1.
Fuente: Los Autores

3.2.1.2 Operadora 2

La operadora 2 tiene mejor calidad de señal en la parte Sur de la parroquia mientras tiene unas pérdidas y reconexiones en la parte Norte obtenidos por los dos medios de análisis.

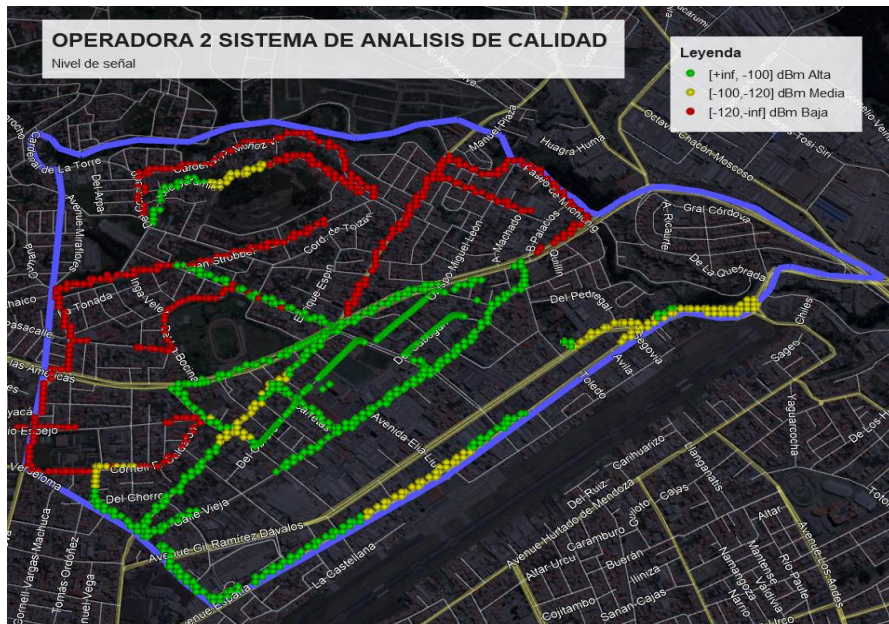


Figura 3.17 Cobertura operadora 2 normativa de operadora
Fuente: Los Autores



Figura 3.18 Cobertura operadora 2 normativa del SAMM
Fuente: Los Autores

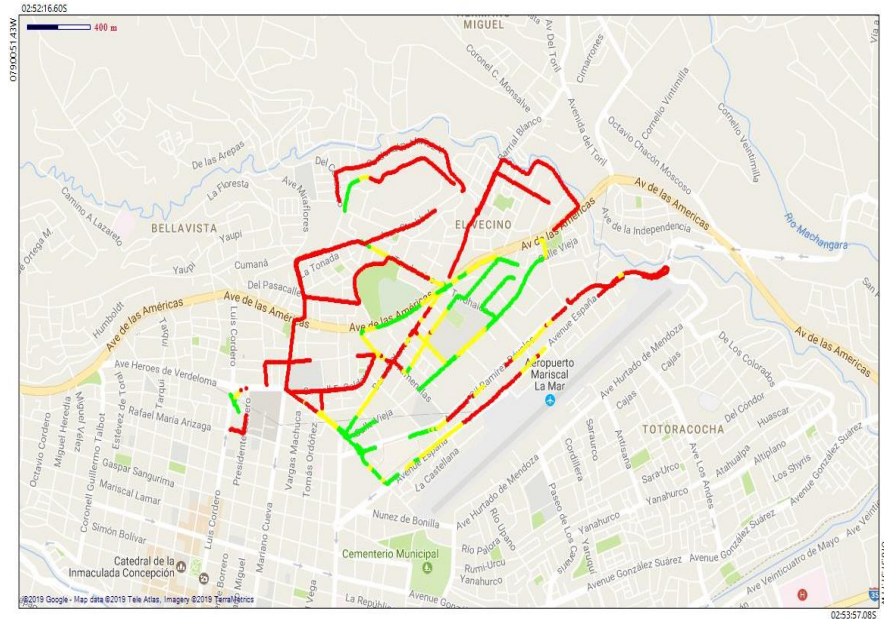


Figura 3.19 Mapa de cobertura SAMM de la operadora 2.
Fuente: Los Autores

3.2.1.3 Operadora 3

En el caso de la operadora 3 se extrajo datos teniendo pérdidas de señal en zonas dispersas y al Norte por distintas irregularidades en el terreno.



Figura 3.20 Cobertura operativa 3 normativa de la operadora
Fuente: Los Autores

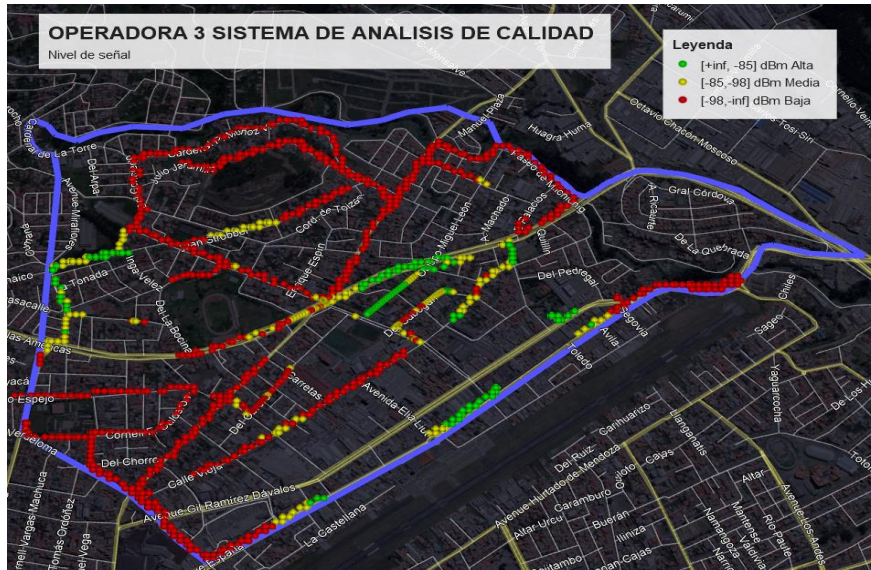


Figura 3.21 Cobertura operadora 3 normativa del SAMM
Fuente: Los Autores

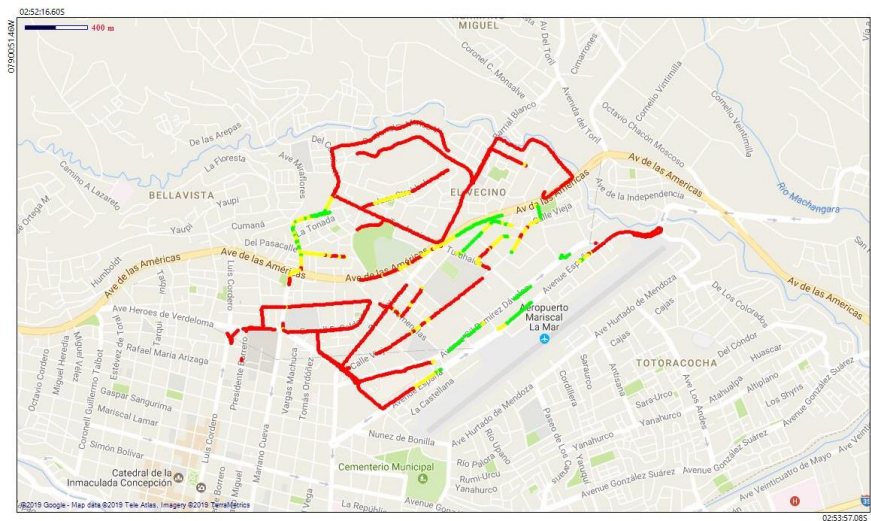


Figura 3.22 Mapa de cobertura SAMM de la operadora 3.
Fuente: Los Autores

3.2.2 Análisis De Resultados

Durante el recorrido se puso en funcionamiento el SAMM y el sistema de calidad ubicando las antenas en la parte externa del vehículo, y se obtienen los niveles de potencia de la señal de cada operadora. Se realiza un análisis con respecto al SAMM y a la operadora por las normativas que manejan son distintas y las gráficas no corresponden a un mismo nivel de potencia de la señal (RSRP).

En la parroquia El Vecino con los datos obtenidos del procesamiento del nivel de potencia se puede corroborar que el servicio que ofrece la operadora 1 es bajo en tecnología LTE. Se han adquirido 4000 puntos de medida con los cuales tendremos nivel de señal graficada por muestras, histogramas, funciones de distribución acumulada (CDF) e identificación de datos por alto, medio y bajo nivel de señal.

3.2.2.1 Operadora 1

De los datos medidos se procede a despreciar los que son por niveles de señal perdidos durante el recorrido y los que el dispositivo pierde conexión con la estación base, se tiene 1346 que cumplen con la tecnología LTE, mostrando en la Figura 3.23 los parámetros por muestra de los datos del SAMP y del sistema de análisis de calidad.

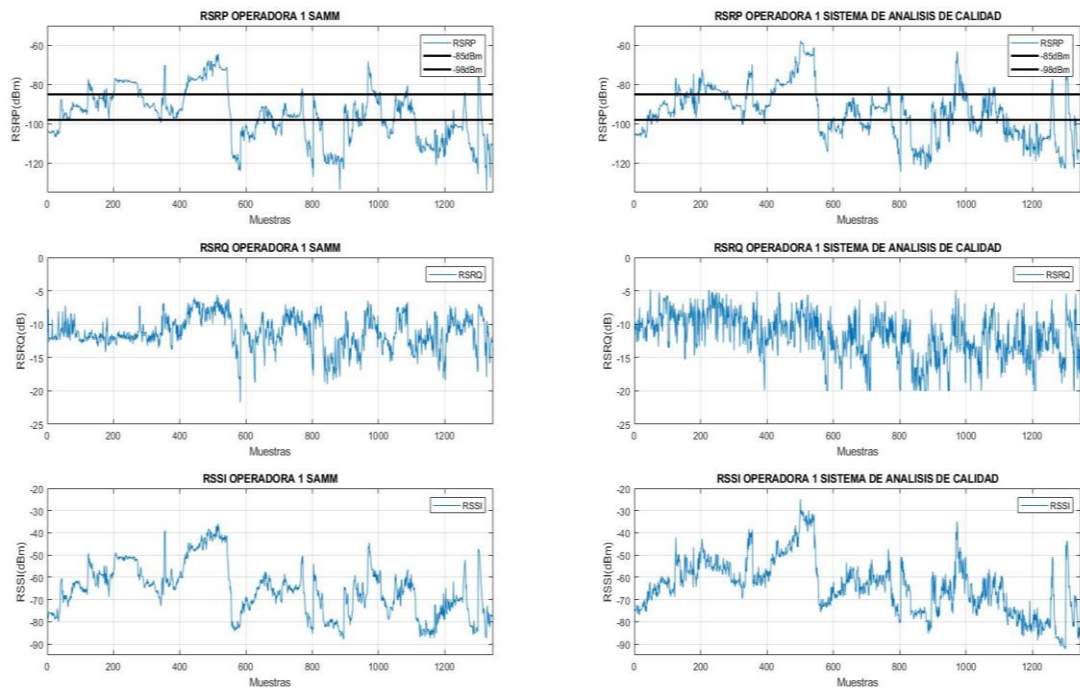


Figura 3.23 Datos adquiridos por el SAMP y el sistema de análisis de calidad operadora 1.
Fuente: Los Autores

3.2.2.1.1 Normativa ARCOTEL

Los datos procesados por el SAMP de la operadora 1 están distribuidos 536 (40.49%) datos son inferiores -98 dBm, los 529 (39.23%) datos se encuentra en un nivel de cobertura medio que es menor a -85 dBm y 281 (20.28%) datos tienen buena cobertura donde es mayor a -85 dBm. Los datos del sistema de análisis de calidad de la operadora 1 cambian a 516 (38.86%) datos son inferiores -98 dBm, los 516 (39.3%)

datos se encuentra en un nivel de cobertura medio que es menor a -85 dBm y 314 (21.84%) datos tienen buena cobertura donde es mayor a -85 dBm como se muestra en la Figura 3.24.

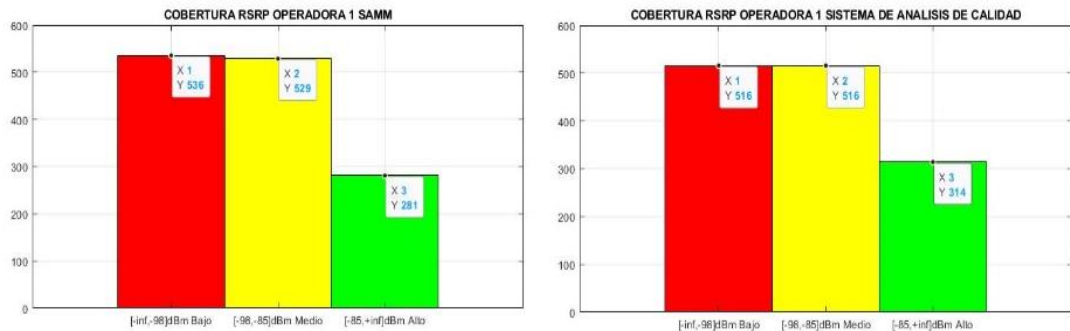


Figura 3.24 Cantidad de muestras en los niveles de señal operadora 1.

Fuente: Los Autores

En la Figura 3.25 se presenta en histograma como las medidas están dispersas en los niveles de señal (RSRP), mostrando que existen una gran cantidad de datos en la parte baja de señal llegando a valores de -135 dBm, en la parte central el nivel medio de señal y pocas muestras están en la parte de alta cerca de los -58 dBm.

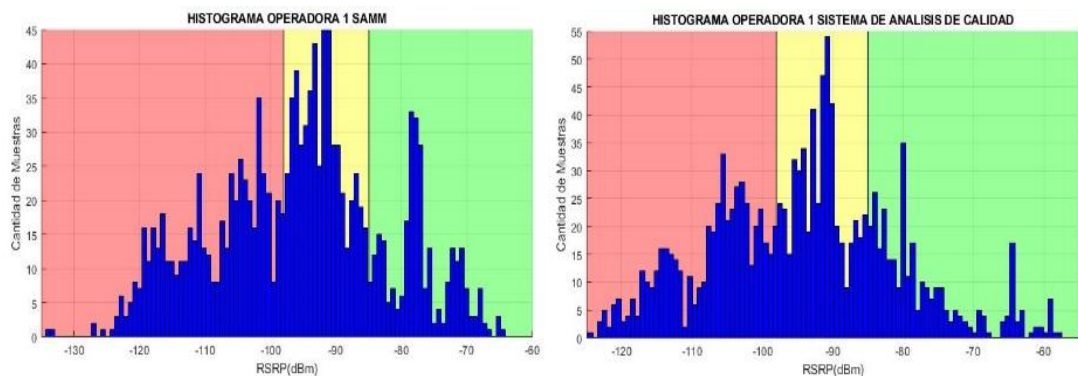


Figura 3.25 Distribución de las muestras operadora 1.

Fuente: Los Autores

Se utiliza una función de distribución acumulada (CDF) como se observa en la Figura 3.26. En el caso del SMM la probabilidad de tener un nivel de señal media o superior es del 59.51% y en el caso del sistema de análisis de calidad es 61.14% con lo que contrasta que la cobertura ofrecida es media y le faltaría mejorar.

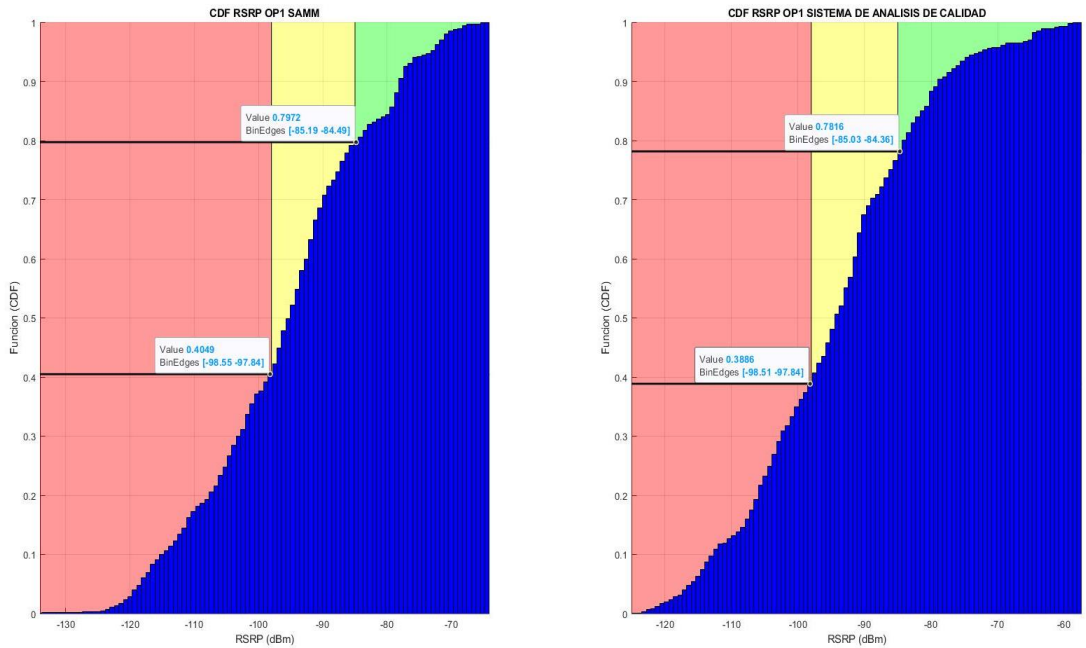


Figura 3.26 Distribución acumulada operadora 1.

Fuente: Los Autores

Las muestras comparadas dentro del mapa de cobertura de la operadora 1 muestra que los datos no coinciden con los niveles de señal, esto se produce porque las operadoras tienen diferentes rangos para los niveles de señal presentada en la Figura 3.27.

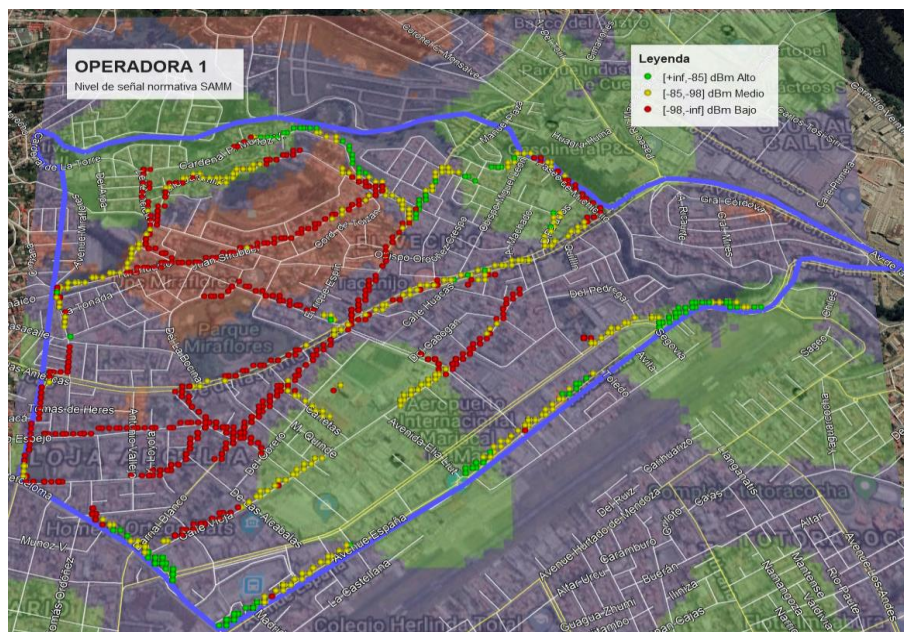


Figura 3.27 Mapa de cobertura Operadora 1 normativa SAMM

Fuente: Los Autores

3.2.2.2 Operadora 2

Los datos procesados de la operadora 2 son 1557 que están enlazados a la red LTE mostrado en la Figura 3.28, de los cuales están los datos del SAMP y el sistema de análisis de calidad.

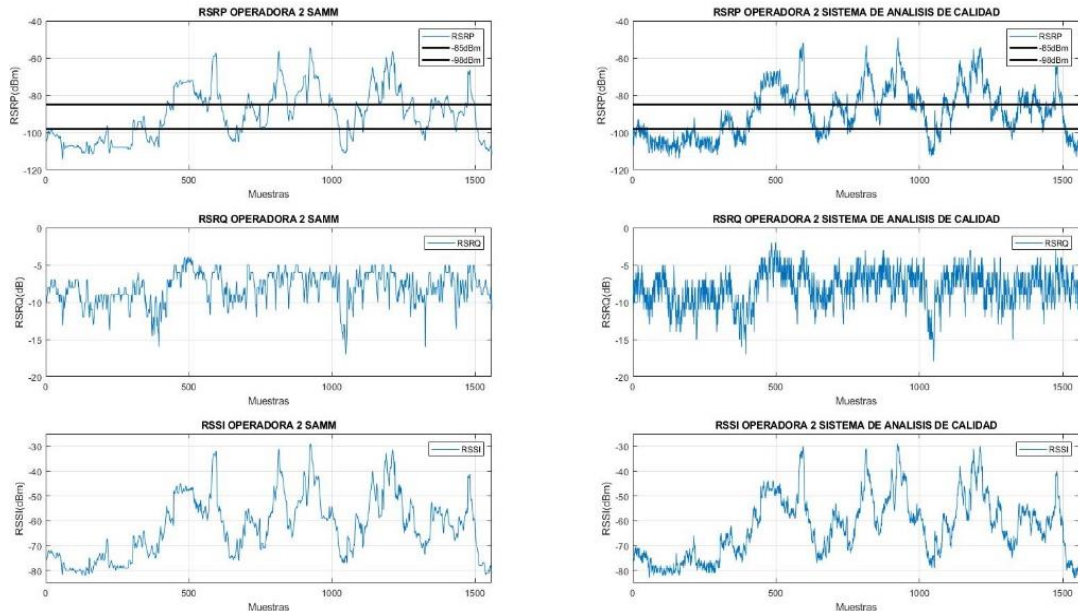


Figura 3.28 Datos adquiridos por el SAMP y el sistema de análisis de calidad operadora 2.

Fuente: Los Autores

3.2.2.2.1 Normativa ARCOTEL

Los datos procesados por el SAMP de la operadora 2 están distribuidos 513 (40.49%) datos son inferiores -98 dBm, los 453 (39.23%) datos se encuentra en un nivel de cobertura medio que es menor a -85 dBm y 591 (20.28%) datos tienen buena cobertura donde es mayor a -85 dBm. Los datos del sistema de análisis de calidad de la operadora 2 cambian a 645 (41.43%) datos son inferiores -98 dBm, los 442 (28.38%) datos se encuentra en un nivel de cobertura medio que es menor a -85 dBm y 470 (30.19%) datos tienen buena cobertura donde es mayor a -85 dBm como se muestra en la Figura 3.29.

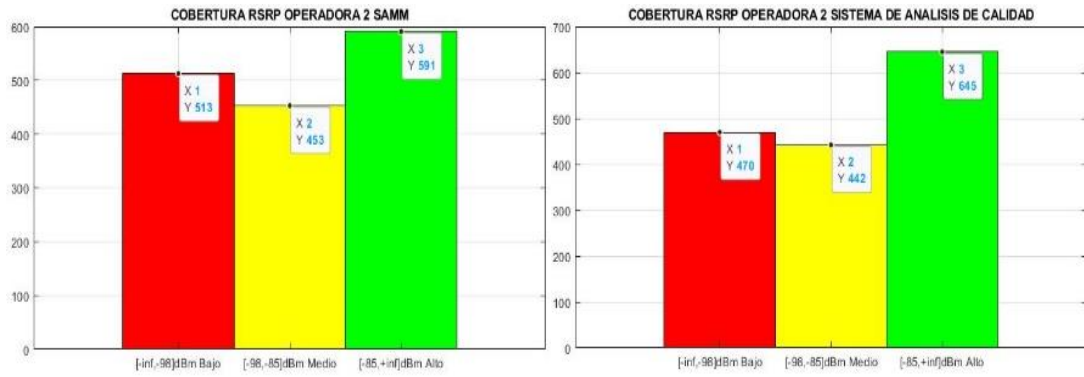


Figura 3.29 Cantidad de muestras en los niveles de señal operadora 2.

Fuente: Los Autores

En la Figura 3.30 se presenta en histograma como las medidas están dispersas en los niveles de señal (RSRP), mostrando que existen una cantidad de datos razonable en la parte baja de señal llegando a valores de -115dBm, en la parte central el nivel medio de señal y una mayor cantidad muestras están en la parte de alta cerca de los -50dBm cambiando los datos de manera razonable de adquisición.

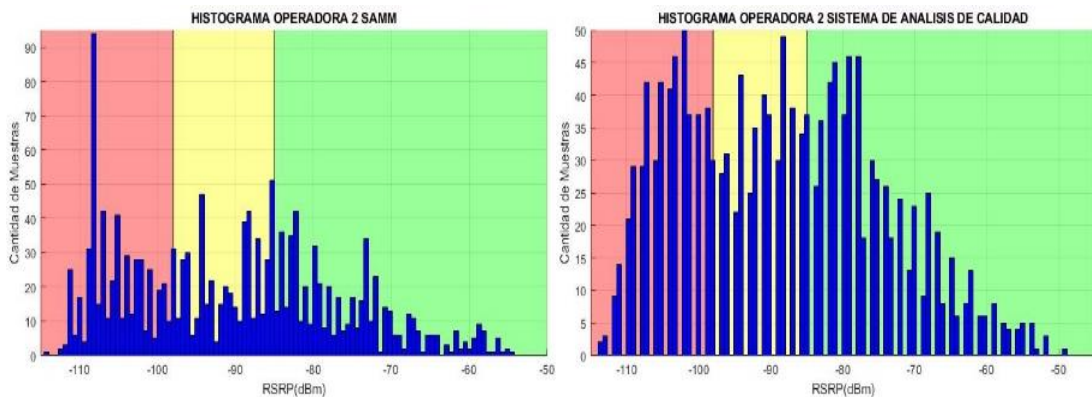


Figura 3.30 Distribución de las muestras operadora 2.

Fuente: Los Autores

Con la Figura 3.31 de distribución acumulada (CDF), en el caso del SMM la probabilidad de tener un nivel de señal media o superior es del 65.32% y en el caso del sistema de análisis de calidad es 67.89% con lo que contrasta que la cobertura ofrecida es media para usos con tecnología LTE.

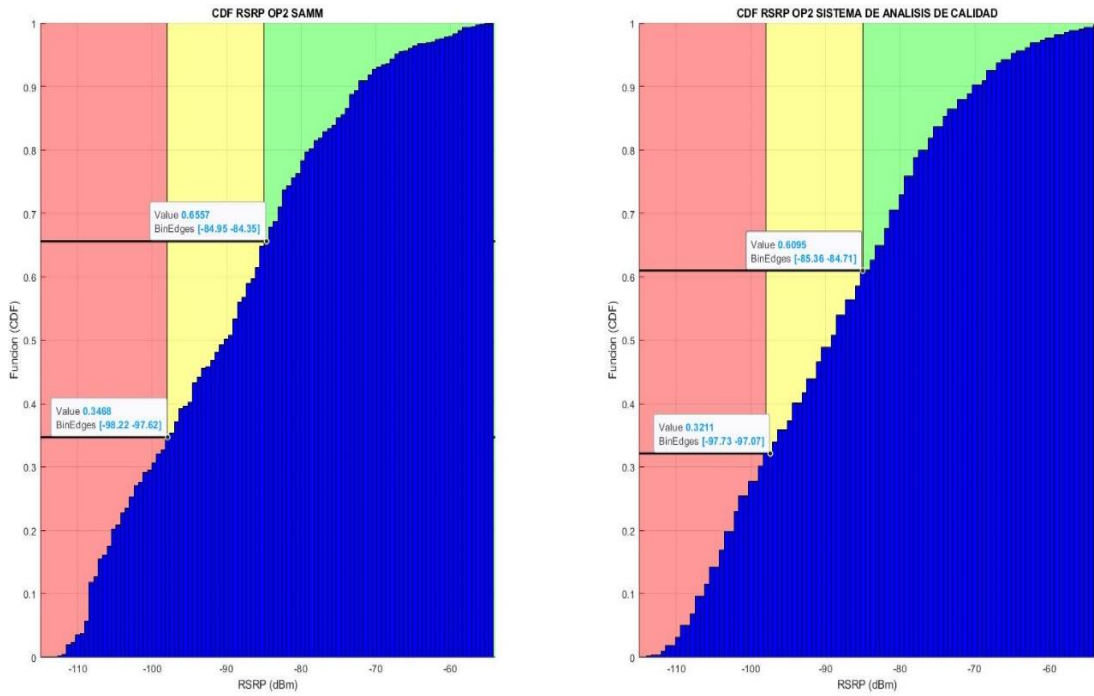


Figura 3.31 Distribución acumulada operadora 2.
Fuente: Los Autores

Las muestras comparadas dentro del mapa de cobertura de la operadora 2 muestra que los datos no coinciden con los niveles de señal, esto se produce porque las operadoras tienen diferentes rangos para los niveles de señal presentada en la Figura 3.32.

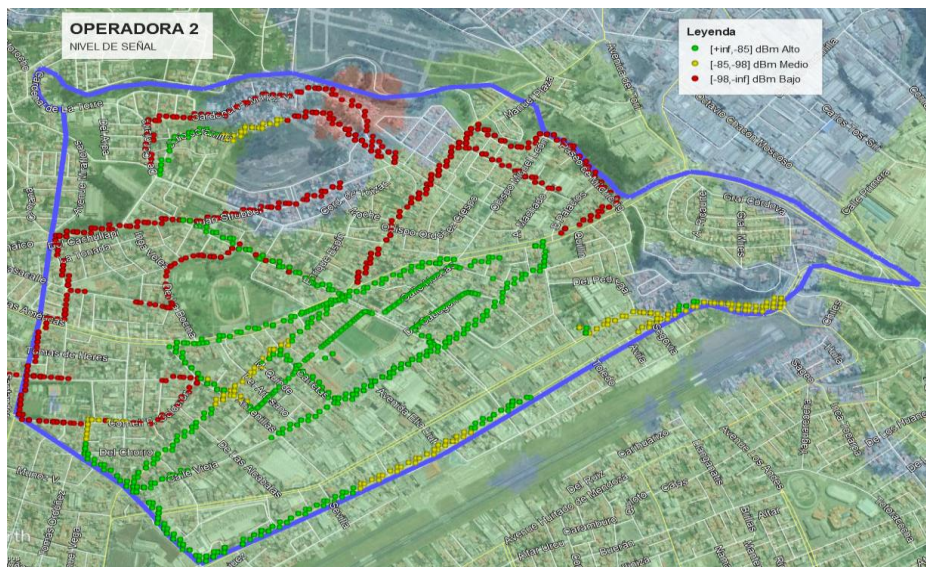


Figura 3.32 Mapa de cobertura Operadora 2 normativa SAMM
Fuente: Los Autores

3.2.2.3 Operadora 3

Los datos procesados de la operadora 3 son 1419 que están enlazados a la red LTE mostrado en la Figura 3.33, de los cuales están los datos del SAMM y el sistema de análisis de calidad.

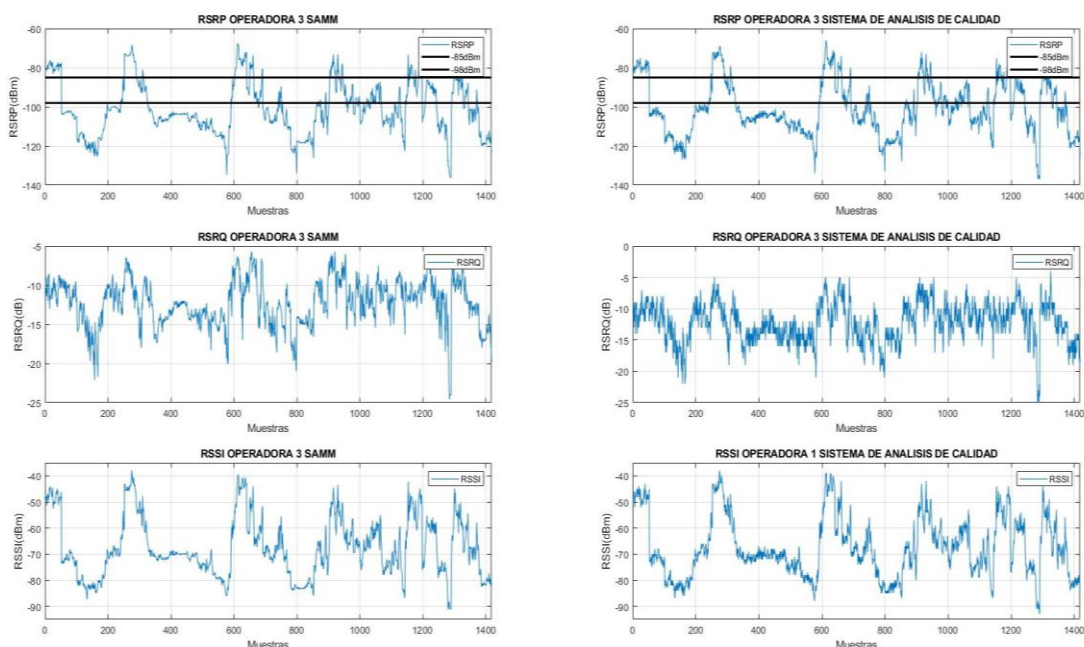


Figura 3.33 Datos adquiridos por el SAMM y el sistema de análisis de calidad operadora 3.
Fuente: Los Autores

3.2.2.3.1 Normativa ARCOTEL

Los datos procesados por el SAMM de la operadora 3 están distribuidos 910 (65.12%) datos son inferiores -98 dBm, los 291 (20.01%) datos se encuentra en un nivel de cobertura medio que es menor a -85 dBm y 218 (14.87%) datos tienen buena cobertura donde es mayor a -85 dBm. Los datos del sistema de análisis de calidad de la operadora 3 cambian a 898 (65.26%) datos son inferiores -98 dBm, los 297 (19.87%) datos se encuentra en un nivel de cobertura medio que es menor a -85 dBm y 224 (14.87%) datos tienen buena cobertura donde es mayor a -85 dBm como se muestra en la Figura 3.34.

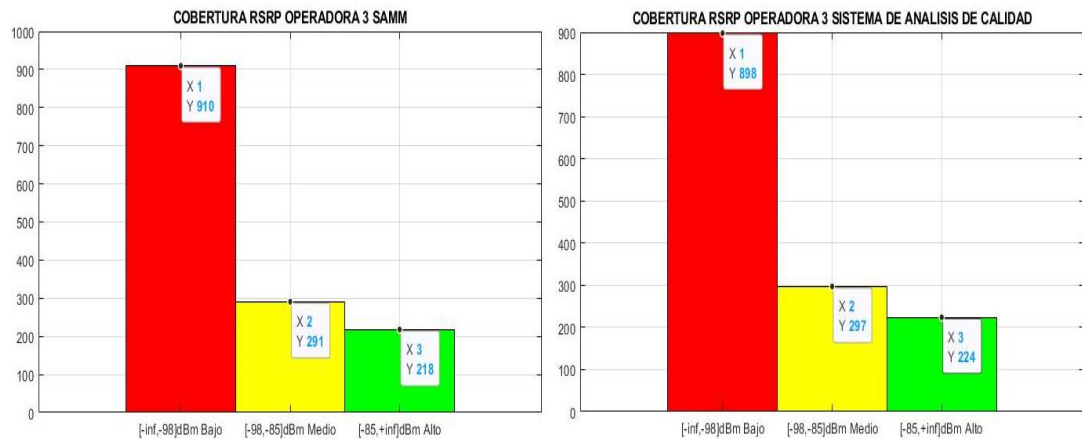


Figura 3.34 Cantidad de muestras en los niveles de señal operadora 3.
Fuente: Los Autores

En la Figura 3.35 se presenta en histograma como las medidas están dispersas en los niveles de señal (RSRP), mostrando que existe muchas perdidas en la parte baja de señal llegando a valores de -140dBm, en la parte central el nivel medio de señal y casi sin señal de alta cobertura cerca de los -60dBm.

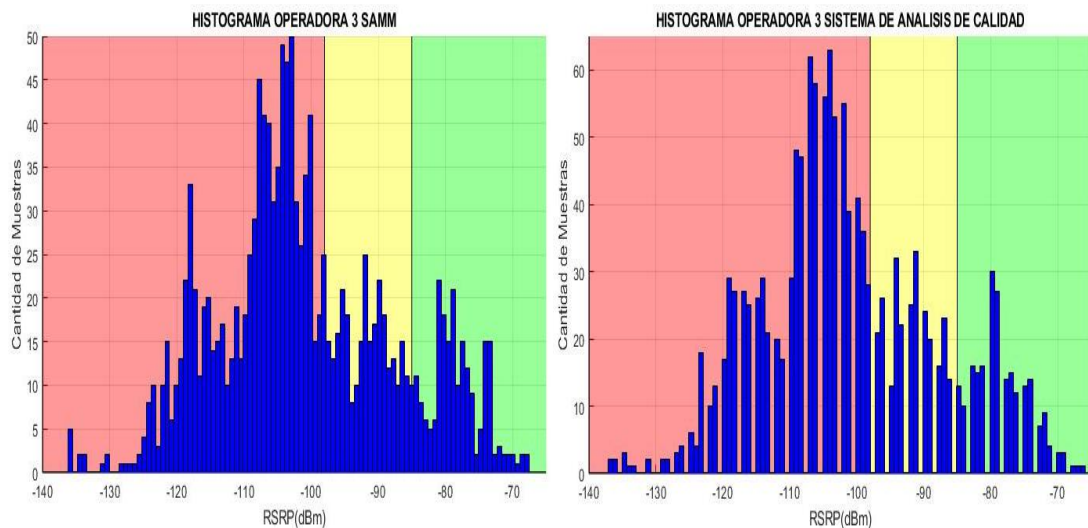


Figura 3.35 Distribución de las muestras operadora 3.
Fuente: Los Autores

Con la Figura 3.36 de distribución acumulada (CDF), en el caso del SMM la probabilidad de tener un nivel de señal media o superior es del 34.88% y en el caso del sistema de análisis de calidad es 37.74% con lo que contrasta que la cobertura ofrecida es media para usos con tecnología LTE.

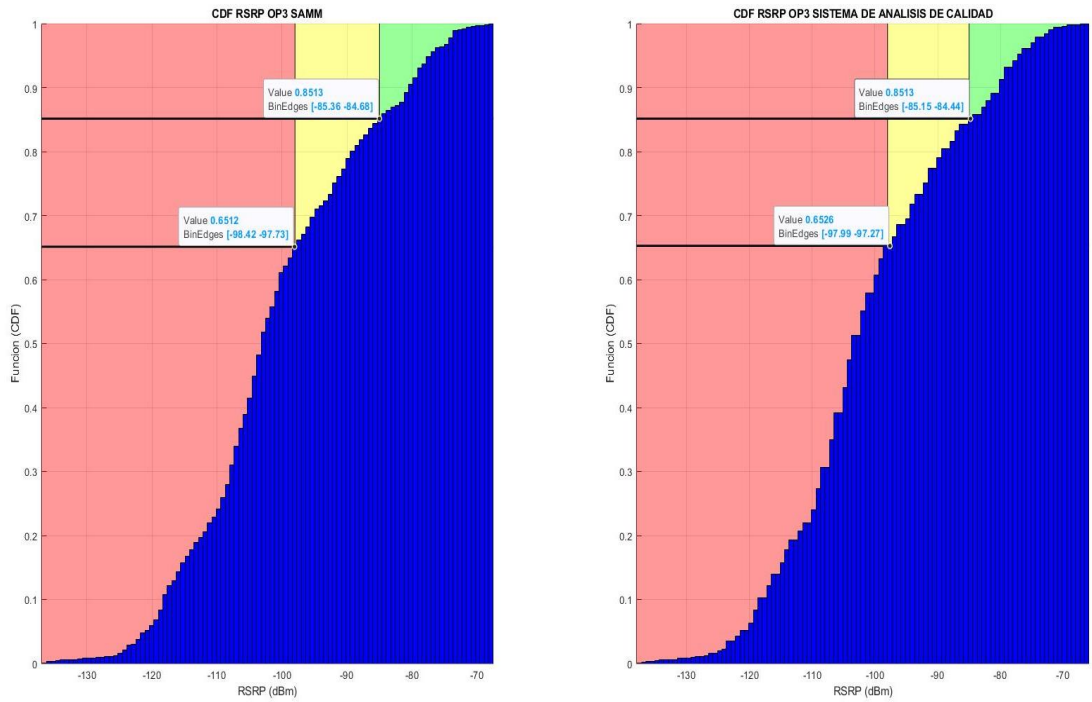


Figura 3.36 Distribución acumulada operadora 3.
Fuente: Los Autores

Las muestras comparadas dentro del mapa de cobertura de la operadora 3 muestra que los datos no coinciden con los niveles de señal, esto se produce porque las operadoras tienen diferentes rangos para los niveles de señal presentada en la Figura 3.37.

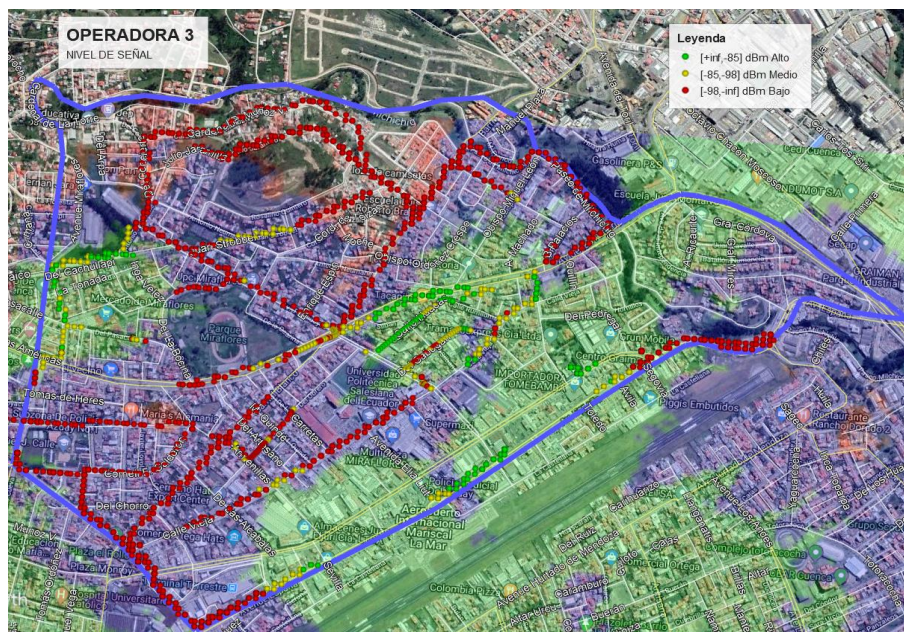


Figura 3.37 Mapa de cobertura Operadora 3 normativa SAMP
Fuente: Los Autores

3.2.3 RSRQ

Para definir el valor de RSRQ se tomó la Tabla 3.6, como criterios de calidad y dando a comparación del valor RSRQ como identificador de en donde se encuentra el sistema de análisis de calidad durante la adquisición de datos.

Tabla 3.6 Calidad RSRQ

CALIDAD	RSRQ (dB)
Alto	[+inf, -11]
Medio	[-11, -15]
Bajo	[-15, -inf]

Los valores RSRQ nos indica de cómo está ubicado nuestro sistema dentro de una celda, cerca de la estación base es buena calidad, cuando nos alejamos pasa a la calidad media de la señal y al estar en el borde de la celda la calidad es baja por los valores de -20dB.

3.2.3.1 Operadora 1

Para el análisis del parámetro RSRQ se presenta en la Figura 3.38, demostrando que existen zonas sin cobertura donde los valores de RSRQ bajan como si se ubicaran en el borde de la celda y zonas donde se puede estar cerca de la estación LTE de la operadora 1 y los valores en mayoría se muestran cerca del borde de las celdas.

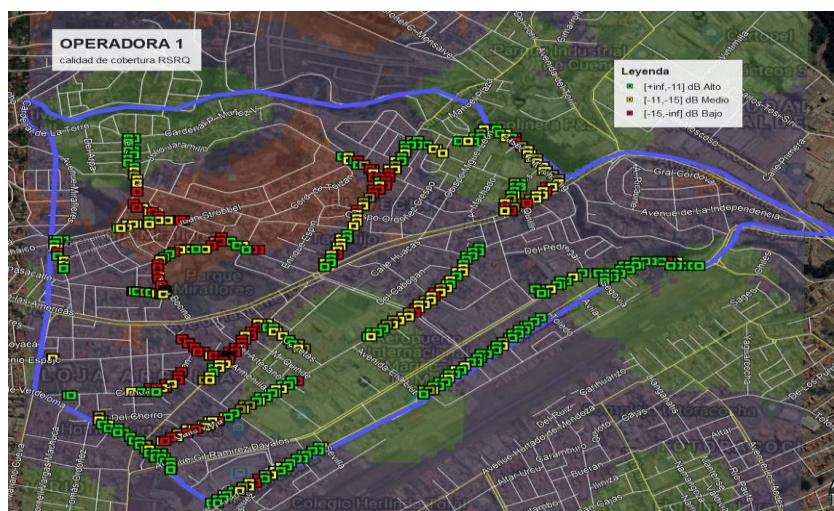


Figura 3.38 RSRQ operadora 1.
Fuente: Los Autores

3.2.3.2 Operadora 2

Para el análisis del parámetro RSRQ se presenta en la Figura 3.39, analizando que existen zonas sin cobertura donde no se tienen muestras en la ruta y zonas donde se puede estar cerca de la estación LTE de la operadora 2 y los valores en mayoría se muestran cerca del borde de las celdas.

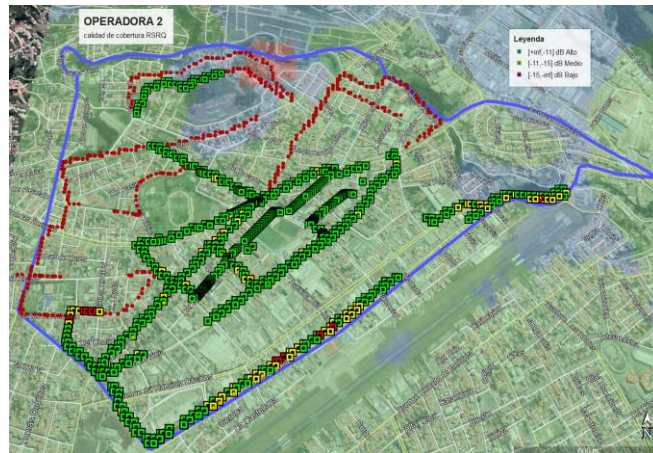


Figura 3.39 RSRQ operadora 2.

Fuente: Los Autores

3.2.3.3 Operadora 3

La operadora 3 tiene un enlace constante a las celdas en las zonas de cobertura buena y en los extremos tiende a cambiar de celda por los cambios en su nivel de señal, como se puede apreciar en la Figura 3.40 que el valor de RSRQ si corresponde al mapa de cobertura.

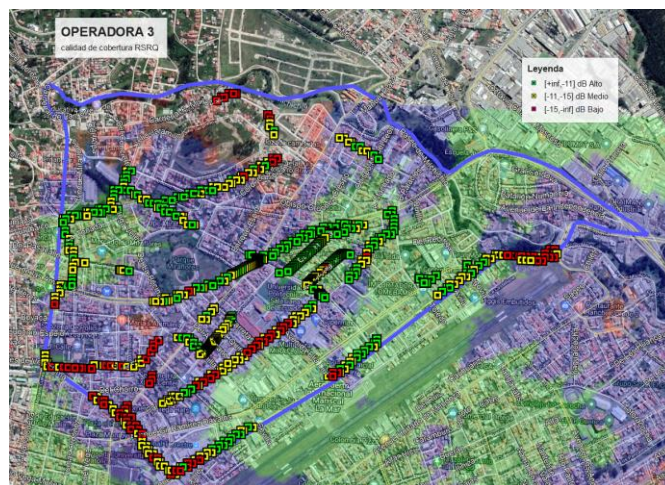


Figura 3.40 RSRQ operadora 3.

Fuente: Los Autores

3.2.4 SINR

El valor de SINR está relacionado con la potencia recibida y la suma de potencia de interferencia con él ruido, nos indica dos características importantes como el estado del canal y la calidad del enlace.

Por medio del valor RSRP se ha definido los valores donde el SINR tiene importancia en el cambio de celda como se muestra en la Tabla 3.7 y también donde surgen problemas en la comunicación por interferencias y ruido.

Tabla 3.7 valores de cobertura SINR.

Cobertura	SINR (dB)
Alta	Mayor a 1dB
Baja	Menor a 1dB

3.2.4.1 Operadora 1

En el caso de la operadora 1 los valores de SINR en la zona de análisis son muy bajos lo que nos da como respuesta que tiene interferencia y ruido mayor a la potencia transmitida como se observa en la Figura 3.41.

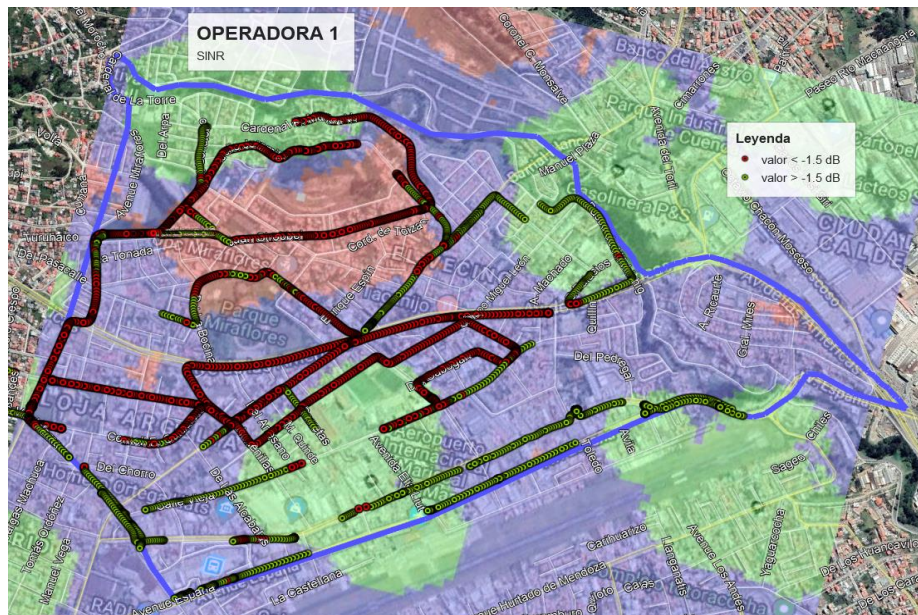


Figura 3.41 SINR operadora 1.
Fuente: Los Autores

Como resultado de un análisis del parámetro SINR con CDF se localiza en la operadora 1 en un 60,61% que la señal de la operadora tiene buena cobertura y su interferencia y ruido son aceptables para la comunicación como se observa en la Figura 3.42, mientras que en el resto de la señal se obtiene un nivel bajo de SINR menor a 1dB que no beneficia en la cobertura y cambiaria de celda.

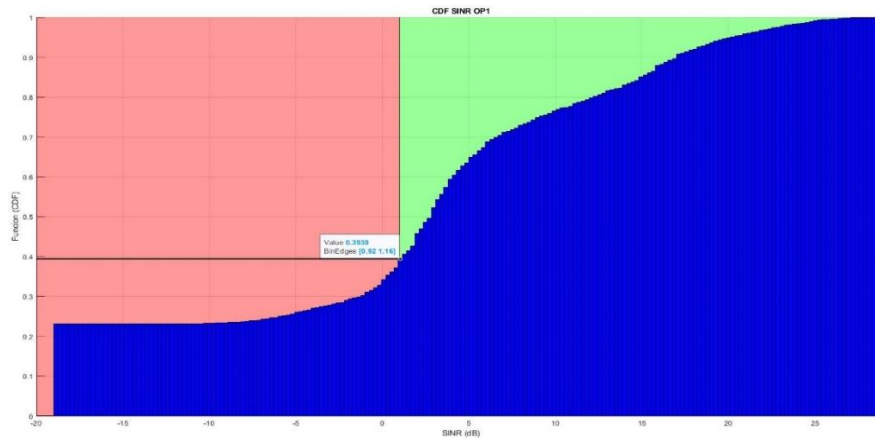


Figura 3.42 CDF de la SINR de la operadora 1.
Fuente: Los Autores

3.2.4.2 Operadora 2

En la operadora 2 en la parte de ubicación y medición de datos como se analiza en la Figura 3.43, se ve que en las zonas donde hay cobertura se tienen valores de SINR muy bajos donde la señal no tendría valores aceptables de señal por interferencias y ruido.

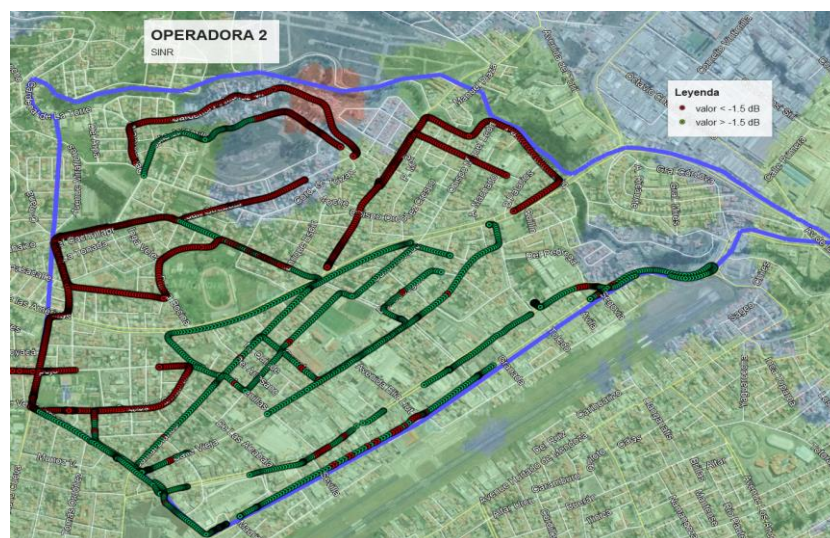


Figura 3.43 SINR operadora 2.
Fuente: Los Autores

En el análisis por medio de una gráfica CDF del SINR observado en la Figura 3.44, se localizó que el 29.07% del valor de las señales tienen un nivel bajo a 1 dB, que indica una SINR muy baja donde se recomienda un cambio a una celda de mejor SINR o cobertura y la parte de mejor señal 70.93% de los valores tienen una buena señal de SINR válido para el uso de LTE.

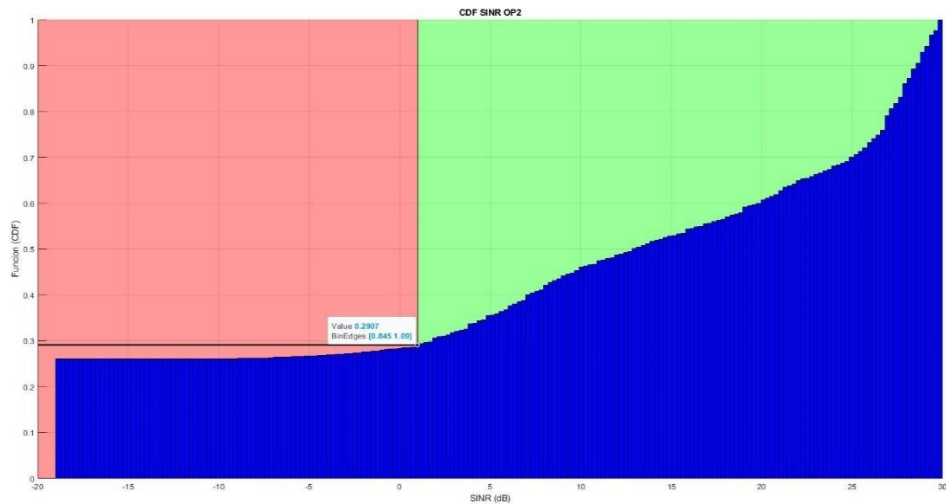


Figura 3.44 CDF de la SINR de la operadora 2.
Fuente: Los Autores

3.2.4.3 Operadora 3

Con el caso de la operadora 3 en los valores de SINR se obtienen señales de baja señal que no se recomendaría tener en una zona de cobertura observado en la Figura 3.45

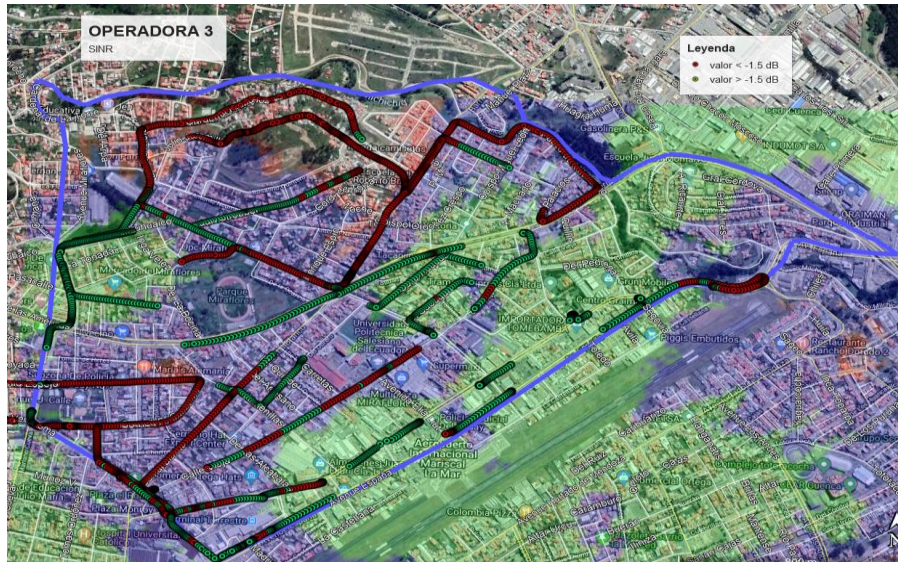


Figura 3.45 SINR operadora 2.
Fuente: Los Autores

Para un análisis profundo en CDF se observa que en esta operadora se tiene la mayoría de las señales en valores menores a 1 dB del 70.83% exactamente de todas las muestras y en la parte más cercana al aeropuerto 29.17% indicando que esta operadora no puede ser utilizada para operaciones con LTE.

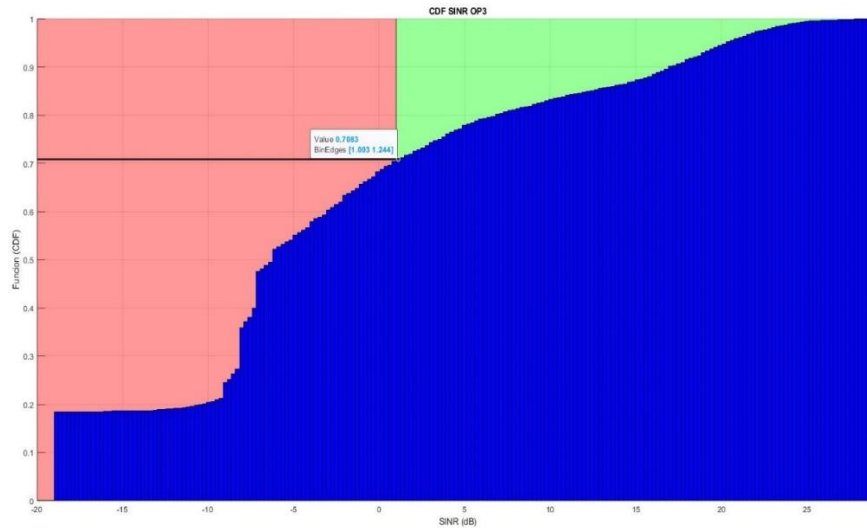


Figura 3.46 CDF de la SINR de la operadora 3.
Fuente: Los Autores

3.2.5 Análisis De Operadoras

En la parroquia El Vecino la operadora 1 tiene valores de nivel de señal bajo en RSRP y RSRQ tiende a tener muchos intercambios perdiendo la conexión con la

red LTE, la operadora 2 tiene una cobertura de buena calidad con datos muy pequeños de señal baja cercana a los -110 dBm y las más altas en -55 dBm, en el valor RSRQ nos damos cuenta que no sufre cambios en extremos de la celda lo cual hace una comunicación con buena señal por la ubicación de las estaciones LTE, y unas pérdidas en la parte norte de la parroquia donde los datos se desprecian para un mejor análisis y para la operadora 3 no se recomienda para usos LTE por sus niveles muy bajos de señal RSRP y varias pérdidas de conexión con la red LTE por el cambio de celdas que existen con el parámetro RSRQ y reconexiones en otras tecnologías.

En el caso del valor de SINR la operadora 1 tiene un porcentaje nivel útil del 60.61% que podría ser aceptable para los datos de la parroquia, mientras la operadora 2 tiene un factor aún más alto que definiría que su análisis en la parroquia El Vecino tiene buena cobertura y pocas pérdidas por el norte de la parroquia, en porcentaje útil del 70.93% y en la operadora 3 se define que el porcentaje útil es del 29.17% para esta parroquia donde se debería buscar opciones de mejoras para su cobertura.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto se enfocó en desarrollar un sistema de análisis de calidad del servicio móvil avanzado que recauda muestras en recorrido para identificar los parámetros de calidad en red LTE y puede ser ocupado para las demás tecnologías. En los usos podría ser analizado gráficamente donde se decide de manera factible en que zonas existen perdidas o problemas de conexión.

Por medio de estos resultados analizados por medio de algoritmos y aplicaciones extras para procesar los porcentajes de factibilidad de cada operadora, se puede justificar que los objetivos fueron realizados y concluidos con éxito y procediendo a las siguientes conclusiones.

4.1 CONCLUSIONES

La programación implementada en Qt Creator cumple con el objetivo principal de implementación del sistema de calidad ya que se puede establecer parámetros deseados a buscar encontrando en este caso los parámetros de la tecnología LTE, que son las bases importantes para analizar la calidad y nivel de señal que ofrece cada operadora y se adaptaría el sistema V2I a una de estas estaciones LTE.

La visualización de recorrido e identificación de niveles nos indican que la parroquia El Vecino tiene problemas en su parte geográfica ya que su elevación es variante como al norte de esta tiene zonas donde la cobertura se pierde por estos motivos, no existe una línea de vista buena para las estaciones base en tecnología LTE.

La base de datos fue manejada en Excel ya que nos permite filtrar mejor los datos despreciando valores que no son necesarios para el análisis dándonos un error de adquisición entre los dos sistemas utilizados durante la ruta.

El software de Matlab nos dio un análisis detallado de las medidas donde existen los puntos de interés en el caso de porcentajes y graficas con gran cantidad de muestras, ayudando hacer el trabajo más rápido con buenas definiciones de los datos.

Con el análisis de las operadoras involucradas la parroquia El Vecino mediante el sistema de análisis de calidad implementado se pudo dar a conocer que no se tiene buena cobertura LTE de la operadora 1 y 3, ya que la operadora 2 si contiene más nivel de señal. El uso del GPS nos permite ubicar cada una de las mediciones de señal de manera correcta cumpliendo con el objetivo de localización de cada muestra adquirida.

Se puede afirmar que la cobertura que ofrece la operadora 1 es buena pero no recomendable utilizar para la tecnología LTE por la distribución de su nivel de señal, en la operadora 2 se puede utilizar tiene una cobertura buena en esta parroquia está distribuida de manera en recuperar la conexión en cualquier corte o tramo perdido y la operadora 3 no se recomienda en el caso de la tecnología LTE ya que en la parroquia no tiene cobertura buena para poder sustentar este tipos de enlaces a la red 4G. Se han analizado 4000 puntos de medida y de ellos se filtraron datos en cada operadora para evitar tener problemas en el procesamiento con errores, en la operadora 1 el 40.49% son inferiores a -97dBm, en la operadora 2 el 65.32% son señales por encima del nivel de señal medio que contrasta como buena y la operadora 3 tiene el 34.88% que no se recomienda utilizar con esta operadora.

Obteniendo un histograma de las medidas tenemos que 2385 muestras (31.38%) tienen un valor por debajo de -97dBm. Por encima son más numerosos. que los que se han medido con una intensidad de señal baja o muy baja, en concreto 5215 muestras (68.61%).

4.2 RECOMENDACIONES

Al culminar el proyecto se buscan diferentes avances ya que este tomaría un punto muy importante para futuros análisis con el nivel de señal de las operadoras y determinar zonas con poca cobertura para solventar el problema:

- Al sistema de análisis de calidad se le puede implementar una base de datos por un servidor en línea, esto sería posible ya que esta enlazado a la red y podría tener su ubicación desde la propia oficina y administrar los datos en tiempo real.
- En base a las zonas de cobertura se puede analizar con las estaciones base de la misma operadora para encontrar una solución a las pérdidas de señal.
- Cambiar el algoritmo por un sistema más abierto analizar diferentes tecnologías y obtener graficas ya de análisis propio del programa evitando hacer más procesamiento de datos.
- Realizar simulaciones de las estaciones base para identificar distintos puntos de interferencia entre las mismas y poder localizar eventos en los puntos adquiridos por el sistema.
- Reemplazar el dispositivo SIM7100 por otro que maneje más detalles de tecnologías para enfocarse más a diseñar un sistema más rápido y eficaz para las medidas de todos los parámetros.
- Se puede utilizar los valores de RSRQ y SINR para ubicar estaciones base por medio de simulaciones y ver cómo mejorar la calidad de cobertura para las distintas operadoras.
- Para mejorar el nivel de cobertura junto con los parámetros de calidad se propone poner repetidores de señal LTE y de Wifi-Direct. Que se basa en la ubicación de un terminal configurándolo para que pueda adquirir usuarios y tener una mejor cobertura en zonas con variaciones geográficas no recomendables para los enlaces.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Reglamento Del Servicio Movil Avanzado,» Consejo Nacional de Telecomunicaciones - CONATEL, 08 Abril 2009. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/11/Reglamento-del-Servicio-Movil-Avanzado.pdf>.
- [2] ArcGIS, «www.resources.arcgis.com,» [En línea]. Available: <http://resources.arcgis.com/es/help/gettingstarted/articles/026n0000000s000000.htm>.
- [3] M. G. y. J. Gorricho, Comunicaciones Móviles, Barcelona, 2002.
- [4] J. H. Moya, Comunicaciones Moviles. Sistemas UMTS, GSM y LTE, Madrid, 2012.
- [5] A. R. MISHRA, Cellular Network Planning and Optimasation 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G, 2004.
- [6] L. Korowajczuk, LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis, 2011.
- [7] H. H. a. A. Toskala, LTE for UMTS. Evolution to LTE-Advanced, 2011.
- [8] J. S. a. S. P. E. Dahlman, 4G LTE / LTE-Advanced for mobile Broadband, United Kingdom, 2011.
- [9] «3GPP,» [En línea]. Available: www.3gpp.org.

- [10] 3GPP, «3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)».
- [11] «LTE PDSCH channel-Physical Downlink Shared Channel,» [En línea]. Available: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LTE-PDSCH-Physical-Downlink-Shared-Channel.html>.
- [12] M. Rumney, LTE and the Evolution to 4G Wireless, Design and Measurement Challenges, 2013.
- [13] J. S. Seybold, Introduction to RF Propagation, 2005.
- [14] K. G. Ralf Kreher, LTE SIGNALING Troubleshooting and Performance Measurement, 2016.
- [15] A. Yahya, LTE-A Cellular Networks Multi-hop Relay for Coverage, Capacity and Performance Enhancement, 2017.
- [16] C. Cox, An Introduction to LTE, LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications, 2014.
- [17] S. P. J. S. Erik Dahlman, 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, 2014.
- [18] J. L. J. S. Kisoong SUNG, «Study of CAN-to-3GPP LTE gateway architecture for automotive safety in V2I environment,» *IEEE*, 2015.
- [19] M. A. B.-A. F. Z. Jose A. del Peral-Rosado, «Performance Limits of V2I Ranging Localization,» *IEEE*, 2017.
- [20] R. M. Jose Angel Leon Calvo, «An Optimal LTE-V2I-Based Cooperative Communication Scheme for Vehicular Networks,» *IEEE*, 2018.
- [21] SIMCom, «SIM7100-PCIE_Hardware Design_V1.05,» SIMCom, 2017. [En línea]. Available: http://mt-system.ru/sites/default/files/documents/sim7100-pcie_hardware_design_v1.05.pdf.

- [22] ARCOTEL, «RESOLUCION ARCOTEL-2017-363N NORMA DE CALIDAD PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO,» 2017.
- [23] Z. Y. H. X. M. C. a. B. C. Jianfeng Shi, «Dynamic Resource Allocation for LTE-Based Vehicle-to-Infrastructure Networks,» IEEE, 2019.
- [24] A. Z. M. Z. Marco Giordani, «LTE and Millimeter Waves for V2I Communications: an End-to-End Performance Comparison,» IEEE, 2019.
- [25] J. H. Y. S. a. L. Z. Shanzhi Chen, «LTE-V: A TD-LTE-Based V2X Solution for Future Vehicular Network,» IEEE, 2016.
- [26] «Agencia de Regulacion y Control de las Telecomunicaciones,» ARCOTEL, [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/resoluciones-directorio/>.
- [27] «Agencia de Regulacion y Control de las Telecomunicaciones,» ARCOTEL, [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/la-arcotel/>.
- [28] «Agencia de Regulacion y Control de las Telecomunicaciones,» ARCOTEL, [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>.

APÉNDICES

APÉNDICE A: CÓDIGO DE MATLAB PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS

```
clear all
close all
clc
load('matlab.mat');

%OP1
%COBERTURA SMMM
Ys=RSRPCSAM;
BuenaCSAM=numel(Ys(Ys>=-85));
RegularCSAM=numel(Ys(Ys>=-98 & Ys<-85));
MalaCSAM=numel(Ys(Ys<-98));
%COBERTURA D
Y=RSRPC;
BuenaC=numel(Y(Y>=-85));
RegularC=numel(Y(Y>=-98 & Y<-85));
MalaC=numel(Y(Y<-98));

%OP2
%COBERTURA SMMM
Xs=RSRPCNTSAM;
BuenaCNTSAM=numel(Xs(Xs>=-85));
RegularCNTSAM=numel(Xs(Xs>=-98 & Xs<-85));
MalaCNTSAM=numel(Xs(Xs<-98));
%COBERTURA D
X=RSRPCNT;
BuenaCNT=numel(X(X>=-85));
RegularCNT=numel(X(X>=-98 & X<-85));
MalaCNT=numel(X(X<-98));

%OP3
%COBERTURA SMMM
Zs=RSRPMSAM;
BuenaMSAM=numel(Zs(Zs>=-85));
RegularMSAM=numel(Zs(Zs>=-98 & Zs<-85));
```

```

MalaMSAM=numel (Zs (Zs<-98));
%COBERTURA D
Z=RSRPM;
BuenaM=numel (Z (Z>=-85));
RegularM=numel (Z (Z>=-98 & Z<-85));
MalaM=numel (Z (Z<-98));

%% BARRAS %%
%OP1
%SAMM
figure(1)
subplot(2,2,1)
Calidad={'[-inf,-98]dBm Bajo', '[-98,-85]dBm Medio', '[-85,+inf]dBm
Alto'};
Datos=[MalaCSAM,RegularCSAM,BuenaCSAM];
h=bar(Datos,1);
h.FaceColor = 'flat';
h.CData(1,:) = [1 0 0];
h.CData(2,:) = [1 1 0];
h.CData(3,:) = [0 1 0];
set(gca, 'XTickLabel',Calidad);
grid on
title('COBERTURA RSRP OPERADORA 1 SAMM')

subplot(2,2,3)
rectangle('Position',[-85 0 80 200], 'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200], 'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200], 'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
histogram(Ys,100, 'FaceAlpha',1, 'FaceColor', 'b')
axis([-135 -60 0 45])
title('HISTOGRAMA OPERADORA 1 SAMM')
xlabel('RSRP (dBm) ')
ylabel('Cantidad de Muestras')

%D
subplot(2,2,2)
Calidad={'[-inf,-98]dBm Bajo', '[-98,-85]dBm Medio', '[-85,+inf]dBm
Alto'};
Datos=[MalaC,RegularC,BuenaC];
h=bar(Datos,1);
h.FaceColor = 'flat';
h.CData(1,:) = [1 0 0];
h.CData(2,:) = [1 1 0];
h.CData(3,:) = [0 1 0];
set(gca, 'XTickLabel',Calidad);
grid on
title('COBERTURA RSRP OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')
subplot(2,2,4)
rectangle('Position',[-85 0 80 200], 'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200], 'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle

```

```

rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
histogram(Y,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b')
axis([-125 -55 0 55])
title('HISTOGRAMA OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Cantidad de Muestras')

%OP 2
figure(2)
subplot(2,2,1)
Calidad={'[-inf,-98]dBm Bajo','[-98,-85]dBm Medio','[-85,+inf]dBm
Alto'};
Datos=[MalaCNTSAM,RegularCNTSAM,BuenaCNTSAM];
h=bar(Datos,1);
h.FaceColor = 'flat';
h.CData(1,:) = [1 0 0];
h.CData(2,:) = [1 1 0];
h.CData(3,:) = [0 1 0];
set(gca,'XTickLabel',Calidad);
grid on
title('COBERTURA RSRP OPERADORA 2 SAMP')

subplot(2,2,3)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
histogram(Xs,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b')
axis([-115 -50 0 95])
title('HISTOGRAMA OPERADORA 2 SAMP')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Cantidad de Muestras')
%D
subplot(2,2,2)
Calidad={'[-inf,-98]dBm Bajo','[-98,-85]dBm Medio','[-85,+inf]dBm
Alto'};
Datos=[MalaCNT,RegularCNT,BuenaCNT];
h=bar(Datos,1);
h.FaceColor = 'flat';
h.CData(1,:) = [1 0 0];
h.CData(2,:) = [1 1 0];
h.CData(3,:) = [0 1 0];
set(gca,'XTickLabel',Calidad);
grid on
title('COBERTURA RSRP OPERADORA 2 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(2,2,4)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle

```

```

histogram(X,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b')
axis([-115 -45 0 50])
title('HISTOGRAMA OPERADORA 2 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Cantidad de Muestras')

%OP3
figure(3)
subplot(2,2,1)
Calidad={'[-inf,-98]dBm Bajo','[-98,-85]dBm Medio','[-85,+inf]dBm
Alto'};
Datos=[MalaMSAM,RegularMSAM,BuenaMSAM];
h=bar(Datos,1);
h.FaceColor = 'flat';
h.CData(1,:) = [1 0 0];
h.CData(2,:) = [1 1 0];
h.CData(3,:) = [0 1 0];
set(gca,'XTickLabel',Calidad);
grid on
title('COBERTURA RSRP OPERADORA 3 SMM')

subplot(2,2,3)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
histogram(Zs,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b')
axis([-140 -65 0 50])
title('HISTOGRAMA OPERADORA 3 SMM')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Cantidad de Muestras')
%D
subplot(2,2,2)
Calidad={'[-inf,-98]dBm Bajo','[-98,-85]dBm Medio','[-85,+inf]dBm
Alto'};
Datos=[MalaM,RegularM,BuenaM];
h=bar(Datos,1);
h.FaceColor = 'flat';
h.CData(1,:) = [1 0 0];
h.CData(2,:) = [1 1 0];
h.CData(3,:) = [0 1 0];
set(gca,'XTickLabel',Calidad);
grid on
title('COBERTURA RSRP OPERADORA 3 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(2,2,4)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle

```

```

histogram(Z,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b')
axis([-140 -65 0 65])
title('HISTOGRAMA OPERADORA 3 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Cantidad de Muestras')

%% CDF FUNCIONES DE DISTRIBUCION COMULATIVA
%OP1
%SAMM
figure(4)
subplot(1,2,1)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
line([-140 0],[0.4049 0.4049],'LineWidth',2,'Color','k')
line([-140 0],[0.7972 0.7972],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(Ys,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization','cdf'
);
axis([-134 -64.1 0 1])
title('CDF RSRP OP1 SAMM')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Funcion (CDF)')
%D
subplot(1,2,2)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
line([-140 0],[0.3886 0.3886],'LineWidth',2,'Color','k')
line([-140 0],[0.7816 0.7816],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(Y,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization','cdf')
;
axis([-125 -57.4 0 1])
title('CDF RSRP OP1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Funcion (CDF)')

%OP2
%SAMM
figure(5)
subplot(1,2,1)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle

```

```

line([-140 0],[0.3468 0.3468],'LineWidth',2,'Color','k')
line([-140 0],[0.6557 0.6557],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(Xs,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization','cdf'
);
axis([-115 -54 0 1])
title('CDF RSRP OP2 SAMM')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Funcion (CDF)')

%D
subplot(1,2,2)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
line([-140 0],[0.3211 0.3211],'LineWidth',2,'Color','k')
line([-140 0],[0.6095 0.6095],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(X,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization','cdf')
;
axis([-115 -54 0 1])
title('CDF RSRP OP2 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Funcion (CDF)')

%OP3
%SAMM
figure(6)
subplot(1,2,1)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
line([-140 0],[0.6512 0.6512],'LineWidth',2,'Color','k')
line([-140 0],[0.8513 0.8513],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(Zs,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization','cdf'
);
axis([-137 -67.5 0 1])
title('CDF RSRP OP3 SAMM')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Funcion (CDF)')
%D
subplot(1,2,2)
rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 13 200],'FaceColor',[1 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
rectangle('Position',[-140 0 42 200],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); %
Plots the rectangle
line([-140 0],[0.6526 0.6526],'LineWidth',2,'Color','k')
line([-140 0],[0.8513 0.8513],'LineWidth',2,'Color','k')

```



```

histogram(Z,100,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization','cdf')
;
axis([-138 -65.9 0 1])
title('CDF RSRP OP3 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')
xlabel('RSRP (dBm)')
ylabel('Funcion (CDF)')

%% GRAFICAS PRINCIPALES
%OP1
figure(7)
subplot(3,2,1)
plot(Ys)
hold on
grid on
line([0 1346],[-85 -85],'LineWidth',2,'Color','k')
line([0 1346],[-98 -98],'LineWidth',2,'Color','k')
legend('RSRP','-85dBm','-98dBm')
axis([0 1346 -135 -50])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 1 SAMM')

subplot(3,2,2)
plot(Y)
hold on
grid on
line([0 1346],[-85 -85],'LineWidth',2,'Color','k')
line([0 1346],[-98 -98],'LineWidth',2,'Color','k')
legend('RSRP','-85dBm','-98dBm')
axis([0 1346 -135 -50])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(3,2,3)
plot(RSRQCSAM)
hold on
grid on
legend('RSRQ')
axis([0 1346 -25 0])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')
title('RSRQ OPERADORA 1 SAMM')

subplot(3,2,4)
plot(RSRQC)
hold on
grid on
legend('RSRQ')
axis([0 1346 -25 0])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')
title('RSRQ OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(3,2,5)
plot(RSSICSAM)
hold on

```

```

grid on
legend('RSSI')
axis([0 1346 -95 -20])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSSI (dBm)')
title('RSSI OPERADORA 1 SAMM')

subplot(3,2,6)
plot(RSSIC)
hold on
grid on
legend('RSSI')
axis([0 1346 -95 -20])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSSI (dBm)')
title('RSSI OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

%OP2
figure(8)
subplot(3,2,1)
plot(Xs)
hold on
grid on
line([0 1557],[-85 -85], 'LineWidth',2, 'Color', 'k')
line([0 1557],[-98 -98], 'LineWidth',2, 'Color', 'k')
legend('RSRP', '-85dBm', '-98dBm')
axis([0 1557 -120 -40])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 2 SAMM')

subplot(3,2,2)
plot(X)
hold on
grid on
line([0 1557],[-85 -85], 'LineWidth',2, 'Color', 'k')
line([0 1557],[-98 -98], 'LineWidth',2, 'Color', 'k')
legend('RSRP', '-85dBm', '-98dBm')
axis([0 1557 -120 -40])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 2 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(3,2,3)
plot(RSRQCNTSAM)
hold on
grid on
legend('RSRQ')
axis([0 1557 -20 0])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')
title('RSRQ OPERADORA 2 SAMM')

subplot(3,2,4)
plot(RSRQCNT)
hold on
grid on

```

```

legend('RSRQ')
axis([0 1557 -20 0])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')
title('RSRQ OPERADORA 2 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(3,2,5)
plot(RSSICNTSAM)
hold on
grid on
legend('RSSI')
axis([0 1557 -85 -25])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSSI (dBm)')
title('RSSI OPERADORA 2 SAMM')

subplot(3,2,6)
plot(RSSICNT)
hold on
grid on
legend('RSSI')
axis([0 1557 -85 -25])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSSI (dBm)')
title('RSSI OPERADORA 2 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

%OP3
figure(9)
subplot(3,2,1)
plot(Zs)
hold on
grid on
line([0 1418],[-85 -85],'LineWidth',2,'Color','k')
line([0 1418],[-98 -98],'LineWidth',2,'Color','k')
legend('RSRP','-85dBm','-98dBm')
axis([0 1418 -140 -60])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 3 SAMM')

subplot(3,2,2)
plot(Z)
hold on
grid on
line([0 1418],[-85 -85],'LineWidth',2,'Color','k')
line([0 1418],[-98 -98],'LineWidth',2,'Color','k')
legend('RSRP','-85dBm','-98dBm')
axis([0 1418 -140 -60])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 3 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(3,2,3)
plot(RSRQMSAM)
hold on
grid on
legend('RSRQ')
axis([0 1418 -25 -5])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')

```

```

title('RSRQ OPERADORA 3 SAMM')

subplot(3,2,4)
plot(RSRQM)
hold on
grid on
legend('RSRQ')
axis([0 1418 -25 0])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')
title('RSRQ OPERADORA 3 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

subplot(3,2,5)
plot(RSSIMSAM)
hold on
grid on
legend('RSSI')
axis([0 1418 -95 -35])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSSI (dBm)')
title('RSSI OPERADORA 3 SAMM')

subplot(3,2,6)
plot(RSSIM)
hold on
grid on
legend('RSSI')
axis([0 1418 -95 -35])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSSI (dBm)')
title('RSSI OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

%% RSRQ
figure(10)
subplot(2,2,1)
plot(Ys)
hold on
grid on
axis([0 1346 -135 -55])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 1 SAMM')

subplot(2,2,3)
plot(RSRQCSAM)
hold on
grid on
axis([0 1346 -25 0])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')
title('RSRQ OPERADORA 1 SAMM')

subplot(2,2,2)
plot(Y)
hold on
grid on
axis([0 1346 -135 -55])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRP (dBm)')
title('RSRP OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

```

```

subplot(2,2,4)
plot(RSRQC)
hold on
grid on
axis([0 1346 -25 0])
xlabel('Muestras')
ylabel('RSRQ (dB)')
title('RSRQ OPERADORA 1 SISTEMA DE ANALISIS DE CALIDAD')

%% SINR
figure(11)
% subplot(1,2,1)
% rectangle('Position',[-85 0 80 200],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); %
Plots the rectangle
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 99 2],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); % Plots
the rectangle
rectangle('Position',[1 0 40 2],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); % Plots
the rectangle
line([-140 40],[0.3939 0.3939],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(CLAROSINR,200,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization',
'cdf');
axis([-20 29.1 0 1])
title('CDF SINR OP1')
xlabel('SINR (dB)')
ylabel('Funcion (CDF)')

figure(12)
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 99 2],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); % Plots
the rectangle
rectangle('Position',[1 0 40 2],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); % Plots
the rectangle
line([-140 40],[0.2907 0.2907],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(SINROP2,200,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization',
'cdf');
axis([-20 30 0 1])
title('CDF SINR OP2')
xlabel('SINR (dB)')
ylabel('Funcion (CDF)')

figure(13)
hold on
grid on
rectangle('Position',[-98 0 99 2],'FaceColor',[1 0 0 0.4]); % Plots
the rectangle
rectangle('Position',[1 0 40 2],'FaceColor',[0 1 0 0.4]); % Plots
the rectangle
line([-140 40],[0.7083 0.7083],'LineWidth',2,'Color','k')
histogram(SINROP3,200,'FaceAlpha',1,'FaceColor','b','Normalization',
'cdf');
axis([-20 29.2 0 1])
title('CDF SINR OP3')
xlabel('SINR (dB)')
ylabel('Funcion (CDF)')

```

APÉNDICE B: ADQUISICIONES DEL SISTEMA DE ANÁLISIS DE CALIDAD

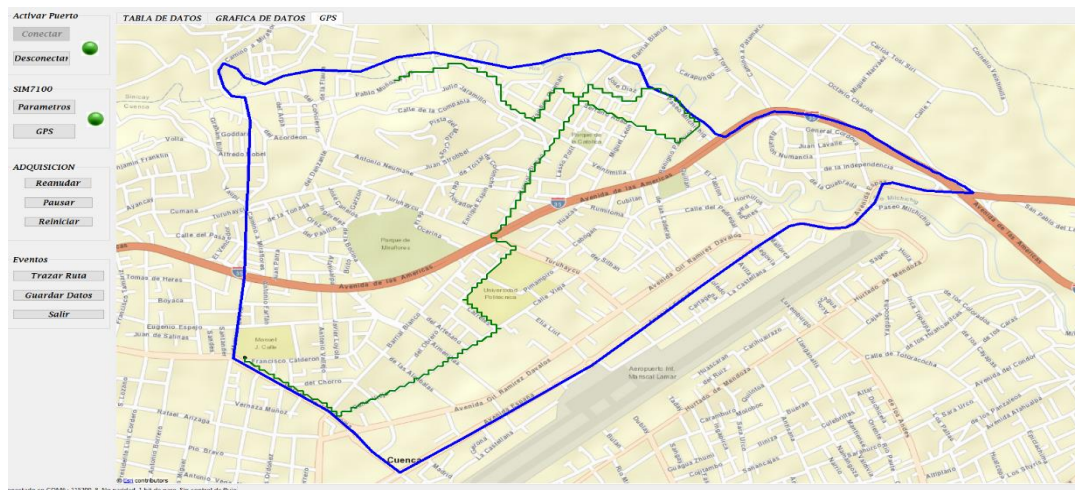


Figura B.1 Mapa recorrido tramo 1

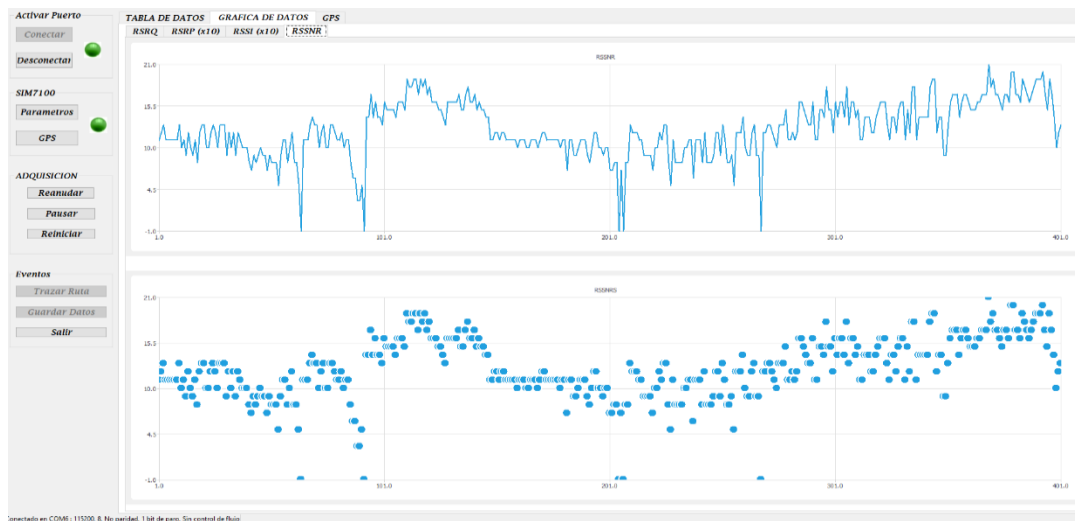


Figura B.2 Datos RSSNR del tramo 1

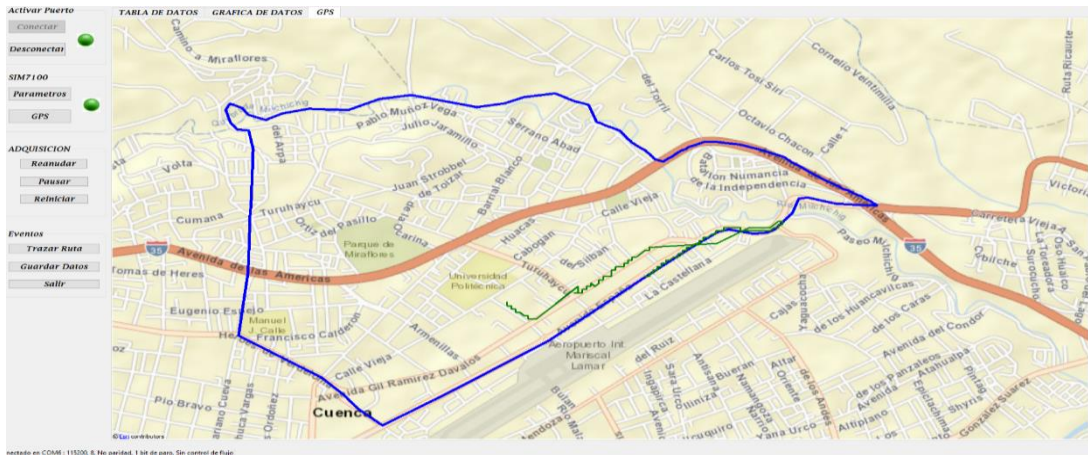


Figura B.3 Mapa del recorrido tramo 2

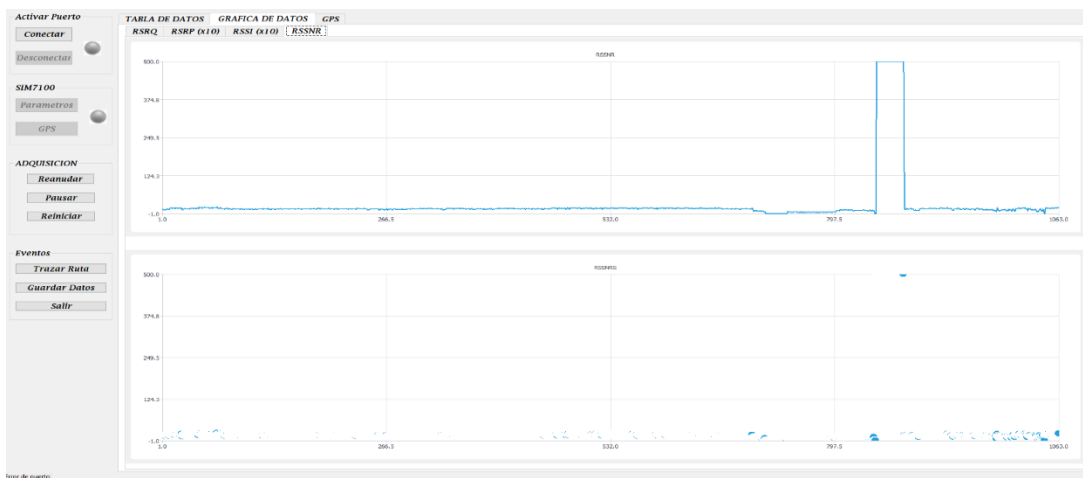


Figura B.4 Dato RSSNR del tramo 2

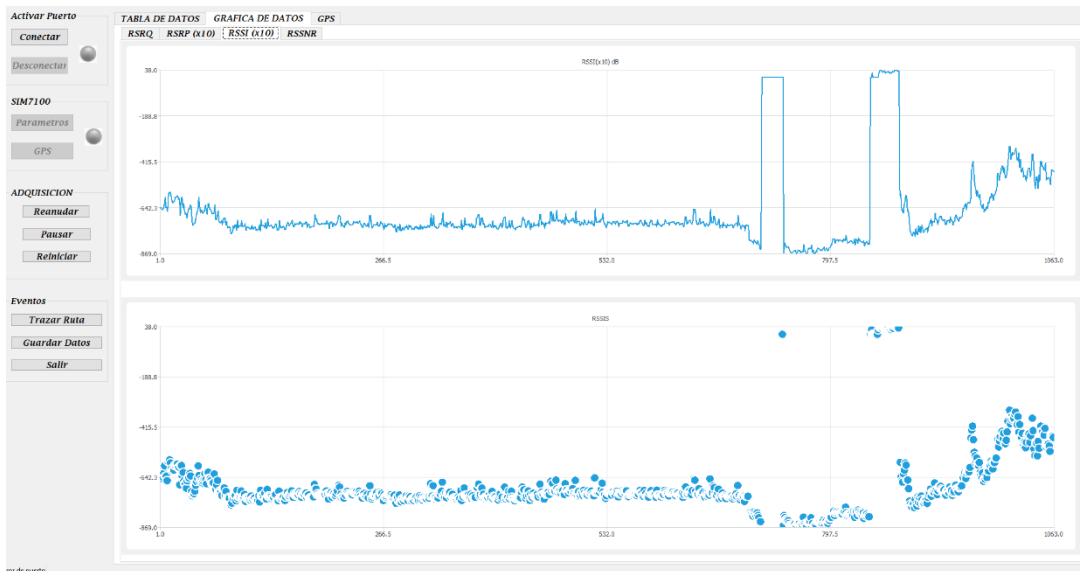


Figura B.5 Dato RSSI de los dos tramos

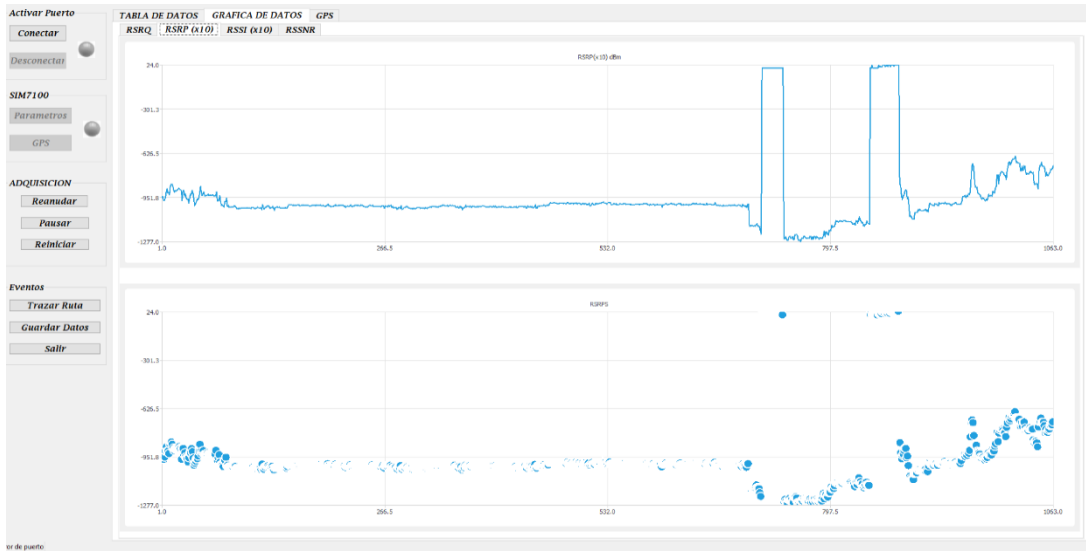


Figura B.6 Dato RSRP de los dos tramos