

# **Diseño de una aplicación Android para monitorear los indicadores de calidad de la señal de una red 4G-LTE.**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

Autor  
**María Camila Díaz Vega**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
Facultad Tecnológica  
Ingeniería en Telecomunicaciones**

Bogotá D.C. octubre 2021

# **Diseño de una aplicación Android para monitorear los indicadores de calidad de la señal de una red 4G-LTE.**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

Autor

**María Camila Díaz Vega**

**20191373028**

**mc Diazv@correo.udistrital.edu.co**

Modalidad

**Monografía**

**Presentado para optar al título de:  
Ingeniera en Telecomunicaciones**

Director

**Ing. Ernesto Cadena Muñoz. PhD.**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

**Facultad Tecnológica**

**Ingeniería en Telecomunicaciones**

**Bogotá D.C. Octubre, 2021**

## **Dedicatoria**

*Dedico con todo mi corazón mi tesis primeramente a Dios y después a mi madre Cristina Vega Ballesteros, pues sin su apoyo, comprensión, paciencia y protección nunca lo hubiera logrado.*

*A mis padres Juan Manuel Díaz, Henry Salazar y a mi abuela Mery Ballesteros que siempre me apoyaron con este sueño de ser Ingeniera.*

*A John Fredy González quien fue mi compañero, mano derecha y motivación durante este proceso.*

*Y por último a cada uno de mis profesores, compañeros, amigos y demás que hicieron parte importante de mi formación.*

## Índice

Dedicatoria .....	i
Índice.....	ii
Índice de figuras .....	vi
Índice de tablas .....	viii
Índice de anexos .....	ix
Glosario .....	x
Lista de Abreviaturas y Siglas.....	xi
Resumen .....	xiii
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema .....	2
3. Justificación .....	3
4. Objetivos.....	4
4.1. Objetivo General .....	4
4.2. Objetivos específicos .....	4
5. Marco de referencia.....	5
5.1. Antecedentes .....	5
5.2. Marco teórico.....	8
5.2.1. LTE.....	8
5.2.1.1. Introducción.....	8
5.2.1.2. Gestión de Recursos Radio y del Espectro Radioeléctrico. ....	9
5.2.1.3. Gestión de la movilidad .....	9
5.2.1.3.1. Reference Signal Received Power (RSRP): .....	9
5.2.1.3.2. Reference Signal Received Quality (RSRQ):.....	9
5.2.1.3.3. Channel Quality Indicator (CQI): .....	9
5.2.1.3.4. RSSI (Received Signal Strength Indicator):.....	9
5.2.1.3.5. RS-SINR (Reference signal-signal to noise and interference ratio): .....	10
5.2.1.3.6. Timing Advanced:.....	10
5.2.1.3.7. CELL ID:.....	10
5.2.1.3.8. EARFCN (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number): .....	10
5.2.1.3.9. MCC y MNC: .....	10
5.2.1.3.10. PCI:.....	10
5.2.1.3.11. TAC:.....	11
5.2.1.3.12. Latitud: .....	11
5.2.1.3.13. Longitud: .....	11
5.2.2 Aplicaciones Móviles. ....	11

5.2.2.1. Sistema operativo Android.....	12
5.2.2.2 Android Studio. ....	12
5.2.2.2.1. Librerías en Android Studio: .....	13
5.2.2.2.1.1. Android.telephony .....	13
5.2.2.2.2.2. CellSignalStrengthLte .....	13
5.2.2.3. Bases de datos.....	13
5.3. Marco Legal .....	14
5.3.1. Constitución política, Artículo 61 .....	14
5.3.2. Ley TIC (1341 de 2009) .....	14
5.3.3. Ley 1341, En los artículos 3,4.....	14
5.3.4. Ley 565 del 2000 y ley 33 de 1987 .....	14
5.3.5. Decreto 1360 de 1989.....	14
6. Metodología.....	15
6.1. Análisis .....	16
6.1.1. Requerimientos.....	16
6.1.2. Clasificación de requerimientos .....	16
6.1.2.1. Entorno.....	16
6.1.2.2. Mundo. ....	16
6.1.2.3. Funcionales.....	16
6.1.2.4. No funcionales.....	17
6.1.3. Usuarios .....	18
6.2 Desarrollo de la aplicación Android.....	18
6.2.1. Diseño. ....	18
6.2.2. Desarrollo.....	23
6.2.2.1. Elección del entorno de desarrollo.....	23
6.2.2.2. Desarrollo Aplicación Android Studio. ....	24
6.2.2.2.1. Android manifest.....	24
6.2.2.2.2. Código principal.....	25
6.2.2.2.2.1. Archivos.java. ....	25
6.2.2.2.2.2. Ficheros principales.....	26
6.2.2.2.2.2.1. adapters. ....	26
6.2.2.2.2.2.2. Database.....	26
6.2.2.2.2.3. Uso de la librería CellSignalStrengthLte.....	26
6.2.2.2.3. Archivos de recursos. ....	26
6.2.2.2.3.1. Strings.xml .....	26
6.2.2.2.3.2. colors.xml .....	27
6.2.2.2.3.3. icon_launcher_background.xml .....	28

6.2.2.2.3.4. Archivos activity.....	28
6.2.2.2.3.5. Archivos item.....	29
6.2.2.3. Desarrollo de la base de datos.....	29
6.2.2.3.1. Tabla principal.....	31
6.2.2.3.2. Tablas Auxiliares.....	33
6.2.2.3.2.1 Tabla Calidad.....	33
6.2.2.3.2.2. Tabla MCC_MNC.....	33
6.2.2.3.2.3. Tabla Calendario.....	33
6.2.2.3.2.4. Tabla Signals track.....	34
6.2.2.4. Desarrollo de la interfaz gráfica web.....	34
6.2.2.4.1. Conexión power Bi- base de datos.....	34
6.2.2.4.2. Vista pruebas.....	35
6.2.2.4.2.1. Filtros.....	36
6.2.2.4.2.2. Calidad de señal.....	36
6.2.2.4.2.3. Distribución por operador.....	36
6.2.2.4.2.4. Calidad de la Señal por Operador.....	37
6.2.2.4.2.5. Mapa Ubicación por Operador.....	37
6.2.2.4.2.6. Tabla Numero de pruebas.....	38
6.2.2.4.3. Vista Mapas RF.....	39
6.2.2.4.3.1. Mapas de Calor.....	40
6.2.2.4.3.2. Geolocalización.....	41
6.2.2.4.3.3. Información RF de la prueba.....	42
7. Resultados.....	43
7.1. Pruebas iniciales.....	43
7.2. Pruebas de campo.....	46
7.2.1. Distribución de las pruebas.....	49
7.2.2. Variables de estudio.....	51
7.2.2.1. RSRP.....	51
7.2.2.2. RSRQ.....	52
7.2.2.3. CQI.....	54
7.2.2.4. RSSI.....	55
7.2.2.5. RSSNR.....	56
7.2.2.6. Timing Advance.....	57
7.2.2.7. Cell ID.....	60

7.2.2.8. EARFCN.....	61
7.2.2.9. MCC y MNC.....	62
7.2.2.10. TAC.....	62
7.2.3. Evaluación del impacto de la solución propuesta.....	63
7.2.3.1. Impacto ambiental.....	63
7.2.3.2. Impacto económico.....	63
7.2.3.3. Impacto social.....	63
8. Conclusiones y Recomendaciones .....	64
Referencias .....	65
9. Anexos.....	69

## Índice de figuras

Figura 1. Interfaces X2 y S1.....	8
Figura 2. Tiempo gastado en las plataformas Android. ....	11
Figura 3. Tiempo gastado por usuarios en Colombia e Apps de entretenimiento. ....	12
Figura 4. Metodología.....	15
Figura 5. Diseño de la aplicación.....	18
Figura 6. Mockup de inicio de sesión. ....	19
Figura 7. Mockup listado de sesiones de lectura. ....	20
Figura 8. Mockup listado de pruebas por sesión. ....	21
Figura 9. Mockup mediciones de cada prueba. ....	21
Figura 10. Mockup sesión de lecturas.....	22
Figura 11. Envío de datos almacenados al servidor.....	23
Figura 12. AndroidManifest.xml .....	25
Figura 13. LoginActivity.java .....	25
Figura 14. Configuración base de datos sqlite.....	26
Figura 15. Archivo strings.xml.....	27
Figura 16. Archivo colors.xml.....	27
Figura 17. Archivo icon_foreground.xml .....	28
Figura 18. Archivo activity_main.xml .....	28
Figura 19. Archivo item_track.xml.....	29
Figura 20. Base de datos en la nube.....	30
Figura 21. Modelo entidad relación base de datos.....	31
Figura 22. Conexión base de datos MySQL.....	35
Figura 23. Vista pruebas.....	35
Figura 24. Calidad de Señal.....	36
Figura 25. Distribución por operador.....	36
Figura 26. Calidad de la señal por operador.....	37
Figura 27. Geolocalización de las pruebas por operador. ....	38
Figura 28. Número y promedio de pruebas por fecha. ....	39
Figura 29. Vista Mapas. ....	39
Figura 30. RSRP .....	40
Figura 31. RSRQ.....	40
Figura 32. SINR.....	41
Figura 33. CQI.....	41
Figura 34. Geolocalización RSRP. ....	42
Figura 35. Geolocalización RSRQ.....	42
Figura 36. Información RF de la prueba. ....	43
Figura 37. Comparación 1 SignalsMetrics vs G-NetTrack.....	44
Figura 38. Comparación 2 SignalsMetrics vs G-NetTrack.....	44
Figura 39. Comparación 3 SignalsMetrics vs G-NetTrack.....	45
Figura 40. Estación de pruebas centro comercial Hayuelos.....	46
Figura 41. Geolocalización posición de las pruebas.....	47

Figura 42. Vista punto 1 (100 metros).	47
Figura 43. Vista punto 2 (200 metros).	48
Figura 44. Vista punto 3 (300 metros).	48
Figura 45. Vista punto 4 (400 metros).	48
Figura 46. Vista punto 5 (500 metros).	49
Figura 47. Distribución de las pruebas tomadas con la aplicación SignalMetrics por terminal. ...	50
Figura 48. Distribución de las pruebas tomadas con la aplicación G-NetTrack por terminal. ....	50
Figura 49. Distribución de las pruebas por operador .....	50
Figura 50. Promedio RSRP SignalMetrics.....	51
Figura 51. Promedio RSRP G-NetTrack.....	52
Figura 52. Promedio RSRQ SignalMetrics. ....	53
Figura 53. Promedio RSRQ G-NetTrack. ....	53
Figura 54. Promedio CQI SignalMetrics vs G-NetTrack.....	54
Figura 55. Promedio RSSI SignalMetrics. ....	55
Figura 56. Promedio RSSI G-NetTrack. ....	55
Figura 57. Promedio RSSNR SignalMetrics. ....	56
Figura 58. Promedio RSSNR G-NetTrack. ....	57
Figura 59. Promedio Timing Advance SignalMetrics. ....	58
Figura 60. Promedio Timing Advance G-NetTrack. ....	58
Figura 61. Límite de cobertura a 500 metros de la estación del centro comercial Hayuelos.....	60
Figura 62. Asignación de espectro en Colombia. (espectro, 2020) .....	61
Figura 63. Distribución de frecuencias por posición. ....	62
Figura 64. Distribución de pruebas por TAC. ....	62

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Requerimientos funcionales.</i>	17
<i>Tabla 2. Requerimientos no funcionales.</i>	17
<i>Tabla 3. Elementos de pantalla de inicio.</i>	19
<i>Tabla 4. Elementos pantalla de sesiones de lectura.</i>	20
<i>Tabla 5. Elementos de pantalla nueva sesión de lecturas.</i>	22
<i>Tabla 6. Comparación entornos de desarrollo.</i>	24
<i>Tabla 7. Características generales Android Studio VS Flutter.</i>	24
<i>Tabla 8. archivos de recursos.</i>	25
<i>Tabla 9. Comparación gestores de bases de datos.</i>	29
<i>Tabla 10. Categorización RSRP, RSRQ, RSSNR.</i>	32
<i>Tabla 11. Calidad.</i>	33
<i>Tabla 12. MCC_MNC.</i>	33
<i>Tabla 13. Calendario.</i>	34
<i>Tabla 14. Signal track.</i>	34
<i>Tabla 15. Comparación inicial SignalsMetrics vs G-NetTrack.</i>	45
<i>Tabla 16. Distribución de las pruebas con las aplicaciones G-NetTrack y SignalMetrics.</i>	49
<i>Tabla 17. Porcentaje de error RSRP SignalMetrics vs G-NetTrack.</i>	52
<i>Tabla 18. Porcentaje de error RSRQ SignalMetrics vs G-NetTrack.</i>	53
<i>Tabla 19. Porcentaje de error CQI SignalMetrics vs G-NetTrack.</i>	54
<i>Tabla 20. Porcentaje de error RSSI SignalMetrics vs G-NetTrack.</i>	56
<i>Tabla 21. Porcentaje de error RSSNR SignalMetrics vs G-NetTrack.</i>	57
<i>Tabla 22. Porcentaje de error Timing Advance SignalMetrics vs G-NetTrack.</i>	59
<i>Tabla 23. Cell ID identificados en cada posición.</i>	61

## **Índice de anexos**

Anexo 1. Códigos desarrollados en el diseño del proyecto y visualización en Power BI. ....	69
--	----

## **Glosario**

Troubleshooting	Es una estructura para la resolver problemas que se utiliza frecuentemente para enmendar problemas en máquinas o sistemas generando una búsqueda lógica y sistemática en el inicio para dar solución y dejar funcional el proceso o producto.
Handover	Intercambio de un servicio móvil entre estaciones base (eNB, involved Node B) priorizando la calidad del enlace RRC_CONNECTED. (Estudio del impacto del Handover en LTE, 2018).
Espectro radioeléctrico	Es la unión de todas las frecuencias de emisión de los cuerpos de la naturaleza
Banda de frecuencias asignada	Banda de frecuencias en la parte interior de la cual se aprueba la emisión de una estación base; la capacidad de esta banda de frecuencias es igual a la amplitud de banda requerida más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencia
Brecha Digital	Es la desigualdad que hay entre comunidades en función a la situación socioeconómica y también no se presenta semejanza con la accesibilidad a las TIC y las que no, y finalmente se establece de acuerdo con la facultad de utilizar las TIC de forma eficiente, de con relación a los diferentes niveles de alfabetización y capacidad tecnológica.
Zona de Cobertura	Zona relacionada a una estación base transmisora con el fin de brindar un servicio a una zona geográfica determinada.
Estación base	Grupo de equipos, antenas y demás elementos geolocalizados lugar específico determinado, requeridos para la transmisión y recepción de señales radioeléctricas, a los terminales pertenecientes al usuario.
Nodo	Es el componente de red, que aprueba la recepción y erutación de las comunicaciones.
Operador	Es la persona natural o jurídica, pública o privada, que es gestiona un servicio de telecomunicaciones en función de aprobación o concesión.
Señal	Manifestación física, una o más de cuyas características son relativas para representar información.
Terminal	Equipo que se encuentra conectado a determinada red de telecomunicaciones con el fin de proporcionar acceso a uno a más servicios determinados.
Usuario	Persona que usa los servicios de una red de telecomunicaciones. (MinTIC, 2021)

## Lista de Abreviaturas y Siglas

Sigla/Abreviatura	Significado
2G	Second Generation (Segunda Generación)
3G	Third Generation (Tercera Generación)
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation (Cuarta Generación)
CSCF	Call Session Control Function (Función de Control de Sesiones de Llamada)
DL	Downlink (Enlace Descendente)
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para Evolución Global)
En	enhanced Node B (Nodos B Evolucionados)
EPC	Evolved Packet Core (Núcleo de Paquetes Evolucionado)
E-RAN	Evolved Radio Access Network (Red de Acceso por Radio – Evolucionada)
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (Acceso por Radio Terrestre Universal – Evolucionado)
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (Red de Acceso por Radio Terrestre Universal – Evolucionada)
FDD	Frequency Division Duplex (Dúplex por División de Frecuencia)
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes por Radio)
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)
HSPA	System/High Speed Packet Access (Sistema de Acceso de Paquetes de Alta Velocidad)
HSDPA	System/High Speed Downlink Packet Access (Sistema de Acceso de Paquetes de Alta Velocidad para el Enlace Descendente)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
LTE	Long Term Evolution (Evolución a Largo Plazo)
LTE-A	LTE-Advanced (LTE Avanzado)
MAC	Media Access Control (Control de Acceso al Medio)
MCS	Modulation and Coding Scheme (Esquema de Modulación y Codificación)
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal)

SAE	System Architecture Evolution
SINR	Signal Interference and Noise Rate (Relación Señal a Interferencia y Ruido)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de la Transmisión)
TDD	Time Division Duplex (Dúplex por División de Tiempo)
UL	Uplink (Enlace Ascendente)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal)
GPS	Sistema de posicionamiento global
API	Es un conjunto de definiciones y protocolos que se utiliza para desarrollar e integrar el software de las aplicaciones.
MINTIC	Ministerio de las tecnologías de la información y las comunicaciones
PCI	Identificador físico de celda.
RSRP	Potencia recibida de la señal de referencia.
RSRQ	Calidad de la señal de referencia recibida.
RSSI	Indicador de intensidad de la señal recibida.
MCC	Indica el país.
MNC	Indica el operador.

## **Resumen**

Hoy en día los celulares son un equipo indispensable en las tareas necesarias de acuerdo con las necesidades de los usuarios por ende estos dispositivos inteligentes han evolucionado con respecto a la capacidad y rapidez en el manejo de datos e imágenes gracias a las aplicaciones desarrolladas como lo son de entretenimiento, educación, ocio, profesionales. Esto hace la vida mucho más fácil en cuanto al manejo del tiempo que cada día que pasa se hace más importante por cómo está evolucionando el mundo en el ámbito tecnológico. ( María Encarnación Peña Bonilla, 2018)

Un teléfono móvil mide constantemente la señal que le indica la red LTE (Long Term Evolution) y en este proyecto se presenta una solución que permite almacenar y visualizar la información adquirida gracias a la utilización del GPS que incluyen los teléfonos inteligentes y las librerías de desarrollo que ofrece el sistema operativo Android, logrando identificar remotamente que ubicaciones no cuentan con buena cobertura y necesitan un proceso de optimización sin necesidad de realizar largas y tediosas etapas de postproceso de los datos recolectados.

La información almacenada es enviada a un dominio privado para ser almacenada y posteriormente visualizada en un dashboard creado en Power Bi de tal manera que el usuario podrá observar en un tiempo de 1 minuto después de tomada a información datos relevantes para el análisis que permite realizar los cambios necesarios para tener una red 4G en las mejores condiciones de operatividad.

***Palabras claves:*** 4G mobile communication, Data visualization, Quality Measures, OFDM, Performance network, Radio access optimization.

## **1. Introducción**

En el afán del ser humano por solucionar problemas cotidianos de manera rápida y eficaz, los dispositivos móviles han tomado gran fuerza en el desarrollo de actividades básicas. Se plantea que un dispositivo móvil es un recurso computacional, el cual se puede transportar de manera fácil y tiene un uso interactivo, con capacidad de ejecutar programas de manera fácil y en cualquier lugar y momento lo que permite dar mayor capacidad interacción entre usuarios de forma rápida casi en tiempo real. ( Mintic Colombia, 2019)

También se ha tenido un gran avance en la creación de aplicaciones móviles para cada tipo de necesidades que presente una población significativa de usuarios de acuerdo a sus intereses, estas van desde las comunicaciones como es el caso de los chats, correos, pasando por el ocio, juegos, hasta herramientas más específicas para el desarrollo de actividades especiales según sea el caso, mercado que en la actualidad lo tienen mayoritariamente los dos grandes sistemas operativos como lo son Android e iOS de Apple (Coplutense, Universidad, 2021)

El presente de la red 4G a nivel nacional está en constante crecimiento y para monitorear los factores de calidad se requiere realizar pruebas, actualmente se realizan mediante herramientas como Teams Investigation, la cual es una plataforma robusta que requiere un post-procesamiento adicional de la información, o aplicaciones como que guardan la información en archivos de Excel o de texto plano. (Efriyendro, R., & Rahayu, Y., 2017)

Con el objetivo de contribuir a un aprovechamiento al máximo de los recursos utilizados en la toma de información se realiza una aplicación móvil en Android que se encargue de monitorear, de modo transparente los principales indicadores de calidad de la red 4G-LTE y que automáticamente envíe la información recolectada a una base de datos, la cual actualizara un reporte, en el cual se podrán evidenciar de forma gráfica, aprovechando la geolocalización del dispositivo el estado de calidad de la red y generar un top de los puntos críticos observados, de este modo permitirá conocer las estaciones que requieren una optimización.

## **2. Planteamiento del problema**

En los tiempos actuales, la vida social, de negocios y laboral están estrechamente relacionadas con las comunicaciones móviles por lo cual se genera la necesidad constante de estar conectados con una calidad alta de señal. Uno de los principales retos para los operadores móviles es identificar la experiencia que percibe el usuario cuando está conectado a su red y los indicadores de calidad que pueden brindar, además que conocer estos indicadores para el usuario del común le permite establecer si realmente el servicio que le está prestando su operador es bueno (Alexander, Douglas, 2016).

Teniendo en cuenta que existen herramientas profesionales a un alto costo en el mercado para poder medir la calidad de la red tienen licencias limitadas y no son asequibles para una persona del común que quiera evaluar en qué estado se encuentra su red es buena idea simplificar este tipo de herramientas llevándolas a su mínima expresión con el fin que pueda ser ejecutada en cualquier dispositivo (Gomez, Carlos, 2015).

En consecuencia, se desarrolló una aplicación con la facilidad de ser ejecutada en la mayor cantidad de terminales posibles para monitorear, de forma clara al usuario, los niveles de señal en determinadas posiciones utilizando la geolocalización que proporcionan los nuevos teléfonos inteligentes (Gomez, Carlos, 2015).

### **3. Justificación**

La calidad de los servicios de telecomunicaciones móviles es una problemática general, dado que cada vez aumenta más la necesidad de datos a través de reproducción de videos, música en línea, videollamadas y demás servicios. Esta gran cantidad de datos consumidos conlleva a una alta congestión en la red y requiere una infraestructura óptima para soportar el tráfico y más espectro y ancho de banda para poder operar. (MinTIC, 2016)

En el mercado actual existen algunas aplicaciones gratuitas que permiten monitorear algunos indicadores de calidad de la red, una de las más usadas del mercado es G-NetTrack pro, la cual permite monitorear la información de las celdas vecinas y el servicio de la red móvil sin usar equipo especializado, más sin embargo la mayoría de aplicaciones en el mercado no almacenan la información en una base de datos si no en un archivo plano de texto y se debe generar una etapa de postproceso y limpieza de datos, por lo cual no permite identificar el estado de la celda inmediatamente y la visualización de los datos solo se puede obtener hasta que finalice en su totalidad la prueba (Google, 2021) .

La herramienta líder en el mercado es Teams Investigation la cual es una solución de prueba de indicadores de calidad de la red, esta sonda tiene un precio muy alto, además que requiere de más terminales, lo cual es inasequible para un usuario del común que quiera probar la calidad de la red a la que está conectado (Infovista, 2021).

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

- Diseñar una aplicación Android que permita monitorear indicadores de calidad de la red 4G-LTE.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Diseñar el software para el monitoreo de las variables de calidad de la red 4G-LTE, como lo son: RSRP, RSRQ, CQI, RSSI, RS SINR, Timing Advance, Cell ID, EARFCN, MCC, MNC, PCI, TAC.
- Diseñar una base de datos que permita almacenar la información de las variables recibidas para su posterior análisis.
- Implementar la aplicación y la base de datos en un teléfono inteligente.
- Evaluar los resultados obtenidos con las variables de estudio

## 5. Marco de referencia

### 5.1. Antecedentes

En la actualidad el uso del internet móvil se ha fortalecido cada día, por la necesidad de realizar tareas de manera rápida y confiable desde cualquier dispositivo móvil, por esta razón los operadores móviles tienen la necesidad de mantener la red 4G en óptimas condiciones de calidad de servicio, por lo cual se han desarrollado varias herramientas que permiten observar los valores de las métricas necesarias para poder procesar la información y así determinar las acciones necesarias para mantener la calidad del servicio como lo sugiere el autor Jorge E. López de Vergara Méndez en su tesis de grado **“Desarrollo de interfaz para la representación geográfica de métricas de calidad en operadores de telefonía móvil”** quien presenta un diseño de visualización geográfica de los datos obtenidos por una aplicación móvil para ser mostrados de una forma dinámica para su fácil monitoreo de la red en cuanto a su distribución geográfica que permite una fácil comprensión del comportamiento de la misma. Con el fin de una vez analizada la información pueda optimizar y supervisar la calidad de red, analizar las causas raíz de los inconvenientes presentados en la red (*Troubleshooting*) y Analizar el impacto de incidencias (Perera Martín, D, 2015).

En el mercado existen muchas herramientas que permiten realizar pruebas de calidad de la red LTE, más sin embargo es buena idea simplificar este tipo de herramientas, llevándolas a su mínima expresión para que pueda ser ejecutado en cualquier terminal perteneciente a un usuario del común, conectado a la red de un operador móvil y que sea este quien pueda evidenciar los indicadores de calidad y la transparencia de la red a la que se encuentra conectado como lo planteó el autor Daniel Delgado Vico en su proyecto de fin de carrera para alcanzar el título de ingeniero de telecomunicaciones **“Monitorización de la calidad de señal en redes móviles basada en Android”**, en la cual desarrolla una aplicación Android que le permite a cualquier terminal medir constantemente los niveles de señal que les indica la red, recopilando todos estos datos con el fin de realizar análisis de posición, cobertura y caída de llamadas (Delgado Vico, D., 2012).

Los autores Julián Mauricio Garzón Gil y Ricardo en su trabajo de grado llamado un **“Estudio de cobertura de la red LTE en la localidad de chapinero Bogotá de los operadores Claro, Movistar y Tigo”** realizan una comparación de la zona de cobertura generada por cada uno de los operadores que prestan servicio de telefonía móvil en Bogotá, mostrando la calidad en el servicio que ofrece cada operador de acuerdo a la experiencia de usuario registrada por la aplicación móvil en LTE, en el cual logran detectar una degradación mayor del operador movistar respecto a los otros. (Julián Mauricio Garzón Gil, 2016).

Debido al requerimiento de alcanzar adecuados indicadores de calidad de la zona de cobertura móvil para las comunicaciones en GSM, se implementó una aplicación Android útil para medir y registrar los parámetros. El aplicativo suministra datos necesarios para analizar la información de acuerdo con el operador y sector que esté conectado el usuario, Graficas estadísticas del comportamiento de la potencia en cada una de las mediciones realizadas, además de las especificaciones técnicas del terminal usado. Los valores obtenidos en las mediciones son usados para la generación de un mapa de cobertura dentro de un servicio Web. Esto lo plantean los autores

Rafael Gallardo A., Juan C. Jaramillo V., Darwin Astudillo-Salinas, Kenneth Palacio-Baus en el artículo **“Diseño de una aplicación móvil para monitorear la cobertura GSM en cuenca”** (Gallardo, R., Jaramillo, J. C., Astudillo-Salinas, D., & Palacio-Baus, K., 2015).

La veracidad de la precisión que puede obtener una aplicación Android en la medición de indicadores de la calidad de red ha sido comparada, analizada y documentada por varios autores, un ejemplo de esto es el artículo **“Verifying measurements of reference signal received power (rsrp) on lte networks using an app on Android smartphones”**, en donde se pone a prueba 3 aplicaciones desarrolladas en Android e instaladas en teléfonos inteligentes con la herramienta profesional de medición LTENetScan capturando mediciones de la red en diferentes puntos, llegando a la conclusión de que los resultados presentados destacan la precisión de los KPI'S para la red LTE en el indicador RSRP generados por la aplicación Android (H. Al-Shamisi, H. Al-Shamsi, I. Kostanic and J. Zec, 2018).

En el artículo **“Verifying of LTE Received Power Measurements in a Android App”** el autor también usa un teléfono inteligente para realizar mediciones de rendimiento que permiten la optimización y solución de problemas, y concluye que la precisión de las medidas KPI para características de una red LTE como RSRP, esto da pie a realizar nuevas investigaciones, pero examinando otras medidas como la calidad de la señal (H. Al-Shamisi, H. Al-Shamsi, I. Kostanic and J. Zec., 2018).

En el artículo **“Rf 4g network performance result based on Android drive test collection tools automatically extracted by yaiao application at the universitas singaperbangsa karawang case study”** realizan una Drive Test sobre una zona específica del campus de Universitas Singaperbangsa Karawang ayudados de G-Net Report Pro que es un software Android que permite mostrar los datos de las métricas de gestión de una red LTE como RRSP, RRSI, RSRQ, SINR tomados de un teléfono inteligente conectado a la red, este procedimiento es con el fin de analizar los datos obtenidos por mala calidad en el servicio y así poder llegar a dar una solución óptima al problema presentado por medio de la evaluación y predicción de la latencia entre dos puntos de la red (O. M. Aprillia, Y. Saragih, I. Lammada, E. S. Agatha, A. Wijaya and N. T. Nhu Van, 2020).

Para garantizar un buen desempeño del servicio 4G es necesario hablar de Handover (traspaso de una estación Base a otra sin perder el servicio) La transferencia de llamada ocurre debido al debilitamiento de la señal actual o alta disponibilidad de servicios para el usuario. Por esta razón es tan importante poder medir los datos métricos de la red, para poder realizar una buena optimización física de las estaciones base y de esta manera poder garantizar el buen funcionamiento y experiencia de usuario de manera óptima y constante a los usuarios como lo exponen en el artículo **“Optimization of QoS in 4g networks using handover management”** (Namrata Katti, Seema Shivapur, Vijayalakshmi, 2015).

En el artículo **“Analysis of key performance indicators of a 4g lte network based on experimental data obtained from a densely populated smart city”** los autores toman datos experimentales en Lagos Nigeria donde se observan los parámetros medidos los cuales permiten identificar inconvenientes presentados en el área de las mediciones, estos datos son analizados para determinar qué KPI se deben mejorar de acuerdo a las referencias, estos proporcionan más

conocimientos y el desarrollo de los experimentos (Agbotiname Lucky Imoizea, Kehinde Orolub, Aderemi Aaron-Anthony Atayero, 2020).

**“Aplicasi drive test berbasis Android pada jaringan seluler 3g dan 4g”** nos expone la importancia de los Drive Test en la planificación de una red de telecomunicaciones al recuperar la información necesaria para el análisis y posterior optimización de la red, por esta razón es necesario realizar una aplicación en Android de prueba de manejo de los parámetros más relevantes para el buen funcionamiento de esta, se basan en Android porque es un software libre y se quiere que tenga una interfaz más simple, una interfaz menos complicada. En 2013 se diseñó una aplicación de prueba llamada AERIALS diseñada con el editor ECCLIPSE (Mochamad Prakoso, Faqih Rofii, dan Anis Qustoniah, 2018).

En el trabajo del autor Wilber Richard Carrillo Padilla se plantea de una manera sencilla y económica, con un teléfono inteligente con sistema operativo Android desarrollar una aplicación que permita realizar drive test, donde se capturan parámetros relevantes de acceso radio que son guardados en una base de datos y a partir de resultados proporcionados realizar un post procesamiento para indicar que acciones correctivas se deben aplicar para mantener optima la calidad del servicio (Padilla, Wilbert Richard Carrillo, 2015).

En la ciudad de Jombang en Indonesia los autores Widyasmoro, Anna Nur Nazilah Chamim, Rama Okta Wiyagi, Rizkananda Muhammad Izmi, Yessi Jusman realizaron un análisis y optimización de la red 4G de los operadores seluler de Telkomsel con el método drive test, llegando a la conclusión de que los indicadores de calidad en la ciudad son buenos ya que los valores de los parámetros son por encima del estándar de calidad aplicados y proponen 4 fases de optimización puntual (Widyasmoro, Anna Nur Nazilah Chamim, Rama Okta Wiyagi, Rizkananda Muhammad Izmi, Yessi Jusman, 2019).

En el trabajo **“Análisis de propagación de un EnodeB en un escenario urbano”** se realiza un análisis de radiofrecuencia a los tres sectores de una estación base a partir de mediciones realizadas en campo con g-NetTrack pro, en un escenario urbano en Bogotá, donde se analizan los niveles de potencia recibidos por la estación, para posteriormente realizar simulaciones de correlación y cobertura basados en distintos modelos de propagación (Javier Arevalo, Ricardo Gonzalez, 2017).

En el proyecto **“Desarrollo de una herramienta para medición, envío y presentación de parámetros de calidad y cobertura de una red 4g para ambientes indoor”** se presenta el desarrollo de una herramienta de monitoreo para conocer el estado de una red LTE observando los parámetros de calidad y potencia en un sitio *indoor*, por medio del desarrollo de una aplicación móvil, quien a su vez estará en la capacidad de enviar los datos a una base para poder ser almacenados y así ser analizados en un futuro (Cabezas, Rolando Bladimir Tupiza, 2018).

El objetivo en el proyecto **“Estudio de la factibilidad para la implementación de la tecnología LTE en la banda de 700mhz como complemento a la banda de 2100mhz para mejorar el servicio de internet inalámbrico en la zona norte de la ciudad de quito”** del autor Diego Armando Molina Puma es desarrollar una interfaz que permita tomar datos leídos por aplicaciones móviles de toma de datos de calidad de la red 4G para de esta manera poder mostrar de forma

automática la información en una visualización geográfica, para procesar y mostrarla al usuario de forma ordenada de acuerdo a las características pertinentes (Puma, Diego Armando Molina, 2020).

En el proyecto “**Diseño e implementación de un agente móvil Android para medir la quality of service de los operadores de telefonía móvil**”, se enfoca en el desarrollo de un aplicativo móvil Android con el fin de medir la calidad de servicio ofrecida por los operadores móviles, su principal objetivo es recoger datos de medidas de red del dispositivo móvil, y así poder procesar automáticamente los datos recolectados y realizar diagnósticos de los problemas detectados. Este tendrá la capacidad de visualizar gráficas estadísticas con un repositorio histórico de las últimas métricas recogidas. (Maroto, Christian Ramos, 2016)

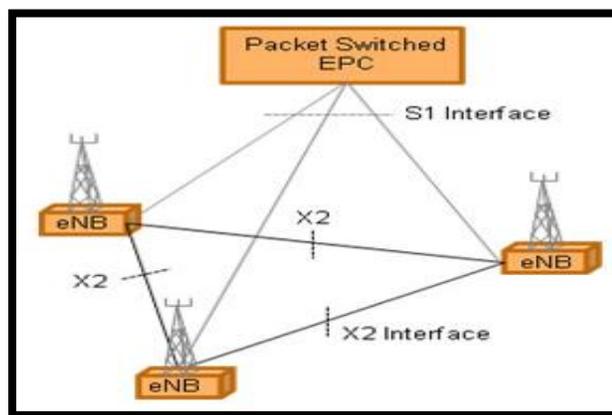
## 5.2. Marco teórico.

### 5.2.1. LTE

#### 5.2.1.1. Introducción.

LTE (*Long Term Evolution*) o E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Access Network*), introducido en 3GPP (Proyecto Asociación de Tercera Generación) R8, es fracción de acceso del *Evolved Packet System* (EPS). Las principales características de la nueva red pueden identificarse como el aprovechamiento eficaz del espectro, mayor velocidad en la carga y descarga de datos, lo que permite una mejor experiencia en el usuario, mayor aprovechamiento en el ancho de banda.

LTE se basa en la conexión entre estaciones base, en una arquitectura plana, ayudados de dos interfaces S1 y X2 los cuales permiten las conexiones necesarias para tener un buen desempeño en la calidad y funcionalidad de la red. Como se muestra en la Figura 1, la conexión entre estaciones base se hace mediante X2 y entre estaciones con equipos de usuario se realiza mediante S1 (Magdalena Nohrborg, for 3GPP, 2021).



**Figura 1. Interfaces X2 y S1.**

### **5.2.1.2. Gestión de Recursos Radio y del Espectro Radioeléctrico.**

La red de telefonía celular es muy dinámica debido, entre otras cosas, a variaciones en las condiciones de la operatividad, que dependen de diversos factores como lo pueden ser el clima, la capacidad en cobertura y tráfico de un sector específico, interferencias existentes.

El sistema de radiofrecuencia debe tener la capacidad de soportar la conectividad de un gran número de usuarios dependiendo las necesidades de cada uno de ellos, lo que indica que, así como debe soportar una carga en cuanto a número de personas que usan el servicio también debe estar en la capacidad de ofrecer una buena experiencia de usuario en todos los servicios que ofrece como voz y datos, en sus diferentes aplicaciones. a través de los diversos servicios, esta experiencia de usuario es monitoreada con distintos parámetros de calidad, como lo es la calidad de servicio (QoS) que es una de las más importantes en la medición de satisfacción del usuario con el servicio, y esto finalmente es la percepción de si el servicio es bueno o malo, y por ende el crecimiento o debilitamiento del negocio. (Agusti, Ramon, 2014).

### **5.2.1.3. Gestión de la movilidad**

Es un gran desafío encontrar una buena calidad de servicio en donde el usuario lo necesite, hoy en día la movilidad es una función muy importante por el uso de los smartphones es necesario ofrecer un buen servicio independientemente del lugar en el que se encuentre usando los servicios ofrecidos por los sistemas móviles de comunicación. (Agusti, Ramon, 2014).

#### ***5.2.1.3.1. Reference Signal Received Power (RSRP):***

Esta medición se basa en tomar el promedio de la fuerza de la señal recibida que proviene de la antena, y es muy útil para analizar y tomar decisiones sobre la ejecución en los métodos de reelección sobre las celdas, Handover. El RSRP es la potencia promedio lineal recibidas (en vatios) (Agusti, Ramon, 2014).

#### ***5.2.1.3.2. Reference Signal Received Quality (RSRQ):***

Esta medición se apoya en hacer una aproximación de la calidad recibida desde un sector de una estación base en particular de acuerdo con el ancho de banda. Es muy importante en la toma de decisiones sobre la ejecución en los métodos de reelección sobre las celdas, Handover, cuando la potencia no brinda la información necesaria para este cambio de estado en los equipos de usuario (3GPP, 2015).

#### ***5.2.1.3.3. Channel Quality Indicator (CQI):***

Es un indicador que lleva la información sobre qué tan buena o mala es la calidad del canal de comunicación. Basado en un intervalo de observación no restringido en tiempo y frecuencia, el UE derivará para cada valor de CQI informado en subtrama de enlace ascendente n el índice CQI más alto entre 1 y 15 (Etsi, 2018).

#### ***5.2.1.3.4. RSSI (Received Signal Strength Indicator):***

Es la intensidad de la señal percibida por un equipo de usuario, esta potencia va de acuerdo con el ancho de banda del canal, y es la suma del total de potencia respecto a la interferencia y el ruido térmico. (Agusti, Ramon, 2014).

#### **5.2.1.3.5. RS-SINR (Reference signal-signal to noise and interference ratio):**

Es el promedio lineal de la contribución en la potencia en Watios en los bloques de recurso que contienen las señales patrón determinadas de celda segmentadas por el promedio lineal del ruido y contribución de potencia de interferencia en Watios sobre los dispositivos de recurso que transportan señales patrón específicas sobre el mismo ancho de banda. Si el UE está usando diversidad de receptores, el valor no será inferior al RS-SINR referente de cualquiera de las ramas de diversidad individuales (Etsi, 2016).

#### **5.2.1.3.6. Timing Advanced:**

En LTE, a cada usuario activo se le asigna un intervalo de tiempo particular durante el cual su transmisión debe llegar a la estación base (BS) para no interferir con los mensajes de otros usuarios. Debido a la velocidad finita de propagación electromagnética, el mensaje debe enviarse desde el equipo de usuario (UE) algún tiempo antes. Además, el equipo de usuario no tiene un reloj perfectamente preciso y no está sincronizado (a diferencia de CDMA). Como resultado, la temporización debe basarse en los tiempos de llegada de las transmisiones desde la estación base. Específicamente, el equipo de usuario envía su mensaje en un desplazamiento dado (negativo) llamado Timing Advance (Etsi, 2016).

#### **5.2.1.3.7. CELL ID:**

Establece el ID del sector de la estación base de la capa física (PHY). Esta identificación de celda de la capa PHY calcula el conjunto de identificación de celda con el sector de identificación de celda. Hay 168 posibles grupos de ID de celda y 3 posibles sectores de ID de celda; por lo tanto, hay  $3 * 168 = 504$  posibles ID de celda de capa PHY. Cuando la ID de la celda está configurada en Auto, el demodulador detectará automáticamente la ID de la celda. Cuando Cell ID se establece en Manual, se debe especificar el Cell ID de la capa PHY para una demodulación exitosa.

La identificación de la celda de la capa física se puede calcular a partir de la siguiente fórmula: ID de celda de la capa PHY =  $3 * (\text{Grupo de ID de celda}) + \text{Sector de ID de celda}$  (Technologies, K., s.f.).

#### **5.2.1.3.8. EARFCN (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number):**

La frecuencia portadora de subida y bajada está dada por un canal de radiofrecuencia dominante E-UTRAN Número (EARFCN) en el rango 0 – 65535

- EARFCN identifica de forma única la banda y la frecuencia de la portadora, dando como ejemplo, Band-1 y Band-4 donde puede tener una frecuencia similar Rx 2110-2170 MHz, pero sus EARFCN difieren.

EARFCN no depende del ancho de banda que ofrece el canal (Etsi, 2019).

#### **5.2.1.3.9. MCC y MNC:**

Son los códigos numéricos usados conjuntamente para distinguir el país y el operador al que está conectado el equipo de usuario de acuerdo con la tecnología usada ya sea GSM, CDMA, UMTS, LTE y algunos servicios satelitales (3GPP, 2016).

#### **5.2.1.3.10. PCI:**

Es la identidad física de la celda en una red LTE. (3GPP, 2016).

### 5.2.1.3.11. TAC:

Código de área de seguimiento común para las PLMN. La identidad utilizada para identificar áreas de seguimiento (Etsi, 2016).

### 5.2.1.3.12. Latitud:

Es la localización específica de un lugar con respecto al Ecuador (0°). La latitud se determina de norte a sur, y se expresa en función de grados, minutos y segundos. (MinTic, 2021).

### 5.2.1.3.13. Longitud:

Es la localización específica de un lugar con respecto al Ecuador (0°). La longitud se determina de este a oeste, y se expresa en función de grados, minutos y segundos. (MinTic, 2021).

## 5.2.2 Aplicaciones Móviles.

Desde el ingreso de los Smartphone a la industria de la tecnología móvil se ha observado un gran avance en cuanto al manejo de la información y a la iniciativa de desarrollar hardware cada vez más avanzado que permita que los usuarios tengan mejor experiencia con estos dispositivos de acuerdo a las necesidades, pero no basta solo con tener un equipo potente sino que también se hace necesario desarrollar aplicaciones que permitan explotar al máximo todas las características suministradas por estos equipos (Usano, Silvia Carrasco, 2015).

Para tener una mayor accesibilidad, se han realizado varios estudios que muestran la cantidad de tiempo empleado por los usuarios usando las aplicaciones móviles en el diario vivir, dependiendo de las necesidades propias de cada individuo como lo es en el entretenimiento, para fines laborales. De acuerdo con las estadísticas mostradas en un software de análisis nos brinda información de tiempo empleado invertido en la interacción actual con las aplicaciones móviles en América como se ilustra en la Figura 2 y Figura 3 (Daniel E. Martinez Acosta, Carlos A. Salazar, 2018).

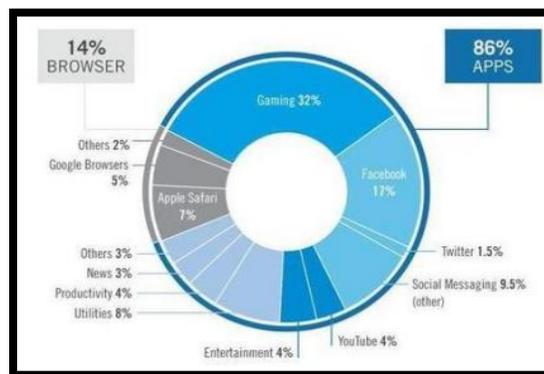
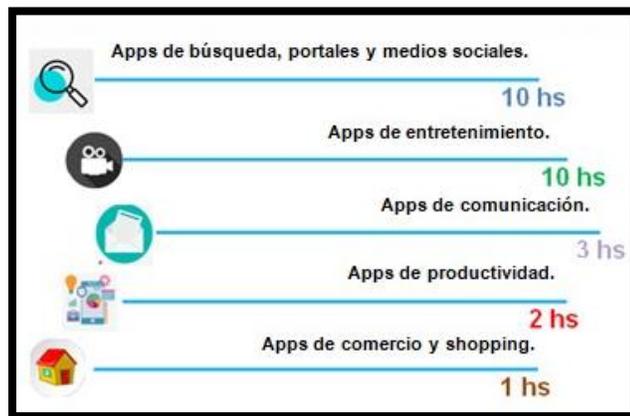


Figura 2. Tiempo gastado en las plataformas Android.



**Figura 3. Tiempo gastado por usuarios en Colombia e Apps de entretenimiento.**

En diversos estudios se ha evidenciado que se hay un aumento continuo en la oferta y la demanda de equipos inteligentes. De acuerdo con las herramientas de variables de trabajo las aplicaciones móviles permiten realizar funciones, que pueden ser específicos y también generales, en el entorno laboral. De tal manera, se permite de manera más fácil y rápida acceder a la información solicitada mejorando en eficiencia y productividad en las entidades bien sea de ámbito privado o gubernamental. (Daniel E. Martínez Acosta, Carlos A. Salazar, 2018).

#### **5.2.2.1. Sistema operativo Android.**

Es un sistema operativo para móviles y se desarrolló por Google; actualmente es el más popular para desarrollar aplicaciones móviles que puedan ser implementadas en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, Tablets, Google TV entre otros dispositivos. Una de sus mayores características es que tiene de software de código abierto. (Estrada, Rafael Iniesta, 2020)

#### **5.2.2.2 Android Studio.**

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) específico para el desarrollo de aplicaciones móviles basado en IntelliJ IDEA. Gracias a su editor que es muy completo y a las herramientas que usa para el desarrollo está en la capacidad de brindar unas funciones más completas y fáciles que contribuyen en el aumento de la productividad para el desarrollo de aplicaciones móviles como se muestra a continuación.

- Ofrece en su entorno unificado un desarrollo igual para todos los dispositivos Android.
- Permite realizar cambio y actualización de recursos en una aplicación móviles ser necesario reiniciar o cambiar de entorno.
- Gracias a su facilidad con la integración con repositorios como GitHub y otras plantillas de código se pueden compilar aplicaciones estándar e importar códigos de muestra para una mayor facilidad y rapidez en el desarrollo.
- Variación entre herramientas de prueba y marcos.
- Se puede realizar seguimiento al rendimiento de aplicaciones, así como ver los problemas de compatibilidad y uso detectados entre versiones.

- Es compatible con C y NDK, como también con *Google Cloud Platform*, que nos ayuda a la integración con *Google Cloud Messaging* y *App Engine* (Google, 2021).

#### **5.2.2.2.1. Librerías en Android Studio:**

Es una herramienta ofrecida por Android que permite al usuario llamar algunas funciones útiles para el desarrollo funcional del aplicativo, estas ya están previamente diseñadas y solo se llaman para el caso específico en el que se necesiten, algunas de las librerías necesitan de otras para poder funcionar. (Google, 2021).

##### **5.2.2.2.1.1. *Android.telephony***

Proporciona API que supervisa la información básica que se encuentra en el teléfono, como el tipo de red y el estado de la conexión, además de utilidades para manipular cadenas de números de teléfono (Google, 2021).

##### **5.2.2.2.2.2. *CellSignalStrengthLte***

Es un componente perteneciente a la librería de Android telephony, la cual proporciona toda la información relacionada con la intensidad de la señal LTE.

Sus principales métodos son:

- public int getDbm ()
- public int getLevel ()
- public int getRsrp ()
- public int getRsrq ()
- public int getRssi ()
- public int getRssnr () (Google, 2021).

#### **5.2.2.3. Bases de datos.**

Es el método más usado para el almacenamiento de datos estructurado, desde aquellas tan robustas como el multiusuario, como las agendas utilizadas en los celulares.

Las bases de datos permiten manipular de una manera más óptima la información almacenada por ende mejora la calidad de los procesos que conlleven a la manipulación de la información en grandes cantidades, estas tienen ventajas y desventajas para su aplicación las cuales se detallarán en seguida.

Ventajas:

- Mayor seguridad de datos: de acuerdo con los permisos otorgados cada usuario tiene permitido observar, y manipular los datos a los cuales sus credenciales le permitan.
- Integridad de los datos: Mayor dificultad de pérdida de datos o de ser modificados.
- Acceso a la información de una forma más eficiente: la organización de los datos permite tener un rendimiento óptimo.

- Acceso simultaneo a los datos: facilidad para controlar el acceso de usuarios de forma concurrente.

Desventajas:

- Instalación costosa: el control y administración requiere de un alto costo para el desarrollo, implementación y ejecución de las bases de datos.
- Falta de rentabilidad a corto plazo: debido al costo de los equipos y por el tiempo en que se demora para estar operativa.
- Tamaño: Por la cantidad de datos que se manejan se requiere mucho espacio y memoria RAM para su buen funcionamiento (Abenza, P. P. Garrido, 2015).

### **5.3. Marco Legal**

#### **5.3.1. Constitución política, Artículo 61**

El estado protegerá la propiedad intelectual como lo establece la ley en la constitución política, las creaciones, invenciones o modelos creados, la patente es un privilegio que otorga el estado al desarrollador por un tiempo determinado (Constitución Política de la República de Colombia, 1991).

#### **5.3.2. Ley TIC (1341 de 2009)**

Con la promulgación de esta ley el objetivo principal es de Impulsar el desarrollo y fortalecimiento del sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones, promover la investigación e innovación buscando su competitividad y avance tecnológico conforme al entorno nacional e internacional (Congreso de la República de Colombia., 2009).

#### **5.3.3. Ley 1341, En los artículos 3,4.**

En Nuestra Legislación el Estado Colombiano reconoce que el acceso a las tecnologías de la información y el desarrollo de contenidos y aplicaciones la protección a los usuarios, la educación de talento humano es fundamentales en el desarrollo la sociedad del conocimiento (Congreso de la República de Colombia., 2009).

#### **5.3.4. Ley 565 del 2000 y ley 33 de 1987**

(Congreso de la República de Colombia) y **ley 33** (Congreso de la República de Colombia, 1987). La protección del software como objeto de derechos de autor en el estado en el marco del convenio de Berna.

#### **5.3.5. Decreto 1360 de 1989.**

Inscripción del software de en el registro nacional en la cual describe como software como una creación de dominio literario ( Presidencia de la República de Colombia, 1989).

## 6. Metodología

Este proyecto tiene cuatro principales fases, dentro de las cuales se desarrollará todo el contenido como se muestra en la Figura 4.

- Primera fase: Anteproyecto – identificación de la perspectiva de la investigación: objeto de análisis, población, costos, estado del arte, sustentación.
- Segunda fase: Desarrollar la aplicación priorizando los parámetros utilizados en la primera fase
- Tercera fase: Protocolo de pruebas acerca del funcionamiento de la aplicación.
- Cuarta fase: Análisis de los datos obtenidos en las pruebas.

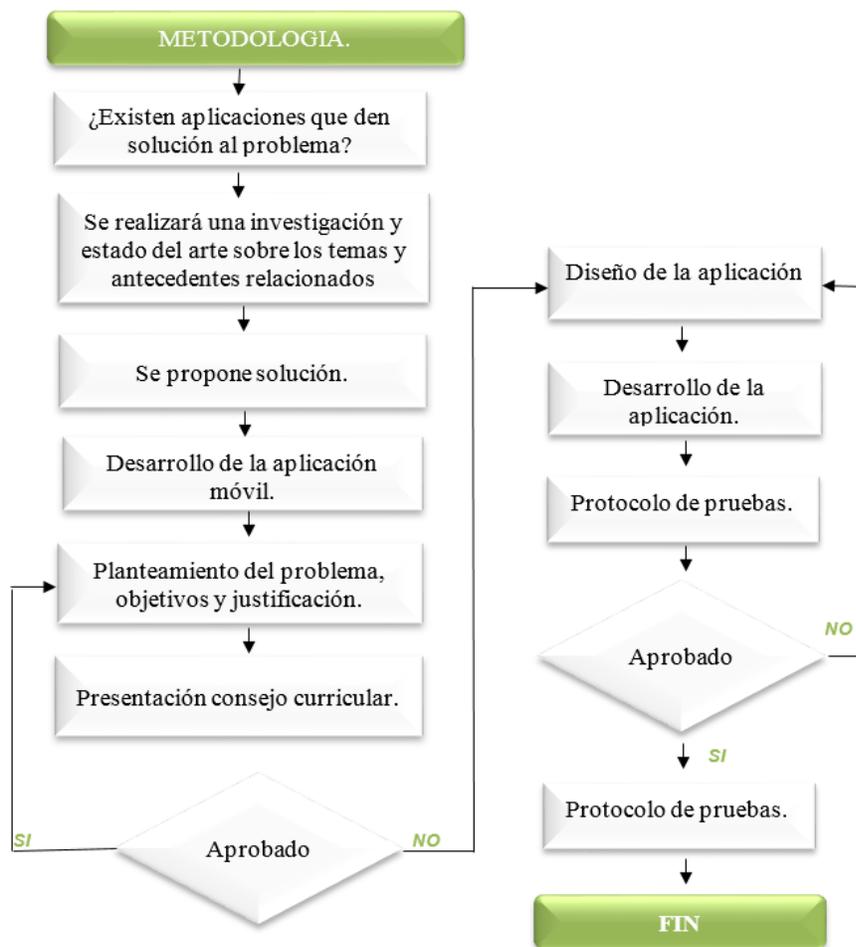


Figura 4. Metodología

## **6.1. Análisis**

### **6.1.1. Requerimientos**

Las principales necesidades que se requieren solucionar con este proyecto son:

- Captura de los datos de los principales indicadores de la red LTE.
- Almacenamiento de los datos recolectados en una base de datos.
- Visualización de la información automática y remota desde un dashboard web.

### **6.1.2. Clasificación de requerimientos.**

#### **6.1.2.1. Entorno.**

Para capturar los datos se necesita un celular inteligente con sistema operativo Android que soporte la banda LTE de los distintos operadores que funcionan en Colombia, sim card con tecnología 4G y datos móviles (Especificaciones técnicas del celular).

En el almacenamiento de los datos se requiere conexión a un servidor que aloje un gestor de base de datos permitiendo guardar la información recolectada.

Es necesario contar con el software de inteligencia de negocios desarrollado por Microsoft Power bi este debe contar con comunicación al servidor que contiene la base de datos y conexión a internet.

#### **6.1.2.2. Mundo.**

Mediante una interfaz gráfica el usuario puede interactuar a través de etiquetas, cajas de texto, botones, entre otros con una aplicación que capturara los datos más relevantes requeridos.

Como datos de entrada se tienen los indicadores de calidad de la red LTE y como datos de salida se genera los paneles de visualización.

La base de datos dispone de una visualización interna que permite acceder a los datos recolectados en cada una de las pruebas.

La aplicación Power Bi muestra diferentes paneles compuestos por mapas de geolocalización, mapas de calor, gráficos, tablas, filtros que permiten al usuario visualizar los datos tomados.

#### **6.1.2.3. Funcionales.**

Los requerimientos funcionales solicitan una petición de funcionamiento al aplicativo, estos están asociados a 2 plataformas:

- Móvil identificado con la letra m.
- Web identificado con la letra w.

Además, se muestra la prioridad a la hora de darle solución a cada petición recibida como se muestra **Tabla 1. Requerimientos funcionales.** *Tabla 1.*

Tabla 1. Requerimientos funcionales.

Requerimientos funcionales	Módulo	Prioridad
Autenticar el usuario	m	Baja
Crear nueva sesión de lectura	m	Alta
Capturar el intervalo de tiempo de la prueba.	m	Alta
Geolocalizar el terminal por coordenadas geográficas	m	Alta
Capturar cada uno de los indicadores de calidad de la red LTE	m	Alta
Almacenar la información recolectada en la base de datos interna	m	Alta
Mostrar la prueba realizada en la lista de sesiones de lectura	m	Media
Enviar los datos almacenados	m	Alta
Guardar los datos enviados en la base de datos remota	w	Alta
Consultar la base de datos remota desde power bi	w	Alta
Generar los cálculos de variables a partir de los datos consultados	w	Media
Visualizar los datos capturados y calculados	w	Media

#### 6.1.2.4. No funcionales.

Los requerimientos no funcionales se muestran en función del nombre, descripción y prioridad como se muestra en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Requerimientos no funcionales.

Requerimientos no funcionales	Descripción	Prioridad
Tiempo de respuesta de la aplicación.	Los tiempos de respuesta del aplicativo móvil no pueden superar los 5 minutos.	Alta
Tiempo de envío y recepción	El tiempo de respuesta del envío y recepción de los datos depende de la conexión a internet	Alta
Interfaz del usuario	El aplicativo tendrá una interfaz intuitiva para el usuario.	Media
Funcionamiento en plataformas móviles	El aplicativo debe funcionar en dispositivos con sistema operativo Android	Alta
Funcionamiento en plataformas web	El aplicativo debe funcionar en los navegadores actuales más usados	Alta
Portabilidad	El sistema podrá ser instalado en varios terminales al mismo tiempo	Alta
Desempeño	El sistema podrá recibir solicitudes de varios terminales y la base de datos estará alojada en un servidor remoto eficiente dando acceso a varios usuarios.	Alta
Tamaño	El aplicativo se debe adaptar a diferentes resoluciones de pantallas	Media

### 6.1.3. Usuarios

Operadores de telecomunicaciones o personas naturales en general que deseen saber el estado de la red LTE a la que se encuentran conectados.

## 6.2 Desarrollo de la aplicación Android

### 6.2.1. Diseño.

Una vez planteada la aplicación como solución a los requerimientos analizados, se da inicio al proceso de diseño mostrado en la Figura 5.

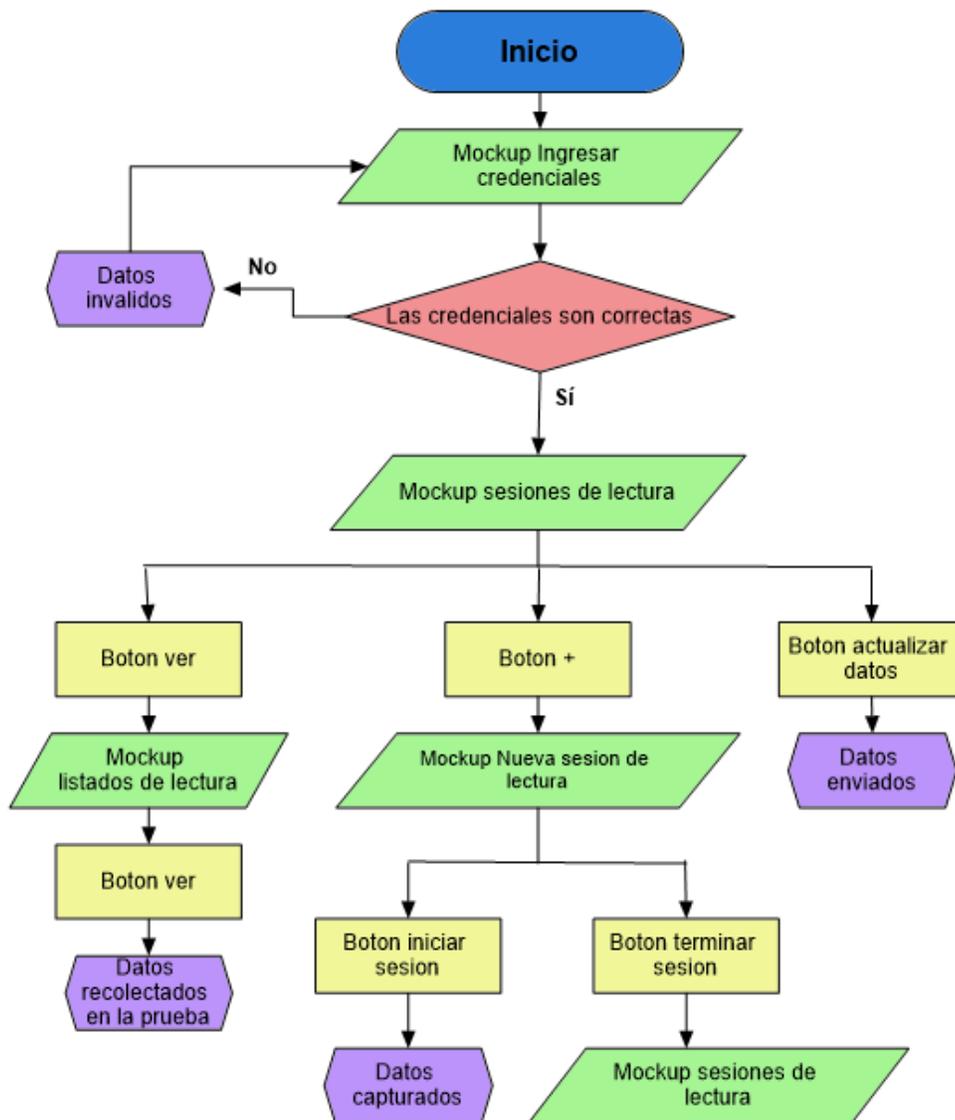
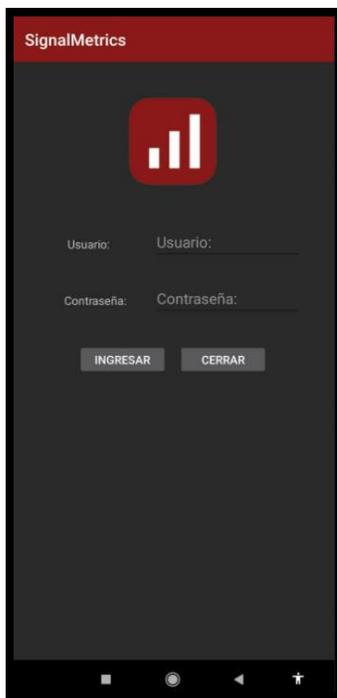


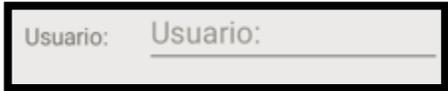
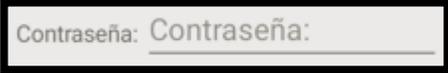
Figura 5. Diseño de la aplicación.

Por seguridad de la aplicación se creó el Mockup inicio de sesión como se muestra en la Figura 6, el cual está compuesto por los elementos mostrados en la *Tabla 3*.



**Figura 6. Mockup de inicio de sesión.**

*Tabla 3. Elementos de pantalla de inicio.*

<b>Descripción</b>	<b>Icono</b>	<b>Función</b>
Campo usuario		Espacio para digitar el usuario asignado.
Campo contraseña		Espacio para digitar la contraseña
botón ingresar		Da el acceso a la aplicación si el usuario y la contraseña son correctos y muestra la figura 7.
botón cerrar		Sale de la aplicación

Al realizar la validación del usuario y contraseña mediante el botón ingresar se muestra el mockup de la Figura 7 en el cual se observa la lista de sesiones de pruebas que se realizaron con anterioridad.



**Figura 7. Mockup listado de sesiones de lectura.**

Los elementos que conforman la Figura 7 se describen en la *Tabla 4*.

*Tabla 4. Elementos pantalla de sesiones de lectura.*

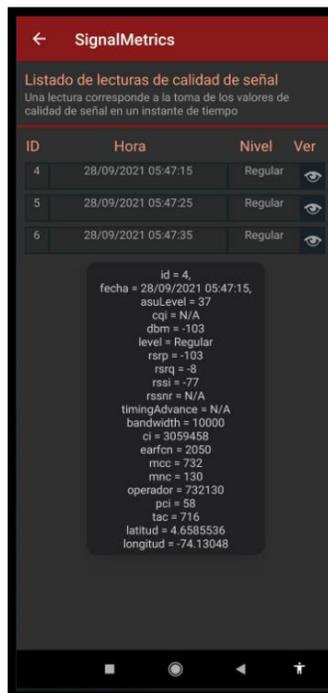
Descripción	Icono	Función
botón ver		Muestra el mockup de la figura 8.
botón +		Muestra el mockup de la figura 10.
botón actualizar		Envía los datos almacenados en la aplicación a la base de datos.

Al seleccionar el botón ver, se muestra el mockup de la Figura 8, mostrando la hora y el nivel de calidad en general de la señal de la prueba.



**Figura 8. Mockup listado de pruebas por sesión.**

Al seleccionar el icono de ver se puede evidenciar las mediciones realizadas de la prueba en la parte inferior de la pantalla como lo muestra la Figura 9.



**Figura 9. Mockup mediciones de cada prueba.**

Para entrar en modo pruebas le damos en el botón + de la Figura 8, se abrirá el mockup de la Figura 10 el cual nos permite seleccionar el intervalo de tiempo en que se tomará cada prueba, por defecto se encuentra en 10 segundos, esta pantalla está compuesta por los elementos que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Elementos de pantalla nueva sesión de lecturas.

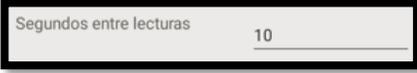
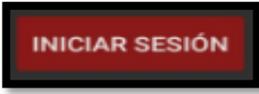
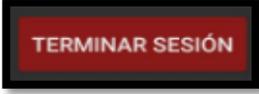
Descripción	Icono	Función
Etiqueta segundos entre lecturas		Determina el intervalo de tiempo en que se hará cada prueba.
Iniciar sesión		La aplicación inicia la toma de mediciones del set de prueba según el intervalo seleccionado.
Terminar sesión		Finaliza el set de pruebas



Figura 10. Mockup sesión de lecturas.

Al finalizar la sesión anteriormente mostrada se visualizarán las pruebas en la pantalla de la figura 8, para enviar los datos a la base de datos se debe presionar en el botón actualizar, en la parte inferior de la pantalla se mostrará un mensaje indicando que los datos han sido enviados al servidor como lo muestra la Figura 11.



**Figura 11. Envió de datos almacenados al servidor.**

## **6.2.2. Desarrollo.**

### **6.2.2.1. Elección del entorno de desarrollo.**

Para el desarrollo de la aplicación se eligió el entorno de programación Android Studio debido a su versatilidad y facilidad a la hora de crear aplicaciones, además que cuenta con una plantilla extendida de los servicios de Google y usa JAVA o Kotlin como lenguajes de programación, lo cual facilita los tiempos de desarrollo ya que contaba con algunos conocimientos en JAVA.

Para la anterior elección se hicieron comparaciones con otros entornos de desarrollo de aplicaciones móviles frecuentemente usadas en el mercado como Flutter y React Native, como se muestra en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Comparación entornos de desarrollo.

Descripción	Entorno de desarrollo		
	Flutter	React Native	Android Studio
Rendimiento	Buena	Regular	Excelente
Interfaz Grafica	Excelente	Excelente	Excelente
Compatibilidad	Buena	Regular	Excelente
Tiempo de desarrollo	Buena	Excelente	Buena
Costo	Excelente	Buena	Regular

Además, se realizó un estudio de características generales entre Android Studio y Flutter, como se muestra en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Características generales Android Studio VS Flutter.

Flutter	Android Studio
Lenguaje de programación javascript, swift y objC	Lenguaje de programación JAVA y Kotlin
Multiplataforma	Entorno de desarrollo integrado
Acceso a las aplicaciones nativas	Solución basada en Gradle
Función recarga en caliente	Plantilla extendida servicios Google

## 6.2.2.2. Desarrollo Aplicación Android Studio.

### 6.2.2.2.1. Android manifest.

Es un archivo XML que indica como se hace la instalación en el terminal, como se muestra en la Figura 12, está compuesto por los siguientes elementos:

- Permisos de activación de los periféricos del terminal.
- Configuración de los iconos y actividades.

```

10 <application
11     android:allowBackup="true"
12     android:icon="@mipmap/icon"
13     android:label="SignalMetrics"
14     android:roundIcon="@mipmap/icon_round"
15     android:supportRtl="true"
16     android:theme="@style/Theme.SignalMetrics"
17     android:usesCleartextTraffic="true">
18     <activity
19         android:name=".MainActivity"
20         android:parentActivityName=".LoginActivity" />
21     <activity
22         android:name=".NewTrack"
23         android:parentActivityName=".MainActivity" />
24     <activity
25         android:name=".ListReading"
26         android:parentActivityName=".MainActivity" />
27     <activity android:name=".LoginActivity">
28         <intent-filter>
29             <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
30
31             <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
32         </intent-filter>
33     </activity>
34 </application>

```

**Figura 12. AndroidManifest.xml**

### 6.2.2.2.2. Código principal.

#### 6.2.2.2.2.1. Archivos.java.

El código de la aplicación está compuesto por 4 archivos los cuales cuentan con una estructura similar y están directamente relacionados con los archivos de recursos, le indican al entorno de desarrollo cuales son las instrucciones para ejecutarlos, los 4 archivos se relacionan en la *Tabla 8* y la *Figura 13*.

*Tabla 8. archivos de recursos.*

Elemento	Tipo
ListReading	Archivo con extensión .java
LoginActivity	Archivo con extensión .java
MainActivity	Archivo con extensión .java
NewTrack	Archivo con extensión .java

```

18
19 /**
20  * Cerrar la aplicación
21  *
22  * @param view Vista en la que se ejecuta el botón
23  */
24 public void closeApp(View view) { System.exit( status 0); }
25
26
27 /**
28  * Validar los datos ingresados para autenticar el usuario
29  *
30  * @param view Vista en la que se ejecuta el botón
31  */
32
33 public void login(View view) {
34     String login = ((EditText) findViewById(R.id.txtUserLogin)).getText().toString();
35     String password = ((EditText) findViewById(R.id.txtPasswordLogin)).getText().toString();
36     if (login.equals("admin") && password.equals("admin2021")) {
37         startActivity(new Intent( packageContext.this, MainActivity.class));
38     } else {
39         Toast.makeText( context this, "Datos inválidos", Toast.LENGTH_SHORT).show();
40     }
41     Toast.makeText( context this, R.string.error_login, Toast.LENGTH_SHORT).show();

```

**Figura 13. LoginActivity.java**

#### 6.2.2.2.2.2. *Ficheros principales.*

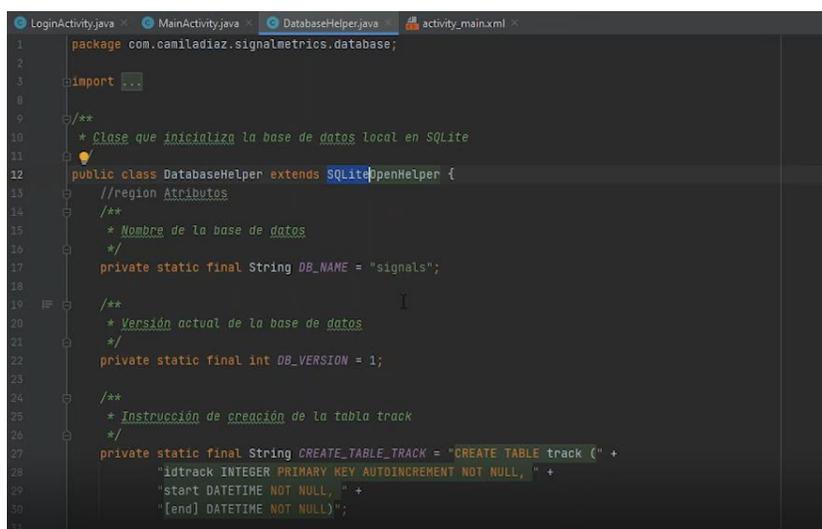
El código de la aplicación está compuesto por 2 ficheros los cuales son: adapters y database.

##### 6.2.2.2.2.2.1. *adapters.*

Son un grupo de clases que permiten unir los datos que se van leyendo en las pruebas con la posición de cada ítem, por ejemplo, que dato va en la columna 1.

##### 6.2.2.2.2.2.2. *Database.*

Está compuesta por 3 archivos que contienen la configuración de la base de datos, esta configuración es la misma que la de mysql localizada remotamente de la cual se explicara más adelante la única diferencia es que esta se ejecuta en sqlite incluida en Android Studio como se muestra en la Figura 14.



```
1 package com.camiladiaz.signalmetrics.database;
2
3 import ...
4
5 /**
6  * Clase que inicializa la base de datos local en SQLite
7  */
8
9 public class DatabaseHelper extends SQLiteOpenHelper {
10
11     //region Atributos
12     /**
13      * Nombre de la base de datos
14      */
15     private static final String DB_NAME = "signals";
16
17     /**
18      * Versión actual de la base de datos
19      */
20     private static final int DB_VERSION = 1;
21
22     /**
23      * Instrucción de creación de la tabla track
24      */
25     private static final String CREATE_TABLE_TRACK = "CREATE TABLE track (" +
26         "idtrack INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT NOT NULL, " +
27         "start DATETIME NOT NULL, " +
28         "end] DATETIME NOT NULL)";
29
30 }
```

Figura 14. Configuración base de datos sqlite.

#### 6.2.2.2.2.3. *Uso de la librería CellSignalStrengthLte.*

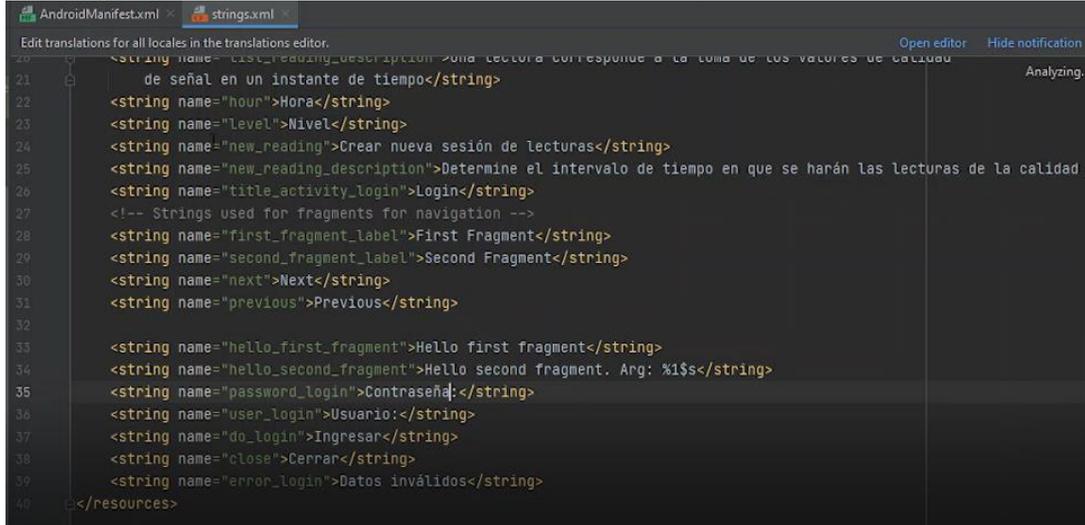
La librería se declaró y ejecuto en el archivo MainActivity, importando la librería y creando la clase `public final class CellSignalStrengthLte extends CellSignalStrength` posteriormente se invocaron cada uno de los métodos de la librería y se almacenaron en una variable.

#### 6.2.2.2.3. *Archivos de recursos.*

Son un grupo de archivos con formato XML, los cuales contienen datos relevantes para la aplicación.

##### 6.2.2.2.3.1. *Strings.xml*

Este archivo contiene todos los textos que se usan en la aplicación como lo muestra la Figura 15.

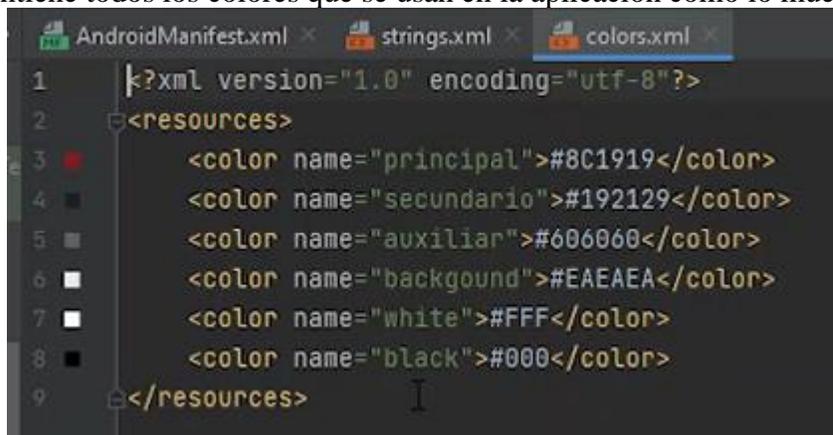


```
20 <string name="list_reading_description">Una lectura corresponde a la toma de los valores de calidad  
21 de señal en un instante de tiempo</string>  
22 <string name="hour">Hora</string>  
23 <string name="level">Nivel</string>  
24 <string name="new_reading">Crear nueva sesión de lecturas</string>  
25 <string name="new_reading_description">Determine el intervalo de tiempo en que se harán las lecturas de la calidad  
26 <string name="title_activity_login">Login</string>  
27 <!-- Strings used for fragments for navigation -->  
28 <string name="first_fragment_label">First Fragment</string>  
29 <string name="second_fragment_label">Second Fragment</string>  
30 <string name="next">Next</string>  
31 <string name="previous">Previous</string>  
32  
33 <string name="hello_first_fragment">Hello first fragment</string>  
34 <string name="hello_second_fragment">Hello second fragment. Arg: %1s</string>  
35 <string name="password_login">Contraseña:</string>  
36 <string name="user_login">Usuario:</string>  
37 <string name="do_login">Ingresar</string>  
38 <string name="close">Cerrar</string>  
39 <string name="error_login">Datos inválidos</string>  
40 </resources>
```

**Figura 15. Archivo strings.xml**

#### 6.2.2.2.3.2. colors.xml

Este archivo contiene todos los colores que se usan en la aplicación como lo muestra la Figura 16.



```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>  
2 <resources>  
3 <color name="principal">#8C1919</color>  
4 <color name="secundario">#192129</color>  
5 <color name="auxiliar">#606060</color>  
6 <color name="background">#EAEAEA</color>  
7 <color name="white">#FFF</color>  
8 <color name="black">#000</color>  
9 </resources>
```

**Figura 16. Archivo colors.xml**

### 6.2.2.2.3.3. *icon\_launcher\_background.xml*

Este archivo contiene los iconos utilizados en la aplicación como se muestra en la Figura 17.

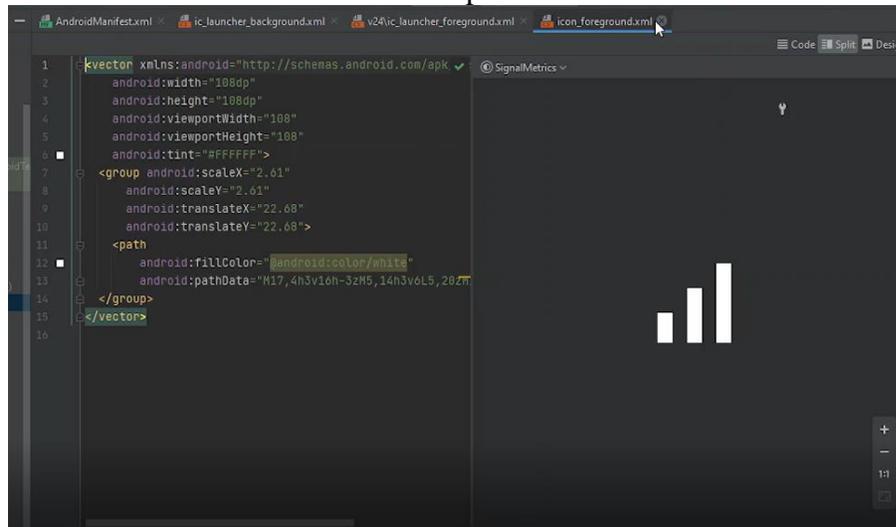


Figura 17. Archivo icon\_foreground.xml

### 6.2.2.2.3.4. *Archivos activity.*

Los archivos activity son aquellos en donde se creó la interfaz gráfica de la aplicación como se observa en la Figura 18, estos son:

- activity\_login.xml
- activity\_main.xml
- activity\_list\_reading.xml
- activity\_track.xml

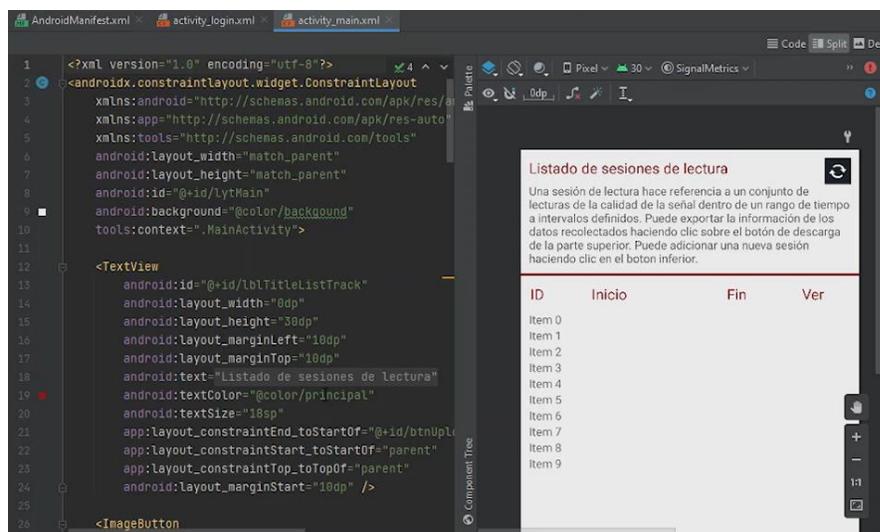


Figura 18. Archivo activity\_main.xml

### 6.2.2.3.5. Archivos item.

Los archivos item son los encargados de guiar a la interfaz a la hora de posicionar las columnas usando el componente recycler view como se muestra en la Figura 19.

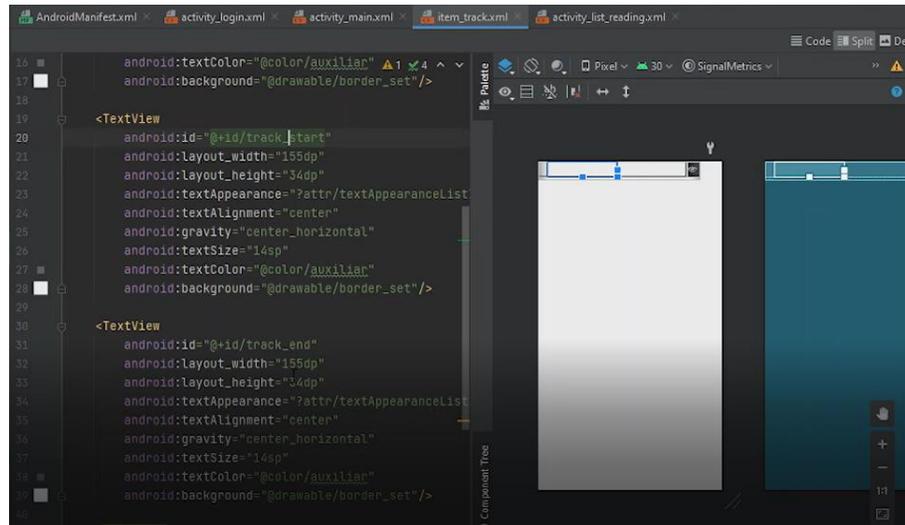


Figura 19. Archivo item\_track.xml

### 6.2.2.3. Desarrollo de la base de datos.

En esta parte del diseño se expone el modelo final de la base de datos, la cual se realizó en el programa MySQL el cual se escogió de acuerdo con la comparación presentada en la Tabla 9 y está alojada en la nube con el fin de que los datos pudieran ser vistos remotamente en poco tiempo desde el panel de visualización.

Tabla 9. Comparación gestores de bases de datos.

Gestor de base de datos	Ventajas	Desventajas
MySQL	-Código libre -Intuitiva	-Soporte escaso
Oracle	-Alto rendimiento -Soporte técnico de calidad	-Licencia paga -Difícil configuración
SQLite	-Soporte en muchos lenguajes de programación -tamaño pequeño	-Espacio limitado -Baja compatibilidad con otras bases de datos

Con el fin de que él envío de los datos sea automático se creó una base de datos en un servidor remoto.

En la Figura 20 se puede visualizar la base de datos en la nube phpMyAdmin alojada en el servidor 127.0.0.1.

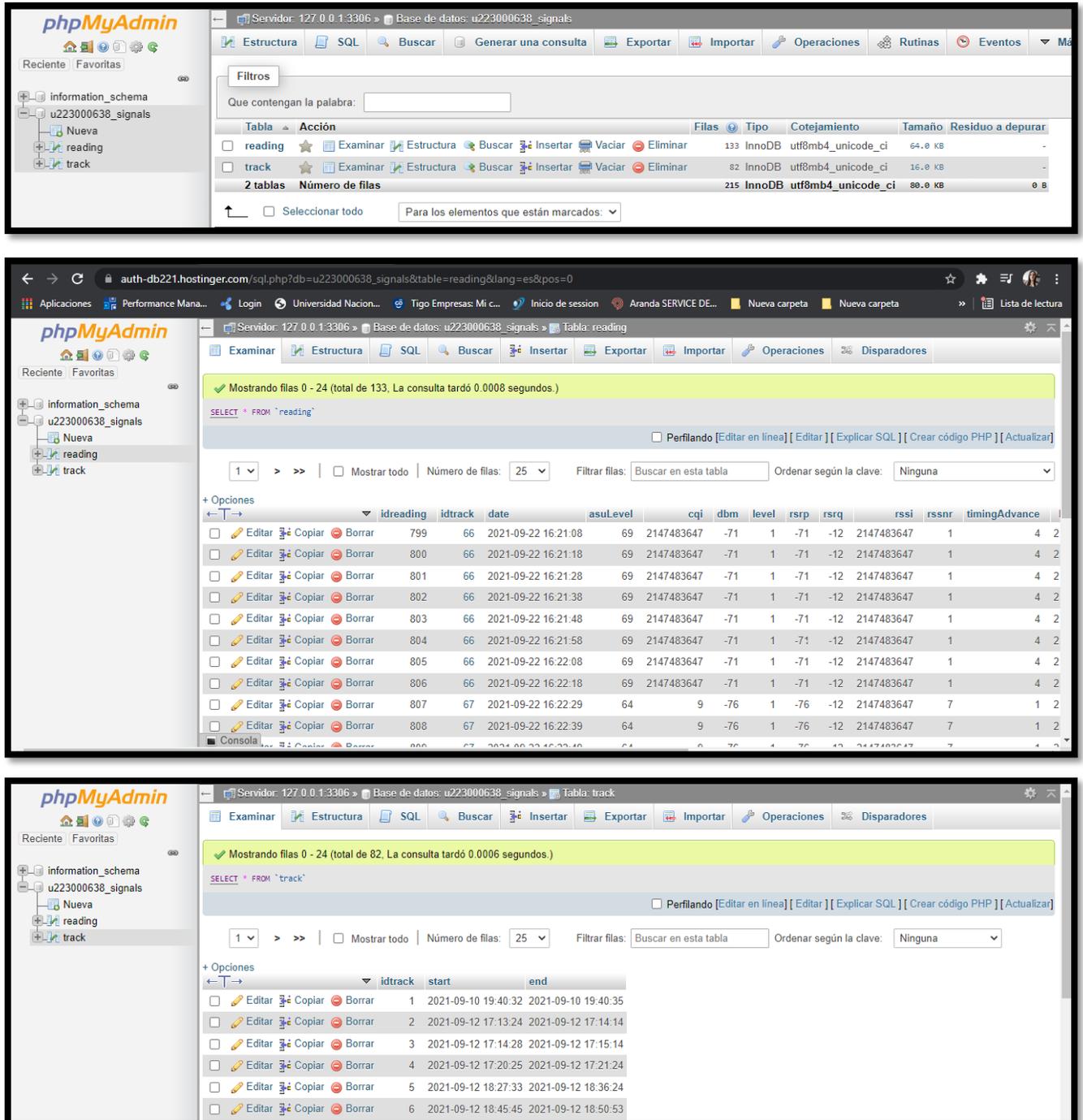
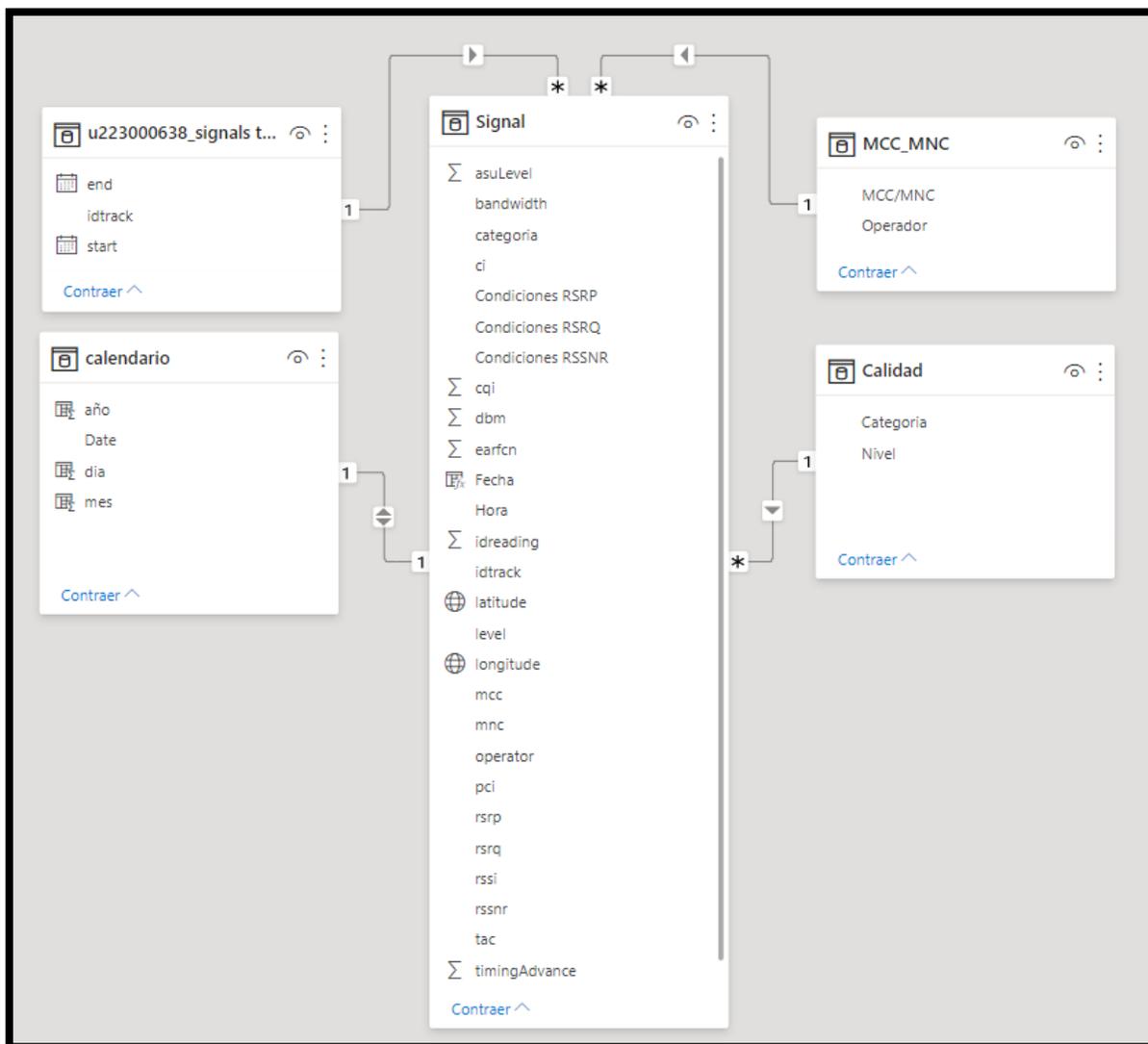


Figura 20. Base de datos en la nube

La base de datos está compuesta por una tabla principal y 4 auxiliares como se muestra en la Figura 21.



**Figura 21. Modelo entidad relación base de datos.**

#### **6.2.2.3.1. Tabla principal.**

Las tablas principales son aquellas que almacenan la información relevante para el sistema, en este caso la tabla principal es **Signal**, esta contiene los datos recolectados por la aplicación y está compuesta por las siguientes columnas:

- Asulevel: Obtiene el nivel de RSRP en ASU.
- Bandwidth: Ancho de banda.

- Categoría: Indica la calidad de la señal a nivel general.
- CI: Código de eNodeB a la cual el terminal se encuentra conectado.
- Condiciones RSRP: Categorización que se le da a la medición RSRP según la tabla 6.
- Condiciones RSRQ: Categorización que se le da a la medición RSRQ según la tabla 6.
- Condiciones RSSNR: Categorización que se le da a la medición RSSNR según la tabla 6.
- CQI: Indicador que lleva la información sobre qué tan buena es la calidad en el canal de comunicación.
- Dbm: Medición RSRP en Dbm.
- Earfcn: frecuencia de la prueba.
- Fecha: Fecha de la prueba en formato (dd/mm/yyyy).
- Hora: Hora de la prueba en formato (hh24:mm:ss).
- Id, Reading: Identificador de lectura de la prueba.
- Id track: Muestra el identificador y la llave principal de la tabla.
- Latitud: Proporciona la localización de la prueba, en dirección norte o sur.
- Longitud: Proporciona la localización de la prueba, en dirección este - oeste.
- Mcc: Indica el país en el cual se realizó la prueba.
- Mnc: Indica el operador con el cual se realizó la medición.
- Operator: Concatena los valores del Mcc y Mnc.
- PCI: Identificador físico de celda.
- RSRP: Potencia recibida de la señal de referencia.
- RSRQ: Calidad de la señal de referencia recibida.
- RSSI: Indicador de intensidad de la señal recibida.
- RSSNR: Relación señal/ruido.
- TAC: Código de área de seguimiento.
- TimingAdvance: Avance de temporización.

La categorización de RSRP, RSRQ, RSSNR se calculó en función de la *Tabla 10*.

*Tabla 10. Categorización RSRP, RSRQ, RSSNR*

<b>Categorización</b>	<b>RSRP (dBm)</b>	<b>RSRQ (dB)</b>	<b>RSSNR (dB)</b>
Excelente	$\geq -80$	$\geq -10$	$\geq 20$
Buena	-80 a -90	-10 a -15	13 a 20
Regular	-90 a -100	-15 a -20	0 a 13
Mala	$\leq -100$	$< -20$	$\leq 0$

#### 6.2.2.3.2. Tablas Auxiliares.

Las tablas auxiliares son aquellas que almacenan la información secundaria que hace parte del funcionamiento del sistema, es decir las tablas llamadas Calidad, MCC\_MNC, Calendario y Signals track como se muestran en las Tablas 11,12,13 y 14.

##### 6.2.2.3.2.1 Tabla Calidad.

Esta tabla contiene 2 columnas, Categoría y nivel, estas indican la categoría level de la tabla principal como se muestra en la *Tabla 11*.

*Tabla 11. Calidad.*

Categoría	Nivel
Excelente	1
Buena	2
Regular	3
Mala	4
Sin Señal	5

##### 6.2.2.3.2.2. Tabla MCC\_MNC.

Contiene 2 columnas las cuales indican el nombre del operador según el campo operador de la tabla principal como se muestra en la *Tabla 12*.

*Tabla 12. MCC\_MNC.*

MCC/MNC	Operador
732101	Claro
732103	TIGO
732111	TIGO
732123	Movistar
732130	Avantel
732187	ETB

##### 6.2.2.3.2.3. Tabla Calendario.

Contiene 4 columnas que indican datos de tiempo como se muestra en la *Tabla 13*.

Tabla 13. Calendario.

dia	mes	año	Date
1	1	2021	1/01/2021
2	1	2021	2/01/2021
3	1	2021	3/01/2021
4	1	2021	4/01/2021
5	1	2021	5/01/2021
6	1	2021	6/01/2021
7	1	2021	7/01/2021
8	1	2021	8/01/2021
9	1	2021	9/01/2021
10	1	2021	10/01/2021
11	1	2021	11/01/2021
12	1	2021	12/01/2021

#### 6.2.2.3.2.4. Tabla Signals track.

Contiene 3 columnas que relacionan el id único, hora de inicio y hora de finalización de cada prueba como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Signal track.

idtrack	start	end
1	10/09/2021 7:40:32 p. m.	10/09/2021 7:40:35 p. m.
2	12/09/2021 5:13:24 p. m.	12/09/2021 5:14:14 p. m.
3	12/09/2021 5:14:28 p. m.	12/09/2021 5:15:14 p. m.
4	12/09/2021 5:20:25 p. m.	12/09/2021 5:21:24 p. m.
5	12/09/2021 6:27:33 p. m.	12/09/2021 6:36:24 p. m.
6	12/09/2021 6:45:45 p. m.	12/09/2021 6:50:53 p. m.

#### 6.2.2.4. Desarrollo de la interfaz gráfica web.

La visualización de datos se realizó mediante el programa de inteligencia de negocios de Microsoft Power Bi, la cual es una herramienta muy usada en la actualidad. Permite conformar diferentes orígenes de datos, analizarlos y visualizar el análisis a través de informes, dashboards y paneles.

##### 6.2.2.4.1. Conexión power Bi- base de datos.

La conexión se realizó mediante el controlador ODBC mySQL de Power Bi, se ingresaron las credenciales del servidor, con el objetivo que los paneles de visualización siempre estén



#### 6.2.2.4.2.1. Filtros.

Esta vista cuenta con 9 filtros para adicionar (Fecha, TAC, CQI, Timming Advance, Operador, Celda, Calidad, Frecuencia y PCI), no son únicos para esta vista si no también funcionan para la vista Mapas RF y cualquiera que se requiera adicionar a futuro. Los filtros permiten al usuario ver los datos con mayor detalle y tomar decisiones con base a los datos almacenados.

#### 6.2.2.4.2.2. Calidad de señal.

La Figura 24 permite identificar la cantidad de pruebas recolectadas, asignándoles 5 categorías (sin señal, mala, regular, buena y excelente), en función de la calidad de la señal recolectada.

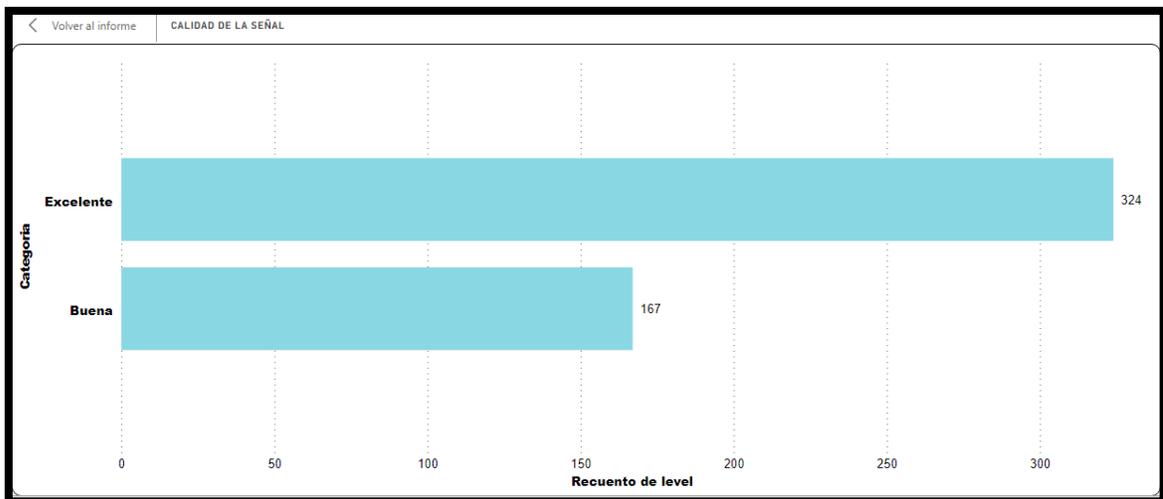


Figura 24. Calidad de Señal.

#### 6.2.2.4.2.3. Distribución por operador.

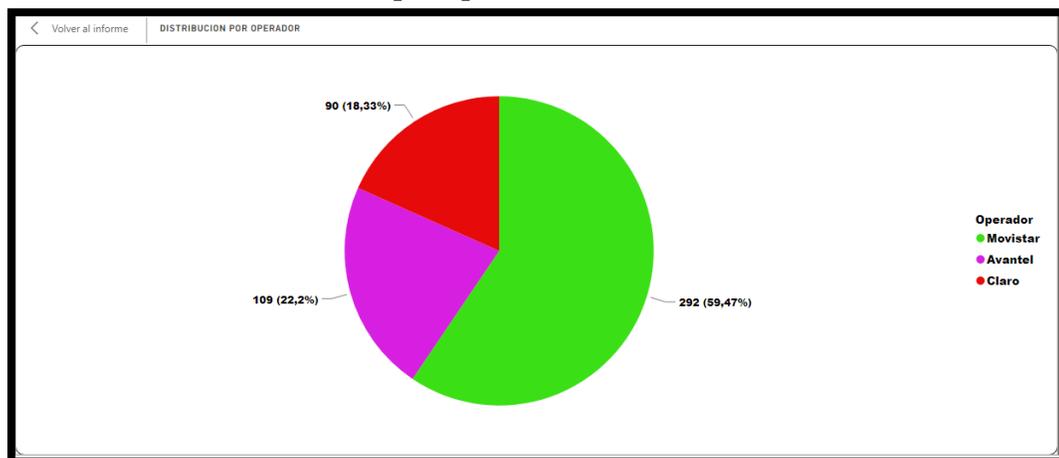


Figura 25. Distribución por operador.

La Figura 25 muestra la distribución porcentual de las pruebas en función del operador que detecte el terminal a la hora de hacer la prueba.

#### 6.2.2.4.2.4. Calidad de la Señal por Operador.

En la Figura 26 se puede visualizar la cantidad de pruebas por operador categorizadas por el nivel de señal (sin señal, mala, regular, buena y excelente).

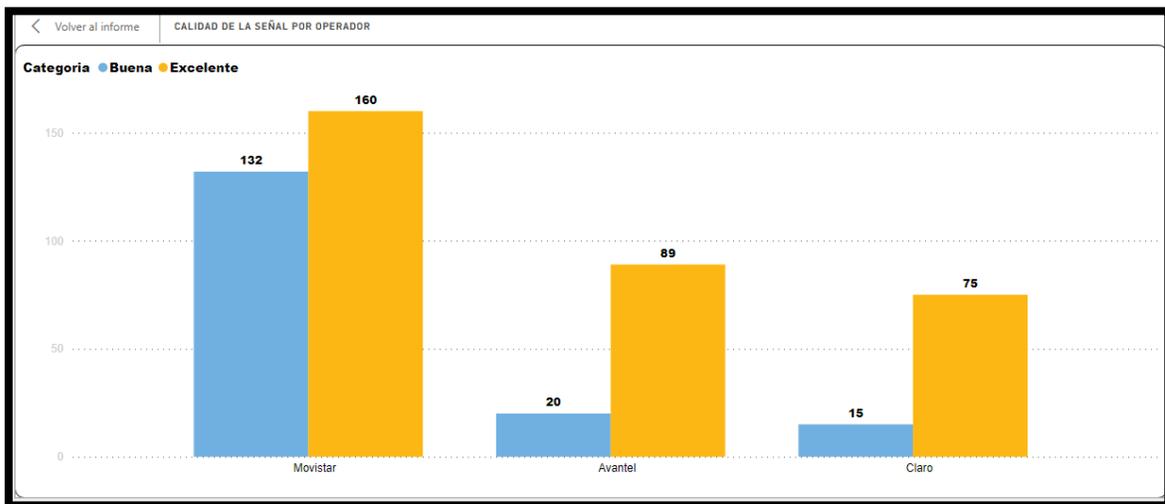
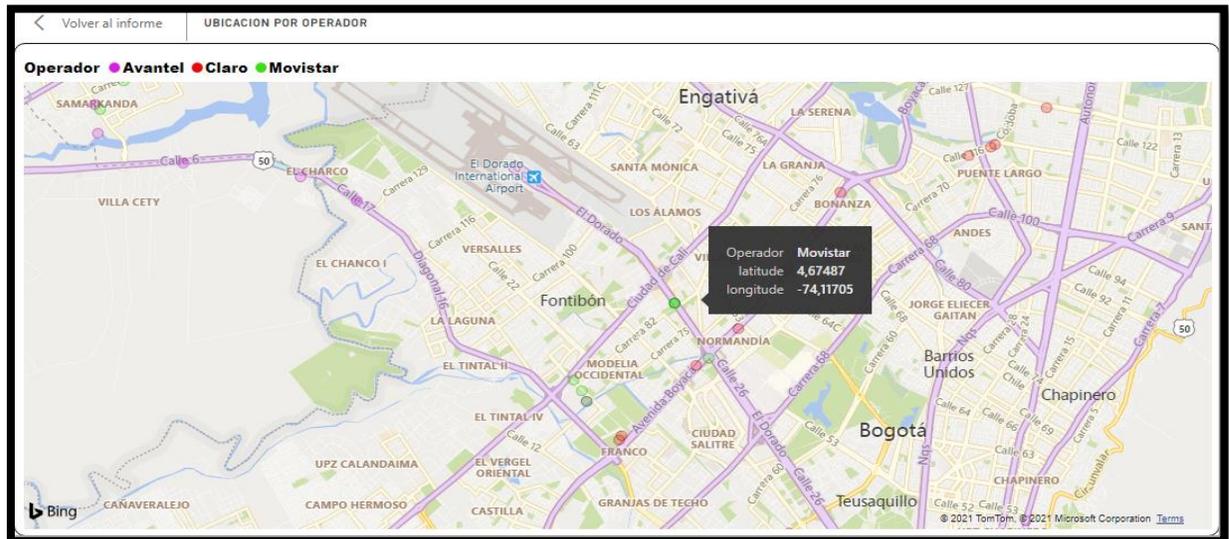
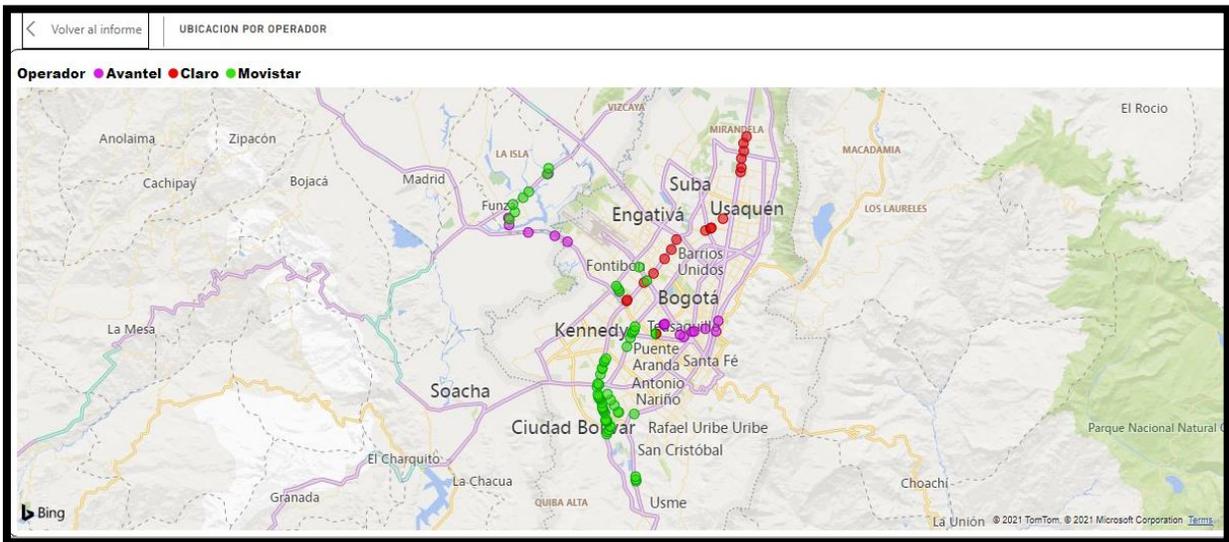


Figura 26. Calidad de la señal por operador.

#### 6.2.2.4.2.5. Mapa Ubicación por Operador.

La Figura 27 muestra la ubicación sobre un mapa de las coordenadas (latitud y longitud) en donde se realizó la prueba y le da el color característico de cada operador a la marca de posición.



**Figura 27. Geolocalización de las pruebas por operador.**

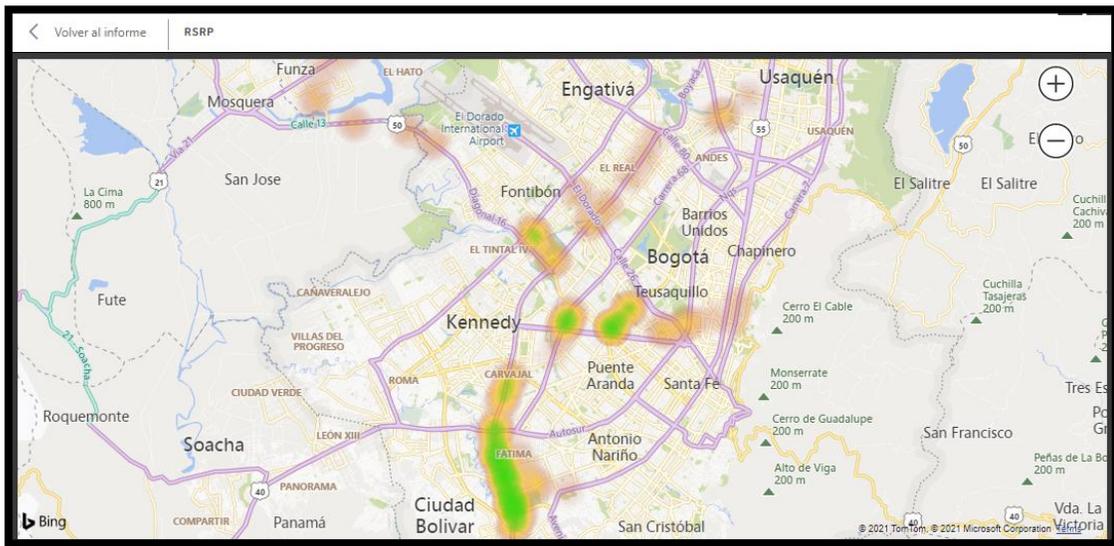
**6.2.2.4.2.6. Tabla Numero de pruebas.**

La Figura 28 le permite al usuario visualizar el total y promedio de pruebas por día y por Operador que se han almacenado en la base de datos.

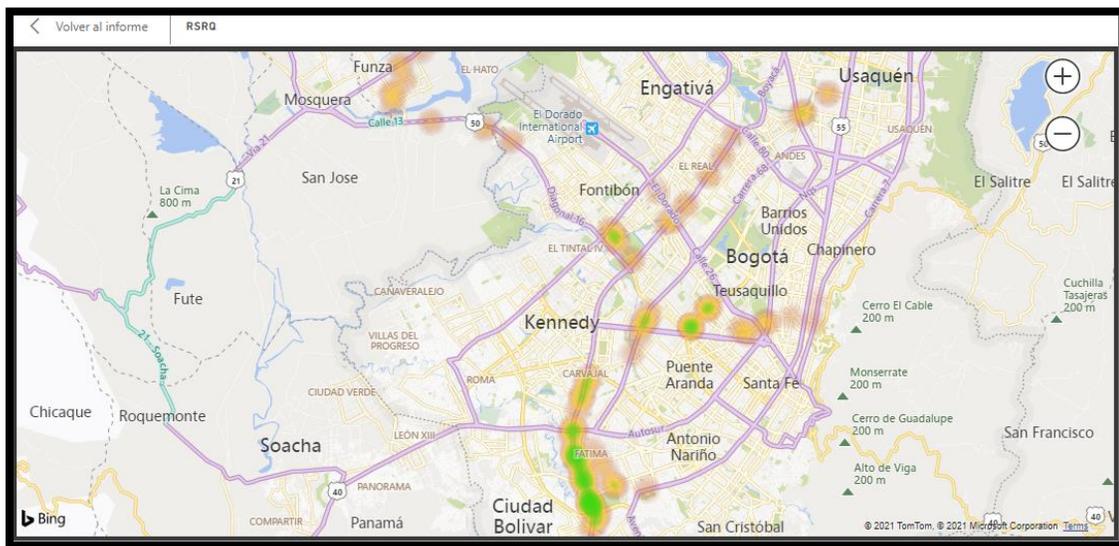


### 6.2.2.4.3.1. Mapas de Calor.

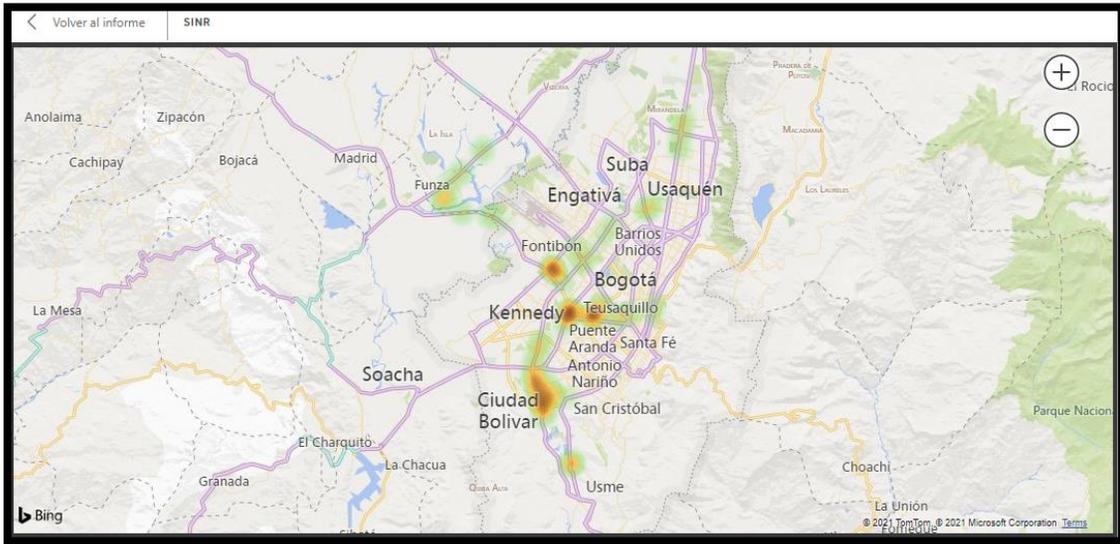
En las, Figura 30, Figura 31, Figura 32 y Figura 33 se muestran mapas de calor de los indicadores más importantes (RSRP, RSRQ, SINR y CQI), permitiéndole al usuario identificar que zonas requieren optimización.



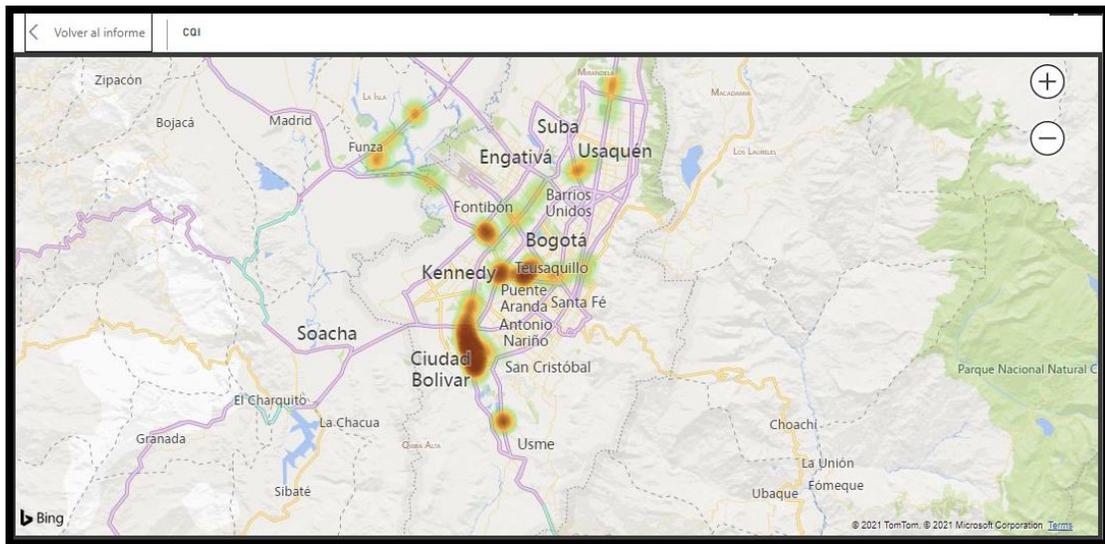
**Figura 30. RSRP**



**Figura 31. RSRQ.**



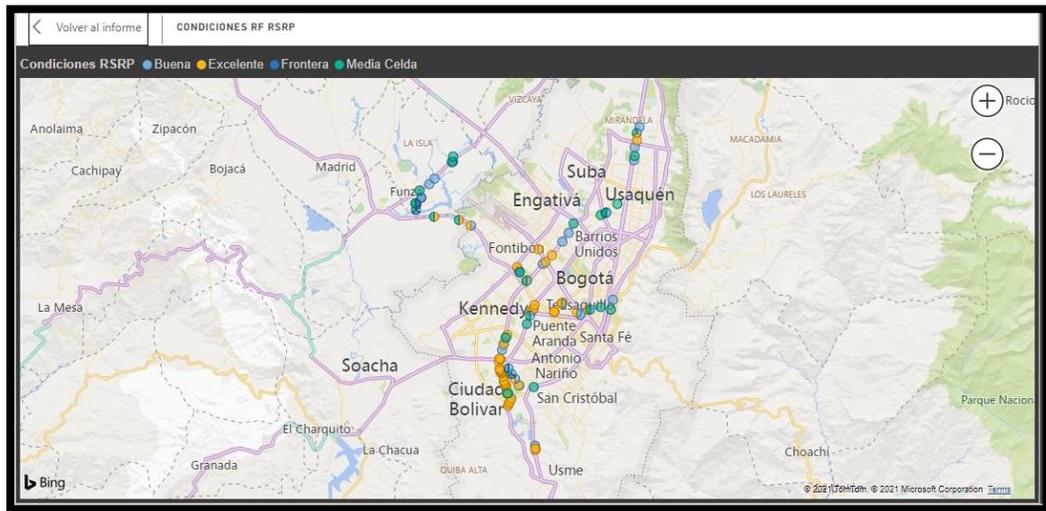
**Figura 32. SINR.**



**Figura 33. CQI**

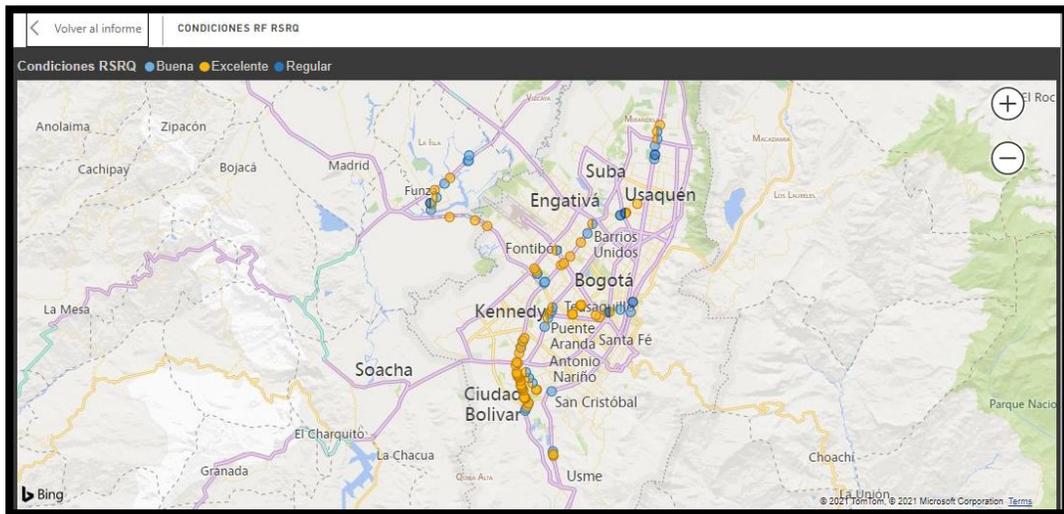
#### **6.2.2.4.3.2. Geolocalización.**

En la Figura 34 se puede observar la geolocalización de RSRP categorizado por la calidad (Excelente, Buena, Media celda y frontera de la celda), en función de la **Tabla 11**.



**Figura 34. Geolocalización RSRP.**

En la Figura 35 se puede observar la geolocalización de RSRQ categorizado por la calidad (Excelente, Buena, Regular y Mala), en función de la tabla 10.



**Figura 35. Geolocalización RSRQ.**

**6.2.2.4.3.3. Información RF de la prueba.**

La Figura 36 muestra datos importantes de la prueba (Operador, Latitud, Longitud, Frecuencia, TimingAdvance, TAC, RSRP, RSRQ, SINR, CQI, Categoría RSRP, Categoría RSRQ y Categoría SINR), los cuales le permiten al usuario identificar el estado de cobertura de la posición mostrada.

Celda	Operador	Latitud	Longitud	Frecuencia	TimingAdvance	TAC	PCI	RSRP	RSRQ	RSSNR	CQI	Condiciones RSRP	Condiciones RSRQ	Condiciones RSSNR
130799618	Movistar	4,58918	-74,13856	2175	0	2341	108	-81	-9	15	9	Buena	Excelente	Buena
77668	Claro	4,70096	-74,06853	3075	0	20007	379	-84	-10	7	14	Buena	Excelente	Regular
128044034	Movistar	4,67487	-74,11705	2175	1	2260	463	-76	-12	7	9	Excelente	Buena	Regular
128068870	Movistar	4,63474	-74,11985	2575	1	2350	376	-68	-10	5	11	Excelente	Excelente	Regular
128070657	Movistar	4,58887	-74,14507	2175	1	2341	362	-76	-6	15	12	Excelente	Excelente	Buena
128070659	Movistar	4,58768	-74,14464	2175	1	2341	360	-64	-6	23	13	Excelente	Excelente	Excelente
128070659	Movistar	4,58695	-74,14458	2175	1	2341	360	-64	-6	28	15	Excelente	Excelente	Excelente
128185601	Movistar	4,72573	-74,19207	2175	1	2332	437	-81	-9	9	9	Buena	Excelente	Regular
130618133	Movistar	4,58029	-74,14208	2175	1	2341	281	-71	-10	7	10	Excelente	Excelente	Regular
130618133	Movistar	4,58025	-74,14207	2175	1	2341	281	-70	-11	5	14	Excelente	Buena	Regular
130624769	Movistar	4,59617	-74,14516	2175	1	2341	394	-72	-6	8	13	Excelente	Excelente	Regular
130800406	Movistar	4,66571	-74,11180	2175	1	2260	181	-78	-10	7	9	Excelente	Excelente	Regular
130800406	Movistar	4,67487	-74,11705	2175	1	2260	181	-78	-10	7	9	Excelente	Excelente	Regular
130801667	Movistar	4,62714	-74,12306	2175	1	2350	365	-83	-9	10	11	Buena	Excelente	Regular
130803714	Movistar	4,66023	-74,13128	2175	1	2260	461	-71	-10	20	15	Excelente	Excelente	Excelente
130803719	Movistar	4,66204	-74,13259	850	1	2260	460	-60	-8	26	11	Excelente	Excelente	Excelente
159126	Claro	4,68671	-74,09512	3225	1	20019	420	-87	-12	-6	8	Buena	Buena	Mala
2935042	Avantel	4,69597	-74,17443	2050	1	717	326	-64	-7	14	14	Excelente	Excelente	Buena
2939139	Avantel	4,63151	-74,07955	2050	1	720	454	-82	-9	7	11	Buena	Excelente	Regular
3038465	Avantel	4,63650	-74,09946	2050	1	716	194	-74	-10	5	12	Excelente	Excelente	Regular
40450	Movistar	4,58161	-74,13391	2175	1	2200	491	-87	-9	2	15	Buena	Excelente	Regular
40450	Movistar	4,57684	-74,13081	2175	1	2200	491	-87	-9	9	9	Buena	Excelente	Regular
40450	Movistar	4,57711	-74,13144	2175	1	2200	491	-79	-8	16	13	Excelente	Excelente	Buena

Figura 36. Información RF de la prueba.

## 7. Resultados

Con el objetivo de validar el funcionamiento de la aplicación, se hicieron diferentes mediciones en los terminales Samsung j6 y Xiaomi redmi note 9 pro, a causa de que son de gama media y asequibles a cualquier usuario que requiera usar la aplicación. Estas pruebas fueron comparadas con la aplicación G-NetTrack, debido a que tiene una puntuación de 4.3 en la play store, cuenta con más de 1.000.000 descargas alrededor del mundo (GyokovSolutions, 2021) y es la solución más usada para pruebas y monitoreo de calidad (Pedrini, 2021) además varios autores han realizado estudios utilizando dicha aplicación por ejemplo los autores Amir Hamzah Alias, Darmawaty Mohd Ali, Muhammad Naquiddin bin Sahrani quienes utilizaron esta aplicación para realizar mediciones de la señal LTE a bordo de un tren con una velocidad de 80 a 100 km/h a lo largo de la vía férrea en malasia (Alias, Ali, & Sahrani, 2017).

### 7.1. Pruebas iniciales.

Se realizaron 3 pruebas iniciales de comparación con el operador Movistar en 3 puntos aleatorios con una duración no mayor a 5 minutos para verificar el funcionamiento inicial en el terminal Samsung j6 como se muestra en la Figura 37, Figura 38 y Figura 39.

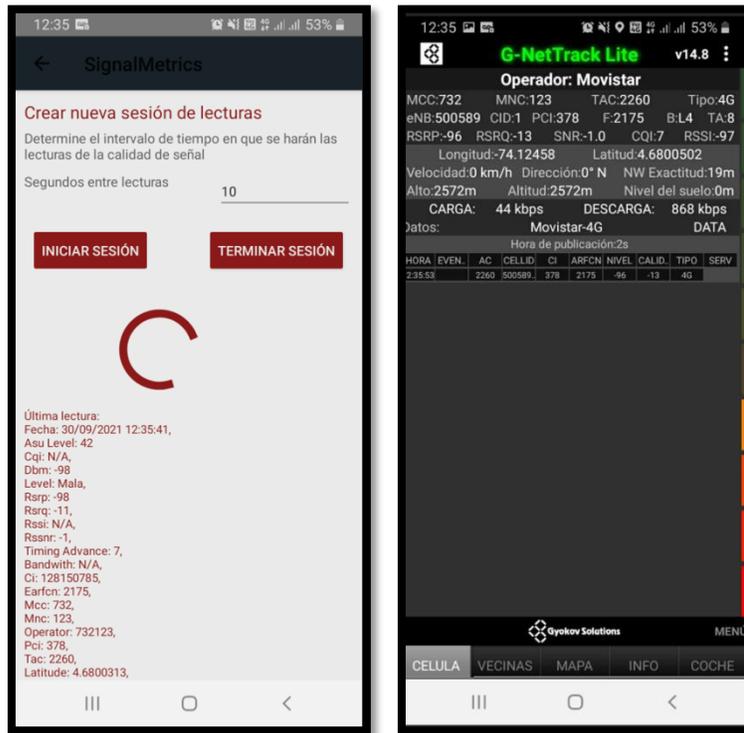


Figura 37. Comparación 1 SignalsMetrics vs G-NetTrack.

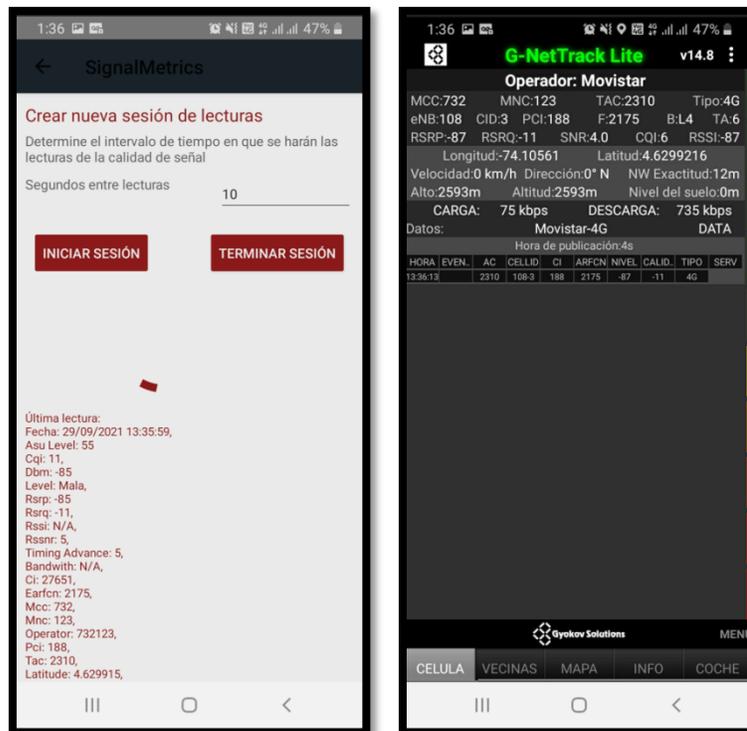
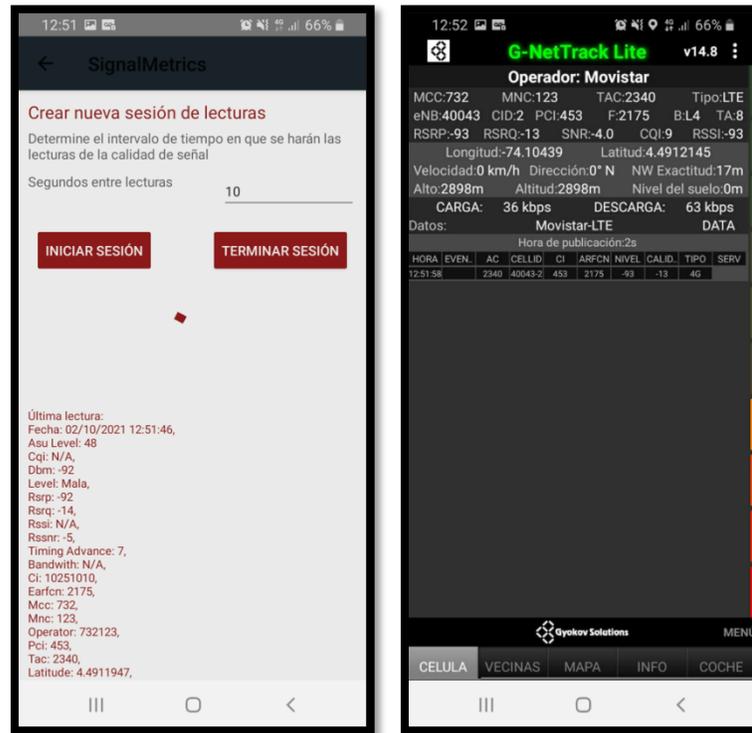


Figura 38. Comparación 2 SignalsMetrics vs G-NetTrack.



**Figura 39. Comparación 3 SignalsMetrics vs G-NetTrack.**

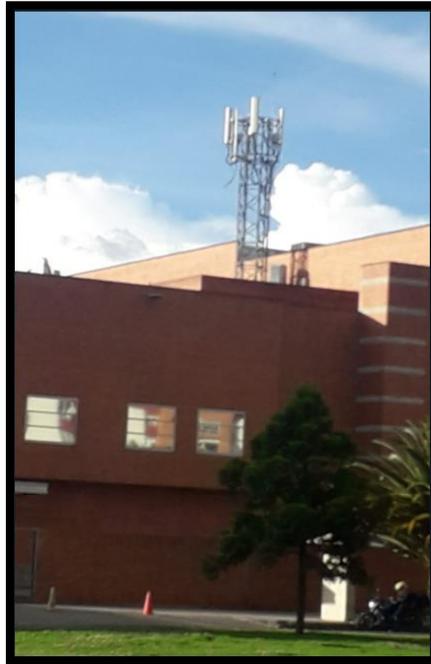
En la *Tabla 15* se puede observar que los datos de la aplicación solución y G-NetTrack son muy similares, por lo cual las primeras pruebas de funcionamiento son confiables.

*Tabla 15. Comparación inicial SignalsMetrics vs G-NetTrack.*

Medicion	Comparación 1		Comparación 2		Comparación 3	
	SignalsMetrics	G-NetTrack	SignalsMetrics	G-NetTrack	SignalsMetrics	G-NetTrack
RSRP	-98	-96	-85	-87	-92	-93
RSRQ	-11	-13	-11	-11	-14	-13
RSSNR	-1	-1	5	4	-5	-4
TA	7	8	5	6	7	8
Earfcn	2175	2175	2175	2175	2175	2175
MCC	732	732	732	732	732	732
MNC	123	123	123	123	123	123
Operator	732123	732123	732123	732123	732123	732123
PCI	378	378	188	188	453	453
TAC	2260	2260	2310	2310	2340	2340
Latitude	4,68003	4,68005	4,62991	4,21992	4,49119	4,62992
Longitude	-74,1243	-74,1245	-74,1056	-74,10561	-74,1056	-74,10561

## 7.2. Pruebas de campo.

En las pruebas de campo se utilizó el terminal Samsung j6 con una sim card de Avantel y el Xiaomi redmi note 9 pro con una sim card de WOM, inicialmente se identificó una estación o eNodo b que contaba con un volumen de tráfico alto como se muestra en la Figura 40, este fue ubicado en la parte superior del centro comercial Hayuelos al occidente de la capital del país.



**Figura 40. Estación de pruebas centro comercial Hayuelos.**

El principal objetivo fue realizar mediciones a 100, 200, 300, 400 y 500 metros como se muestra en la Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44, Figura 45y Figura 46con cobertura de uno de los sectores, identificando las fronteras de cobertura y degradación de la calidad en cuanto a que la distancia aumenta y se encuentran obstáculos, a fin de evidenciar la diferencia entre las mediciones capturadas por la aplicación solución (signalMetrics) y G-NetTrack.



**Figura 41. Geolocalización posición de las pruebas.**



**Figura 42. Vista punto 1 (100 metros).**



**Figura 43. Vista punto 2 (200 metros).**



**Figura 44. Vista punto 3 (300 metros).**



**Figura 45. Vista punto 4 (400 metros).**



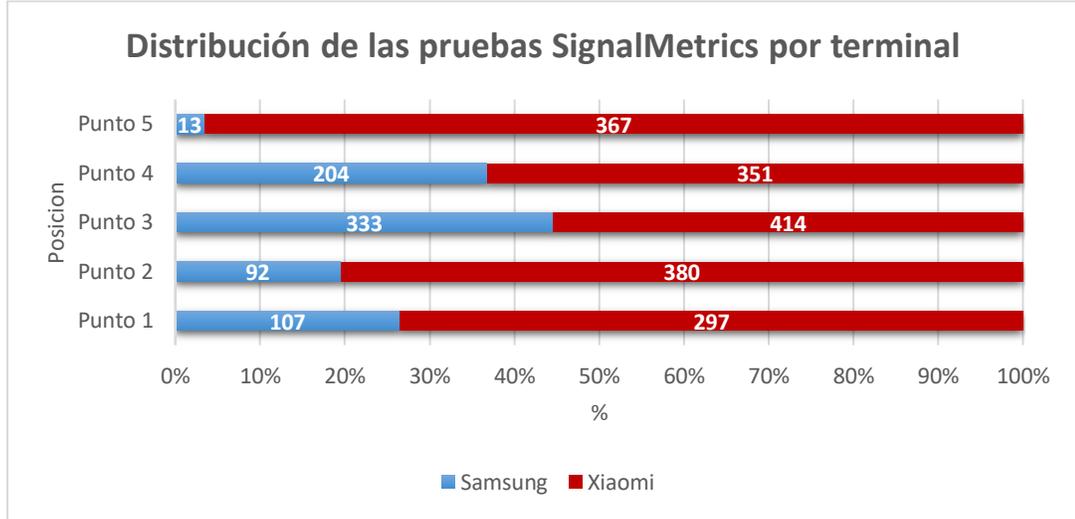
**Figura 46. Vista punto 5 (500 metros).**

### **7.2.1. Distribución de las pruebas.**

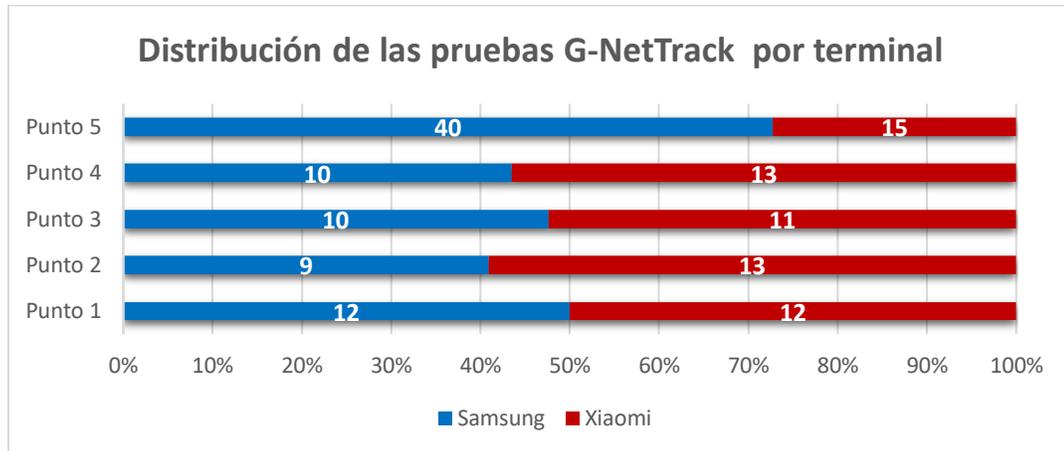
En total se tomaron 2559 pruebas con la aplicación SignalMetrics y 145 con la aplicación G-NetTrack, la diferencia radica en que la segunda no tiene la opción para escoger cada cuanto tiempo realizar la prueba y la toma cada 3 minutos por defecto, a diferencia de la aplicación solución ya que esta si da la opción de escoger el intervalo de tiempo deseado. Estas se distribuyen como se muestra en la *Tabla 16* y en la *Figura 47*, *Figura 48* y *Figura 49*.

*Tabla 16. Distribución de las pruebas con las aplicaciones G-NetTrack y SignalMetrics.*

<b>Posicion</b>	<b>G-NetTrack</b>	<b>SignalMetrics</b>
Punto 1	24	404
Punto 2	22	472
Punto 3	21	747
Punto 4	23	555
Punto 5	55	380
<b>Total</b>	<b>145</b>	<b>2558</b>



**Figura 47. Distribución de las pruebas tomadas con la aplicación SignalMetrics por terminal.**



**Figura 48. Distribución de las pruebas tomadas con la aplicación G-NetTrack por terminal.**



**Figura 49. Distribución de las pruebas por operador**

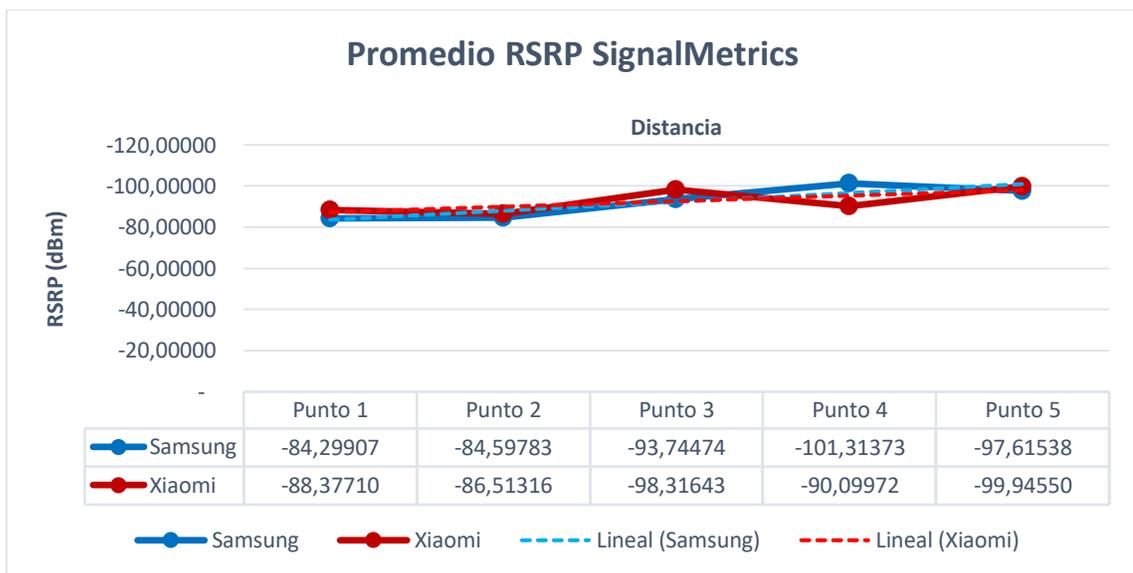
### 7.2.2. Variables de estudio.

En esta sección se comparan y analizan cada una de las variables de estudio recolectadas en las pruebas.

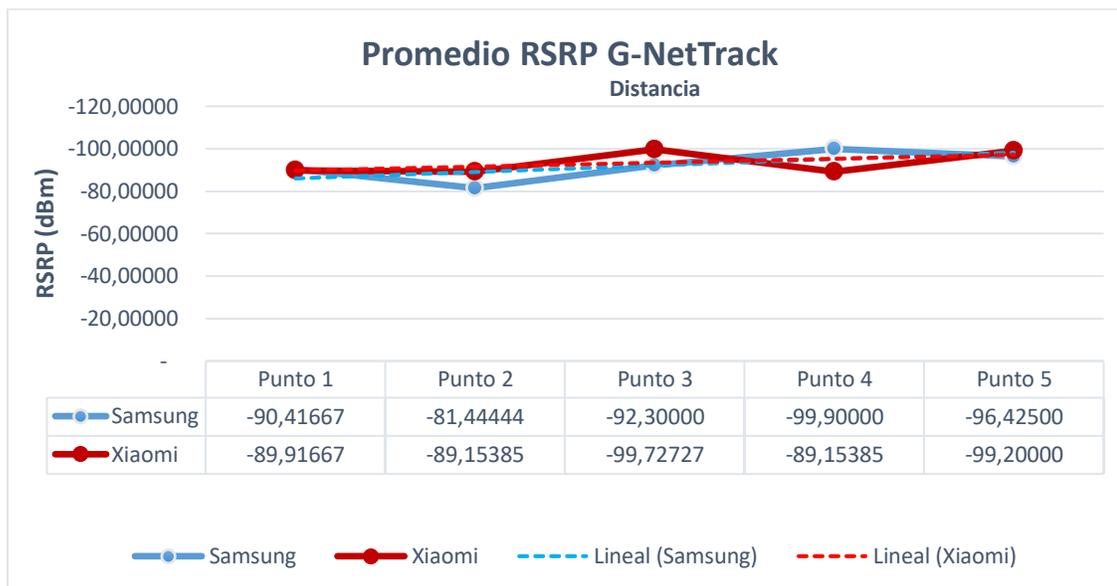
#### 7.2.2.1. RSRP.

Se puede notar que a medida que la distancia aumenta la potencia de la señal recibida se va degradando, la línea de tendencia crece, lo cual indica que la distancia es inversamente proporcional a la potencia recibida.

El comportamiento en las gráficas es muy similar, lo cual da un buen indicio para medir RSRP con la aplicación solución como se muestra en la Figura 50 y la Figura 51.



**Figura 50. Promedio RSRP SignalMetrics.**



**Figura 51. Promedio RSRP G-NetTrack.**

En la *Tabla 17* se puede evidenciar que el porcentaje de error promedio para la medición de RSRP entre aplicaciones para el terminal Samsung J6 es de 2,97% y para el terminal Xiaomi redmi note 9 pro es de 1,58%.

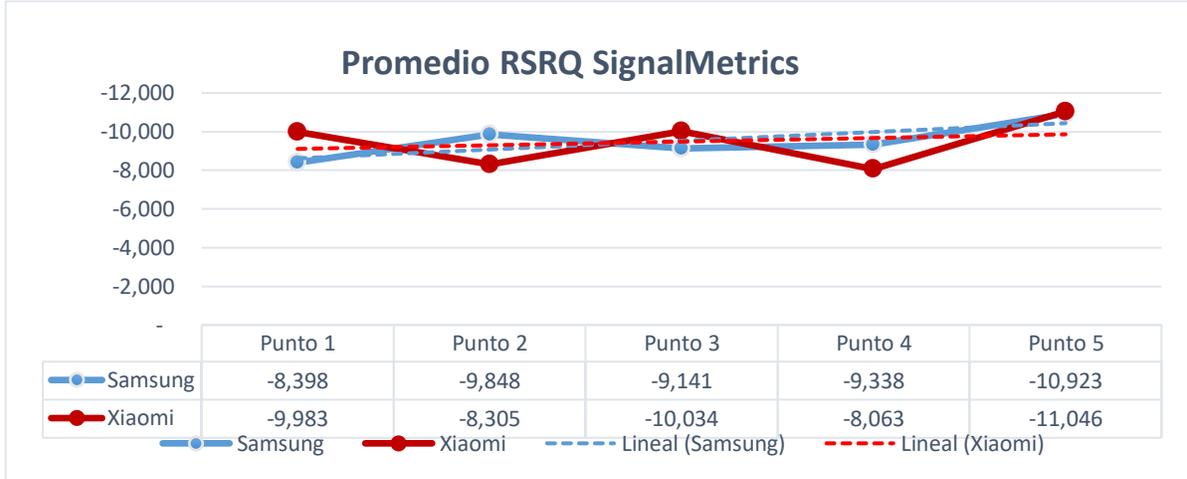
*Tabla 17. Porcentaje de error RSRP SignalMetrics vs G-NetTrack.*

% de error			
Posición	Samsung	Xiaomi	Total
Punto 1	6,77%	1,71%	3,18%
Punto 2	3,87%	2,96%	0,16%
Punto 3	1,57%	1,41%	0,09%
Punto 4	1,42%	1,06%	0,42%
Punto 5	1,23%	0,75%	2,76%

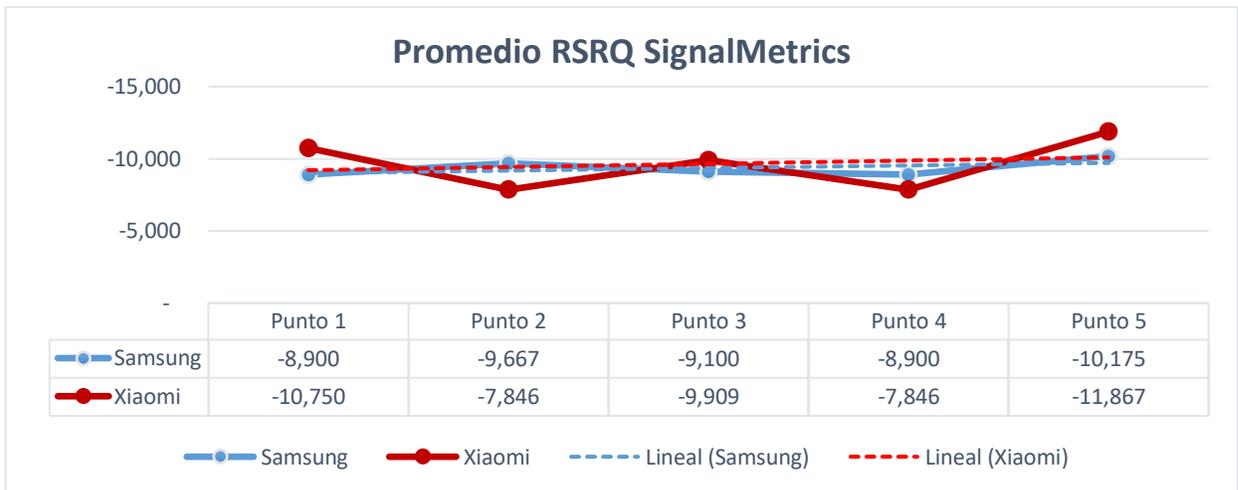
### 7.2.2.2. RSRQ.

Se puede observar que la calidad de la señal recibida varía entre los rangos -8 y -10, más sin embargo en la posición 5 presenta una degradación mayor y la línea de tendencia crece, lo cual da un indicio que a medida que la distancia aumenta la calidad de la señal disminuye.

El comportamiento en las gráficas es muy similar, lo cual da un buen indicio para medir RSRQ con la aplicación solución como se muestra en la Figura 52 y la Figura 53.



**Figura 52. Promedio RSRQ SignalMetrics.**



**Figura 53. Promedio RSRQ G-NetTrack.**

En la *Tabla 18* se puede evidenciar que el porcentaje de error promedio para la medición de RSRQ entre aplicaciones para el terminal Samsung J6 es de 4.05% y para el terminal Xiaomi redmi note 9 pro es de 4.78%.

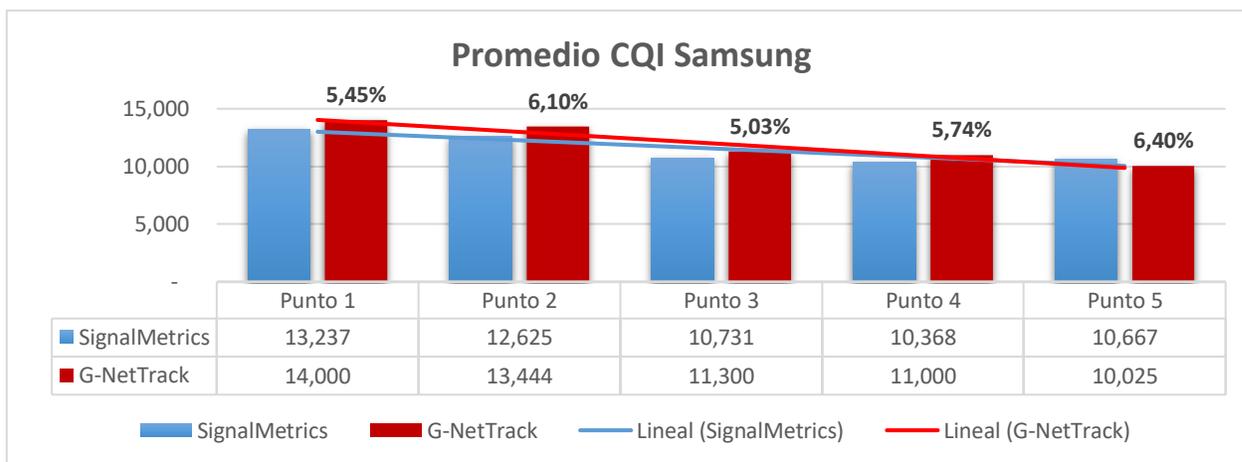
*Tabla 18. Porcentaje de error RSRQ SignalMetrics vs G-NetTrack.*

% de error			
Posición	Samsung	Xiaomi	Total
Punto 1	5,64%	7,13%	3,52%
Punto 2	1,87%	5,85%	0,17%
Punto 3	0,45%	1,26%	1,18%
Punto 4	4,92%	2,76%	2,74%
Punto 5	7,35%	6,91%	3,81%

### 7.2.2.3. CQI.

No se registraron datos en las pruebas realizadas para indicador de calidad de canal (CQI) en el terminal Xiaomi redmi note pro, esto se debe posiblemente a limitaciones de fabrica debido a que sucedió con ambas aplicaciones evaluadas.

El indicador de calidad del canal disminuye a medida que aumenta la distancia como se muestra en la Figura 54.



**Figura 54. Promedio CQI SignalMetrics vs G-NetTrack.**

En la **Tabla 19** se puede evidenciar que el porcentaje de error promedio para la medición de CQI entre aplicaciones para el terminal Samsung J6 es de 5.74%. No se registran datos en ninguna de las dos aplicaciones para el terminal Xiaomi redmi note 9 pro.

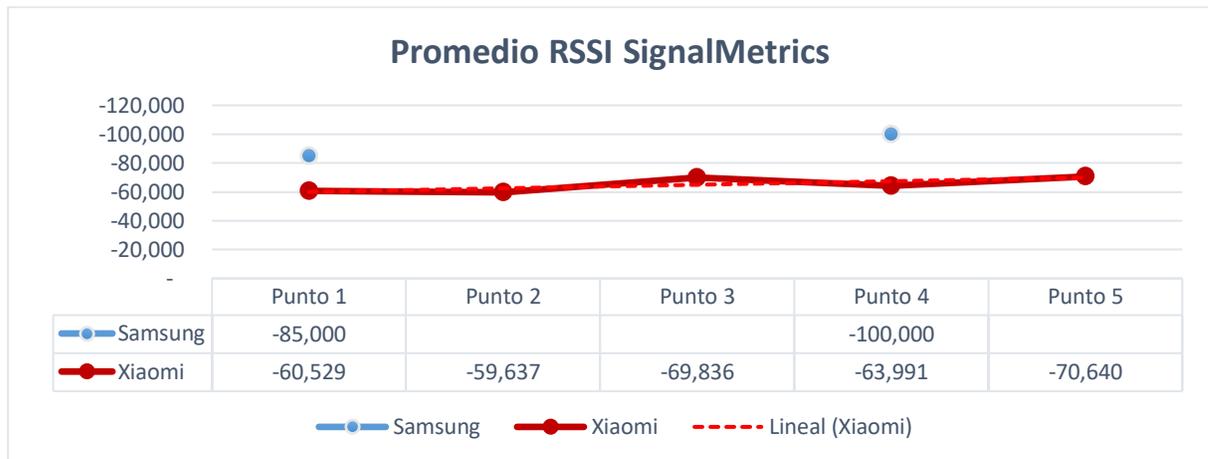
*Tabla 19. Porcentaje de error CQI SignalMetrics vs G-NetTrack.*

% de error	
Posición	Samsung
Punto 1	5,45%
Punto 2	6,10%
Punto 3	5,03%
Punto 4	5,74%
Punto 5	6,40%

### 7.2.2.4. RSSI.

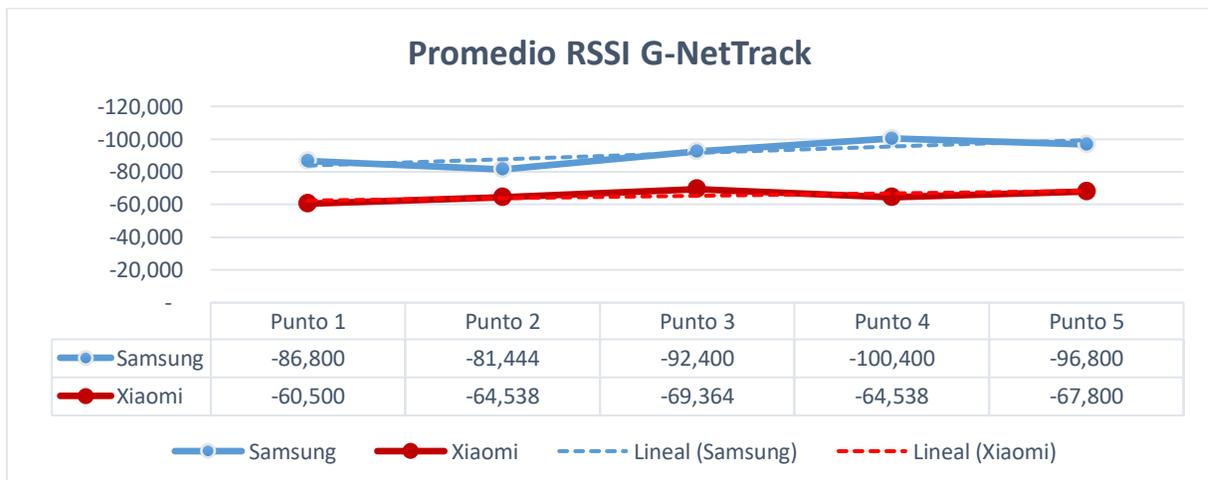
El indicador RSSI se usa para aproximar la distancia entre el terminal y la estación base, debido a factores externos que influyen en las ondas de radio, el RSSI tiende a ser muy cambiante, entre mayor sea la distancia, el valor se vuelve más inestable.

En las pruebas realizadas no se registraron datos para los puntos 2, 3 y 5 del terminal Samsung J6 utilizando la aplicación SignalMetrics como se muestra en las Figura 55 y la Figura 56.



**Figura 55. Promedio RSSI SignalMetrics.**

La línea de tendencia en la figura crece para ambos terminales.



**Figura 56. Promedio RSSI G-NetTrack.**

En la *Tabla 20* se puede evidenciar que el porcentaje de error promedio para la medición de RSSI entre aplicaciones para el terminal Samsung J6 es de 1.24% y para el terminal Xiaomi redmi note 9 pro es de 2.29%.

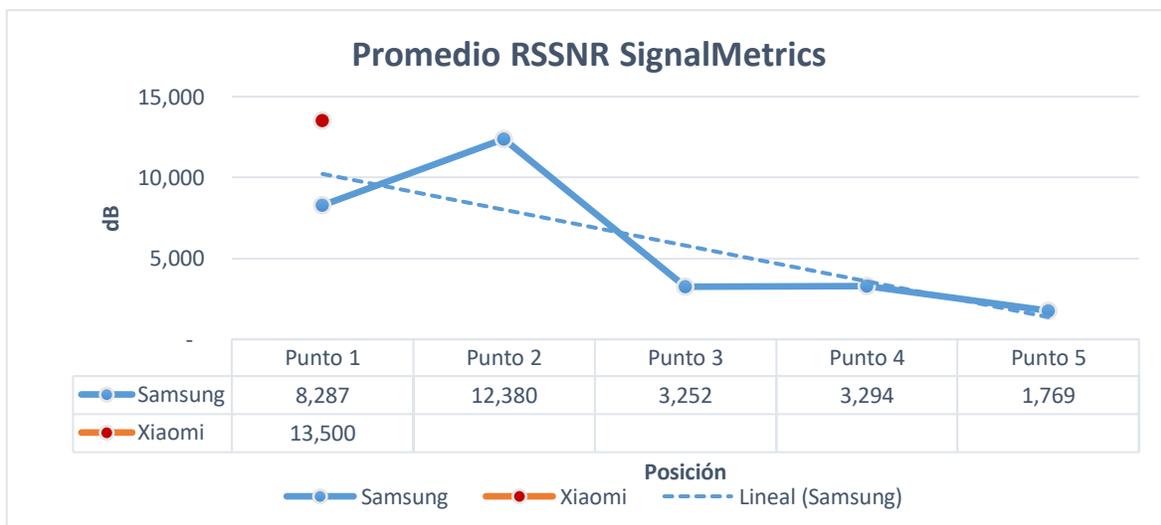
*Tabla 20. Porcentaje de error RSSI SignalMetrics vs G-NetTrack.*

% de error		
Posición	Samsung	Xiaomi
Punto 1	2,07%	0,05%
Punto 2	-	7,59%
Punto 3	-	0,68%
Punto 4	0,40%	0,85%
Punto 5	-	4,19%

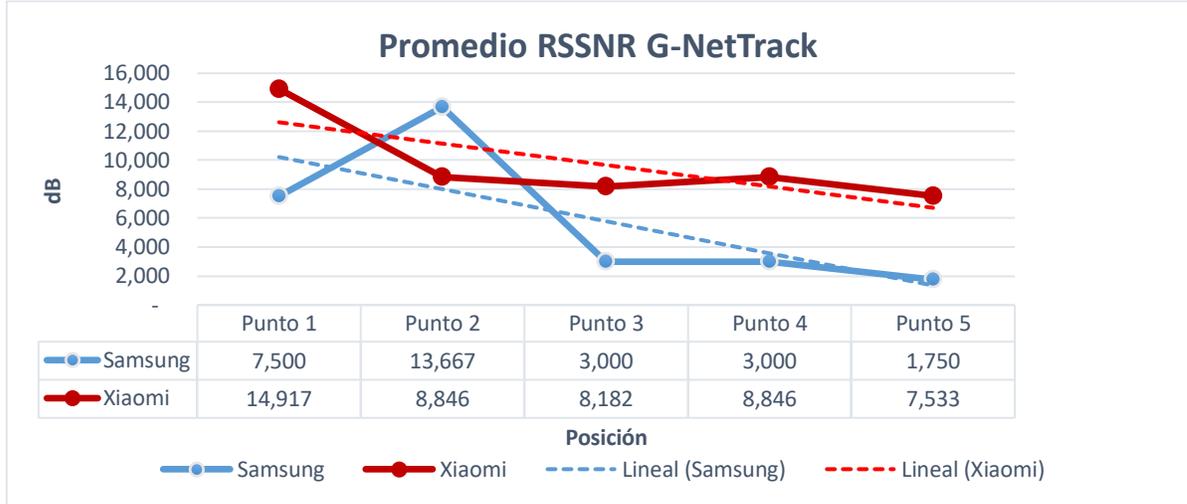
#### 7.2.2.5. RSSNR.

En la figura 57 se puede observar que la relación señal ruido aumenta a medida que la distancia aumenta y se acerca al punto 5 de frontera, debido a que al estar en un entorno inalámbrico se encuentra con múltiples señales presentes de forma simultánea de las estaciones vecinas.

En las pruebas realizadas no se registraron datos para los puntos 2, 3, 4 y 5 del terminal Xiaomi redmi note 9 pro utilizando la aplicación SignalMetrics como se muestra en las Figura 57 y la Figura 58.



**Figura 57. Promedio RSSNR SignalMetrics.**



**Figura 58. Promedio RSSNR G-NetTrack.**

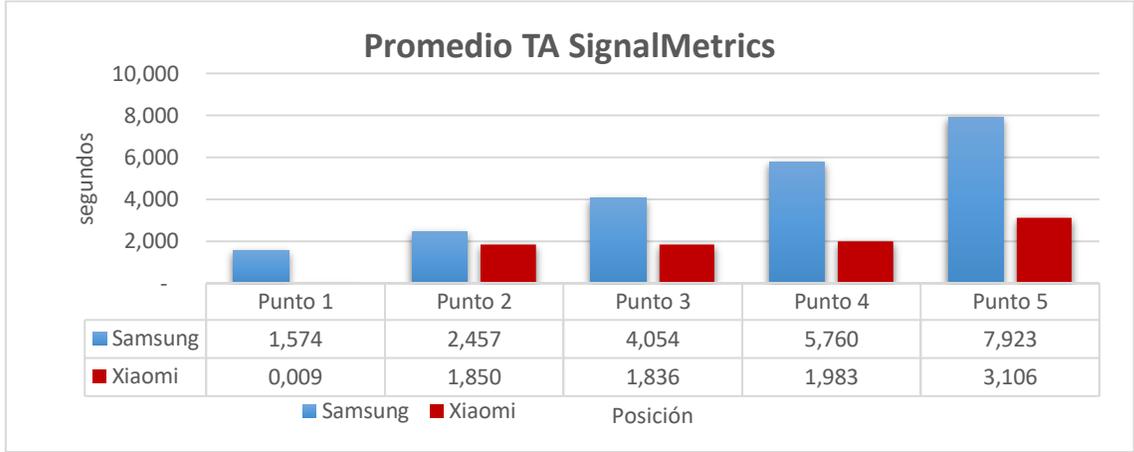
En la *Tabla 21* se puede evidenciar que el porcentaje de error promedio para la medición de RSSNR entre aplicaciones para el terminal Samsung J6 es de 7.84 % y para el terminal Xiaomi redmi note 9 pro no se pudo calcular debido a que no se registraron datos en 4 puntos.

*Tabla 21. Porcentaje de error RSSNR SignalMetrics vs G-NetTrack.*

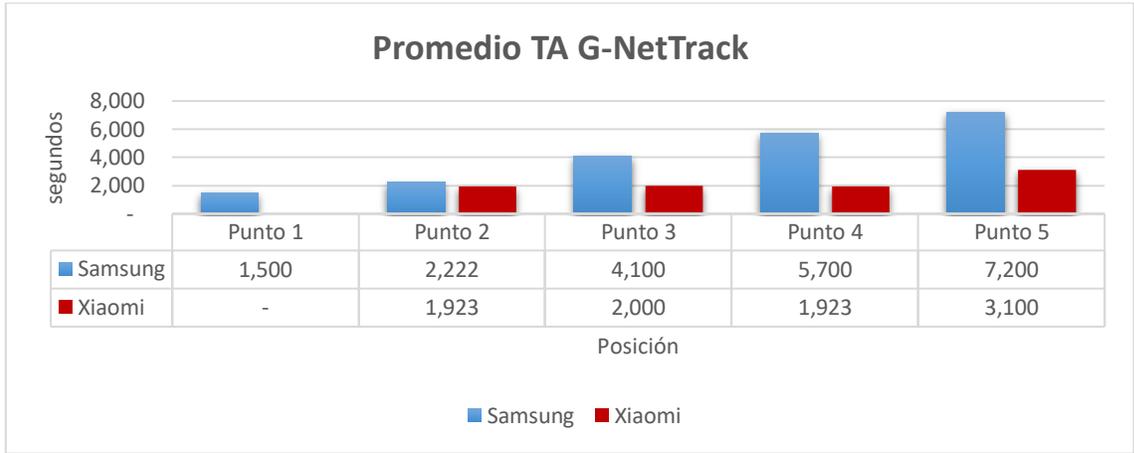
% de error		
Posición	Samsung	Xiaomi
Punto 1	10,49%	9,50%
Punto 2	9,41%	-
Punto 3	8,41%	-
Punto 4	9,80%	-
Punto 5	1,10%	-

### 7.2.2.6. Timing Advance.

El valor de Timming Advance recolectado por ambas aplicaciones aumenta a medida que la distancia aumenta, se evidencia similitud en el promedio capturado como se muestra en las Figura 59 y la Figura 60.



**Figura 59. Promedio Timing Advance SignalMetrics.**



**Figura 60. Promedio Timing Advance G-NetTrack.**

En función del valor del timing advance se calculó la distancia de propagación a partir de los datos recolectados por la aplicación solución, mediante las siguientes formulas:

$$NTA = 16 * \text{timing advance} * ts$$

Donde

$$ts = \frac{1}{2048 * 15000}$$

$$\text{distancia} = \frac{3 * 10^8 * NTA}{2m}$$

- Punto 1 (100 metros)

*distancia samsung = 117 metros*

*distancia xiaomi = 0,703 metros*

- Punto 2 (200 metros)

*distancia samsung = 191,95 metros*

*distancia xiaomi = 144,53 metros*

- Punto 3 (300 metros)

*distancia samsung = 316,71 metros*

*distancia xiaomi = 142,96 metros*

- Punto 4 (400 metros)

*distancia samsung = 445,31 metros*

*distancia xiaomi = 154,92 metros*

- Punto 5 (500 metros)

*distancia samsung = 562,5 metros*

*distancia xiaomi = 242,65 metros*

En la *Tabla 22* se puede evidenciar que el porcentaje de error promedio para la medición de TA entre aplicaciones para el terminal Samsung J6 es de 5.54% y para el terminal Xiaomi redmi note 9 pro es de 3.83%.

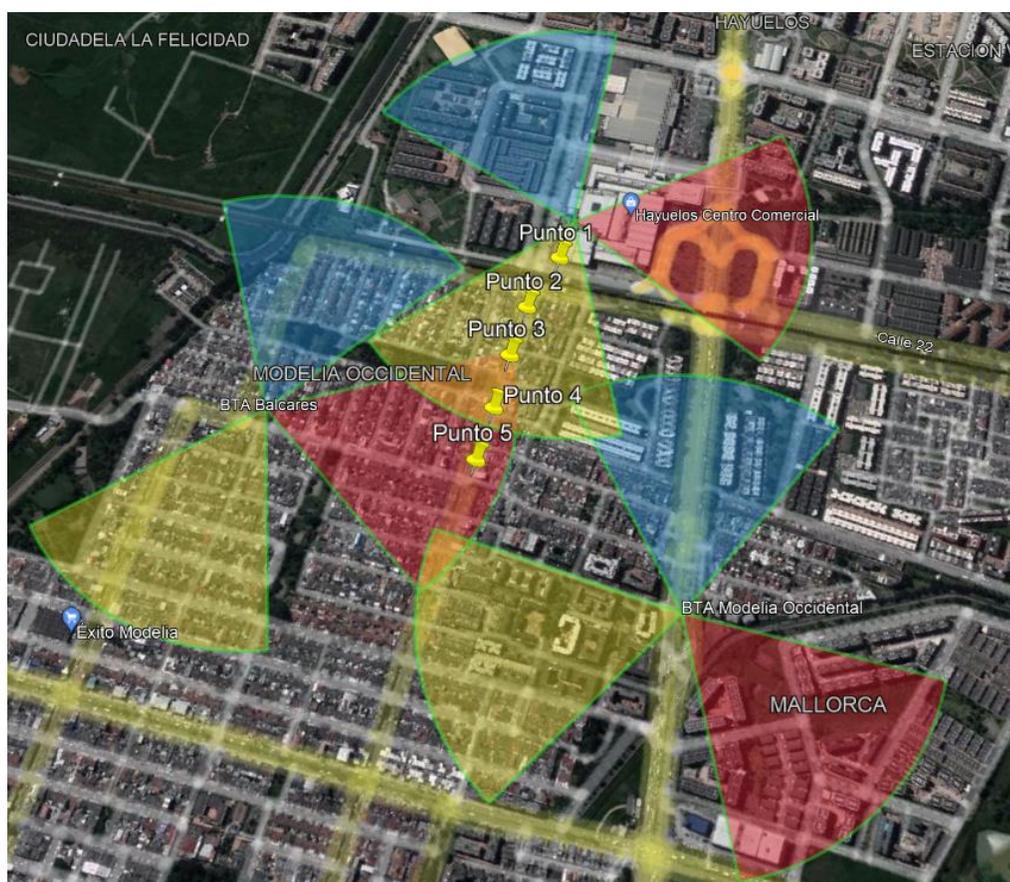
*Tabla 22. Porcentaje de error Timing Advance SignalMetrics vs G-NetTrack.*

<b>% de error</b>		
<b>Posición</b>	<b>Samsung</b>	<b>Xiaomi</b>
Punto 1	4,94%	-
Punto 2	10,54%	3,80%
Punto 3	1,12%	8,21%
Punto 4	1,05%	3,11%
Punto 5	10,04%	0,20%

### 7.2.2.7. Cell ID.

Durante las mediciones en las 4 primeras posiciones solo se detectó la estación ubicada en la terraza del centro comercial Hayuelos con código 11951, más sin embargo en la posición 5 (500 metros), se llegó al límite de cobertura y los dispositivos realizaron un handover a dos estaciones vecinas cuyos códigos se registraban como 11906 y 11877 como se muestra en la Figura 61.

Por estar en límite de cobertura los terminales de prueba fluctuaban entre los tres sectores adyacentes en el punto 5, consumiendo más recursos físicos, lo que ocasiono que la batería del dispositivo se descargara más rápido.



**Figura 61. Límite de cobertura a 500 metros de la estación del centro comercial Hayuelos.**

Los Cell ID identificados en las pruebas se relacionan en la *Tabla 23* según su posición.

Tabla 23. Cell ID identificados en cada posición.

Posición	Cell ID
Punto 1	11951
Punto 2	11951
Punto 3	11951
Punto 4	11951
Punto 5	11951 -11906 -11906

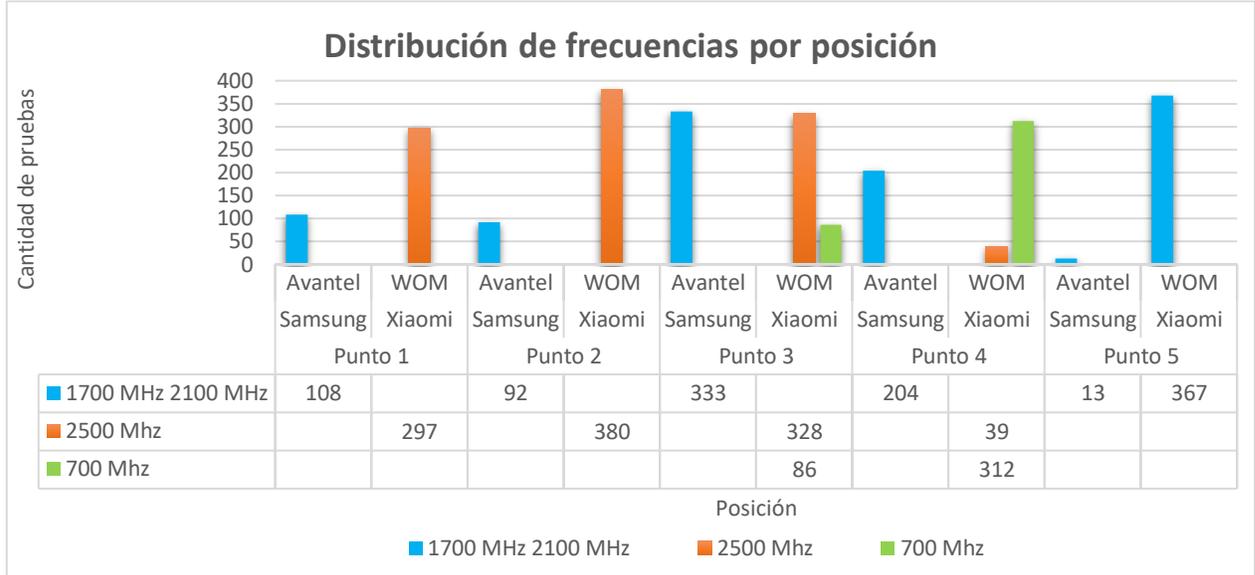
### 7.2.2.8. EARFCN.

La frecuencia de las pruebas depende netamente de las frecuencias asignadas por Mintic a cada operador en la subasta del espectro, como se muestra en la Figura 62.



Figura 62. Asignación de espectro en Colombia. (espectro, 2020)

Las pruebas solo se hicieron con los operadores WOM y Avantel, en función de la frecuencia están distribuidas como se muestra en la Figura 63.



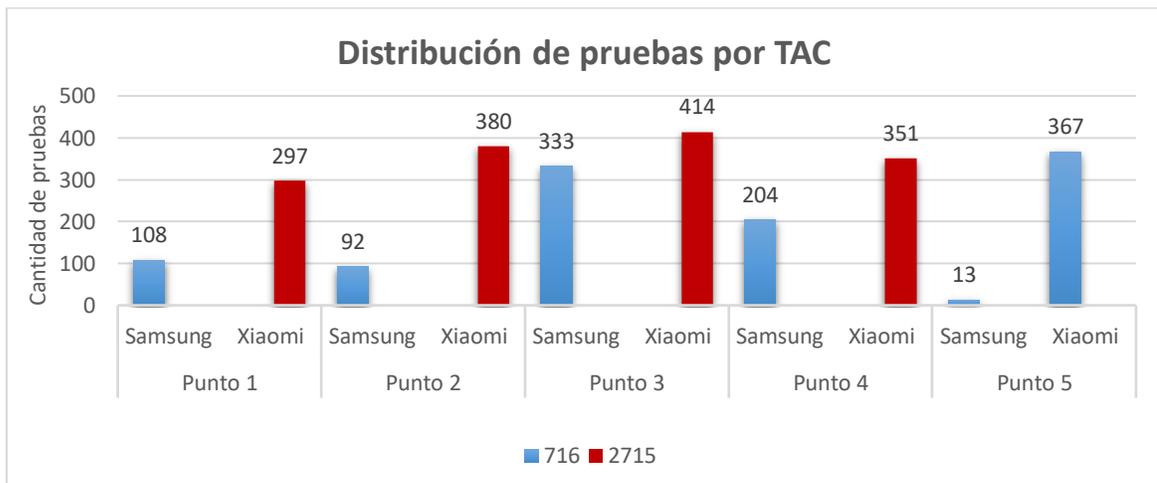
**Figura 63. Distribución de frecuencias por posición.**

**7.2.2.9. MCC y MNC.**

Como resultado a realizar las pruebas en Colombia el indicador MCC siempre fue 732 y el indicador MNC para Avantel fue 130 y para WOM 360.

**7.2.2.10. TAC.**

Se pudo evidenciar únicamente dos áreas de seguimiento TAC, distribuidas como se ven en la Figura 64.



**Figura 64. Distribución de pruebas por TAC**

### **7.2.3. Evaluación del impacto de la solución propuesta.**

#### **7.2.3.1. Impacto ambiental**

Este proyecto indirectamente tiene un impacto ambiental que se ve reflejado en el uso de equipos electrónicos, en este proyecto se usó un computador, donde se realizó todo el desarrollo de la aplicación, redacción del documento, investigación de los temas relevantes y necesarios para la documentación y 2 terminales de pruebas que en este caso son Smartphone, “Teléfonos inteligentes”.

La gran utilización de estos aparatos necesita una energía eléctrica, que la podemos obtener a partir de sus baterías, se estima que un teléfono celular puede contaminar hasta 600.000 litros de agua, para obtener las materias primas necesarias para su fabricación, es necesario extraer recursos naturales, muchos de ellos minerales, lo que tiene un impacto negativo en la naturaleza, se emite CO2 y se gastan recursos como agua y energía. Uno solo smartphone requiere de 12 litros de agua limpia”. (Pérez, Lorena Farras, 2018)

#### **7.2.3.2. Impacto económico**

Con el desarrollo de la aplicación se verá directamente un impacto económico en las empresas de telefonía móvil y en cualquier usuario que quiera realizar las mediciones desde su celular personal puesto que para tener un estado de los principales indicadores de calidad de red solo se necesita de un celular con conexión a datos móviles. En el mercado actualmente existen herramientas muy cotosas para realizar mediciones de calidad de red, como es el caso de Teams investigations (Infovista, 2021) y algunas gratuitas con muchas limitaciones como G-NetTrack (Google, 2021) que toma los datos y los guarda en un Excel el cual debe ser ordenado y posteriormente tratado para evidenciar las fallas de red. Por lo anterior este impacto se verá reducido por que se ahorrarían recursos en cuanto a personal, compra de licencias, optimización de tiempo entre otros.

#### **7.2.3.3. Impacto social**

Según el reporte de Visual Economist con datos de DataReportal indica que Colombia a enero de 2020, el 30% de su población no tenía conexión a internet, por lo anterior se pretende dar una herramienta eficaz, gratuita y simple para identificar aquellas zonas del país que no cuentan con cobertura y así disminuir las brechas de digitales y mejorar la calidad de vida de muchos colombianos. (data reportal, 2020)

## 8. Conclusiones y Recomendaciones

- Con el desarrollo de la aplicación Android para monitorear los indicadores de calidad de la señal de una red 4G-LTE, se ha conseguido registrar indicadores de calidad asociados a un punto geográfico específico con una similitud relevante ya que el promedio en general del porcentaje de error fue del 4,45%.
- Pensando en el análisis de los datos se desarrolló una base de datos en un servidor remoto, con el fin de tener un mejor manejo de la información, permitiendo sincronizarlo en menos de 5 minutos con un dashboard elaborado en Power bi sin necesidad de una etapa de post-procesamiento que aporta un avance sustancial a las problemáticas encontradas en las aplicaciones del mercado.
- La distancia es un factor importante para la degradación de los indicadores de calidad de red, a medida que esta aumenta se pierde calidad por lo cual son inversamente proporcionales.
- Los cálculos de la distancia a partir del timming recolectado por las pruebas se acercaron más a los valores tomados con el terminal Samsung j6.
- El terminal si influye en la medición de indicadores por lo cual algunos de estos no son posibles recolectarlos debido a las limitaciones del terminal, como por ejemplo el CQI con el Xiaomi redmi note 9 pro.
- Los indicadores RSSI y RSSNR presentaron una mayor variación y porcentaje de error entre aplicaciones debido a que son datos muy cambiantes.
- Cuando el terminal se encuentra en posición de frontera alrededor de los 500 metros de distancia de la estación base va a detectar también la señal de las estaciones vecinas lo que ocasiona que su batería se descargue más rápido debido al constante handover entre estas.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede recomendar que por diseño de los celulares los datos más precisos los dio la marca Samsung.
- Se debe tener en cuenta que la versión de Android puede generar una pequeña variación en las mediciones.
- La aplicación solo es funcional desde el nivel de API 17, más exactamente Android Jelly Bean 4.2 X.
- El terminal debe soportar la banda LTE y tener GPS funcional.
- La solución presentada es una primera versión que puede ser potencializada en versiones superiores como una herramienta completa de troubleshooting que no solo funcione a partir de indicadores de señal si no con la posibilidad de generar pruebas de voz (CSFB y VoLTE), uso de datos (Facebook, Instagram, YouTube, entre otros) y pruebas de velocidad en DL y UL.

## 9.Referencias

- María Encarnación Peña Bonilla. (2018). Influencia del Smartphone en los procesos de la vida cotidiana. *Oficina de Divulgación e Información.*, 11-18.
- Mintic Colombia. (2019). Cifras cuarto trimestre. *Boletín trimestral de las TIC.*,
- Presidencia de la República de Colombia. (1989). Decreto 1360. En *Diario Oficial No. 38.871.* Bogotá D.C.
- 3GPP. (2015). Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements. *Technical specification.*
- 3GPP. (2016). TS 32.298-Technical Specification Group Services and System Aspects.
- Abenza, P. P. Garrido. (2015). Comenzando a programar con JAVA. *Universidad Miguel Hernández.*
- Agbotiname Lucky Imoizea, Kehinde Orolub, Aderemi Aaron-Anthony Atayero. (2020). Analysis of key performance indicators of a 4G LTE network based on experimental data obtained from a densely populated smart city. *elsevier.*
- Agusti, Ramon. (2014). *LTE Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles.* Madrid, España.: Fundacion Vodafone España.
- Alexander, Douglas. (2016). Calidad de la experiencia de usuario en telefonía móvil para el operador celular TIGO en la ciudad de Medellín.
- Alias, Amir Hamzah; Ali, Darmawaty Mohd; Sahrani, Muhammad Naquiddin bin. (2017). Performance measurement of LTE along light rapid transit (LRT) railway track of Kelana Jaya line. *IEEE-APS Topical Conference,* 260-263.
- Android. (02 de 10 de 2021). *Android developers.* Obtenido de <https://developer.android.com/guide/topics/manifest/uses-sdk-element?hl=es-419>
- Cabezas, Rolando Bladimir Tupiza. (2018). Desarrollo de una herramienta para medición, envío y presentación de parámetros de calidad y cobertura de una red 4G para ambientes indoor.
- Congreso de la República de Colombia. (1987). Ley 33. En *DIARIO OFICIAL.* 38112.
- Congreso de la República de Colombia. (s.f.). Ley 565. En *Diario Oficial.* 43883.
- Congreso de la República de Colombia. (30 de Julio de 2009). Ley 1341. Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones –TIC–, se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones. *Diario oficial No 47.426.* Bogotá, Colombia.
- Constitución Política de la República de Colombia. (20 de julio de 1991). Art. 61 [Const ]. Bogotá D.C, Colombia: Gaceta Constitucional No.116.
- Coplutense, Universidad. (01 de 10 de 2021). *Curso de Desarrollo de Apps Móviles.* Obtenido de <https://learn.digital.withgoogle.com/activate/course/apps>
- Daniel E. Martinez Acosta, Carlos A. Salazar. (2018). Impacto de las aplicaciones móviles en Colombia a nivel de la salud, educación y trabajo. *FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA LUMEN GENTIUM.*
- Delgado Vico, D. (2012). Monitorización de la calidad de señal en redes móviles basada en Android. *IEEE.*
- Efriyendro, R., & Rahayu, Y. (2017). *Analisa Perbandingan Kuat Sinyal 4G LTE Antara Operator Telkomsel dan XL AXIATA Berdasarkan Paramater Drive Test Menggunakan Software G-NetTrack Pro Di Area Jalan Protokol Panam.*

- Estrada, Rafael Iniesta. (2020). *ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS VULNERABILIDADES*. Toluca.
- Estudio del impacto del Handover en LTE. (2018). Pablo M. Aviles Delgado, Carlos A. Rodríguez López, Samuel Montejo Sánchez, Rigoberto López. *Telem@tica*, 31-46.
- Etsi. (2016). TS 132.762-Digital cellular telecommunications system. *Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones*.
- Etsi. (2016). TS 136 214-Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). *Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones*.
- Etsi. (2016). TS 145.010-Digital cellular telecommunications system. *Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones*.
- Etsi. (2018). TS 136 213-Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). *Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones*.
- Etsi. (2019). TS 136.104-Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). *Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones*.
- Gallardo, R., Jaramillo, J. C., Astudillo-Salinas, D., & Palacio-Baus, K. (2015). Diseño de una aplicación móvil para monitorear la cobertura GSM en Cuenca. *Maskana*, 191-198.
- Gomez, Carlos. (2015). Desarrollo de una aplicacion movil para la localizacion en espacios interiores por medio de analisis de radiacion de redes WIFI. *Avances en Ingenieria*.
- Google. (2021). Developer android. Obtenido de <https://developer.android.com/studio/projects/android-library?hl=es-419>.
- Google. (2021). *Developer Android*. Obtenido de <https://developer.android.com/studio/workflow?hl=es-419>.
- Google. (2021). Developer Android. Obtenido de <https://developer.android.com/reference/android/telephony/package-summary>
- Google. (2021). Developer Android. Obtenido de <https://developer.android.com/reference/android/telephony/CellSignalStrengthLte>.
- Google. (2021). *Google play*. Obtenido de [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettracklite&hl=es\\_CO&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettracklite&hl=es_CO&gl=US)
- GyokovSolutions. (09 de 10 de 2021). *Google Play*. Obtenido de [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettracklite&hl=es\\_CO&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettracklite&hl=es_CO&gl=US)
- H. Al-Shamisi, H. Al-Shamsi, I. Kostanic and J. Zec. (2018). Verifying Measurements of Reference Signal Received Power (RSRP) on LTE Network using an App on Android Smartphones. *IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 372-377.
- H. Al-Shamisi, H. Al-Shamsi, I. Kostanic and J. Zec., (2018). Verifying of LTE Received Power Measurements in an Android App. *2018 9th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, 889-894.
- Infovista. (2021). *TEMS Investigacion*. Obtenido de <https://www.infovista.com/tems/investigacion>
- Javier Arevalo, Ricardo Gonzalez. (2017). Análisis de Radiopropagación de un eNodoB en un escenario urbano. *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA*.
- Julián Mauricio Garzón Gil, R. D. (2016). ESTUDIO DE COBERTURA DE LA RED DE LTE EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO. *Pontificia universidad catolica de Perú*.

- Magdalena Nohrborg, for 3GPP. (01 de 10 de 2021). *3rd Generation Partnership Project*. Obtenido de [https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte#:~:text=LTE%20\(Long%20Term%20Evolution\)%20or,Evolved%20Packet%20System%20\(EPS\)..](https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte#:~:text=LTE%20(Long%20Term%20Evolution)%20or,Evolved%20Packet%20System%20(EPS)..)
- Maroto, Christian Ramos. (2016). Diseño e implementación de un agente móvil Android para medir la Quality of Service de los operadores de telefonía móvil. *Tesis de Licenciatura*.
- MinTIC. (2016). Obtenido de <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/14511:Nuevas-medidas-para-mejorar-la-calidad-celular-en-el-pais>
- MinTic. (10 de 2021). *Funcion Publica*. (Gobierno de Colombia) Obtenido de [https://www.funcionpublica.gov.co/web/suit/preguntas-frecuentes/-/asset\\_publisher/U67346v6M5yf/content/-como-obtener-las-coordenadas-geograficas-del-punto-de-atencion-de-la-entidad-y-como-registrarla-en-el-suit-3-#:~:text=Latitud%3A%20Es%20la%20distancia%20](https://www.funcionpublica.gov.co/web/suit/preguntas-frecuentes/-/asset_publisher/U67346v6M5yf/content/-como-obtener-las-coordenadas-geograficas-del-punto-de-atencion-de-la-entidad-y-como-registrarla-en-el-suit-3-#:~:text=Latitud%3A%20Es%20la%20distancia%20)
- MinTIC. (11 de 10 de 2021). *Glosario MinTIC*. Obtenido de <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Glosario/>
- Mochamad Prakoso, Faqih Rofii, dan Anis Qustoniah. (2018). Aplikasi Drive Test Berbasis Android Pada. *Jurnal WIDYA TEKNIKA*, 26, 113 – 128.
- Namrata Katti, Seema Shivapur, Vijayalakshmi. (2015). Optimization of QoS in 4G Networks Using. *International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE)*.
- O. M. Aprillia, Y. Saragih, I. Lammada, E. S. Agatha, A. Wijaya and N. T. Nhu Van. (2020). RF 4G Network Performance Result Based on Android Drive Test Collection Tools Automatically Extracted by Yaiao Application at the Universitas Singaperbangsa Karawang Case Study. *IEEE, 2020 3rd International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (MECnIT)*, 291-295.
- Padilla, Wilbert Richard Carrillo. (2015). Análisis y procesado de medidas de parámetros de banda estrecha utilizando un smartphone con sistema operativo Android.
- Pedrini, Leonardo Zanoni. (09 de 10 de 2021). *Telecom hall*. Obtenido de <https://www.telecomhall.net/t/g-nettrack-and-other-great-tools-for-2g-3g-4g-gsm-umts-lte-monitoring-and-test/6509>
- Perera Martín, D. (2015). Desarrollo de interfaz para la representación geográfica de métricas de calidad en operadores de telefonía móvil. *Bachelor 's thesis*.
- Peréz, Lorena Farras. (2018). *Contaminación y residuos: la cara oculta de los 'smartphones'*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/natural/tu-huella/20180729/451115622409/smartphones-telefono-movil-contaminacion-residuos.html>
- Puma, Diego Armando Molina. (2020). Estudio de factibilidad para la implementación de la Tecnología LTE en la Banda de 700 MHz como complemento a la Banda de 2100 MHz para mejorar el Servicio de Internet Inalámbrico en la Zona Norte de la Ciudad de Quito. *Tesis de Maestría. PUCE-Quito*.
- Revista Semana. (2020). ¿Cuántas personas están desconectadas de internet? *Revista Semana*.
- Technologies, K. (s.f.). *Propiedades de demodificación LTE*. Obtenido de [http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/lte/content/lte\\_dlg\\_fmt\\_cellid.htm](http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/lte/content/lte_dlg_fmt_cellid.htm).

- Usano, Silvia Carrasco. (13 de 10 de 2015). Análisis de la Aplicación de la tecnología móvil en las Empresas. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Widyasmoro, Anna Nur Nazilah Chamim, Rama Okta Wiyagi, Rizkananda Muhammad Izmi, Yessi Jusman. (2019). Analysis and Optimization of 4G LTE Network in Jombang City. *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, 3(1).

## **10. Anexos**

### Anexo 1.

- Códigos desarrollados en el diseño del proyecto.
- Repositorio de las pruebas realizadas.
- Archivo de visualización en Power BI.
- Video explicativo del funcionamiento de la aplicación.

<https://github.com/MariaCamilaDiazVega/Dise-o-de-una-aplicacion-android-para-monitorear-los-indicadores-de-una-se-al-en-una-red-4G/tree/main>