



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DESARROLLO DE UN MANUAL DE MEDIDAS
RADIOÉLECTRICAS 4G LTE MEDIANTE EL USO DE EQUIPOS
PROFESIONALES PARA LA EVALUACIÓN DEL SERVICIO
MÓVIL POR ARCOTEL”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

CRISTHIAN INTILIMA SANGA CARANQUI

Riobamba - Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DESARROLLO DE UN MANUAL DE MEDIDAS
RADIOÉLECTRICAS 4G LTE MEDIANTE EL USO DE EQUIPOS
PROFESIONALES PARA LA EVALUACIÓN DEL SERVICIO
MÓVIL POR ARCOTEL”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR: CRISTHIAN INTILIMA SANGA CARANQUI

DIRECTOR: ING. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMÍREZ. Ph.D.

Riobamba - Ecuador

2024

© 2024, **Cristhian Intilima Sanga Caranqui**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Cristhian Intilima Sanga Caranqui, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de Abril del 2024



Cristhian Intilima Sanga Caranqui
060434644-5

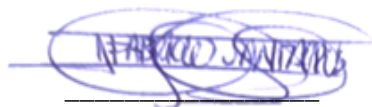
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación “**DESARROLLO DE UN MANUAL DE MEDIDAS RADIOÉLECTRICAS 4G LTE MEDIANTE EL USO DE EQUIPOS PROFESIONALES PARA LA EVALUACIÓN DEL SERVICIO MÓVIL POR ARCOTEL**”, realizado por el señor: **CRISTHIAN INTILIMA SANGA CARANQUI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

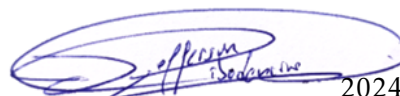
FECHA

Ing. Fabricio Javier Santacruz Sulca
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



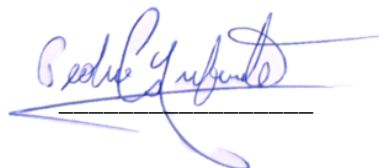
2024-04-29

Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-04-29

Ing. Pedro Severo Infante Moreira
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-04-29

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres por ayudarme en todo este camino, con sus consejos y palabras de motivación para no desistir. A Dios todopoderoso y a mi esposa.

Cristhian

AGRADECIMIENTO

A Dios primeramente quien ha sido incondicional y fiel en todo este camino. A mi familia en especial a mis padres que me brindaron todo lo necesario para poder superarme y alcanzar mis metas, a mis tutores por todo el apoyo brindado para poder culminar mi objetivo y a mi esposa que siempre estuvo a mi lado apoyándome.

Cristhian

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
SUMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA 2
1.1	Planteamiento del problema 2
1.2	Objetivos 2
1.2.1	<i>Objetivo General</i> 2
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i> 2
1.3	Justificación 2
1.3.1	<i>Justificación Teórica</i> 2
1.3.2	<i>Justificación Aplicativa</i> 3
CAPÍTULO II	
2	MARCO TEÓRICO 4
2.1	La tecnología móvil de Cuarta Generación (4G) 4
2.1.1	<i>Características de 4G</i> 4
2.2	LTE 5
2.2.1	<i>Arquitectura de red LTE</i> 6
2.2.1.1	<i>Red de acceso radio o E-UTRAN</i> 6
2.2.2	<i>Núcleo de red (EPC)</i> 7
2.3	Parámetros radioeléctricos en LTE 10
2.3.1	<i>RSSI (Received Signal Strength Indicator)</i> 12

2.3.2	<i>RSRP (Reference Signal Received Power)</i>	12
2.3.3	<i>RSRQ (Reference Signal Received Quality)</i>	13
2.3.4	<i>SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)</i>	14
2.3.5	<i>Nivel mínimo de señal en cobertura (zona de cobertura) (SMA-QoS-9)</i> . . .	15
2.3.6	<i>Tiempo de ida y regreso de un paquete (propuesta de parámetro para el servicio de datos) (SMA-QoS-13)</i>	15
2.3.7	<i>Tasa de transferencia promedio de datos (FTP) - (propuesta de parámetro para el servicio de datos) (SMA-QoS-14)</i>	16
2.3.8	<i>Porcentaje de sesiones fallidas de HTTP - (propuesta de parámetro para el servicio de datos) (SMA-QoS-15)</i>	16
2.4	Bandas de Frecuencia en Ecuador	17
2.5	Telefonía móvil en Ecuador	17
2.6	Frecuencias por tecnología en Ecuador	18
2.7	Servicio Móvil Avanzado	18

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1	Introducción	19
3.2	Desarrollo del manual de medidas radioeléctricas 4G LTE	19
3.2.1	<i>Parámetros del transmisor</i>	19
3.2.1.1	<i>Ubicación de estaciones base</i>	19
3.2.1.2	<i>Validación de parámetros de las estaciones base</i>	20
3.2.1.3	<i>Establecer rutas radiales</i>	22
3.2.2	<i>Parámetros del receptor</i>	25
3.2.2.1	<i>Información de la señal de red</i>	25
3.2.2.2	<i>Ubicación</i>	26
3.2.2.3	<i>Medición de parámetros radioeléctricos</i>	27
3.2.2.4	<i>Antena</i>	29

CAPÍTULO IV

4	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	31
4.1	Sectorización de las estaciones base	31

4.1.1	<i>Sectorización estación base 1</i>	31
4.1.2	<i>Sectorización estación base 2</i>	33
4.1.3	<i>Sectorización estación base 3</i>	35
4.2	Mediciones de campo	37
4.2.1	<i>Evaluación del servicio móvil en la estación base 1</i>	38
4.2.1.1	<i>Histogramas de la estación base 1</i>	39
4.2.2	<i>Evaluación del servicio móvil en la estación base 2</i>	43
4.2.2.1	<i>Histogramas de la estación base 2</i>	44
4.2.3	<i>Evaluación del servicio móvil en la estación base 3</i>	48
4.2.3.1	<i>Histogramas de la estación base 3</i>	49
4.3	Resultados de la simulación	53
4.3.1	<i>Resultados de simulación de la estación base 1</i>	54
4.3.1.1	<i>Histogramas de la estación base 1</i>	55
4.3.2	<i>Resultados de simulación de la estación base 2</i>	59
4.3.2.1	<i>Histogramas de la estación base 2</i>	60
4.3.3	<i>Resultados de simulación de la estación base 3</i>	64
4.3.3.1	<i>Histogramas de la estación base 3</i>	65
4.4	Comparativa mediante el error cuadrático medio	69
 CAPÍTULO V		
5	CONCLUSIONES	71
5.1	RECOMENDACIONES	71
 BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Características de 4G	5
Tabla 2-2: Descripción de los elementos que forman el EPC	9
Tabla 2-3: Bandas y frecuencias utilizadas en Ecuador	17
Tabla 2-4: Frecuencias por tecnología	18
Tabla 3-1: Ubicaciones y alturas de las estaciones base	22
Tabla 4-1: Datos de sectorización de la estación base 1	31
Tabla 4-2: Ubicaciones y alturas de los puntos de las estación base 1	33
Tabla 4-3: Datos de sectorización de la estación base 2	34
Tabla 4-4: Ubicaciones y alturas de los puntos de las estación base 2	35
Tabla 4-5: Datos de sectorización de la estación base 3	36
Tabla 4-6: Ubicaciones y alturas de los puntos de las estación base 3	37
Tabla 4-7: Parámetros radioeléctricos medidos con el DEVISER en los puntos de las estación base 1	39
Tabla 4-8: Parámetros radioeléctricos medidos con el DEVISER en los puntos de las estación base 2	44
Tabla 4-9: Parámetros radioeléctricos medidos con el DEVISER en los puntos de las estación base 3	49
Tabla 4-10: Parámetros de la antena transmisora	54
Tabla 4-11: Parámetros radioeléctricos obtenidos de la simulación en los puntos de las estación base 1	55
Tabla 4-12: Parámetros radioeléctricos obtenidos de la simulación en los puntos de las estación base 2	60
Tabla 4-13: Parámetros radioeléctricos obtenidos de la simulación en los puntos de las estación base 3	65
Tabla 4-14: Valores RMSE de las tres estaciones base en diferentes parámetros radioeléctricos.	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Red de acceso E-UTRAN	7
Ilustración 2-2: Estructura de un bloque de recursos en LTE	7
Ilustración 2-3: Arquitectura básica de la red troncal EPC	8
Ilustración 2-4: Valores de RSSI	12
Ilustración 2-5: Valores de RSRP	13
Ilustración 2-6: Valores de RSRQ	14
Ilustración 2-7: Valores de SINR	14
Ilustración 3-1: Ubicación de estaciones base con tecnología LTE	20
Ilustración 3-2: Medición de altura de la estación base 1 con Smart Measure	21
Ilustración 3-3: Medición de altura de la estación base 2 con Smart Measure	21
Ilustración 3-4: Medición de altura de la estación base 3 con Smart Measure	22
Ilustración 3-5: Rutas radiales de las estaciones base	23
Ilustración 3-6: Rutas radiales y puntos de medición de la estación base 1	23
Ilustración 3-7: Rutas radiales y puntos de medición de la estación base 2	24
Ilustración 3-8: Rutas radiales y puntos de medición de la estación base 3	24
Ilustración 3-9: Aplicación "NETWORK CELL INFO PRO"	25
Ilustración 3-10: Asignación de espectro SMA según ARCOTEL	26
Ilustración 3-11: Recolección de datos con mobile maper 50 en la estación base 3	27
Ilustración 3-12: Menú del equipo DEVISER	28
Ilustración 3-13: Escaneo de la señal a una frecuencia de 1967.5 MHz con 15 MHz de ancho de banda.	29
Ilustración 3-14: Antena ANT-120-008 4G/5G	30
Ilustración 4-1: Sectorización de la estación base 1	32
Ilustración 4-2: Sectorización de la estación base 2	34
Ilustración 4-3: Sectorización de la estación base 3	36
Ilustración 4-4: Histograma de las mediciones de RSRP en la estación base 1. (Verde excelente, Amarillo Bueno, Naranja regular)	40
Ilustración 4-5: Histograma de las mediciones de RSRQ en la estación base 1. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	41
Ilustración 4-6: Histograma de las mediciones de SINR en la estación base 1. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	42
Ilustración 4-7: Histograma de las mediciones de RSSI en la estación base 1. (Verde excelente, Amarillo bueno)	43
Ilustración 4-8: Histograma de las mediciones de RSRP en la estación base 2. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	45
Ilustración 4-9: Histograma de las mediciones de RSRQ en la estación base 2. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular)	46
Ilustración 4-10: Histograma de las mediciones de SINR en la estación base 2. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	47

Ilustración 4-11: Histograma de las mediciones de RSSI en la estación base 2. (Verde excelente, Amarrillo bueno, Naranja regular)	48
Ilustración 4-12: Histograma de las mediciones de RSRP en la estación base 3. (Verde excelente, Amarrillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	50
Ilustración 4-13: Histograma de las mediciones de RSRQ en la estación base 3. (Amarrillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	51
Ilustración 4-14: Histograma de las mediciones de SINR en la estación base 3. (Verde excelente, Amarrillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	52
Ilustración 4-15: Histograma de las mediciones de RSSI en la estación base 3. (Verde excelente, Amarrillo bueno)	53
Ilustración 4-16: Histograma de las simulaciones de RSRP en la estación base 1. (Verde excelente)	56
Ilustración 4-17: Histograma de las simulaciones de RSRQ en la estación base 1. (Amarrillo bueno)	57
Ilustración 4-18: Histograma de las simulaciones de SINR en la estación base 1. (Naranja regular, Rojo sin señal)	58
Ilustración 4-19: Histograma de las simulaciones de RSSI en la estación base 1. (Verde excelente)	59
Ilustración 4-20: Histograma de las simulaciones de RSRP en la estación base 2. (Verde excelente, Amarrillo bueno)	61
Ilustración 4-21: Histograma de las simulaciones de RSRQ en la estación base 2. (Amarrillo bueno)	62
Ilustración 4-22: Histograma de las simulaciones de SINR en la estación base 2. (Naranja regular, Rojo sin señal)	63
Ilustración 4-23: Histograma de las simulaciones de RSSI en la estación base 2. (Verde excelente)	64
Ilustración 4-24: Histograma de las simulaciones de RSRP en la estación base 3. (Verde excelente, Amarrillo bueno)	66
Ilustración 4-25: Histograma de las simulaciones de RSRQ en la estación base 3. (Amarrillo bueno)	67
Ilustración 4-26: Histograma de las simulaciones de SINR en la estación base 3. (Amarrillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)	68
Ilustración 4-27: Histograma de las simulaciones de RSSI en la estación base 3. (Verde excelente)	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1: Calculo del RSRQ	13
Ecuación 2-2: Calculo del SINR	14
Ecuación 4-1: Calculo del RSSI	38
Ecuación 4-2: Error cuadrático medio	69
Ecuación 4-3: Raiz error cuadrático medio	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PARÁMETROS DE LA ANTENA RECEPTORA

ANEXO B: PARÁMETROS DE LA ANTENA TRANSMISORA UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN

ANEXO C: MEDICIONES DE COORDENADAS, ALTITUD Y TIEMPO PARA LOS PUNTOS ASOCIADOS A CADA ESTACIÓN BASE MEDIANTE EL DISPOSITIVO SPECTRA MOBILE MAPPER 50

ANEXO D: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES A CADA ESTACIÓN BASE UTILIZANDO EL SOFTWARE HTZ.

ANEXO E: MEDICIONES DE CAMPO

RESUMEN

La ARCOTEL actualmente no cuenta con un manual de mediciones radioeléctricas que permita evaluar la calidad del servicio móvil de la red 4G LTE. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar un manual para realizar mediciones radioeléctricas y evaluar la calidad de servicio de la red 4G LTE al interior y exterior de la ESPOCH. Para lograrlo, se investigó los parámetros RSRP, RSRQ, SINR Y RSSI, claves en la evaluación de la calidad del servicio móvil en la tecnología LTE. Para el desarrollo, se seleccionaron tres estaciones base cercanas a la ESPOCH y se estableció puntos de referencia en diversas rutas radiales, se utilizó la aplicación Network Cell Info Pro para obtener información de la señal en cada punto, y el dispositivo Spectra Mobile Mapper 50 para recopilar datos de altura, ubicación y tiempo. La recolección de los datos de los parámetros radioeléctricos se llevó a cabo manualmente utilizando el equipo DEVISER E8600B. Además, se realizó una simulación con el software HTZ en el mismo sector para comparar y validar los resultados obtenidos. Finalmente, al comparar los datos medidos y simulados mediante el RMSE (Error cuadrático medio), se reveló que la estación base 1 presenta una diferencia de error menor en los parámetros RSRP, SINR y RSSI. Mientras que, la estación base 2 destaca al presentar una diferencia de error menor del parámetro RSRQ en comparación con las otras estaciones base evaluadas. En este contexto se concluye que este manual proporciona una guía precisa y estandarizada para la realización de mediciones en entornos de red LTE.

Palabras clave: <POTENCIA RECIBIDA DE LA SEÑAL DE REFERENCIA (RSRP)>, <CALIDAD RECIBIDA DE LA SEÑAL DE REFERENCIA (RSRQ)>, <INDICADOR DE INTENSIDAD DE SEÑAL RECIBIDA (RSSI)>, <RELACIÓN SEÑAL A RUIDO MÁS INTERFERENCIA (SINR)>, <RED 4G LTE>.

0427-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

ARCOTEL currently lacks a manual for radioelectric measurements that can evaluate the quality of service of the 4G LTE network. Thus, this research aimed to develop a manual to conduct radioelectric measurements and assess the quality of service of the 4G LTE network inside and outside ESPOCH. Key parameters like RSRP, RSRQ, SINR, and RSSI were essential in evaluating mobile service quality in LTE technology and were examined to achieve this. To develop the process, three base stations situated near ESPOCH were selected, and reference points were established on multiple radial routes. Signal information at each point was obtained using the Network Cell Info Pro application, while the Spectra Mobile Mapper 50 device was utilized to collect data on height, location, and time. The radioelectric parameter data was collected manually using the DEVISER E8600B equipment. Please let me know if you have any further questions or concerns. Furthermore, a simulation using HTZ software in the same sector compares and validates the results. Finally, by comparing the measured and simulated data using RMSE (Root Mean Square Error), it was revealed that base station 1 exhibited a lower error difference in the parameters RSRP, SINR, and RSSI. Conversely, base station 2 demonstrated a lower error difference in the RSRQ parameter at a specific location. This study concludes that this manual provides a precise and standardized guide for measuring LTE network environments.

Keywords: <RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI)>, <REFERENCE SIGNAL RECEIVED POWER (RSRP)>, <REFERENCE SIGNAL RECEIVED QUALITY (RSRQ)>, <SIGNAL-TO-NOISE PLUS INTERFERENCE RATIO (SINR)>, <4G LTE NETWORK>.

0427-DBRA-UPT-2024



Lic. Maritza Larrea Mg.

0603370784

INTRODUCCIÓN

En la era digital, la conectividad móvil se ha convertido en un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico, transformando la manera en que las personas se comunican, acceden a la información y participan en la sociedad. La evolución constante de las tecnologías de comunicación inalámbrica ha llevado a la implementación de redes de cuarta generación (4G LTE), marcando un hito significativo en la entrega de servicios móviles de alta velocidad y calidad. En este contexto, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) desempeña un papel crucial en la supervisión y regulación de las infraestructuras de telecomunicaciones. La evaluación efectiva del servicio móvil se vuelve imperativa para garantizar que los operadores cumplan con los estándares establecidos, proporcionando a los usuarios una experiencia de conectividad óptima.

El presente trabajo de titulación se enfoca en el desarrollo de un manual detallado para la realización de medidas radioeléctricas específicas de la tecnología 4G LTE. Estas medidas no solo permiten evaluar la calidad del servicio, sino que también contribuyen a la identificación de posibles áreas de mejora en la infraestructura de red. El uso de equipos profesionales especializados se presenta como una herramienta fundamental en este proceso, garantizando la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos. A lo largo de este manual, exploraremos los diferentes estándares de las medidas radioeléctricas, los parámetros clave a evaluar en una red 4G LTE y la importancia de seguir las directrices establecidas por la UIT, 3GPP y SMA. Además, se proporcionará una guía detallada sobre el uso adecuado de los equipos profesionales para la evaluación de dichos parámetros, asegurando que las mediciones sean realizadas de manera consistente y conforme a los estándares regulatorios revisados.

En última instancia, este manual aspira a ser una herramienta práctica y útil para la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), contribuyendo al mantenimiento y mejora continua de la calidad del servicio móvil en el panorama actual de las comunicaciones inalámbricas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad desarrollar un manual de medidas radioeléctricas 4G LTE mediante el uso de equipos profesionales por ARCOTEL para la evaluación del servicio móvil, dado que no cuentan con uno actualmente.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

Desarrollar un manual de medidas radioeléctricas 4G LTE mediante el uso de equipos profesionales para la evaluación del servicio móvil por ARCOTEL.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Estudiar el estándar 4G LTE y determinar los parámetros radioeléctricos que se deben medir.
- Desarrollar un manual de medidas radioeléctricas para 4G LTE basado en las recomendaciones internacionales más utilizadas.
- Aplicación del manual de medidas radioeléctricas en el interior de la ESPOCH.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación Teórica*

El continuo avance de las tecnologías de comunicación móvil, en particular la implementación de la red 4G LTE (Long-Term Evolution), ha transformado la manera en que las personas acceden a servicios de datos y voz a través de dispositivos móviles. Ecuador, como parte de esta revolución tecnológica, ha experimentado un rápido despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones para soportar esta demanda creciente de conectividad. ARCOTEL, como entidad reguladora, juega un papel crítico en garantizar la calidad y eficiencia de los servicios móviles en el país.

La evaluación del servicio móvil se vuelve crucial para asegurar que los operadores cumplan con los estándares de calidad definidos y para identificar posibles áreas de mejora. En este contexto, la red 4G LTE, al ser una tecnología de última generación, presenta desafíos específicos en términos de cobertura, capacidad y calidad de servicio. La evaluación precisa de estas métricas se convierte en una tarea esencial para garantizar una experiencia

de usuario óptima La implementación de un manual de medidas radioeléctricas 4G LTE proporcionará a ARCOTEL una herramienta estructurada y estandarizada para evaluar la conformidad de los servicios móviles con los estándares internacionales de calidad. Esto no solo fortalecerá la posición de Ecuador en el panorama global de las telecomunicaciones, sino que también brindará a los usuarios la seguridad de contar con servicios de alta calidad.

1.3.2 *Justificación Aplicativa*

El desarrollo de este manual se centra en llevar a cabo un estudio de los parámetros radioeléctricos relacionados con la tecnología 4G LTE, basado en recomendaciones internacionales para garantizar la eficiencia y la calidad del servicio móvil. Este proceso se llevará a cabo para la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) y posteriormente su aplicación en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), utilizando equipos profesionales de medición. El estudio detallado del estándar 4G LTE es fundamental para comprender su funcionamiento, arquitectura y características clave. Al examinar los parámetros radioeléctricos asociados con esta tecnología, como la calidad de la señal, se podrán identificar los factores críticos que afectan el rendimiento de la red. Esto permitirá tomar decisiones informadas sobre cómo optimizar la configuración de la red y garantizar una experiencia de usuario satisfactoria. Las recomendaciones internacionales, establecidas por organizaciones como la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), Servicio Móvil Avanzado (SMA) y la 3GPP (3rd Generation Partnership Project), proporcionan pautas y normativas reconocidas globalmente para la medición y evaluación de parámetros radioeléctricos. El desarrollo de un manual de medidas basado en estas recomendaciones asegurará que las mediciones se realicen de manera estandarizada y precisa. Esto facilitará la comparación de resultados, la detección de problemas y la toma de medidas correctivas en la red. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) es un entorno idóneo para llevar a cabo la aplicación del manual de medidas radioeléctricas 4G LTE, ya que cuenta con instalaciones y recursos técnicos propicios para realizar pruebas en un entorno controlado. La aplicación del manual de medidas radioeléctricas en la ESPOCH permitirá evaluar el servicio móvil en el campus, identificando posibles áreas de mejora y optimización. Además, el uso de equipos profesionales de medición garantizará los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen los principales conceptos teóricos para el desarrollo del proyecto de investigación, tales como el funcionamiento y las características de la tecnología móvil de cuarta generación, el desarrollo del estándar 4G LTE, así como las características de su arquitectura. También se muestran los parámetros radioeléctricos de LTE para la calidad de servicio móvil, las bandas de frecuencias y telefonía móvil asignadas al Ecuador, finalmente revisamos las frecuencias por tecnología asignadas al país y como el SMA introduce un valor de referencia, para evaluación del nivel mínimo de señal en cobertura (zona de cobertura) (SMA-QoS-09) respecto de la tecnología 4G.

2.1 La tecnología móvil de Cuarta Generación (4G)

La tecnología de 4G consiste en un estándar, definido por la ITU-R o Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de las que define las características de un sistema de comunicaciones móviles avanzado, con los siguientes requisitos:

- Eficiencia espectral mejorada que permita la conexión de más usuarios a tasas de intercambio de datos más elevadas.
- Arquitectura basada completamente en la conmutación de paquetes que permita la reducción de costes.
- Reducir la latencia permitiendo consumir multimedia y acceder a servicios de Internet con mejor respuesta.
- Gestión mejorada de los recursos radio y QoS mejorado.

Inclusión de nuevas capacidades para la interfaz radio, como canales de banda ancha y tecnología MIMO, referida a la configuración de antenas en transmisión y recepción para mejorar el rendimiento de las comunicaciones. A este estándar 4G también se la ha dado el nombre de IMT-A o Sistema Internacional de Telecomunicaciones Móviles Avanzado). (MARTÍNEZ GARCÍA, 2019, pág. 25)

2.1.1 Características de 4G

Con el objetivo principal de proporcionar alta velocidad, alta calidad, alta capacidad, seguridad y servicios de bajo coste para servicios de voz y datos, multimedia e internet a través de IP. El sistema móvil de cuarta generación está basado totalmente en IP, para usar la red de comunicación móvil 4G, los terminales de los usuarios deben ser capaces de seleccionar el sistema inalámbrico de destino. Para proporcionar servicios inalámbricos

en cualquier momento y en cualquier lugar, la movilidad del terminal es un factor clave en 4G. (ARCOTEL, 2020, pág. 8)

Tabla 2-1: Características de 4G

Tecnología	IP
Velocidad	100 Mbps en movimiento y 1 Gbps cuando se permanece inmóvil.
Frecuencia	En América del Norte se utilizan 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100 (AWS), 2300 (WCS) 2500 y 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13, 17, 25, 26, 30, 41) 2500 MHz en América del Sur; 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz en Europa (bandas 3, 7, 20); 800, 1800 y 2600 MHz en Asia (bandas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40) 1800 MHz y 2300 MHz en Australia y Nueva Zelanda (bandas 3, 40).
Ancho de Banda	5 a 20 MHz y puede llegar hasta 40 MHz.
Multiplexación	OFDM (para enlace descendente), SC-FDMA (para enlace ascendente), MC-CDMA, CDMA y Las Red LMDS.
Conmutación	Conmutación de circuitos
Estándares	Long-Term Evolution Time-Division Duplex (LTE-TDD y LTE-FDD) estándar WiMAX móvil (802.16m estandarizado por el IEEE) Velocidad - 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps cuando se permanece inmóvil. Telefonía IP Nuevas frecuencias, ancho de banda de canal de frecuencia más amplia.
Año	2010 pero desde el 2008 ITU-R indicaron los requisitos para las redes 4G.
Servicios	Acceso móvil web, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube, gestión de flujos múltiples de difusión y movimientos rápidos.

Fuente: (ARCOTEL, 2020)

2.2 LTE

Del inglés “Long Term Evolution”, es un estándar para redes de comunicaciones móviles desarrollada por el 3GPP. Constituye una evolución de las redes de segunda generación (2G), con GSM (Global System for Mobile Communications o Sistema Global para Comunicaciones Móviles), GPRS (Global Packet Radio Service o Servicio Global de Conmutación de Paquetes vía Radio) y EDGE o Tasas de Velocidad Mejoradas para la Evolución de GSM, y de las redes de tercera generación (3G), con UMTS o Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles y HSPA o Acceso por Conmutación de Paquetes de Alta Velocidad. (AGUSTI, 2010, pág. 46) LTE se desarrolló con el objetivo de simplificar e integrar la tecnología UMTS y cuenta con varios enfoques entre los cuales están:

- Asegurar y garantizar la competitividad del sistema de comunicaciones 3G en el futuro.
- Atender las demandas de los usuarios ofreciendo velocidades más elevadas y mejorando la calidad de servicio.
- Simplificación de costes, al reutilizar estaciones existentes.
- Implementación de un sistema de optimización de paquetes conmutado.
- Reducir la complejidad técnica del sistema.
- Evitar la desintegración de tecnologías.

La primera definición de tecnología LTE apareció en la Release 8 impulsada por la 3GPP, pues suponía la base para las especificaciones posteriores, comercialmente a la tecnología LTE se le ha dado el nombre de 4G-LTE. A partir del año 2010 con la definición y publicación de la Release 10 de LTE (LTE-Advanced), la tecnología LTE se convirtió en la propuesta del 3GPP que ayude a cumplir los requisitos y especificaciones dados por el estándar de cuarta generación. (3GPP, 2013, pág. 1)

LTE simplifica la arquitectura de red respecto a GSM/GPRS/EDGE y UMTS. Todo el tráfico va por conmutación de paquetes, empleando el protocolo IP (Internet Protocol o Protocolo de Internet) para el nivel de red, y no hay conmutación de circuitos. Por tanto, el núcleo de red funciona exclusivamente en conmutación de paquetes. La red de acceso radio también se simplifica. Respecto a UMTS, pasa a estar formada por un único elemento, el eNodeB o eNB, que asume las funciones de transmisión/recepción de las señales de radiofrecuencia y de la inteligencia de red. La tecnología empleada para el acceso en el enlace descendente es OFDMA, y en el enlace ascendente SC-FDMA o Acceso Múltiple por División en Frecuencia con Portadora Única) (MARTÍNEZ GARCÍA, 2019, pág. 27)

2.2.1 Arquitectura de red LTE

La arquitectura de red LTE se encuentra separada en dos bloques: la red de acceso radio o E-UTRAN y el núcleo de red o EPC. El conjunto formado por la red de acceso radio y el núcleo de red se denomina EPS. (MARTÍNEZ GARCÍA, 2019, pág. 29)

2.2.1.1 Red de acceso radio o E-UTRAN

La red de acceso radio (E-UTRAN) es una red distribuida de estaciones base, llamadas eNodeB o eNB. Las distintas estaciones base se interconectan entre sí a través de una interfaz, denominada X2. A su vez, las estaciones base se conectan al núcleo de red (EPC) a través de una interfaz denominada S1. Esta interfaz S1 se divide, a su vez en dos: S1-MME o S1-C, que conecta el eNodeB con el EPC para el plano de control; y S1-U, que conecta el eNodeB con el EPC para el plano de usuario. Los UE o Equipamiento de

Usuario, también llamados terminales de usuario se conectan a los eNodeB a través de la interfaz E-UTRAN Uu, denominada LTE Uu.

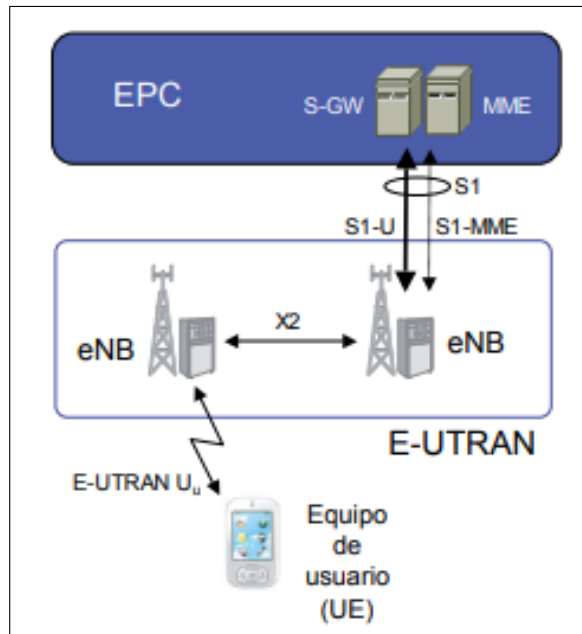


Ilustración 2-1: Red de acceso E-UTRAN
Fuente: (AGUSTI, 2010)

La asignación de recursos se realiza por medio de RB o Bloque de Recursos. Cada bloque de recursos ocupa 180 kHz (12 subportadoras de 15 kHz) en frecuencia y 0,5 ms en tiempo, que se corresponde con 7 símbolos de modulación. En la Ilustración 2-2, se puede observar la estructura de un bloque de recursos. (MARTÍNEZ GARCÍA, 2019, pág. 29)

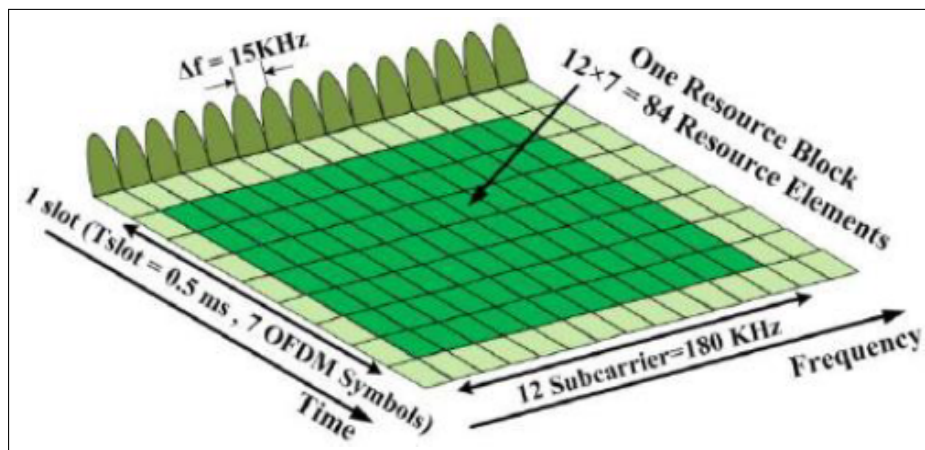


Ilustración 2-2: Estructura de un bloque de recursos en LTE
Fuente: (MARTÍNEZ GARCÍA, 2019)

2.2.2 Núcleo de red (EPC)

El núcleo de red (EPC) es una red de servidores, encaminadores y otros componentes que se encargan de la gestión del tráfico de red. Trabaja únicamente en conmutación

de paquetes, empleando el protocolo IP para el nivel de red. Está formado por el MME o Entidad de Gestión de la Movilidad, el HSS o Servidor de Suscriptores, el S-GW o Encaminador/Puerta de Enlace Servidora, el P-GW o Encaminador/Puerta de Enlace a la Red de Datos por Conmutación de Paquetes/Internet y el PCRF o Servidor para la Función de aplicación de las Reglas para Políticas de Red y Tarificación. (MARTÍNEZ GARCÍA, 2019, pág. 31)

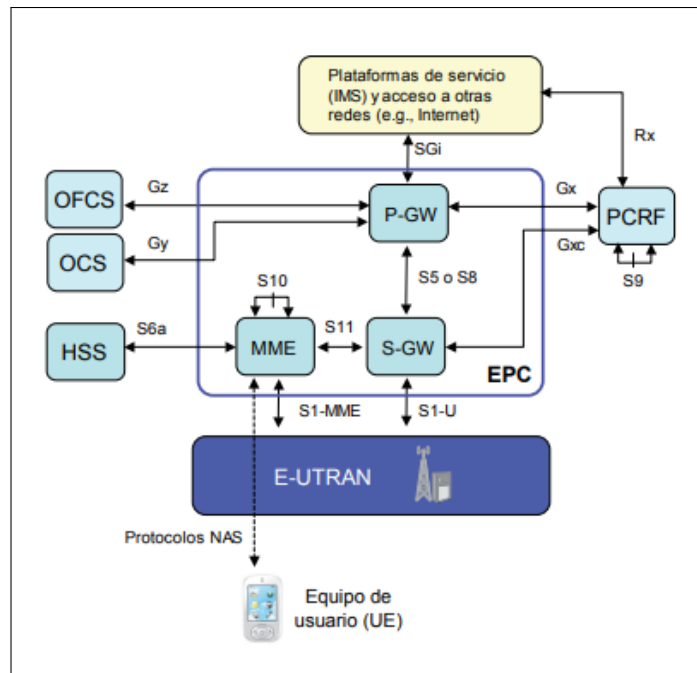


Ilustración 2-3: Arquitectura básica de la red troncal EPC

Fuente: (AGUSTI, 2010)

En la Tabla 2-2 se detallan las entidades que forman el EPC con sus funciones principales.

Tabla 2-2: Descripción de los elementos que forman el EPC

Elementos de la red troncal	Descripción	Funciones principales
MME	Se encarga de todas las funciones del plano de control: gestión de suscriptores y sesiones.	<p>Procedimientos de seguridad: autenticación del usuario final, iniciación y negociación de algoritmos de cifrado y protección de la integridad de los datos.</p> <p>Gestión de las sesiones entre los suscriptores y la red: procedimientos de señalización y de negociación de parámetros.</p> <p>Gestión de la localización de los usuarios y de procedimientos de movilidad.</p>
HSS	Agrupa las funciones del AuC (Authentication Center o Centro de Autenticación) y el HLR (Home Location Register o Registro de Localización), presentes en las redes 2G y 3G. Es una base de datos que contiene toda la información de suscripción de los usuarios	<p>Identificación de los usuarios y direccionamiento: MSI y MSISDN o número de teléfono.</p> <p>Información sobre perfiles de los usuarios: estados de suscripción y calidad de servicio.</p>
P-GW	Es un encaminador/puerta de enlace que constituye, al igual que el S-GW, un punto de terminación, en este caso entre el EPC e Internet. Es el encargado de encaminar el tráfico de los usuarios hacia Internet. Permite aplicar reglas definidas por el operador para asignación de recursos y uso, así como reglas para el filtrado de paquetes	Está conectado al S-GW mediante las interfaces S5-S8, al PCRF mediante la interfaz S7 y a la PDN (Packet Data Network o Red de Datos por Conmutación de Paquetes) o Internet mediante la interfaz SGi.

S-GW	<p>Actúa de pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC.</p> <p>Al igual que sucede con MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario.</p> <p>La asignación de la pasarela S-GW responde también a criterios geográficos, así como de balanceo de cargas</p>	<p>La entidad S-GW proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs.</p> <p>Encaminamiento del tráfico de usuario.</p>
PCRF	<p>Gestiona las políticas del servicio (como tarificación) y la asignación de parámetros de calidad de servicio para las sesiones de los usuarios</p>	<p>Está conectado al P-GW mediante la interfaz S7 y a la PDN mediante la interfaz Rx</p>

Fuente: (AGUSTI, 2010)

2.3 Parámetros radioeléctricos en LTE

En las redes LTE, los parámetros radioeléctricos juegan un papel crucial para garantizar un rendimiento óptimo y una experiencia de usuario de alta calidad. Algunos de los parámetros radioeléctricos más importantes en LTE incluyen:

- **RSSI (Received Signal Strength Indicator):** Mide la potencia de la señal recibida por el dispositivo móvil desde la estación base. Un RSSI más alto generalmente indica una señal más fuerte.
- **RSRP (Reference Signal Received Power):** Especifica la potencia de la señal de referencia recibida por el dispositivo. Es una medida más precisa que el RSSI y se utiliza para evaluar la calidad de la señal.
- **RSRQ (Reference Signal Received Quality):** Representa la calidad de la señal de referencia en relación con la interferencia y el ruido en el entorno. Un RSRQ más alto indica una mejor calidad de señal.
- **SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio):** Mide la relación entre la potencia de la señal y la interferencia más el ruido. Un SINR más alto indica una mejor calidad de señal y una menor interferencia.

- **CQI (Channel Quality Indicator):** Proporciona información sobre la calidad del canal de comunicación. Un valor más alto indica una mejor calidad del canal.
- **PCI (Physical Cell Identity):** Identifica de manera única una celda en la red. Cada celda tiene un PCI único para evitar interferencias entre celdas vecinas.
- **PRB (Physical Resource Block):** Representa la cantidad de recursos físicos disponibles en una celda. La gestión eficiente de los PRB es esencial para la capacidad y el rendimiento de la red.
- **Latencia:** Se refiere al tiempo que tarda una señal en viajar desde el origen hasta el destino. En LTE, se busca minimizar la latencia para garantizar respuestas rápidas en aplicaciones en tiempo real.
- **Throughput (Rendimiento):** Indica la cantidad de datos que pueden transferirse a través de la red en un período de tiempo. Se busca maximizar el rendimiento para proporcionar velocidades de datos más altas.
- **Handover Parameters:** Incluyen umbrales de señal y criterios de calidad que determinan cuándo un dispositivo debe cambiar de una celda a otra durante la movilidad.

Estos parámetros son esenciales para monitorear y optimizar el rendimiento de la red LTE, asegurando una cobertura confiable, calidad de servicio y eficiencia en la transmisión de datos. La calidad de servicio (QoS), de manera general se la puede evaluar de diferentes puntos de vista, esto quiere decir, que se puede evaluar desde el punto de vista del usuario o desde el punto de vista técnico. En el presente estudio se evaluará la QoS considerando aspectos técnicos, propios de la tecnología. (LEMA VILLENA, 2017, pág. 34)

Actualmente se encuentra en vigencia una norma de calidad en la prestación de servicio móvil avanzado emitida por ARCOTEL, la norma define 15 parámetros de calidad identificados bajo las siglas **SMA-QoS- Numero de parámetro** (ARCOTEL, 2017, pág. 17). Como se define a continuación:

- SMA-QoS-1 RELACIÓN CON EL CLIENTE
- SMA-QoS-2 PORCENTAJE DE RECLAMOS GENERALES
- SMA-QoS-3 TIEMPO PROMEDIO DE RESOLUCIÓN DE RECLAMOS
- SMA-QoS-4 TIEMPO PROMEDIO ESPERA DE RESPUESTA DE OPERADOR HUMANO
- SMA-QoS-5 PORCENTAJE DE RECLAMOS FACTURACIÓN Y DEBITO
- SMA-QoS-6 PORCENTAJE DE LLAMADAS ESTABLECIDAS

- SMA-QoS-7 TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADAS
- SMA-QoS-8 PORCENTAJE DE LLAMADAS CAÍDAS
- SMA-QoS-9 ZONA DE COBERTURA/NIVEL MÍNIMO DE SEÑAL EN ZONA DE COBERTURA, ÚNICAMENTE PARA LA TECNOLOGÍA 4G
- SMA-QoS-10 CALIDAD DE CONVERSACIÓN- MOS, ÚNICAMENTE PARA LA TECNOLOGÍA 2G y 3G
- SMA-QoS-11 PORCENTAJE DE MENSAJES CORTOS CON ÉXITO
- SMA-QoS-12 TIEMPO PROMEDIO DE ENTREGA DE MENSAJES CORTOS
- SMA-QoS-13 TIEMPO DE IDA Y REGRESO DE UN PAQUETE
- SMA-QoS-14 TASA DE TRANSFERENCIA PROMEDIO DE DATOS (FTP)
- SMA-QoS-15 PORCENTAJE DE SESIONES FALLIDAS DE HTTP

2.3.1 RSSI (*Received Signal Strength Indicator*)

El “Indicador de Intensidad de Señal Recibida” es una medida utilizada para cuantificar la potencia de la señal recibida por un receptor inalámbrico, como un dispositivo móvil o una estación base. El RSSI mide la intensidad de la señal radioeléctrica recibida en un dispositivo y se expresa generalmente en decibelios (dBm). Cuanto mayor es el valor en dBm, más fuerte es la señal recibida. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el RSSI solo indica la fuerza de la señal, no su calidad ni la presencia de interferencias y es utilizado como un parámetro de entrada para el cálculo del parámetro RSRQ-LTE. (LEMA VILLENA, 2017, pág. 78)

RSSI	Intensidad de la señal	Descripción
> -65 dBm	Excelente	Señal fuerte con velocidades de datos máximas
De -65 dBm a -75 dBm	Bien	Señal fuerte con buenas velocidades de datos
De -75 dBm a -85 dBm	Justo	Se pueden alcanzar velocidades de datos justas pero útiles, rápidas y fiables, pero es posible que se obtengan datos marginales con interrupciones
De -85 dBm a -95 dBm	Pobre	El rendimiento disminuirá drásticamente
<= -95 dBm	Sin señal	Desconexión

Ilustración 2-4: Valores de RSSI

Fuente: (TELTONIKA, 2022)

2.3.2 RSRP (*Reference Signal Received Power*)

Se considera como la potencia de la señal en una celda relacionada con la métrica que sirve como entrada para procesos de reelección de una celda y decisiones de handover.

Las mediciones de RSRP normalmente son expresados en dBm y el principal propósito del RSRP es determinar la mejor celda en la interfaz de radio de enlace descendente y seleccionarla como celda servidora.

- RSRP hace un mejor trabajo al medir la potencia de la señal de un sector específico, al tiempo que excluye potencialmente el ruido y la interferencia de otros sectores.
- Los niveles de RSRP para la señal utilizable suelen oscilar entre aproximadamente -75 dBm cerca de un emplazamiento celular LTE y -120 dBm en el borde de la cobertura LTE.(CABLEFREE, 2018)
- El rango de notificación de RSRP se define de -140 dBm a -44 dBm con una resolución de 1 dB.(ETSI, 2010)

RSRP	Intensidad de la señal	Descripción
>= -80 dBm	Excelente	Señal fuerte con velocidades de datos máximas
De -80 dBm a -90 dBm	Bien	Señal fuerte con buenas velocidades de datos
De -90 dBm a -100 dBm	De regular a pobre	Se pueden alcanzar velocidades de datos fiables, pero es posible que se produzcan datos marginales con caídas. Cuando este valor se acerca a -100, el rendimiento disminuirá drásticamente
<= -100 dBm	Sin señal	Desconexión

Ilustración 2-5: Valores de RSRP

Fuente: (TELTONIKA, 2022)

2.3.3 RSRQ (Reference Signal Received Quality)

Al igual que la RSRP, es una métrica de la medida de la calidad de la señal recibida, esta métrica es usada principalmente para proveer un ranking de las celdas disponibles en función de la calidad de la señal. La RSRQ es usada en los procedimientos de selección de la celda o procesos de handover, esta métrica se encuentra definida como se muestra en la Ecuación 2-1

$$RSRQ = \frac{N * RSRP}{LTE \text{ carrier RSSI}}$$

Ecuación 2-1: Calculo del RSRQ

- N es el número de bloques de recursos físicos (PRB) sobre los que se mide el RSSI, normalmente igual al ancho de banda del sistema
- RSSI es una medición pura de potencia de banda ancha, que incluye potencia intracelda, interferencia y ruido.

- El rango de informes de RSRQ se define de -3 a -19,5 dB.(ETSI, 2010)

RSRQ	Calidad de la señal	Descripción
>= -10 dB	Excelente	Señal fuerte con velocidades de datos máximas
De -10 dB a -15 dB	Bien	Señal fuerte con buenas velocidades de datos
De -15 dB a -20 dB	De regular a pobre	Se pueden alcanzar velocidades de datos fiables, pero es posible que se produzcan datos marginales con caídas. Cuando este valor se acerca a -20, el rendimiento disminuirá drásticamente
<= -20 dB	Sin señal	Desconexión

Ilustración 2-6: Valores de RSRQ

Fuente: (TELTONIKA, 2022)

2.3.4 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)

Relación Señal-Ruido más Interferencia representa la relación entre la potencia de la señal principal (la señal que deseamos recibir) y la suma de la interferencia y el ruido en el entorno. Una relación SINR más alta generalmente indica una mejor calidad de la señal, lo que generalmente se traduce en una mejor calidad de la conexión. En entornos de comunicación inalámbrica, monitorear y optimizar el SINR es esencial para garantizar un rendimiento óptimo de la red y proporcionar servicios de datos más confiables y rápidos. (BOIARYNOV, 2023, pág. 1)

- Se necesita un mínimo de -20 dB SINR para detectar RSRP/RSRQ. Fuente: (TELTONIKA, 2022)

SINR	Intensidad de la señal	Descripción
>= 20 dB	Excelente	Señal fuerte con velocidades de datos máximas
De 13 dB a 20 dB	Bien	Señal fuerte con buenas velocidades de datos
De 0 dB a 13 dB	De regular a pobre	Se pueden alcanzar velocidades de datos fiables, pero es posible que se produzcan datos marginales con caídas. Cuando este valor se acerca a 0, el rendimiento disminuirá drásticamente
<= 0 dB	Sin señal	Desconexión

Ilustración 2-7: Valores de SINR

Fuente: (TELTONIKA, 2022)

$$\text{SINR} = \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Interferencia} + \text{Ruido}}$$

Ecuación 2-2: Calculo del SINR

2.3.5 Nivel mínimo de señal en cobertura (zona de cobertura) (SMA-QoS-9)

La norma 3GPP TS 05.05 V8.20.0 que es la especificación técnica para el acceso de radio a la red, establece que, el “nivel de sensibilidad de referencia”, está definido como el nivel de señal de entrada que garantiza un desempeño adecuado de una red GSM, con un valor mínimo de -104 dBm. Sin embargo, la norma ETSI TR 101 362 V8.4.0 (2005-06), define el límite de los valores mínimos para mantener una llamada con la calidad suficiente en una red GSM como la relación señal a ruido más interferencia, $C/(N+I) = 9$ dB. Por lo que, para áreas descubiertas como el caso de las carreteras, en las cuales no se consideran pérdidas adicionales como las sufridas en interiores (“indoor”), el nivel de señal mínimo sugerido planteado es el “nivel de sensibilidad de referencia” más el valor de la relación señal a ruido más interferencia, $C/(N+I)$, esto es: $-104 \text{ dBm} + 9 \text{ dB} = -95 \text{ dBm}$, aplicable tanto para tecnologías 2G y 3G. Dada que las obligaciones de planes de expansión actuales, son de carácter general y no por tecnología, se propone que para carreteras la medición sea independiente de la tecnología para carreteras. (ARCOTEL, 2017, pág. 30)

- Con carácter informativo el primer año, se introduce un valor de referencia, para evaluación respecto de la tecnología 4G (mayor o igual a -90 dBm en señal de referencia de potencia recibida – RSRP).

2.3.6 Tiempo de ida y regreso de un paquete (propuesta de parámetro para el servicio de datos) (SMA-QoS-13)

La norma ETSI TS 102 250-2 V2.2.1 (2011-04)10, define el parámetro “Ping” o “Ping round trip time”, medido en milisegundos (ms), el cual sería traducido como “tiempo de ida y vuelta Ping”, el cual es definido (traducción libre) como el tiempo requerido para que un paquete viaje de una fuente a un destino y regrese, y es usado para medir el retraso en una red en un tiempo dado; para su medición, el servicio debe estar ya establecido. De acuerdo con la referencia, este parámetro aplica a todos los servicios que son basados en el TCP (uno de los protocolos más utilizados en Internet), como por ejemplo en transferencia de archivos FTP, navegación o web browsing (HTTP), email (POP 3, SMTP). Es decir, es un parámetro de importancia relacionado con la navegación en Internet o la transferencia de archivos. (ARCOTEL, 2017, pág. 33) A continuación, se indica el valor objetivo trimestral por zona de medición y por tecnología:

- $T_p \leq 150 \text{ ms}$ (3G)
- $T_p \leq 150 \text{ ms}$ (4G)

2.3.7 Tasa de transferencia promedio de datos (FTP) - (propuesta de parámetro para el servicio de datos) (SMA-QoS-14)

Las características de referencia de este parámetro se toman conforme a lo definido por la norma ETSI TS 102 250-2 V2.2.1 (2011-04), mencionada para el planteamiento del parámetro anterior; este parámetro es definido en la norma en mención como “File transfer” (transferencia de archivos), y en particular el denominado FTP Download | Upload IP – Service Setup Time, que se describe como el periodo de tiempo necesario para establecer una conexión TCP / IP al servidor de un servicio, desde el envío del requerimiento inicial al servidor hasta el tiempo en el que el contenido es enviado o recibido.

Dado que la transferencia de datos en FTP es permanente en el uso del servicio de Internet, se propone que este parámetro se evalúe tanto para las redes 3G como 4G, considerando tanto una velocidad o tasa de transferencia mínima como una promedio, tanto en el sentido abonado - servicio (UL, uplink, upload o carga), como en el sentido servicio - abonado DL,download o descarga, considerando también en este parámetro, las diferencias de tasas o velocidades de referencia generales disponibles al público para cada tecnología, por lo que se plantean diferentes tiempos de valor objetivo para cada una de ellas.(ARCOTEL, 2017, pág. 34)

- 3G:

FTP mínimo:	UL \geq 0.5Mbps	DL \geq 2Mbps
FTP promedio:	UL \geq 1 Mbps	DL \geq 5 Mbps

- 4G:

FTP mínimo:	UL \geq 2Mbps	DL \geq 5Mbps
FTP promedio:	UL \geq 5Mbps	DL \geq 20Mbps

2.3.8 Porcentaje de sesiones fallidas de HTTP - (propuesta de parámetro para el servicio de datos) (SMA-QoS-15)

Propuesta de parámetro nuevo para la medición de la calidad, para la característica de retenibilidad del servicio de la transferencia de la información de datos. La ITU, define a la característica de retenibilidad del servicio como la capacidad de un servicio, una vez obtenido, para continuar siendo prestado en condiciones determinadas y durante el tiempo solicitado. Generalmente ello depende de las tolerancias de transmisión, de las características de propagación y de la fiabilidad de los sistemas conexos.

Las características de referencia de este parámetro se toman conforme a la norma ETSI TS 102 250-2 V2.2.1 (2011-04), que define (traducción libre) a relación de sesiones completadas como la proporción de sesiones y sesiones que no se han completado y que se

iniciaron correctamente, y a la norma ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10) 11, que define (traducción libre) a la relación de transmisión de datos sin éxito como la proporción de transmisiones de datos sin éxito con el número total de intentos de transmisión de datos en un periodo de tiempo especificado.

En vista de la introducción de este parámetro para la medición del índice de calidad, considerando que no existe información histórica del desempeño de por parte de las empresas del SMA, por tratarse de un parámetro de retenibilidad en la prestación de un servicio de telecomunicaciones, se recomienda usar el valor objetivo de $\leq 5\%$, tanto para 3G como 4G. (ARCOTEL, 2017, pág. 36)

2.4 Bandas de Frecuencia en Ecuador

El organismo regulador encargado de la política de comunicaciones en Ecuador es el MINTEL. La ARCOTEL se encarga de regular las actividades del espectro de frecuencias de radio del país, como la planificación, asignaciones y licencias.

En la siguiente tabla se describe las bandas y las frecuencias utilizadas a nivel nacional acorde a la tecnología móvil, En Ecuador el rango de frecuencias para las tecnologías 2G, 3G y LTE están en el rango desde los 700 MHz hasta los 2100 MHz. (MERECE APOLO, 2020, pág. 48)

Tabla 2-3: Bandas y frecuencias utilizadas en Ecuador

Cobertura	Bandas y frecuencias
2G	B2 (1900), B5 (850)
3G	B2 (1900), B5 (850)
4G	B2 (1900), B4 (1700/2100 AWS 1), B28 (700)
5G	No asignado

Fuente: (MERECE APOLO, 2020)

2.5 Telefonía móvil en Ecuador

En el país existen tres operadoras de telefonía móvil que prestan sus servicios, teniendo como resultado un total de 18.082.299 líneas activas de las cuales 10.915.028 son de la tecnología LTE, tanto en prepago como en pospago, a continuación, se muestra las líneas activas por tecnología y prestador: Claro (Conecel S.A.) con un total de 9.361.007, Movistar (Otecel S.A.) 5.536.629 y CNT con 3.184.663.

Esta información es proporcionada hasta septiembre de 2023 por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. De esta información se observa que las empresas multinacionales que vienen de otro país son Telefónica - Movistar y Claro; la otra es una empresa es CNT que maneja el gobierno ecuatoriano, antes conocida como Alegro. (ARCOTEL, 2023, pág. 2)

- La operadora CONECEL con el nombre comercial de CLARO dispone en su red de telefonía celular de tres tecnologías: 2G, 3G y LTE.
- La operadora OTECEL con el nombre comercial Telefónica MOVISTAR dispone en su red de telefonía celular de tres tecnologías: 2G, 3G y LTE.
- La operadora CNT dispone en su red de telefonía celular de dos tecnologías: 3G y LTE.

2.6 Frecuencias por tecnología en Ecuador

En el país el rango de frecuencias para las tecnologías 2G,3G y LTE están en el rango desde los 700 MHz hasta los 2100 MHz. La clasificación de operadoras de telefonía celular según las frecuencias por tecnología de OTECEL, CONOCEL y CNT. OTECEL se muestran en la tabla a continuación. (MERECI APOLO, 2020, pág. 49)

Tabla 2-4: Frecuencias por tecnología

Operador	Tecnología	Frecuencia	Red	Servicio
CONECEL	GSM	850/1900 MHz	2G	Voz y Datos
	UMTS	850/1900 MHz	3G	Voz y Datos
	LTE	1700/2100 MHz	LTE	Datos
OTECCEL	GSM	850/1900 MHz	2G	Voz y Datos
	UMTS	850/1900 MHz	3G	Voz y Datos
	LTE	1900 MHz	LTE	Datos
CNT	UMTS	1900 MHz	3G	Voz y Datos
	LTE	700/1700/2100 MHz	LTE	Datos

Fuente: (MERECI APOLO, 2020)

2.7 Servicio Móvil Avanzado

Se lo define como el servicio de telecomunicaciones del servicio móvil terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza.(ARCOTEL, 2019, pág. 1)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

En este capítulo, se expone detalladamente la metodología empleada en la creación del manual de medidas radioeléctricas para la tecnología 4G LTE. El desarrollo de este trabajo se fundamentó en estándares internacionales como la ITU, 3GPP y fuentes directas de la ARCOTEL, así como en libros, artículos científicos y tesis sobre la tecnología 4G LTE. Estas fuentes permitieron determinar los parámetros radioeléctricos necesarios para evaluar el servicio móvil al interior y afueras de la ESPOCH.

Esta metodología se basa en la utilización de herramientas profesionales de medición, como el analizador de espectros DEVISER E8600B. El escáner de señales que cuenta el equipo desempeña un papel crucial al proporcionar mediciones rápidas de diversos parámetros, tales como la potencia del sistema SS, la potencia de recepción de la señal de referencia (RSRP), la calidad de recepción de la señal de referencia (RSRQ), la relación señal/interferencia más ruido (SINR), y la identificación de celda (PCI).

Para adquirir las coordenadas, la altitud sobre el nivel del mar, y la fecha y hora de las estaciones base y los puntos de medición, se empleó el dispositivo SPECTRA MOBILE MAPPER 50. Este colector de datos utiliza un Smartphone con sistema operativo Android como plataforma. Con características de ligereza, robustez, compacidad y potencia, el dispositivo tiene la capacidad de recopilar datos del SIG mediante el software de campo MobileMapper Field. Este software permite alcanzar una precisión de hasta 80 cm mediante el post-proceso utilizando su sistema de navegación por satélite GNSS interno.

3.2 Desarrollo del manual de medidas radioeléctricas 4G LTE

Con el fin de obtener los parámetros radioeléctricos de la tecnología 4G LTE establecidos en base a los diferentes estándares internacionales revisados en los capítulos previos se define los siguientes; RSRP (dBm), RSRQ (dB), SINR (dB) y RSSI (dBm). Sin embargo, el equipo DEVISER también proporciona los siguientes parámetros adicionales; identificación de celda (PCI), S-SS (dBm), P-SS (dBm), DELAY (*us*).

3.2.1 *Parámetros del transmisor*

3.2.1.1 *Ubicación de estaciones base*

Para la selección de las estaciones base se consideró que el entorno sea urbano según la recomendación vigente de la UIT P.1411-10 (ITU, 2021) y que sean estaciones base cercanas a la ESPOCH, como se observa en la Ilustración 3-1, se ubicaron 3 puntos que trabajan en

las bandas de 1900 y 2100 MHz con la tecnología LTE.



Ilustración 3-1: Ubicación de estaciones base con tecnología LTE

Realizado por: Sanga C., 2024

3.2.1.2 Validación de parámetros de las estaciones base

Utilizando el equipo GPS SPECTRA MOBILE MAPPER 50 se obtuvo las coordenadas y la altura en metros sobre el nivel del mar de cada punto de medición correspondiente a cada estación base.

Para la medición de las alturas de las antenas de cada estación base se utilizó la aplicación para Android Smart Measure. Este telémetro mide la distancia y la altura de un objetivo mediante la trigonometría.



Ilustración 3-2: Medición de altura de la estación base 1 con Smart Measure
Realizado por: Sanga C., 2024



Ilustración 3-3: Medición de altura de la estación base 2 con Smart Measure
Realizado por: Sanga C., 2024



Ilustración 3-4: Medición de altura de la estación base 3 con Smart Measure
 Realizado por: Sanga C., 2024

Tabla 3-1: Ubicaciones y alturas de las estaciones base

Estación Base	Latitud	Longitud	Altura (m.s.n.m)	Altura Antena(m)
BS1	1°39'14.0265''S	78°40'24.5200''W	2812,856	44
BS2	1°39'02.0039''S	78°41'15.2324''W	2858,626	26
BS3	1°39'32.9815''S	78°41'04.0389''W	2821,373	14

Realizado por: Sanga C., 2024

3.2.1.3 Establecer rutas radiales

Para la obtención de medidas en cada estación base se recomienda trazar de 3 a 5 rutas de forma radial tal como indica el manual “Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/decimétricas” de la UIT(ITU, 2002, pág. 48). Además, se utilizará un radio efectivo de 100 a 500 metros para cubrir el área designada que presenta alta densidad de usuarios, calles comerciales, estadios y estaciones de transporte público como indica (DAHLMAN Erik, 2013, págs.233-234) en la implementación de redes móviles.

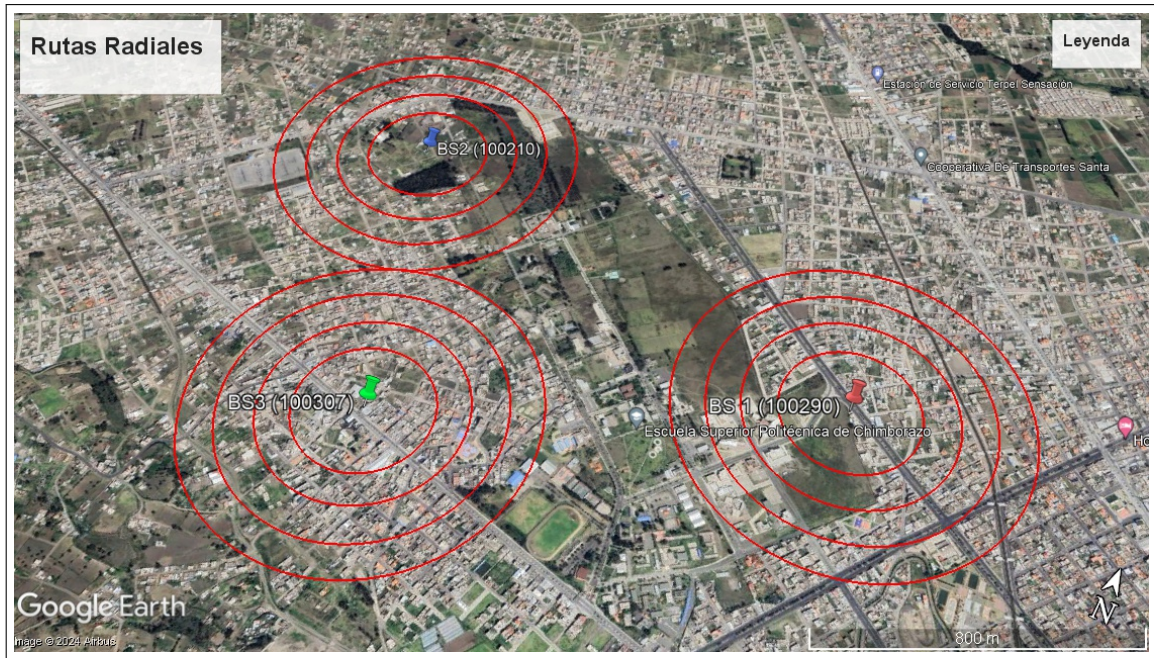


Ilustración 3-5: Rutas radiales de las estaciones base
 Realizado por: Sanga C., 2024

Por lo cual para establecer los puntos de medición se trazaron cuatro rutas radiales de 200, 300, 400, 500 metros, donde se ubicó un total de 24 puntos de medición alrededor de cada estación base, considerando sitios accesibles para el vehículo y los equipos.



Ilustración 3-6: Rutas radiales y puntos de medición de la estación base 1
 Realizado por: Sanga C., 2024

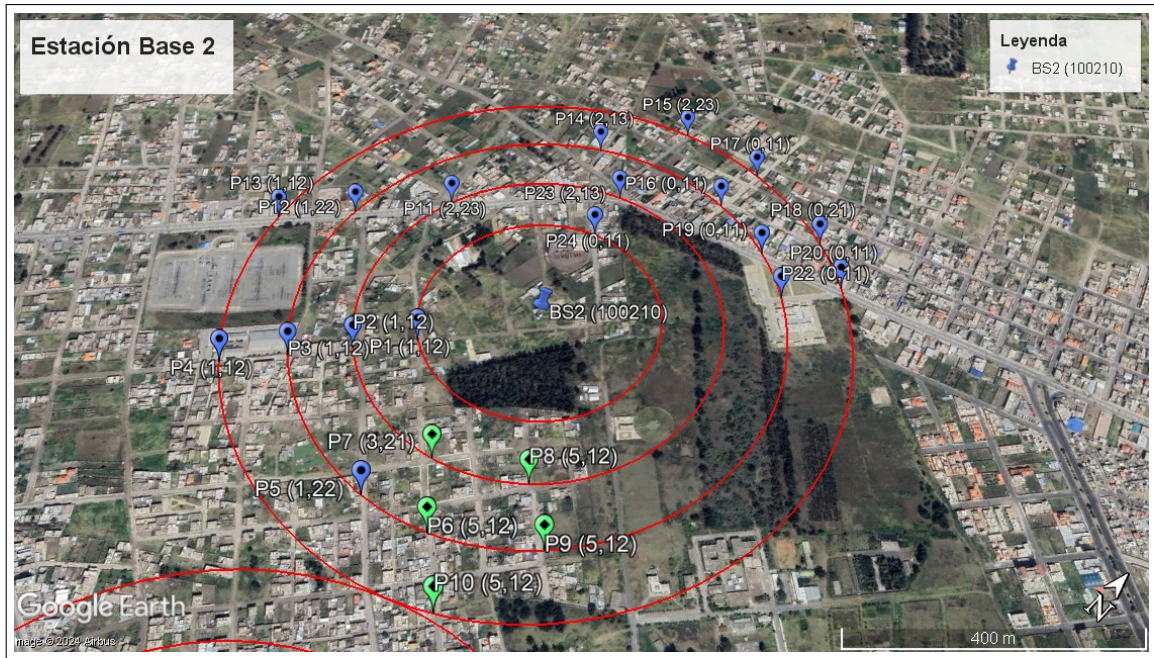


Ilustración 3-7: Rutas radiales y puntos de medición de la estación base 2

Realizado por: Sanga C., 2024

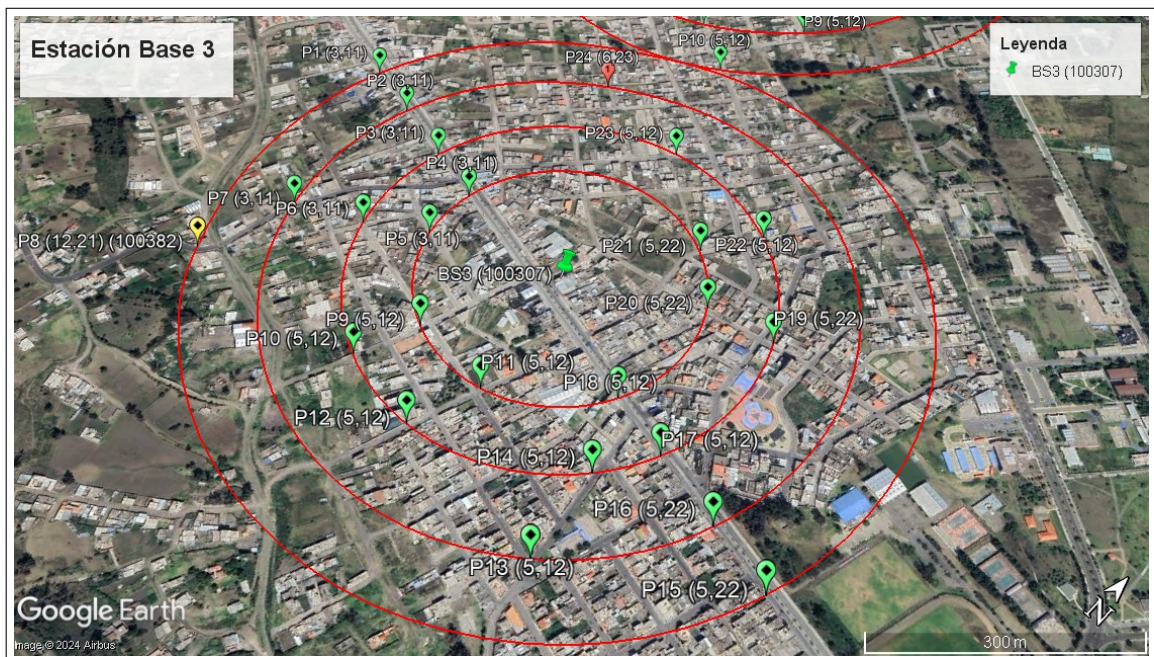


Ilustración 3-8: Rutas radiales y puntos de medición de la estación base 3

Realizado por: Sanga C., 2024

3.2.2 Parámetros del receptor

3.2.2.1 Información de la señal de red

Utilizando la aplicación "Network Cell Info Pro", disponible en la plataforma "Play Store" para el sistema operativo Android, se analizó la tecnología a la que se está conectado el dispositivo móvil, resultando en la obtención de los siguientes datos:

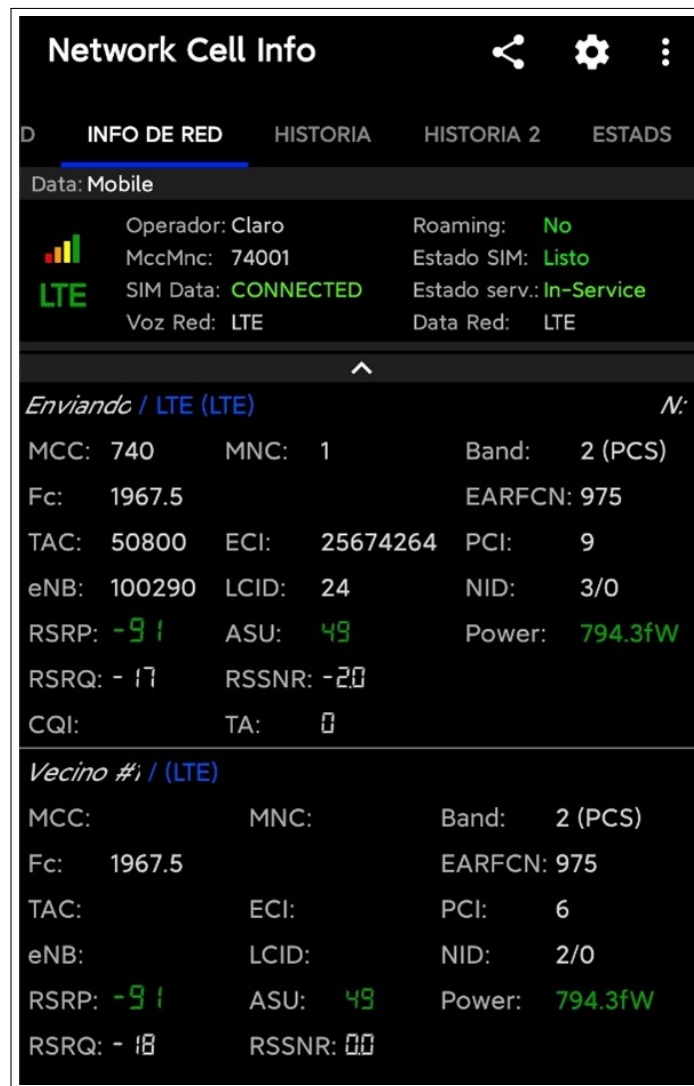


Ilustración 3-9: Aplicación "NETWORK CELL INFO PRO"

Realizado por: Sanga C., 2024

Para trabajar con la tecnología 4G LTE se realizó un análisis de la asignación del espectro radioeléctrico del consorcio Conecel S.A siendo propietario la operadora Claro en Ecuador. Claro y otros operadores móviles suelen utilizar múltiples bandas de frecuencia para implementar tecnologías LTE (4G). Algunas de las bandas de frecuencia comunes para LTE incluyen:

- **Banda 2 (1900 MHz):** También conocida como PCS, es una banda comúnmente utilizada en América.
- **Banda 4 (AWS - 1700/2100 MHz):** Esta banda se utiliza para LTE en América y algunas otras regiones.
- **Banda 28 (700 MHz):** Una banda de frecuencia baja que ofrece mejor propagación de la señal y cobertura en áreas más extensas.

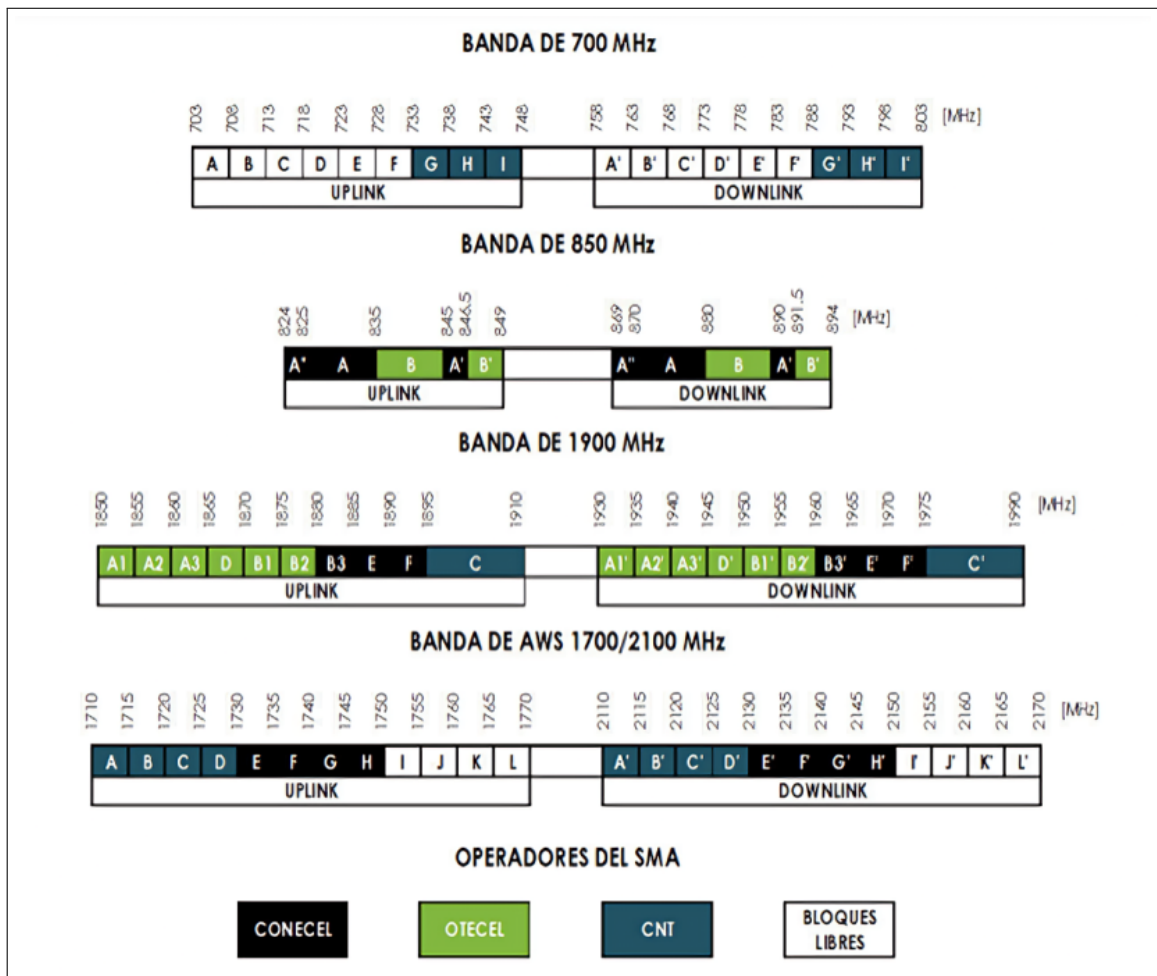


Ilustración 3-10: Asignación de espectro SMA según ARCOTEL

Fuente: (ARCOTEL, 2019)

Para un enlace downlink en la operadora Conecel la ARCOTEL destina una canalización que va desde 1960 MHz a 1975 MHz para la banda de 1900 MHz y 2130 MHz a 2150 MHz para la banda de 1700/2100 MHz, los cuales se utilizaron para el análisis.

3.2.2.2 Ubicación

Se empleó el dispositivo GPS Spectra Mobile Mapper 50 para adquirir con precisión las coordenadas geográficas y la altitud en metros sobre el nivel del mar de cada ubicación

de medición asociada a las estaciones base.

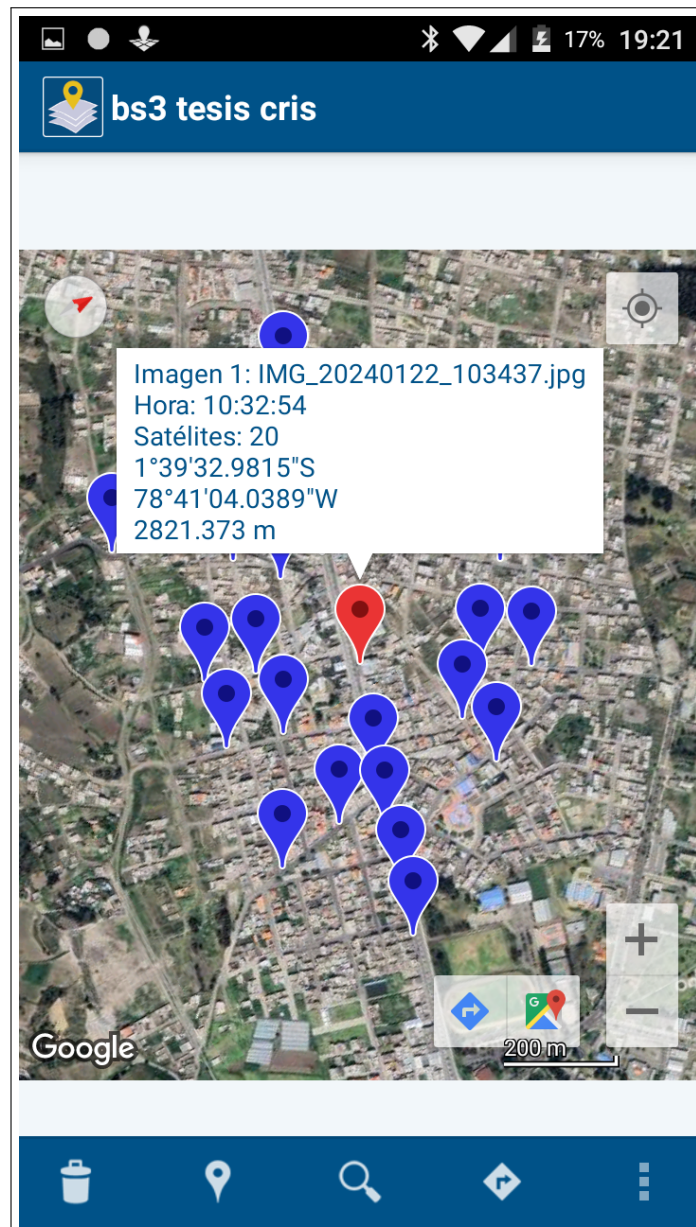


Ilustración 3-11: Recolección de datos con mobile maper 50 en la estación base 3

Realizado por: Sanga C., 2024

3.2.2.3 Medición de parámetros radioeléctricos

Para la obtención de los valores de los parámetros radioeléctricos se utilizó el equipo DEVISER E8600B el cual proporciona entre sus principales características la opción de análisis de señal LTE-TDD/FDD para medir la calidad de la señal de enlace descendente con el fin de garantizar la calidad de la cobertura de la señal de la estación base e identificar posibles interferencias.



Ilustración 3-12: Menú del equipo DEVISER

Realizado por: Sanga C., 2024

El escáner de señal proporciona una medición rápida de la potencia SS, la potencia de recepción de la señal de referencia (RSRP), la calidad de recepción de la señal de referencia (RSRQ), la relación señal/interferencia más ruido (SINR) e ID de celda (PCI) como se muestra a continuación en la ilustración 3-13, este procedimiento se realizó para cada punto de las 3 estaciones base.

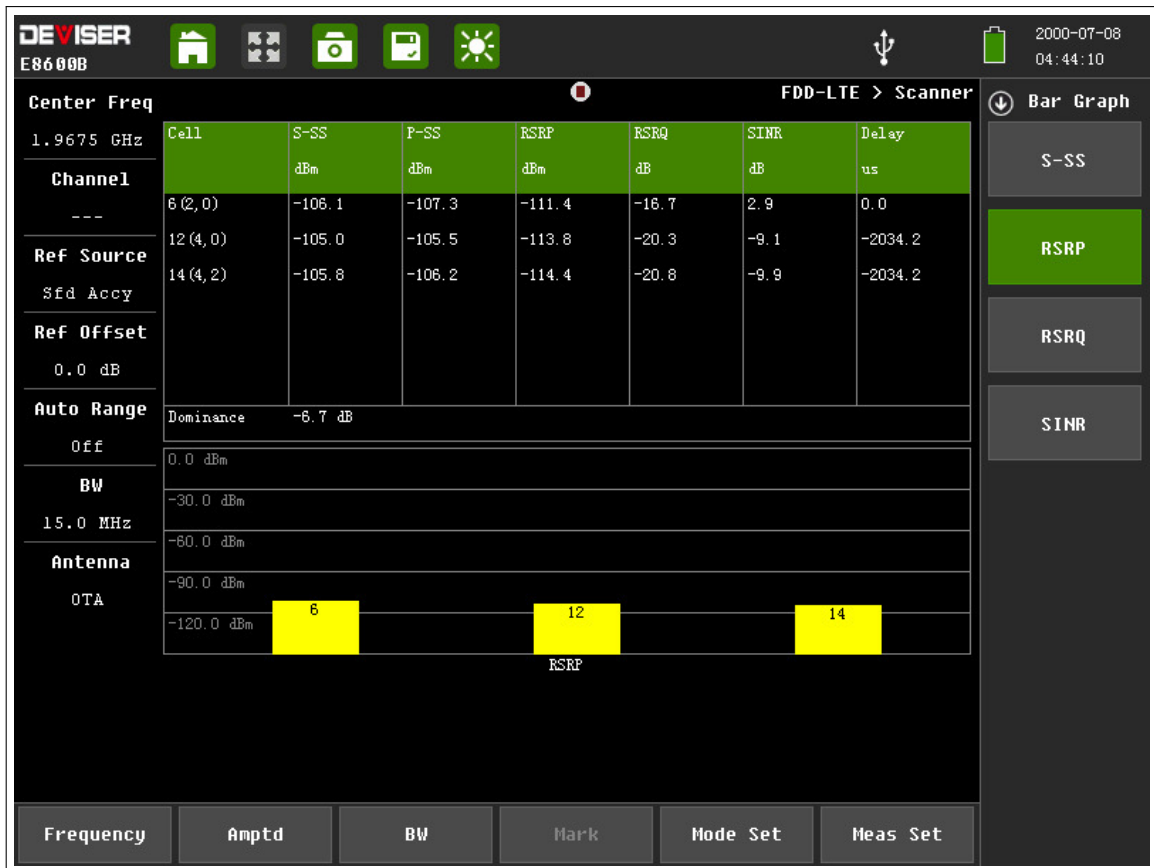


Ilustración 3-13: Escaneo de la señal a una frecuencia de 1967.5 MHz con 15 MHz de ancho de banda.

Realizado por: Sanga C., 2024

3.2.2.4 Antena

Para todo el proceso de medición en el receptor, se utilizó una antena ANT-120-008 de la marca proxicast de 3-6 dBi de ganancia dependiendo la frecuencia de operación, con un patrón de radiación Omni-Directional y tecnología 4G/5G/CBRS, conectada directamente al equipo DEVISER E8600B, para mayor detalle revisar el Anexo A.



Ilustración 3-14: Antena ANT-120-008 4G/5G
Realizado por: Sanga C., 2024

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se detalla el análisis de los resultados obtenidos con el propósito de realizar la aplicación del manual de medidas radioeléctricas, se realizaron pruebas en diferentes puntos al interior y exterior de la ESPOCH, mediante recopilación de datos en campo. Además, se llevó a cabo una simulación con los datos obtenidos para una comparativa entre las mediciones reales y simuladas.

4.1 Sectorización de las estaciones base

Para el análisis e interpretación de los datos medidos se procede a sectorizar cada estación base con el fin de identificar el LCID o sector, ID de celda y eNB (ID) al que se conecta cada punto medido.

4.1.1 Sectorización estación base 1

La estación base 1 está asignada por el eNB (Id) 100290, presenta tres sectores 11-21, 12-22, 13-23, y el PCI al que se conecta cada sector son 7, 8 y 6 respectivamente.

Tabla 4-1: Datos de sectorización de la estación base 1

Estación base	eNB (ID)	Banda (MHz)	ID de la celda (PCI)	Sectores (LCID)
BS1	100290	2100	7	11
			8	12
			6	13
		1900	7	21
			8	22
			6	23

Realizado por: Sanga C., 2024

Para una mejor comprensión se puede observar gráficamente la distribución y sectorización de puntos en la Ilustración 4-1

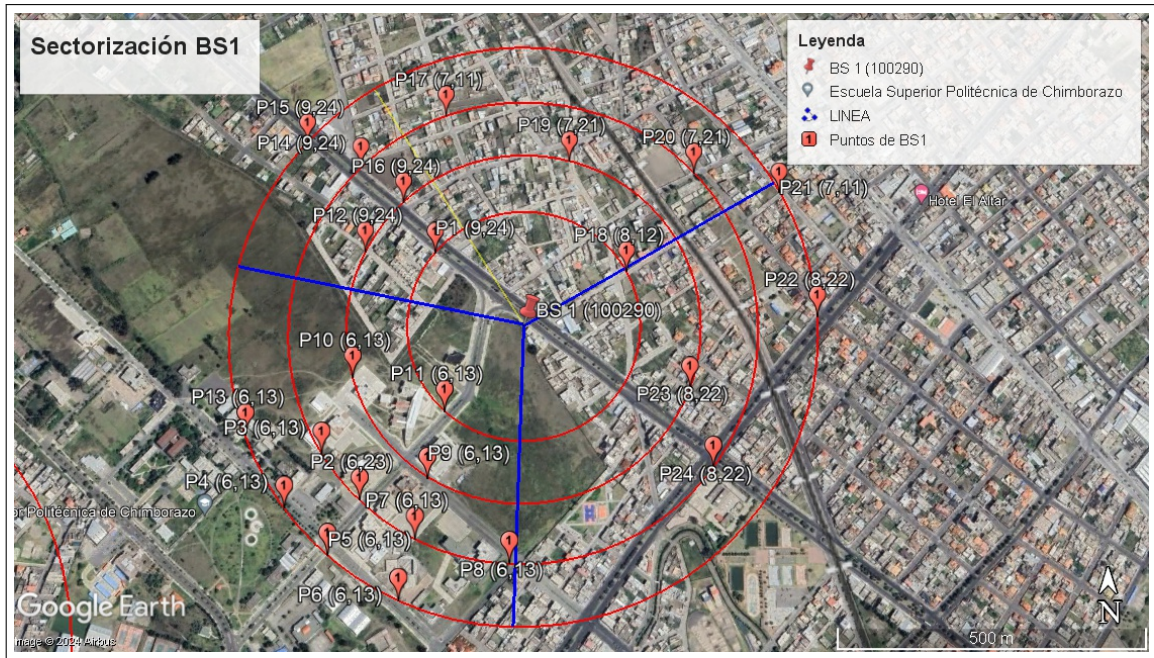


Ilustración 4-1: Sectorización de la estación base 1
Realizado por: Sanga C., 2024

También se llevó a cabo la recopilación de datos mediante el uso del dispositivo GPS Spectra Mobile Mapper 50, con el propósito de obtener las coordenadas geográficas y la altitud en metros sobre el nivel del mar de cada punto de medición asociado a las estaciones base, como se detalla en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Ubicaciones y alturas de los puntos de las estación base 1

Puntos	Hora	Latitud	Longitud	Altura (m.s.n.m)
P1	17:03:05	1°39'10.3284" S	78°40'29.4859" W	2.818.405
P2	15:21:48	1°39'23.9433" S	78°40'33.1388" W	2.818.091
P3	15:36:26	1°39'21.3175" S	78°40'35.4367" W	2.826.766
P4	16:04:20	1°39'24.1722" S	78°40'37.3525" W	2.818.951
P5	16:07:53	1°39'26.8238" S	78°40'34.7356" W	2.817.821
P6	16:19:50	1°39'29.0879" S	78°40'30.9614" W	2.815.736
P7	16:47:01	1°39'25.9729" S	78°40'30.1554" W	2.813.723
P8	17:02:11	1°39'27.2182" S	78°40'25.1394" W	2.811.692
P9	17:02:56	1°39'22.4443" S	78°40'29.9269" W	2.815.951
P10	15:54:40	1°39'17.2476" S	78°40'33.8935" W	2.822.875
P11	16:08:06	1°39'19.0723" S	78°40'28.8174" W	2.813.919
P12	16:52:32	1°39'10.1042" S	78°40'33.3583" W	2.819.814
P13	15:48:31	1°39'20.4125" S	78°40'39.4636" W	2.828.137
P14	16:33:23	1°39'05.3203" S	78°40'33.7904" W	2.827.123
P15	16:42:14	1°39'03.5412" S	78°40'36.8139" W	2.823.054
P16	16:19:24	1°39'07.2648" S	78°40'31.4058" W	2.824.267
P17	17:18:05	1°39'02.3266" S	78°40'28.9444" W	2.820.516
P18	16:45:13	1°39'11.4326" S	78°40'18.7110" W	2.814.821
P19	16:23:01	1°39'04.7785" S	78°40'21.8634" W	2.815.557
P20	16:58:17	1°39'05.7293" S	78°40'14.9481" W	2.820.695
P21	14:52:02	1°39'06.8009" S	78°40'10.0828" W	2.815.730
P22	17:27:58	1°39'11.7183" S	78°40'06.1902" W	2.821.459
P23	17:38:50	1°39'17.9390" S	78°40'15.5119" W	2.818.110
P24	17:52:02	1°39'22.2723" S	78°40'14.2871" W	2.807.542

Realizado por: Sanga C., 2024

4.1.2 Sectorización estación base 2

La estación base 2 está asignada por el eNB (Id) 100210 que presenta tres sectores 11-21, 12-22, 13-23, y el PCI al que se conecta cada sector son 0, 1 y 2 respectivamente.

Tabla 4-3: Datos de sectorización de la estación base 2

Estación base	eNB (ID)	Banda (MHz)	ID de la celda (PCI)	Sectores (LCID)
BS2	100210	2100	0	11
			1	12
			2	13
		1900	0	21
			1	22
			2	23

Realizado por: Sanga C., 2024

Para una mejor comprensión se puede observar gráficamente la distribución y sectorización de puntos en la Ilustración 4-2

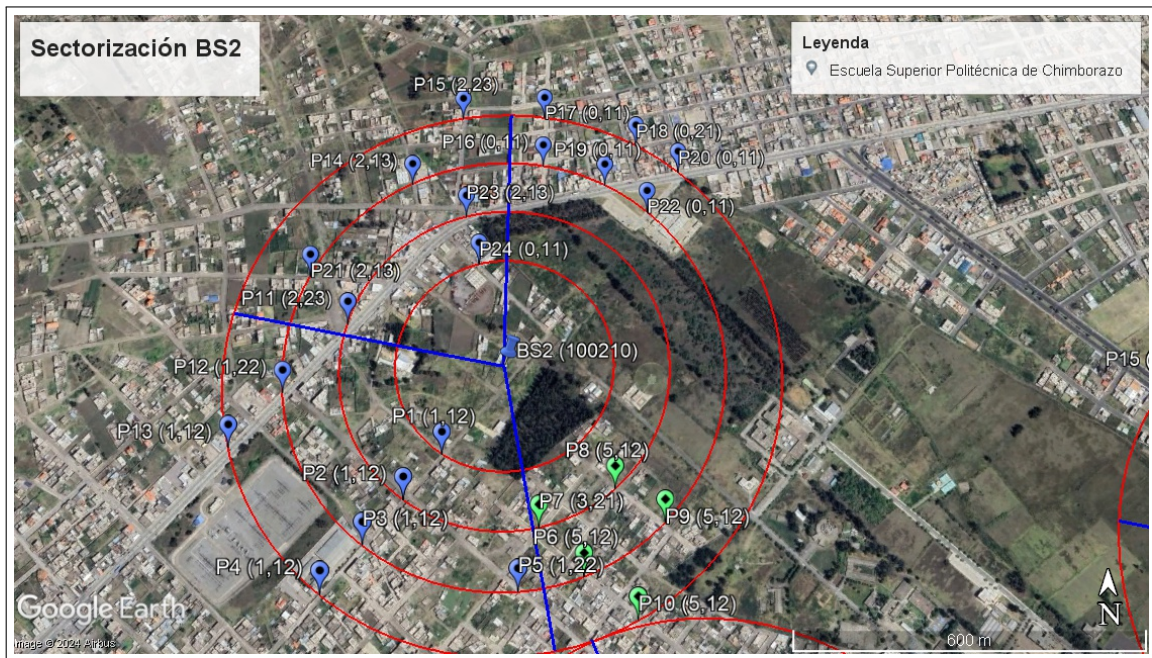


Ilustración 4-2: Sectorización de la estación base 2

Realizado por: Sanga C., 2024

También se llevó a cabo la recopilación de datos mediante el uso del dispositivo GPS Spectra Mobile Mapper 50, con el propósito de obtener las coordenadas geográficas y la altitud en metros sobre el nivel del mar de cada punto de medición asociado a las estaciones base, como se detalla en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Ubicaciones y alturas de los puntos de la estación base 2

Puntos	Hora	Latitud	Longitud	Altura (m.s.n.m)
P1	14:01:06	1°39'07.2392" S	78°41'18.7341" W	2858,625
P2	14:13:21	1°39'09.6469" S	78°41'20.7822" W	2858,152
P3	14:21:57	1°39'12.2714" S	78°41'22.8121" W	2853,208
P4	14:34:21	1°39'14.9728" S	78°41'24.9861" W	2861,720
P5	14:52:29	1°39'14.6856" S	78°41'14.1169" W	2842,203
P6	15:08:58	1°39'13.7386" S	78°41'10.8446" W	2839,543
P7	15:26:30	1°39'11.2464" S	78°41'13.2921" W	2851,234
P8	15:41:58	1°39'09.1054" S	78°41'08.8052" W	2841,006
P9	15:50:15	1°39'11.0806" S	78°41'06.0736" W	2846,280
P10	15:18:57	1°39'16.0771" S	78°41'07.6540" W	2832,175
P11	16:23:22	1°38'59.4809" S	78°41'24.4525" W	2863,007
P12	16:36:09	1°39'03.5377" S	78°41'28.0455" W	2861,150
P13	16:43:46	1°39'06.8270" S	78°41'30.8132" W	2867,051
P14	10:42:46	1°38'50.5657" S	78°41'21.0773" W	2853,407
P15	10:53:34	1°38'46.0181" S	78°41'18.1119" W	2851,121
P16	11:09:38	1°38'49.1261" S	78°41'13.1848" W	2845,365
P17	11:03:29	1°38'45.8557" S	78°41'13.1279" W	2840,500
P18	14:32:00	1°38'47.6747" S	78°41'07.3254" W	2850,970
P19	14:26:04	1°38'50.4609" S	78°41'09.2973" W	2848,975
P20	14:18:14	1°38'49.4074" S	78°41'04.6691" W	2849,153
P21	15:02:02	1°38'56.4467" S	78°41'26.9550" W	2854,909
P22	11:30:39	1°38'52.1052" S	78°41'06.7904" W	2835,424
P23	16:15:20	1°38'52.6192" S	78°41'17.9607" W	2859,679
P24	11:22:23	1°38'55.7828" S	78°41'16.8756" W	2849,591

Realizado por: Sanga C., 2024

4.1.3 Sectorización estación base 3

La estación base 3 está asignada por el eNB (Id) 100307 que presenta 2 sectores 11-21, 12-22, y el PCI al que se conecta cada sector son 3 y 5 respectivamente.

Tabla 4-5: Datos de sectorización de la estación base 3

Estación base	eNB (ID)	Banda (MHz)	ID de la celda (PCI)	Sectores (LCID)
BS2	100307	2100	3	11
			5	12
		1900	3	21
			5	22

Realizado por: Sanga C., 2024

Para una mejor comprensión se puede observar gráficamente la distribución y sectorización de puntos en la Ilustración 4-3

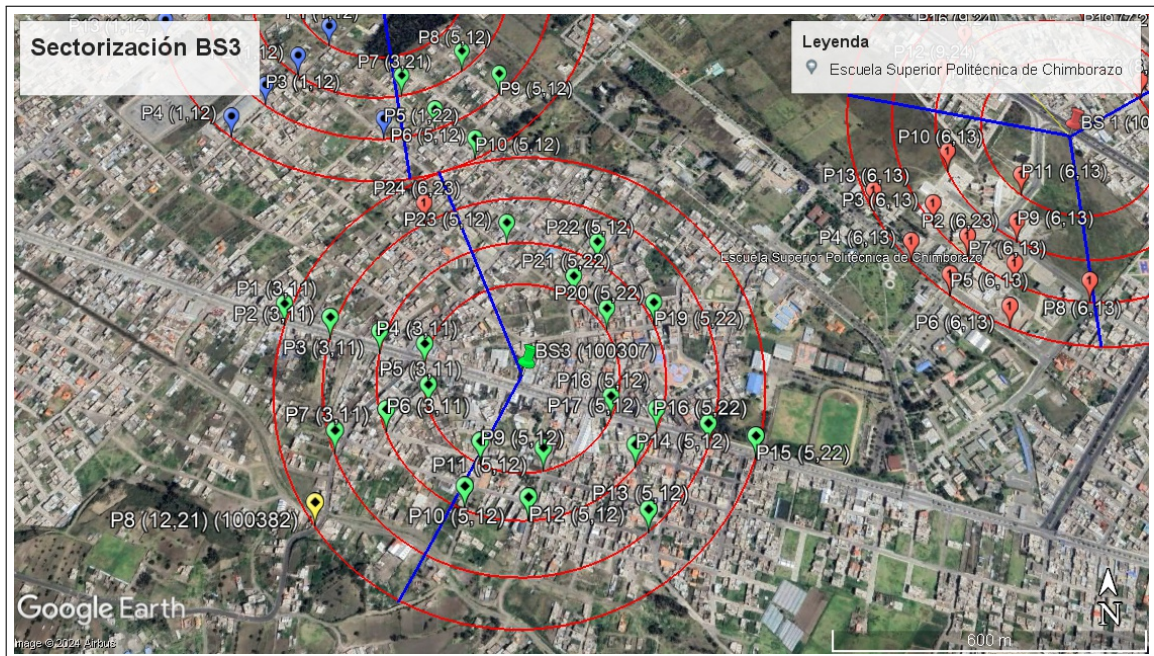


Ilustración 4-3: Sectorización de la estación base 3

Realizado por: Sanga C., 2024

También se llevó a cabo la recopilación de datos mediante el uso del dispositivo GPS Spectra Mobile Mapper 50, con el propósito de obtener las coordenadas geográficas y la altitud en metros sobre el nivel del mar de cada punto de medición asociado a las estaciones base, como se detalla en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Ubicaciones y alturas de los puntos de las estación base 3

Puntos	Hora	Latitud	Longitud	Altura (m.s.n.m)
P1	16:21:35	1°39'29.0897" S	78°41'19.9608" W	2857,489
P2	16:30:08	1°39'29.9187" S	78°41'17.1180" W	2849,770
P3	16:38:50	1°39'30.8706" S	78°41'13.5839" W	2846,079
P4	16:47:38	1°39'31.7988" S	78°41'10.6426" W	2840,591
P5	16:56:24	1°39'34.5684" S	78°41'10.5577" W	2841,216
P6	17:00:32	1°39'36.4542" S	78°41'12.8202" W	2842,067
P7	17:05:31	1°39'38.0114" S	78°41'15.9334" W	2844,185
P8	17:10:08	1°39'42.2765" S	78°41'16.6928" W	2848,353
P9	17:21:22	1°39'38.4610" S	78°41'06.5070" W	2826,590
P10	17:17:14	1°39'41.3002" S	78°41'07.5123" W	2825,779
P11	17:36:37	1°39'38.7989" S	78°41'02.6912" W	2814,752
P12	17:32:18	1°39'42.0663" S	78°41'03.5522" W	2822,660
P13	17:55:10	1°39'42.6813" S	78°40'55.9840" W	2807,366
P14	17:50:48	1°39'38.5590" S	78°40'56.5904" W	2812,993
P15	18:15:20	1°39'38.0180" S	78°40'48.8674" W	2798,255
P16	18:09:50	1°39'37.1623" S	78°40'51.7756" W	2799,659
P17	18:03:24	1°39'36.2749" S	78°40'55.2433" W	2804,837
P18	17:43:29	1°39'35.3947" S	78°40'58.1668" W	2809,689
P19	18:27:39	1°39'28.9258" S	78°40'55.2663" W	2817,164
P20	18:37:53	1°39'29.3888" S	78°40'58.3602" W	2820,621
P21	18:44:43	1°39'26.9092" S	78°41'00.6578" W	2813,562
P22	17:52:14	1°39'24.4404" S	78°40'59.1093" W	2814,019
P23	17:58:27	1°39'23.0143" S	78°41'05.2722" W	2826,519
P24	18:06:13	1°39'21.3781" S	78°41'11.0135" W	2826,754
P6 BS2	15:08:58	1°39'13.7386" S	78°41'10.8446" W	2839,543
P7 BS2	15:26:30	1°39'11.2464" S	78°41'13.2921" W	2851,234
P8 BS4	15:41:58	1°39'09.1054" S	78°41'08.8052" W	2841,006
P9 BS2	15:50:15	1°39'11.0806" S	78°41'06.0736" W	2846,280
P10 BS2	15:18:57	1°39'16.0771" S	78°41'07.6540" W	2832,175

Realizado por: Sanga C., 2024

4.2 Mediciones de campo

A continuación, se muestran los datos recolectados con el equipo DEVISER E8600B. Por cada punto de las estaciones base se muestra el Id de celda (PCI), la señal de sincronización secundaria (S-SS), la señal de sincronización primaria (P-SS), la potencia de recepción de la señal de referencia (RSRP), la calidad de recepción de la señal de referencia (RSRQ), la

relación señal/interferencia más ruido (SINR) y el retardo de la señal (DELAY). El cálculo del Indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI) se realizó mediante la ecuación 4-1 teniendo en cuenta que no se consideró ni el ruido ni las interferencias:

$$RSSI = 12 \cdot N \cdot RSRP$$

Ecuación 4-1: Calculo del RSSI

Dónde:

- RSRP es la potencia recibida de 1 elemento de recurso (RE) promedio de los niveles de potencia recibidos en todos los símbolos de la señal de referencia dentro del ancho de banda de frecuencia de medición considerado.
- El RSSI se mide en todo el ancho de banda.
- N: es el número de bloques de recursos físicos (PRB) sobre los que se mide el RSSI, para un ancho de banda de 15 MHz el número de bloques de recursos es 75 y para un ancho de banda de 20Mhz el número de bloques de recursos es 100 esto sería el 100% de PRB en dowlink. (CABLEFREE, 2018, pág. 1)

4.2.1 Evaluación del servicio móvil en la estación base 1

En la tabla 4-7 se pueden apreciar distintos valores de parámetros radioeléctricos dispuestos de manera organizada proporcionados por el equipo DEVISER E8600B en cada punto de la estación base 1.

Tabla 4-7: Parámetros radioeléctricos medidos con el DEVISER en los puntos de la estación base 1

Puntos	ID de celda (PCI)	Frecuencia central (MHz)	S-SS (dBm)	P-SS (dBm)	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	Delay (us)	RSSI (dBm)
P1	9	1967.5	-62,7	-63,4	-65,4	-11,9	7,6	0,0	-35,9
P2	6	1967.5	-75,4	-74,6	-79,5	-11,0	6,3	0,0	-50,0
P3	6	2140	-74,0	-74,2	-73,3	-15,5	16,7	0,0	-42,5
P4	6	2140	-74,0	-74,2	-73,3	-15,5	16,7	0,0	-42,5
P5	6	2140	-80,9	-82,8	-85,4	-14,6	7,7	0,0	-54,6
P6	6	2140	-91,1	-91,4	-90,4	-17,0	3,4	0,0	-59,6
P7	6	2140	-78,7	-78,7	-84,4	-16,1	3,0	0,0	-53,6
P8	6	2140	-62,7	-62,9	-73,2	-18,6	5,1	0,0	-42,4
P9	6	2140	-83,7	-84,0	-77,7	-14,4	9,6	0,0	-46,9
P10	6	2140	-53,3	-53,0	-58,2	-12,6	20,2	0,0	-27,4
P11	6	2140	-53,0	-52,5	-59,7	-13,2	2,8	0,0	-28,9
P12	9	1967.5	-70,1	-70,5	-72,9	-9,6	3,0	0,0	-43,4
P13	6	2140	-78,0	-77,4	-82,4	-13,0	15,6	0,0	-51,6
P14	9	1967.5	-74,6	-76,1	-69,0	-5,8	2,6	0,0	-39,5
P15	9	1967.5	-76,7	-77,0	-78,1	-13,0	2,7	0,0	-48,6
P16	9	1967.5	-59,4	-60,2	-60,9	-12,4	5,3	0,0	-31,4
P17	7	2140	-59,9	-59,9	-66,7	-9,3	13,5	0,0	-35,9
P18	8	2140	-76,0	-75,9	-72,6	-13,6	-0,5	0,0	-41,8
P19	7	1967.5	-86,7	-86,4	-79,9	-10,8	7,9	0,0	-50,4
P20	7	1967.5	-78,7	-78,4	-84,6	-16,0	4,6	0,0	-55,1
P21	7	2140	-84,0	-84,0	-90,3	-20,1	2,7	0,0	-59,5
P22	8	1967.5	-89,5	-90,0	-99,1	-21,6	-10,2	1224,6	-69,6
P23	8	1967.5	-71,8	-71,9	-72,0	-9,9	8,4	0,0	-42,5
P24	8	1967.5	-63,2	-63,5	-67,3	-14,0	6,0	0,0	-37,8

Realizado por: Sanga C., 2024

4.2.1.1 Histogramas de la estación base 1

A continuación, se presentan diferentes histogramas que representan el RSRP, RSRQ, SINR y RSSI de todos los puntos pertenecientes a la estación base 1. Estos puntos se distribuyen conforme a los intervalos definidos por LTE para la evaluación del servicio móvil, como se indica en la Ilustración 2-4 a 2-7 del capítulo II donde se detalla los parámetros de calidad de señal LTE.

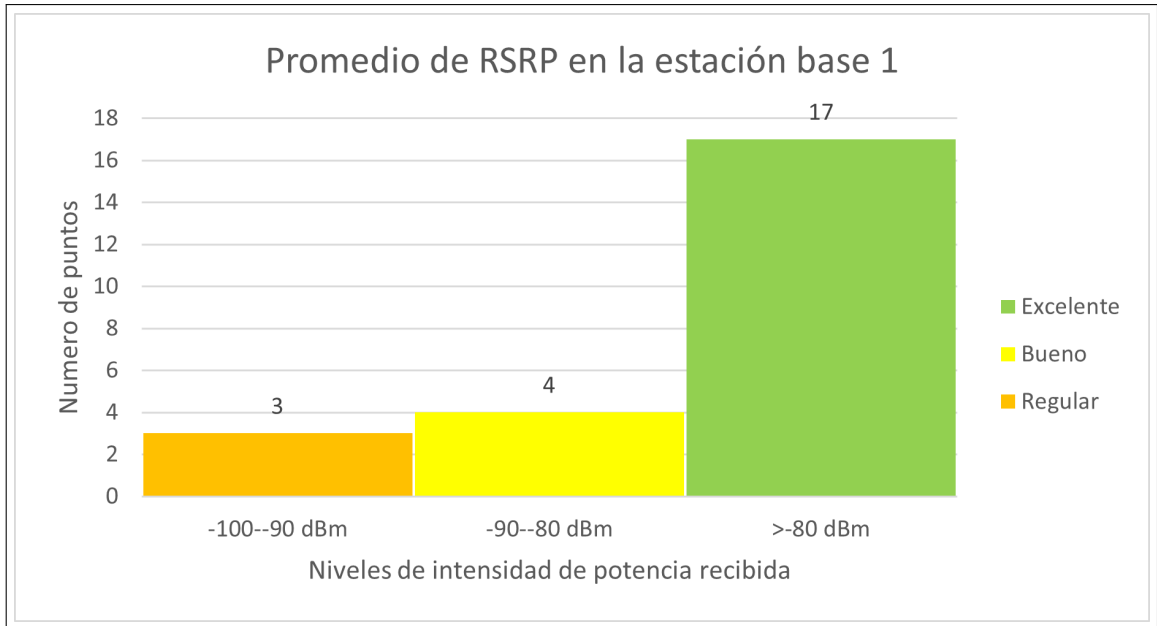


Ilustración 4-4: Histograma de las mediciones de RSRP en la estación base 1. (Verde excelente, Amarrillo Bueno, Naranja regular)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-4 , que muestra el promedio de los valores de RSRP en la estación base 1, se observa una excelente calidad en la señal recibida. De los 24 puntos analizados, 17 indican una señal fuerte, 4 indican una señal buena y 3 señalan condiciones de regular a pobres, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y potencia recibida de la señal.

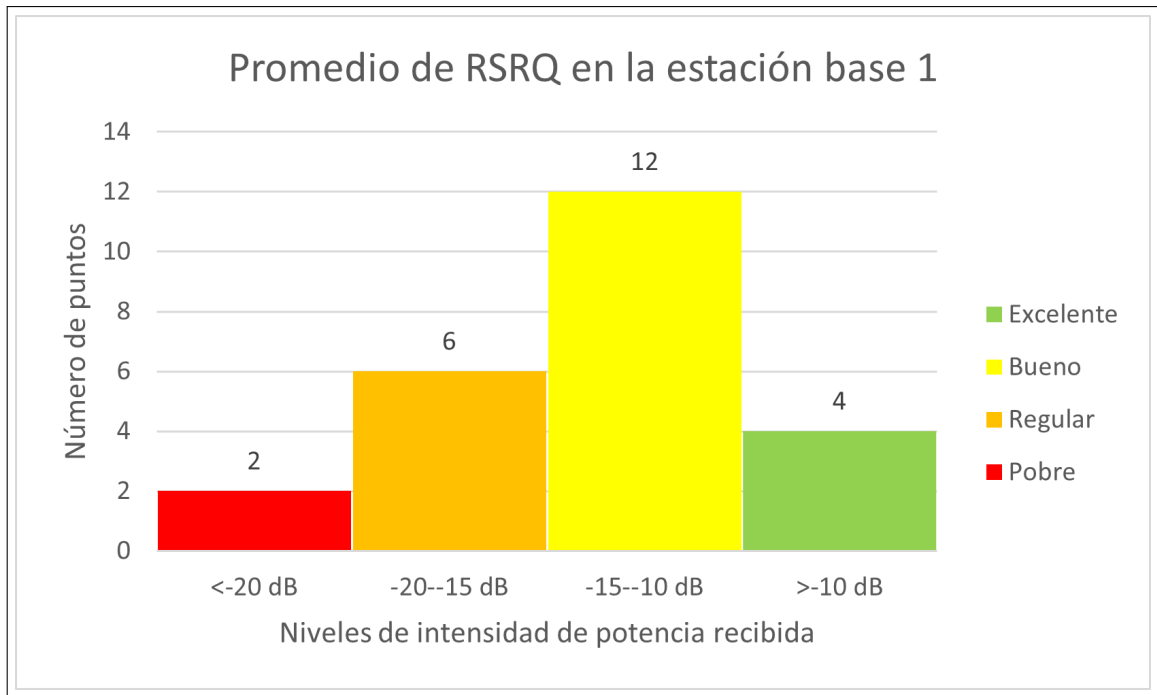


Ilustración 4-5: Histograma de las mediciones de RSRQ en la estación base 1. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-5, que muestra el promedio de los valores de RSRQ en la estación base 1, se observa una buena calidad en la señal recibida. De los 24 puntos analizados, 4 indican una señal fuerte y condiciones óptimas, 12 indican una buena señal, 6 indican condiciones regulares a pobres y 2 indican una desconexión, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y cobertura de la señal.

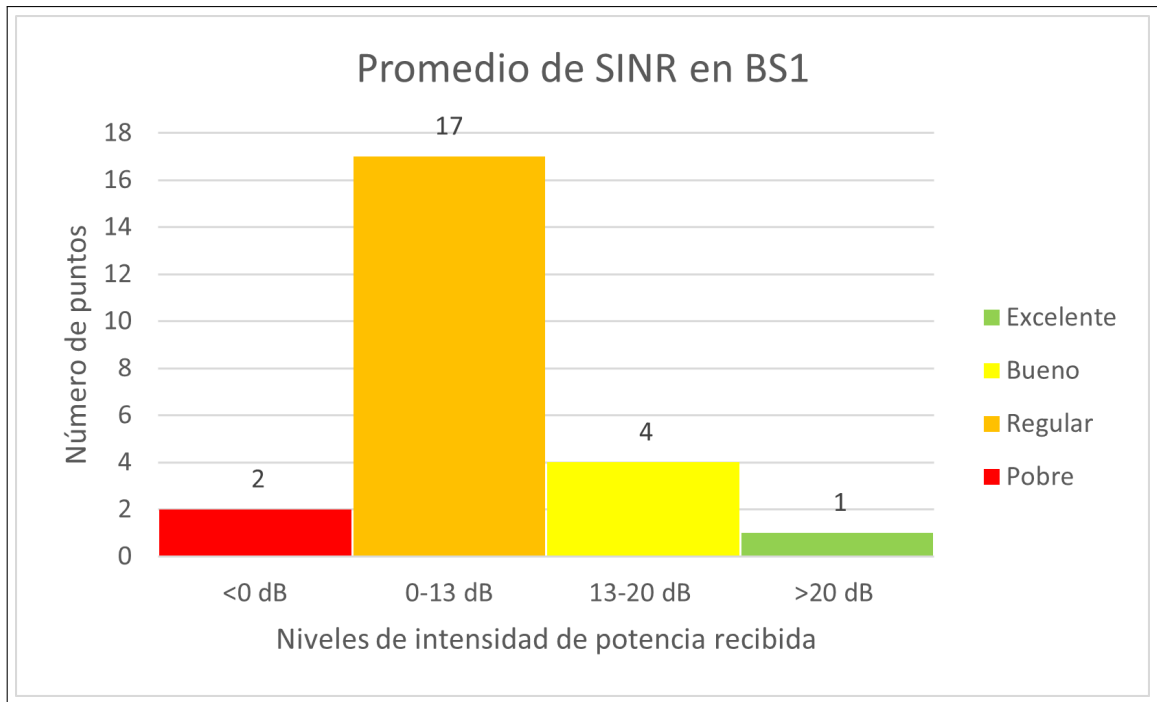


Ilustración 4-6: Histograma de las mediciones de SINR en la estación base 1. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-6, que muestra el promedio de los valores de SINR en la estación base 1, se observa una calidad regular a pobre en la señal recibida. De los 24 puntos analizados, 1 indica una señal fuerte y condiciones óptimas, 4 indican una buena señal, 17 indican condiciones regulares a pobres y 2 indican una desconexión, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y cobertura de la señal.

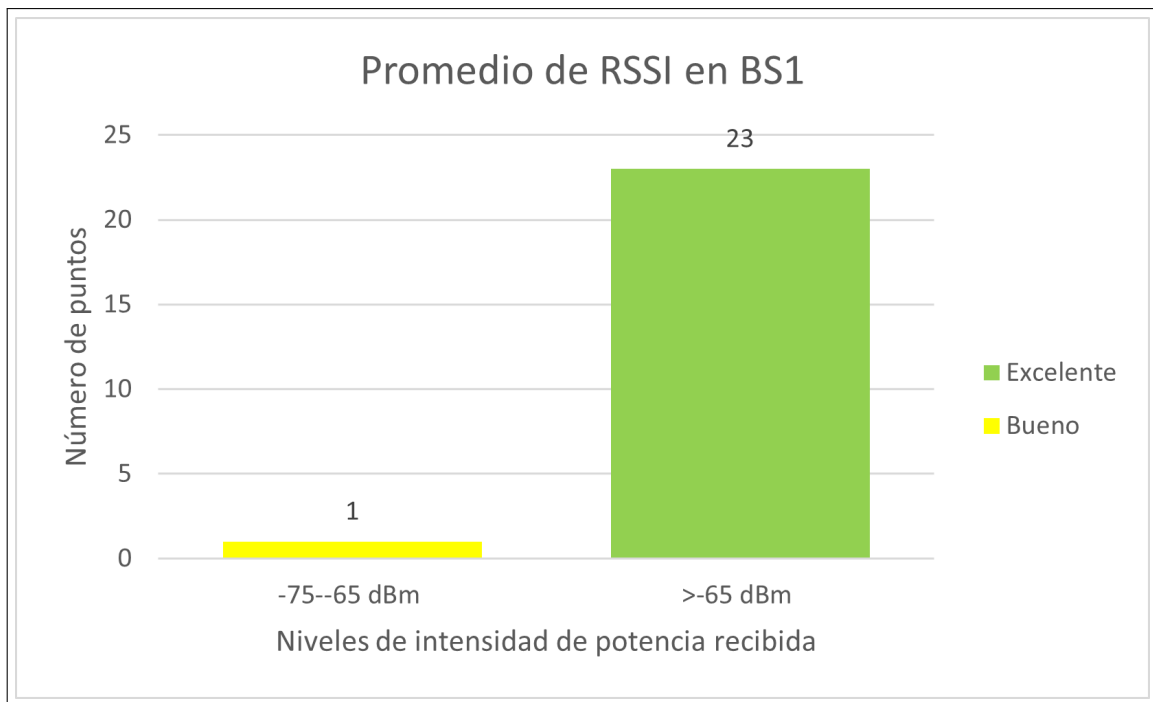


Ilustración 4-7: Histograma de las mediciones de RSSI en la estación base 1. (Verde excelente, Amarrillo bueno)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-7, que muestra el promedio de los valores de RSSI en la estación base 1, se observa una excelente intensidad de la señal recibida, esto debido a que no se está tomando en cuenta interferencia ni ruido, pero si el RSRP medido. De los 24 puntos analizados, 23 indican una señal excelente y 1 señala una buena señal, destacando un rendimiento óptimo en términos de intensidad de la señal.

4.2.2 Evaluación del servicio móvil en la estación base 2

En la tabla 4-8 se presentan de manera ordenada diversos valores de parámetros radioeléctricos proporcionados por el dispositivo DEVISER E8600B, correspondientes a cada punto de la estación base 2. Al analizar los resultados, es importante tener en cuenta que los puntos P6 a P10 están vinculados a la estación base 3, por lo que no se consideran en relación con esta estación.

Tabla 4-8: Parámetros radioeléctricos medidos con el DEVISER en los puntos de la estación base 2

Puntos	ID de celda (PCI)	Frecuencia central (MHz)	S-SS (dBm)	P-SS (dBm)	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	Delay (us)	RSSI (dBm)
P1	1	2140	-67,1	-67,1	-65,8	-10,9	19,6	0,0	-35,0
P2	1	2140	-71,4	-71,4	-75,8	-9,9	21,1	0,0	-45,0
P3	1	2140	-71,4	-71,5	-66,8	-9,7	29,0	0,0	-36,0
P4	1	2140	-70,9	-70,8	-72,7	-12,5	26,8	0,0	-41,9
P5	1	1967.5	-102,4	-102,6	-109,8	-18,4	3,6	0,0	-80,3
P6	5	2140	-100,5	-100,5	-105,2	-17,8	-6,1	3655,8	-74,4
P7	3	1967.5	-95,6	-94,6	-100,9	-14,4	3,2	0,0	-71,4
P8	5	2140	-93,5	-95,3	-104,2	-19,4	-6,9	3658,2	-73,4
P9	5	2140	-97,0	-96,3	-104,8	-17,9	-3,1	3657,9	-74,0
P10	5	2140	-94,1	-93,9	-104,3	-12,0	5,1	0,0	-73,5
P11	2	1967.5	-88,2	-87,3	-89,9	-10,4	7,2	0,0	-60,4
P12	1	1967.5	-89,9	-89,9	-92,9	-14,9	2,7	0,0	-63,4
P13	1	2140	-84,8	-84,5	-93,2	-13,5	3,5	0,0	-62,4
P14	2	2140	-66,1	-66,3	-66,2	-8,7	11,2	0,0	-35,4
P15	2	1967.5	-74,0	-74,1	-78,6	-8,9	8,7	0,0	-49,1
P16	0	2140	-83,1	-82,8	-87,0	-12,1	6,4	0,0	-56,2
P17	0	2140	-82,9	-83,4	-89,3	-7,0	11,2	0,0	-58,5
P18	0	1967.5	-92,8	-92,6	-95,3	-16,0	5,8	0,0	-65,8
P19	0	2140	-62,2	-63,4	-70,8	-12,6	10,0	0,0	-40,0
P20	0	2140	-64,9	-64,8	-68,0	-6,6	25,8	0,0	-37,2
P21	2	2140	-79,0	-78,7	-87,5	-12,4	-1,2	-2875,3	-56,7
P22	0	2140	-59,8	-60,6	-65,9	-10,3	21,6	0,0	-35,1
P23	2	2140	-76,7	-77,0	-80,6	-14,5	3,0	0,4	-49,8
P24	0	2140	-73,1	-72,4	-76,9	-14,5	4,3	0,0	-46,1

Realizado por: Sanga C., 2024

4.2.2.1 Histogramas de la estación base 2

A continuación, se presentan diferentes histogramas que representan el RSRP, RSRQ, SINR y RSSI de todos los puntos pertenecientes a la estación base 2. Estos puntos se distribuyen conforme a los intervalos definidos por LTE para la evaluación del servicio móvil, como se indica en la Ilustración 2-4 a 2-7 del capítulo II donde se detalla los parámetros de calidad de señal LTE.

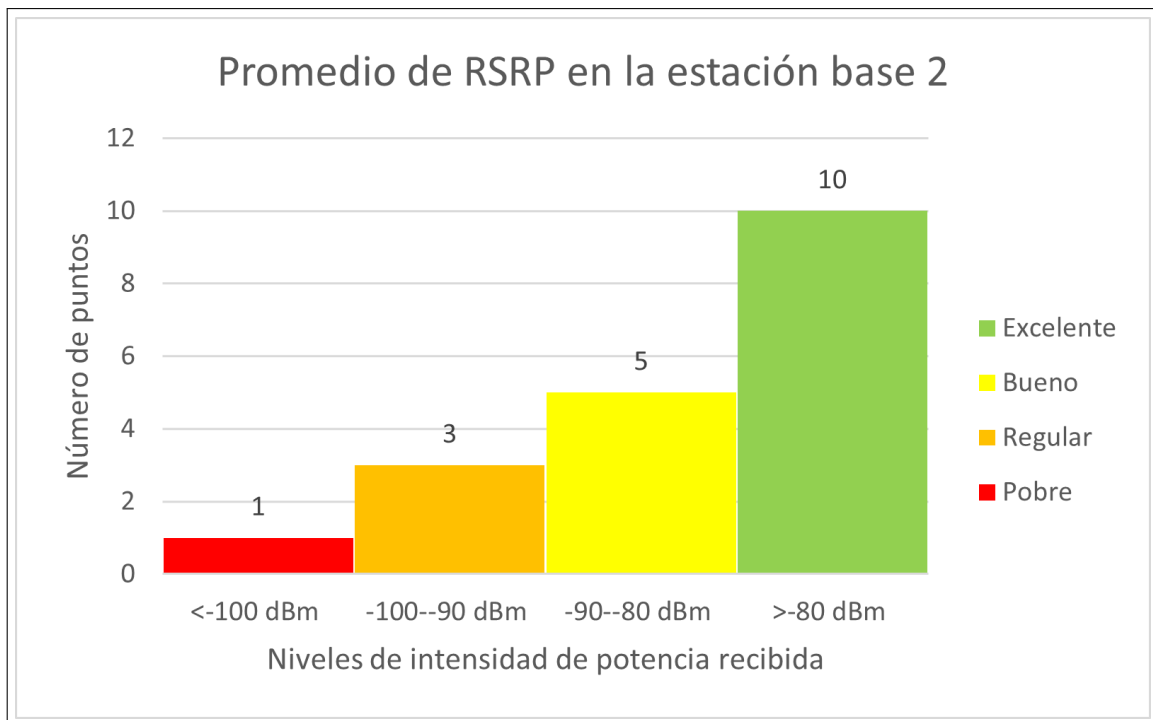


Ilustración 4-8: Histograma de las mediciones de RSRP en la estación base 2. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-8 , que muestra el promedio de los valores de RSRP en la estación base 2, se observa una excelente calidad en la señal recibida. De los 19 puntos analizados, 10 indican una señal fuerte y condiciones óptimas, 5 indican una buena señal, 3 indican condiciones regulares a pobres y 1 indica una desconexión, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y potencia recibida de la señal.

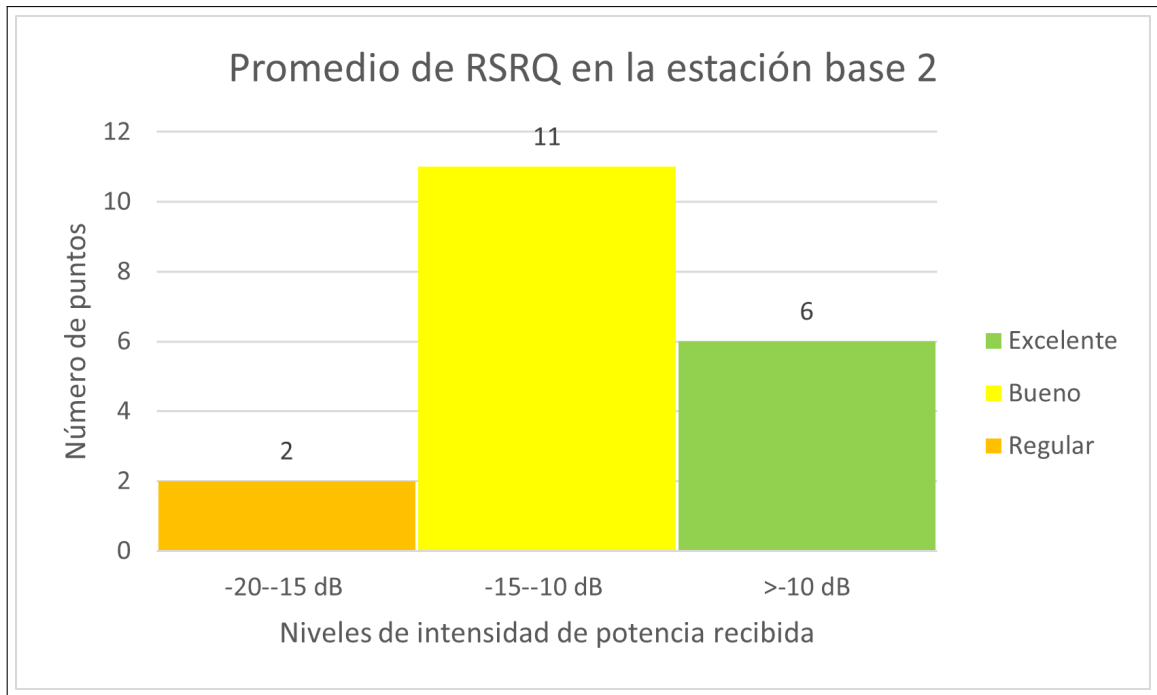


Ilustración 4-9: Histograma de las mediciones de RSRQ en la estación base 2. (Verde excelente, Amarrillo bueno, Naranja regular)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-9, que muestra el promedio de los valores de RSRQ en la estación base 2, se observa una buena calidad en la señal recibida. De los 19 puntos analizados, 6 indica una señal fuerte y condiciones óptimas, 11 indican una buena señal y 2 indican condiciones regulares a pobres, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y cobertura de la señal.

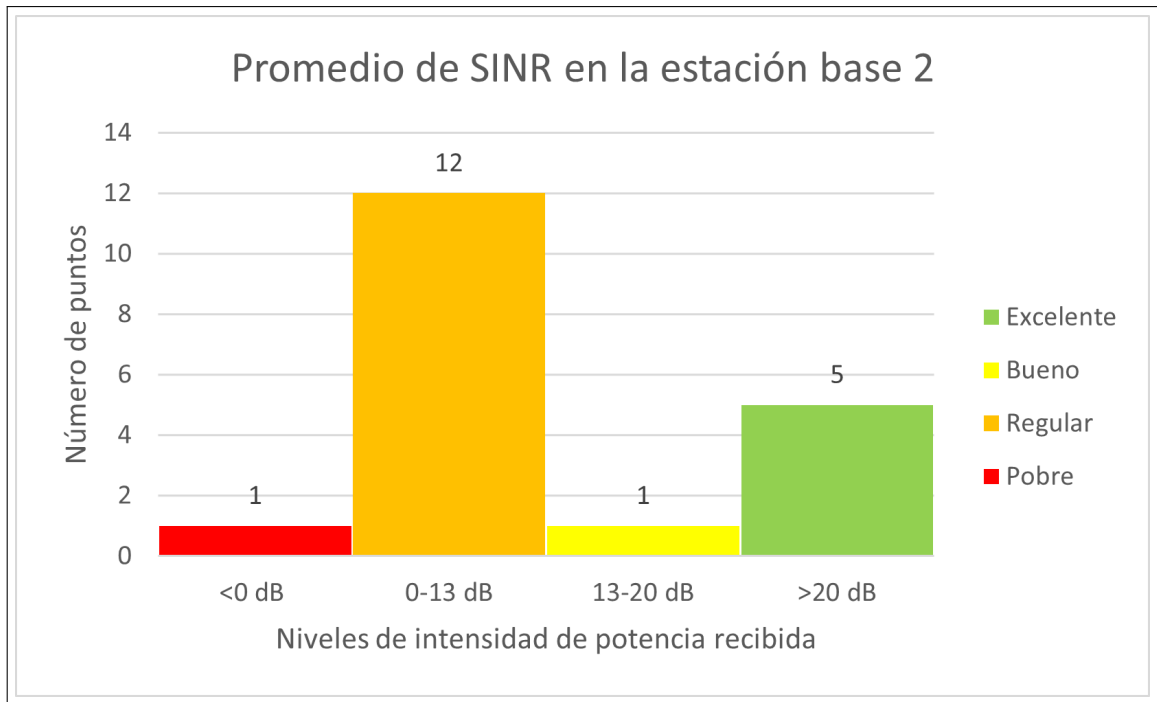


Ilustración 4-10: Histograma de las mediciones de SINR en la estación base 2. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-10, que muestra el promedio de los valores de SINR en la estación base 2, se observa una calidad regular a pobre en la señal recibida. De los 19 puntos analizados, 5 indican una señal fuerte y condiciones óptimas, 1 indica una buena señal, 12 indican condiciones regulares a pobres y 1 indica una desconexión, destacando un rendimiento pobre en términos de la capacidad de rendimiento del canal.

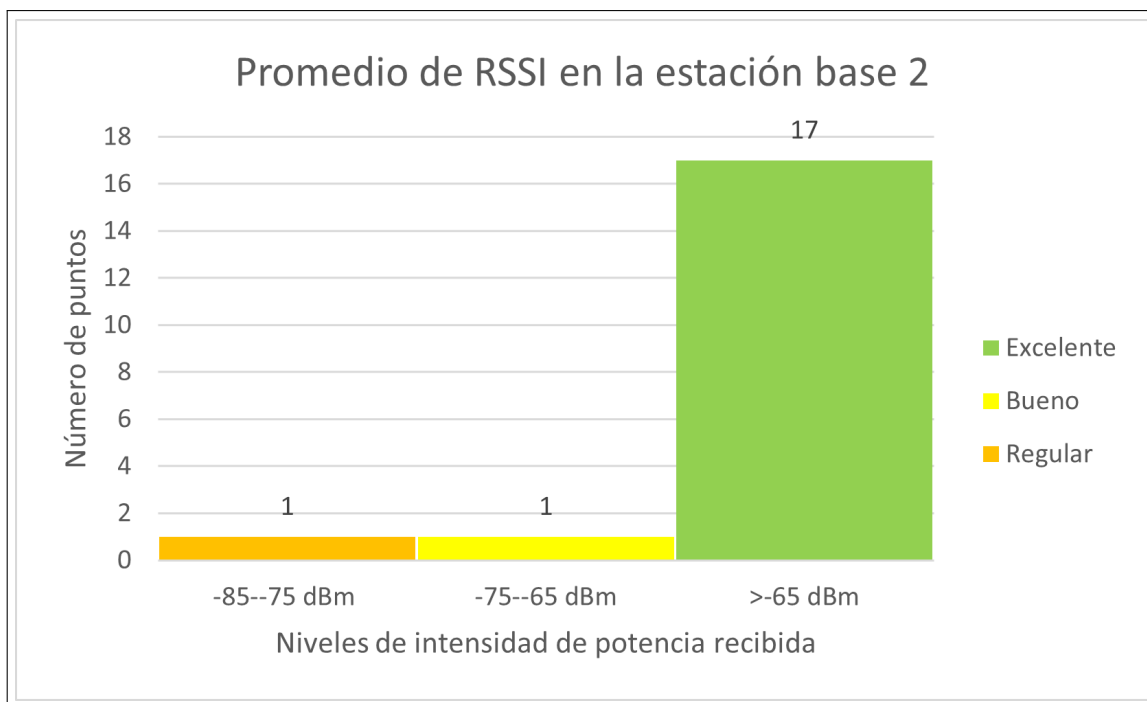


Ilustración 4-11: Histograma de las mediciones de RSSI en la estación base 2. (Verde excelente, Amarrillo bueno, Naranja regular)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-11, que muestra el promedio de los valores de RSSI en la estación base 2, se observa una excelente intensidad de la señal recibida, esto debido a que no se está tomando en cuenta interferencia ni ruido, pero si el RSRP medido. De los 19 puntos analizados, 17 indican una señal excelente, destacando un rendimiento optimo en términos de intensidad de la señal.

4.2.3 Evaluación del servicio móvil en la estación base 3

En la tabla 4-9 es necesario tener en cuenta, al analizar los resultados, que los puntos P8 y P24 están vinculados a otro sector (LCID), ID de celda y eNB (ID), por lo que se excluyeron de la consideración. Además, los puntos P6 BS2, P7 BS2, P8 BS2, P9 BS2 y P10 BS2, pertenecientes a la estación base 2, se conectaron a la estación base 3, sumando un total de 27 puntos.

Tabla 4-9: Parámetros radioeléctricos medidos con el DEVISER en los puntos de la estación base 3

Puntos	ID de celda (PCI)	Frecuencia central (MHz)	S-SS (dBm)	P-SS (dBm)	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	Delay (us)	RSSI (dBm)
P1	3	2140	-61,5	-61,2	-69,0	-12,3	18,5	0,0	-38,2
P2	3	2140	-66,9	-67,4	-68,3	-12,3	11,1	0,0	-37,5
P3	3	2140	-53,4	-53,2	-54,7	-13,6	15,9	0,0	-23,9
P4	3	2140	-47,7	-48,5	-50,2	-11,1	12,1	0,0	-19,4
P5	3	2140	-77,9	-78,2	-90,1	-16,2	3,5	0,0	-59,3
P6	3	2140	-77,4	-75,4	-88,4	-18,6	3,0	0,0	-57,6
P7	3	2140	-88,8	-88,0	-99,0	-15,0	4,1	0,0	-68,2
P8	12	1967.5	-84,2	-84,9	-92,6	-19,2	2,9	0,0	-63,1
P9	5	2140	-73,6	-73,7	-78,5	-11,5	7,3	0,0	-47,7
P10	5	2140	-82,6	-81,9	-82,7	-15,4	7,5	0,0	-51,9
P11	5	2140	-85,8	-86,5	-92,4	-17,4	-2,7	0,1	-61,6
P12	5	2140	-74,9	-75,4	-82,1	-12,7	6,0	0,2	-51,3
P13	5	2140	-91,3	-92,8	-99,0	-19,9	-3,7	618,7	-68,2
P14	5	2140	-96,8	-97,0	-100,8	-14,8	4,3	0,0	-70,0
P15	5	1967.5	-89,1	-89,5	-93,5	-18,9	-7,2	-0,1	-64,0
P16	5	1967.5	-88,3	-89,4	-90,7	-20,4	-8,5	0,4	-61,2
P17	5	2140	-72,0	-72,7	-81,8	-22,0	-9,4	0,3	-51,0
P18	5	2140	-74,1	-74,7	-77,9	-19,8	-8,1	-0,1	-47,1
P19	5	1967.5	-80,4	-80,7	-86,2	-13,4	7,8	0,0	-56,7
P20	5	1967.5	-78,1	-78,2	-86,2	-14,3	4,0	0,0	-56,7
P21	5	1967.5	-81,4	-81,3	-78,3	-15,2	8,9	0,0	-48,8
P22	5	2140	-77,5	-77,0	-75,1	-11,7	23,4	0,0	-44,3
P23	5	2140	-89,7	-89,5	-93,5	-16,6	5,4	0,0	-62,7
P24	6	1967.5	-105,8	-105,8	-113,7	-21,0	2,9	0,0	-84,2
P6 BS2	5	2140	-100,5	-100,5	-105,2	-17,8	-6,1	3655,8	-74,4
P7 BS2	3	1967.5	-95,6	-94,6	-100,9	-14,4	3,2	0,0	-71,4
P8 BS2	5	2140	-93,5	-95,3	-104,2	-19,4	-6,9	3658,2	-73,4
P9 BS2	5	2140	-97,0	-96,3	-104,8	-17,9	-3,1	3657,9	-74,0
P10 BS2	5	2140	-94,1	-93,9	-104,3	-12,0	5,1	0,0	-73,5

Realizado por: Sanga C., 2024

4.2.3.1 Histogramas de la estación base 3

A continuación, se presentan diferentes histogramas que representan el RSRP, RSRQ, SINR y RSSI de todos los puntos pertenecientes a la estación base 3. Estos puntos se

distribuyen conforme a los intervalos definidos por LTE para la evaluación del servicio móvil, como se indica en la Ilustración 2-4 a 2-7 del capítulo II donde se detalla los parámetros de calidad de señal LTE.

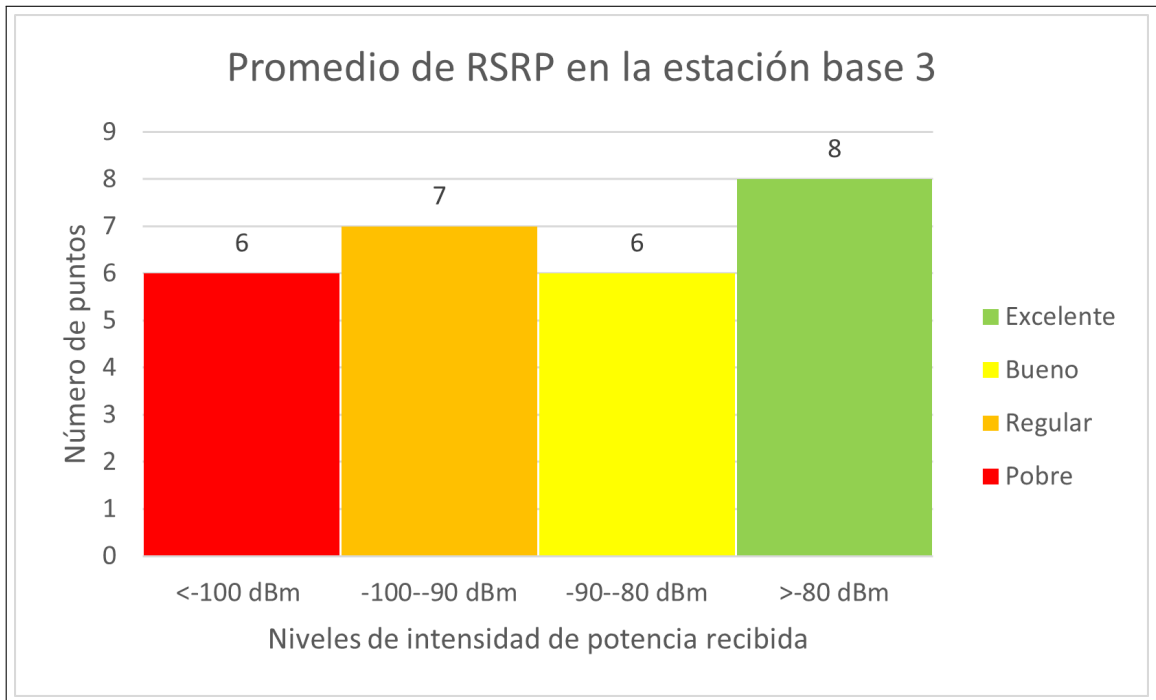


Ilustración 4-12: Histograma de las mediciones de RSRP en la estación base 3. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-12 , que representa el promedio de los valores de RSRP en la estación base 3, se nota una distribución más uniforme en la calidad de la señal recibida. De los 27 puntos evaluados, 8 indican una señal fuerte y condiciones favorables, 6 muestran una buena intensidad de señal, 7 señalan condiciones de regular a pobres, y 6 reflejan una baja intensidad de señal. Este análisis resalta un desempeño aceptable en términos de la calidad y potencia de la señal recibida.

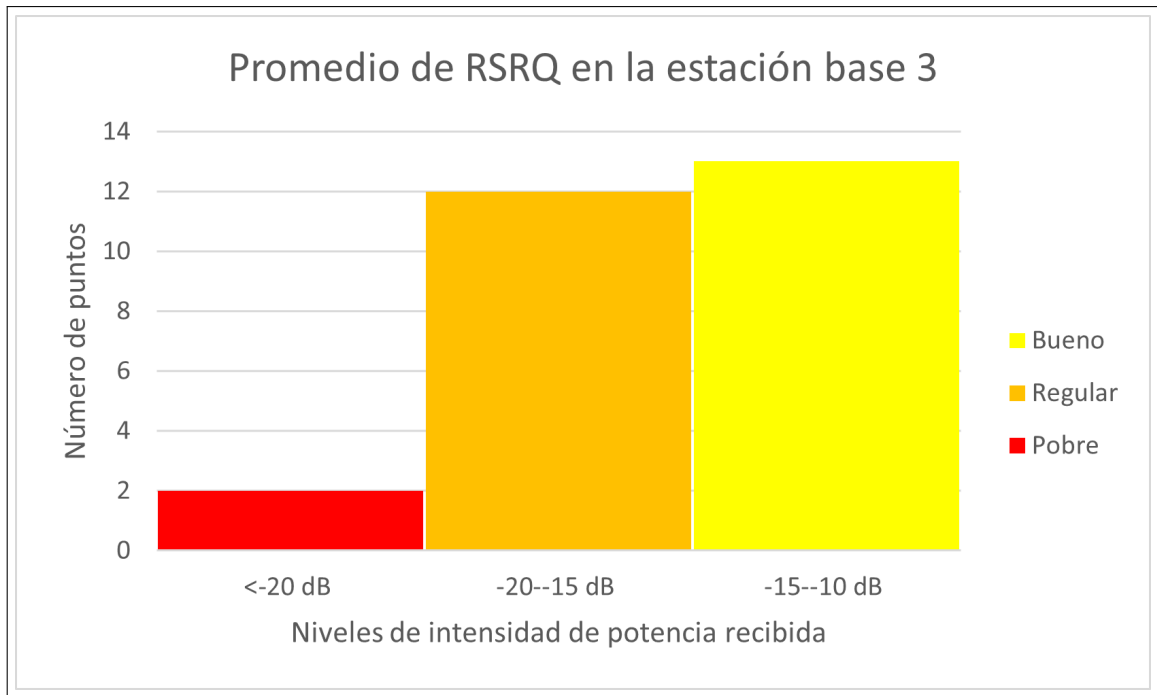


Ilustración 4-13: Histograma de las mediciones de RSRQ en la estación base 3. (Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-13, que muestra el promedio de los valores de RSRQ en la estación base 3, se observa una buena calidad en la señal recibida. De los 27 puntos analizados, 13 indican una buena señal y condiciones favorables, 12 señalan condiciones de regular a pobres, y 2 reflejan una baja intensidad de señal destacando un rendimiento aceptable en términos de calidad y cobertura de la señal.

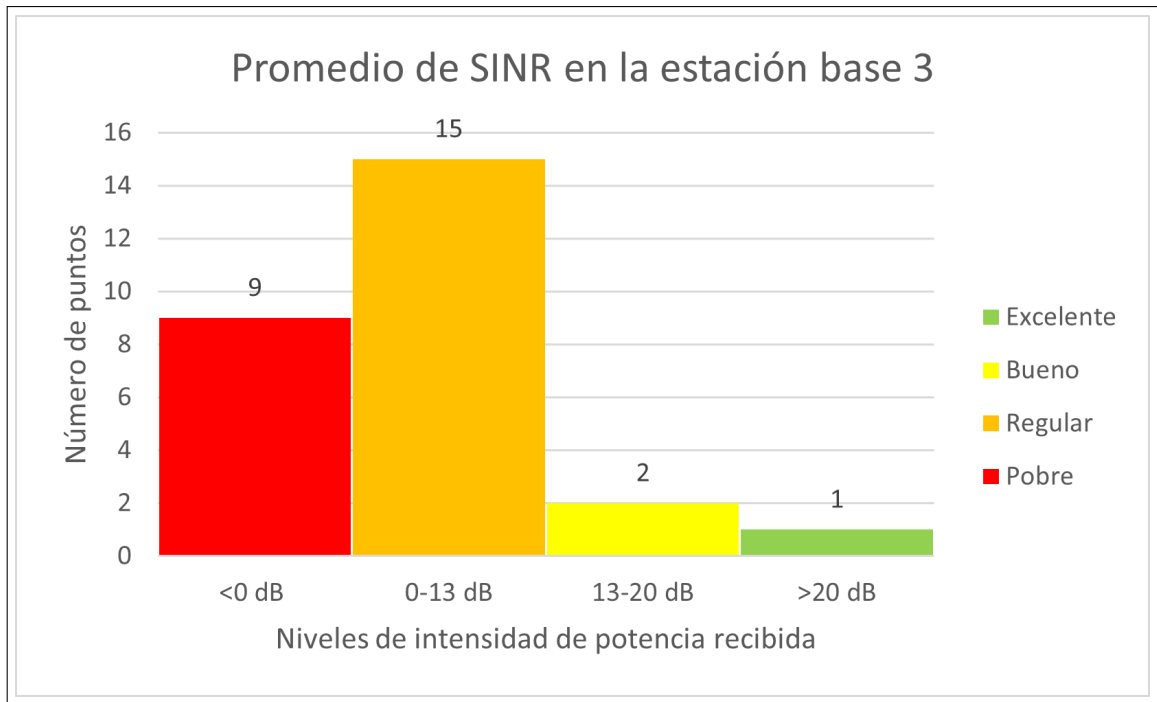


Ilustración 4-14: Histograma de las mediciones de SINR en la estación base 3. (Verde excelente, Amarillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-14, que muestra el promedio de los valores de SINR en la estación base 3, se observa una calidad regular a pobre en la señal recibida. De los 27 puntos analizados, 1 indica una señal fuerte y condiciones óptimas, 2 indican una buena señal, 15 indican condiciones regulares a pobres y 9 indican una desconexión, destacando un rendimiento pobre en términos de la capacidad de rendimiento del canal.

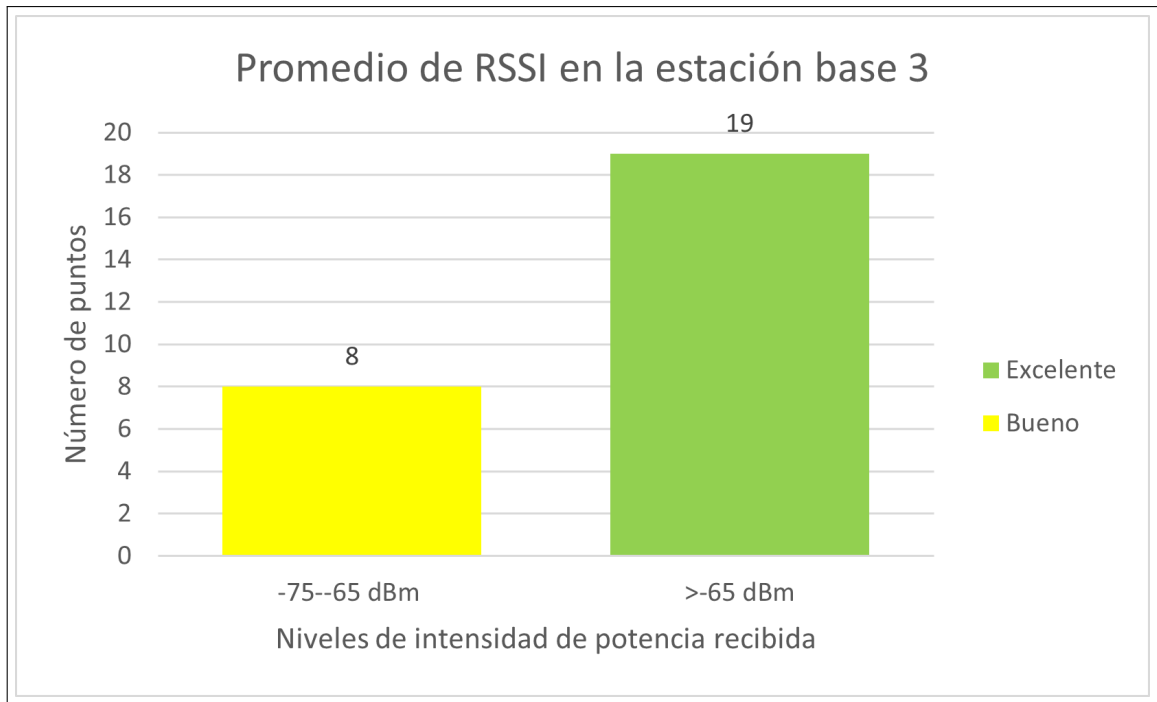


Ilustración 4-15: Histograma de las mediciones de RSSI en la estación base 3. (Verde excelente, Amarrillo bueno)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-15, que muestra el promedio de los valores de RSSI en la estación base 3, se observa una excelente intensidad de la señal recibida, esto debido a que no se está tomando en cuenta interferencia ni ruido, pero si el RSRP medido. De los 27 puntos analizados, 19 indican una señal excelente, 8 indican una señal fuerte destacando un rendimiento óptimo en términos de intensidad de la señal.

4.3 Resultados de la simulación

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de simulaciones realizadas mediante el software HTZ Communications. Este software destaca por sus avanzadas capacidades en la planificación y optimización de redes de radio, abarcando casi todas las tecnologías, desde frecuencias bajas de unos pocos kHz hasta frecuencias extremadamente altas de 1 THz. (ATDI, 2023)

Los datos de las antenas transmisoras de las estaciones base fueron proporcionados por una fuente confiable de la operadora celular los cuales son:

Tabla 4-10: Parámetros de la antena transmisora

Potencia de transmisión	40 dBm
Downtilt	4°
Modelo de la antena	HUAWEI AQU4518R9

Realizado por: Sanga C., 2024

Estos valores son configurados para las 3 estaciones base y para mayor detalle revisar el anexo B.

4.3.1 Resultados de simulación de la estación base 1

En la tabla 4-11 se pueden apreciar distintos valores de parámetros radioeléctricos dispuestos de manera organizada en cada punto de la estación base 1 obtenidos de la simulación realizada con el software profesional HTZ

Tabla 4-11: Parámetros radioeléctricos obtenidos de la simulación en los puntos de las estación base 1

Puntos	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dBm)	SINR (dB)
P1	-71,64	-39,43	-13,46	0,70
P2	-67,64	-34,68	-14,21	-0,78
P3	-72,62	-38,76	-13,86	-0,11
P4	-73,62	-39,76	-13,86	-0,11
P5	-72,62	-39,58	-13,04	1,68
P6	-72,62	-40,31	-12,31	3,77
P7	-71,62	-39,57	-12,05	4,73
P8	-74,62	-42,24	-12,38	3,54
P9	-73,62	-40,17	-13,45	0,73
P10	-71,62	-38,21	-13,41	0,83
P11	-69,62	-37,04	-12,58	2,92
P12	-63,64	-33,28	-11,61	6,81
P13	-71,62	-38,95	-12,67	2,65
P14	-64,64	-34,34	-11,55	7,18
P15	-64,64	-34,56	-11,34	8,75
P16	-63,64	-32,99	-11,90	5,37
P17	-67,62	-35,35	-12,27	3,91
P18	-73,62	-42,56	-11,06	11,97
P19	-66,64	-34,87	-13,02	1,73
P20	-64,64	-34,42	-11,47	7,74
P21	-70,62	-39,19	-11,43	8,03
P22	-67,64	-36,23	-12,66	2,71
P23	-74,64	-41,88	-14,01	-0,41
P24	-68,64	-36,83	-13,06	1,63

Realizado por: Sanga C., 2024

4.3.1.1 Histogramas de la estación base 1

A continuación, se presentan diferentes histogramas que representan el RSRP, RSRQ, SINR y RSSI de todos los puntos pertenecientes a la estación base 1. Estos puntos se distribuyen conforme a los intervalos definidos por LTE para la evaluación del servicio móvil, como se indica en la Ilustración 2-4 a 2-7 del capítulo II donde se detalla los parámetros de calidad de señal LTE.

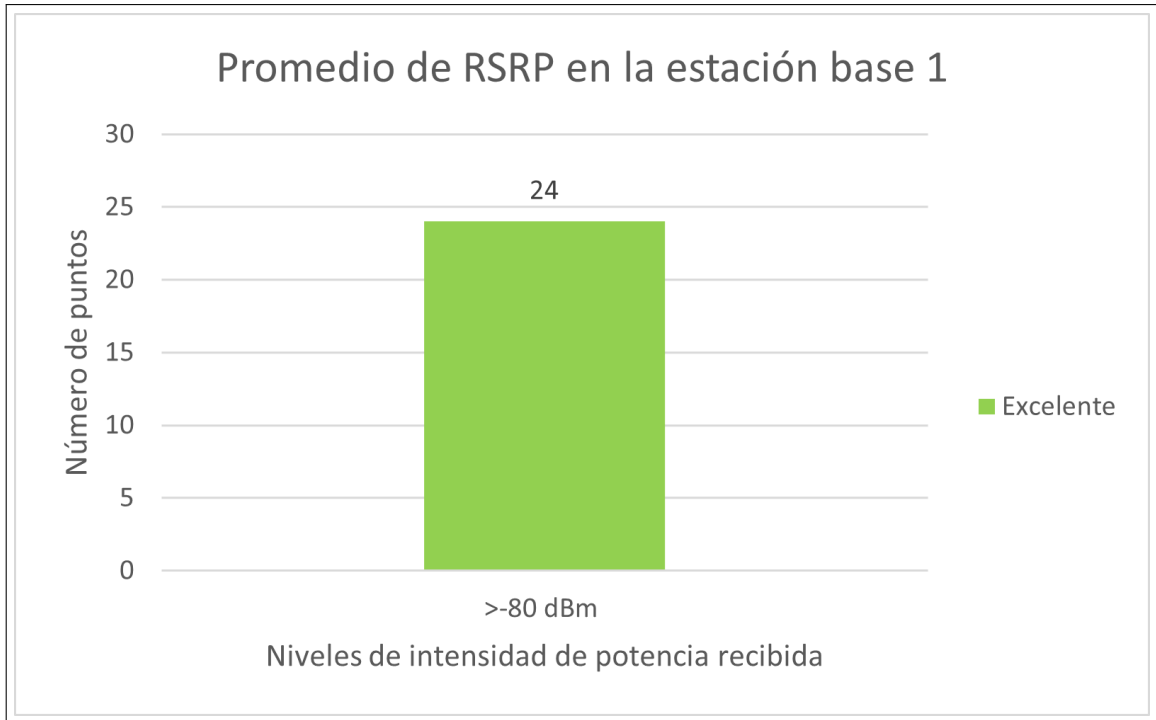


Ilustración 4-16: Histograma de las simulaciones de RSRP en la estación base 1. (Verde excelente)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-16, que muestra el promedio de los valores de RSRP en la estación base 1, se observa una excelente calidad en la señal recibida. De los 24 puntos analizados, 24 indican una señal fuerte y condiciones favorables, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y potencia recibida de la señal.

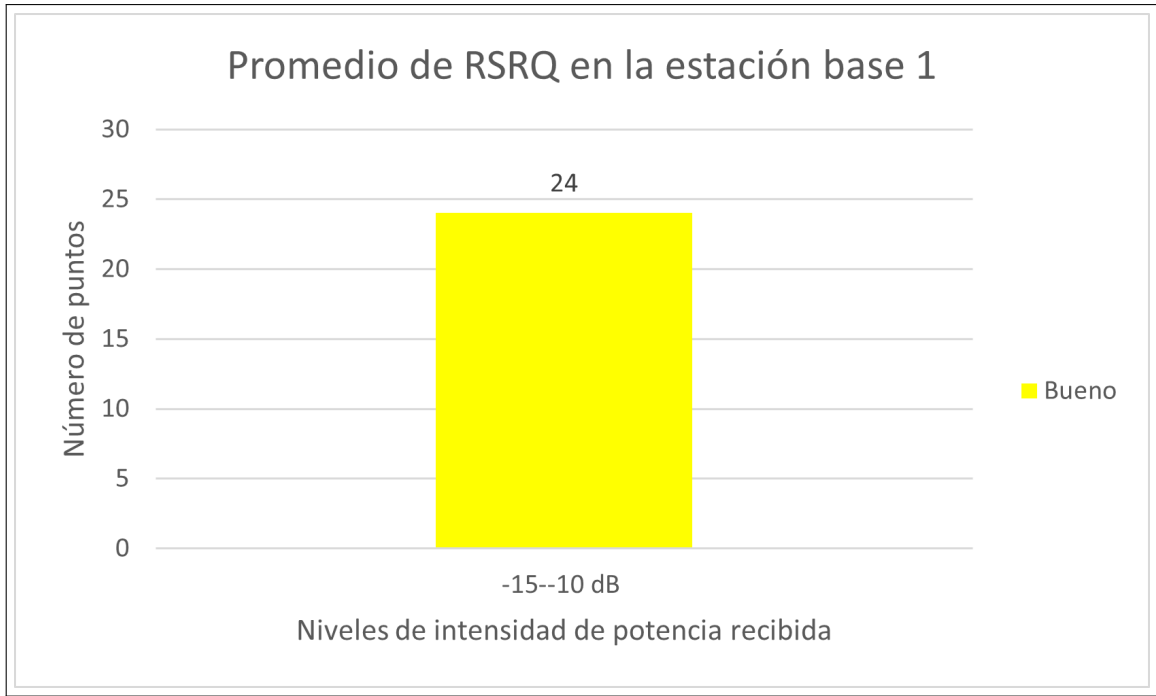


Ilustración 4-17: Histograma de las simulaciones de RSRQ en la estación base 1. (Amarillo bueno)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-17, que muestra el promedio de los valores de RSRQ en la estación base 1, se observa una buena calidad en la señal recibida. De los 24 puntos analizados, 24 indican una señal fuerte y condiciones favorables, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y cobertura de la señal.

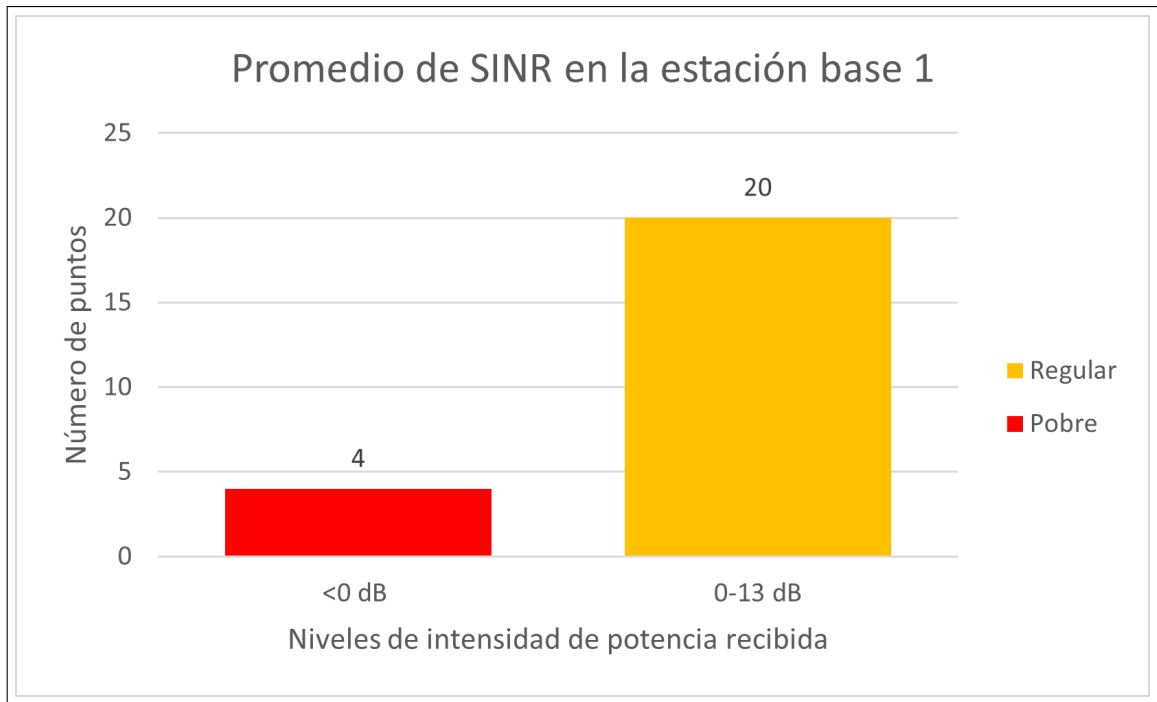


Ilustración 4-18: Histograma de las simulaciones de SINR en la estación base 1. (Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-18, que muestra el promedio de los valores de SINR en la estación base 1, se observa una calidad regular a pobre en la señal recibida. De los 24 puntos analizados, 20 indican una señal regular y 4 reflejan una baja intensidad de señal destacando un rendimiento pobre en términos de la capacidad de rendimiento del canal.

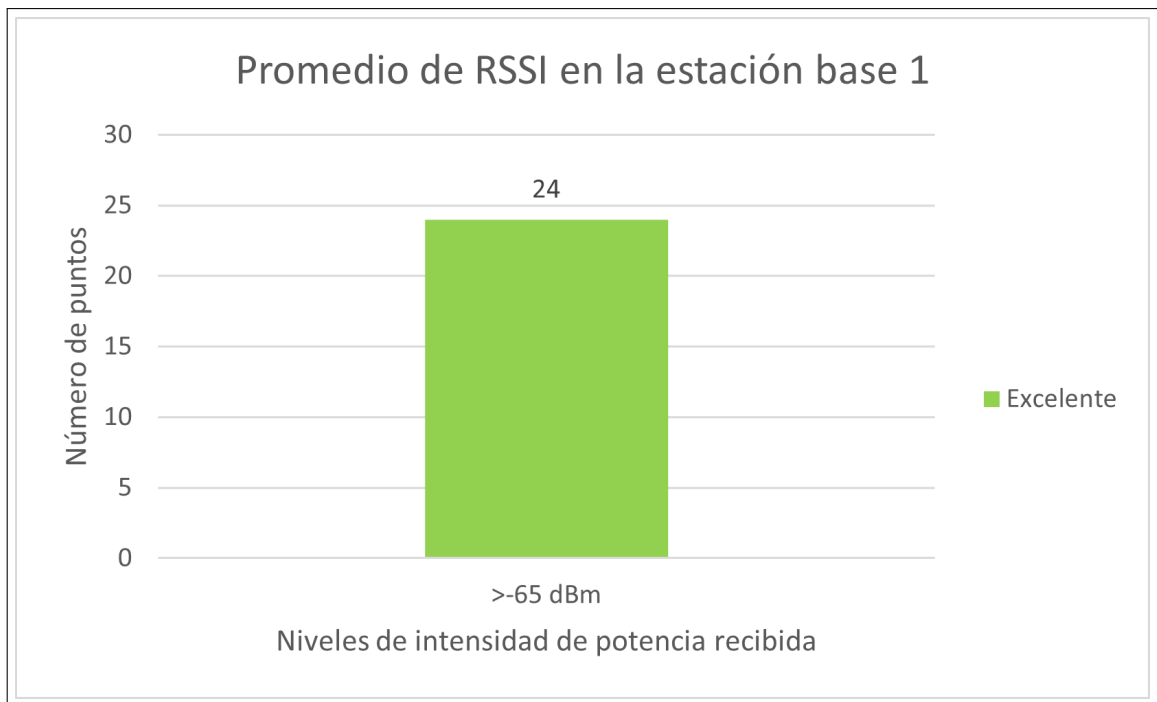


Ilustración 4-19: Histograma de las simulaciones de RSSI en la estación base 1. (Verde excelente)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-19 ,que muestra el promedio de los valores de RSSI en la estación base 1, se observa una excelente intensidad de la señal recibida. De los 24 puntos analizados, 24 indican una señal excelente, destacando un rendimiento optimo en términos de intensidad de la señal.

4.3.2 Resultados de simulación de la estación base 2

En la tabla 4-12 se presentan de manera ordenada diversos valores de parámetros radioeléctricos proporcionados por el software profesional HTZ, correspondientes a cada punto de la estación base 2. Al analizar los resultados, es importante tener en cuenta que los puntos P6 a P10 están vinculados a la estación base 3, por lo que no se consideran en relación con esta estación.

Tabla 4-12: Parámetros radioeléctricos obtenidos de la simulación en los puntos de las estación base 2

Puntos	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dBm)	SINR (dB)
P1	-62,62	-30,04	-12,58	2,93
P2	-63,62	-31,04	-12,59	2,91
P3	-67,62	-34,97	-12,65	2,72
P4	-71,62	-38,67	-12,59	1,91
P5	-65,64	-33,36	-13,53	0,57
P11	-60,64	-29,50	-12,39	3,51
P12	-62,64	-31,86	-12,03	4,80
P13	-71,62	-39,43	-12,19	4,20
P14	-69,62	-36,25	-13,37	0,91
P15	-88,43	-55,21	-14,47	-1,24
P16	-68,62	-37,15	-11,47	7,72
P17	-71,62	-40,16	-11,46	7,77
P18	-64,64	-34,71	-11,18	10,27
P19	-69,62	-38,35	-11,27	9,33
P20	-73,62	-42,43	-11,19	10,13
P21	-68,62	-36,18	-12,44	3,36
P22	-70,62	-39,40	-11,22	9,81
P23	-66,62	-34,03	-12,59	2,89
P24	-65,62	-32,65	-12,97	1,86

Realizado por: Sanga C., 2024

4.3.2.1 Histogramas de la estación base 2

A continuación, se presentan diferentes histogramas que representan el RSRP, RSRQ, SINR y RSSI de todos los puntos pertenecientes a la estación base 2. Estos puntos se distribuyen conforme a los intervalos definidos por LTE para la evaluación del servicio móvil, como se indica en la Ilustración 2-4 a 2-7 del capítulo II donde se detalla los parámetros de calidad de señal LTE.

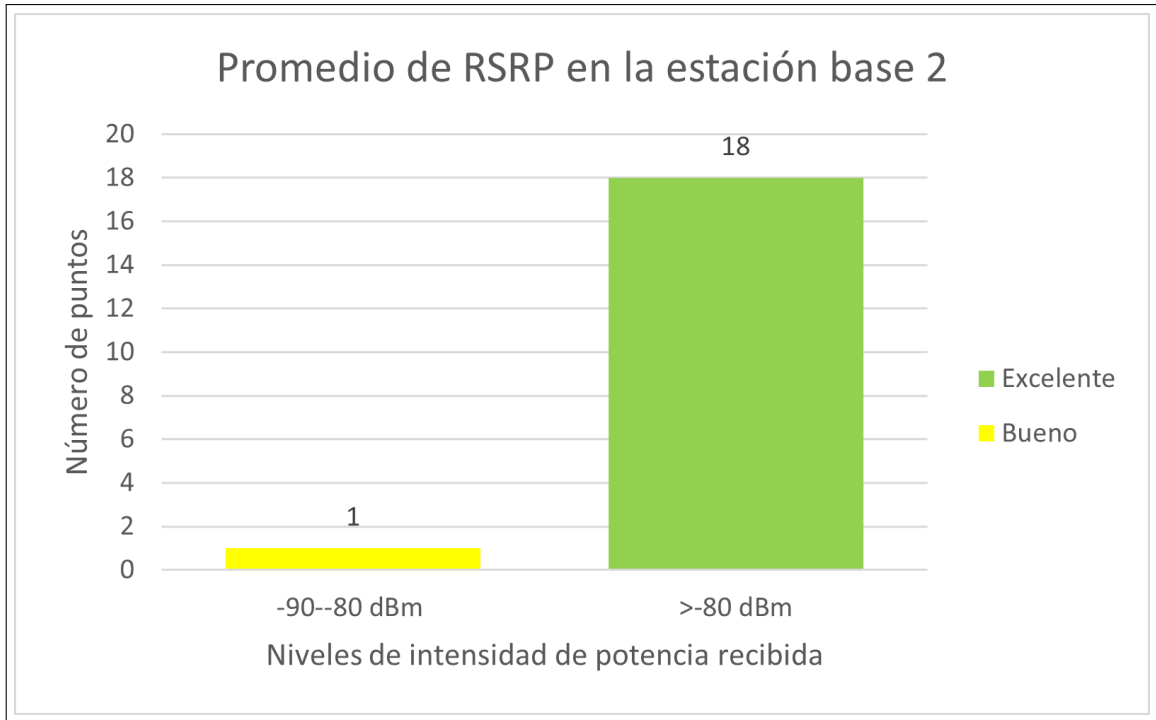


Ilustración 4-20: Histograma de las simulaciones de RSRP en la estación base 2. (Verde excelente, Amarillo bueno)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-20, que muestra el promedio de los valores de RSRP en la estación base 2, se observa una excelente calidad en la señal recibida. De los 19 puntos analizados, 18 indican una señal fuerte y 1 indica una buena señal, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y potencia recibida de la señal.

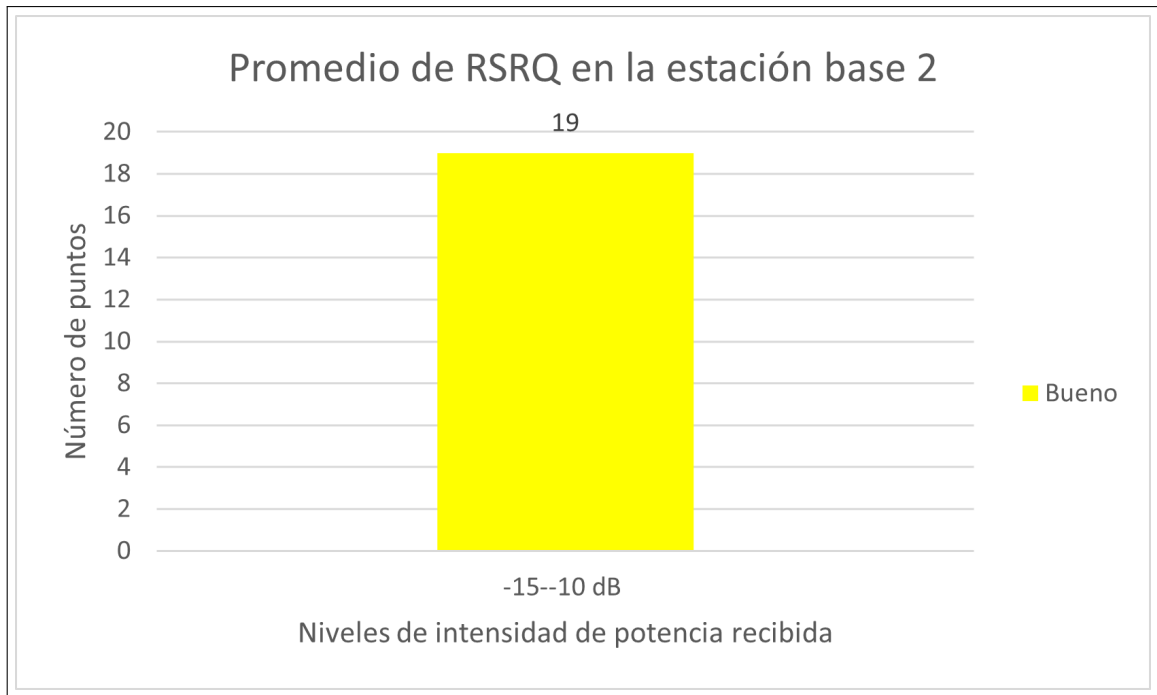


Ilustración 4-21: Histograma de las simulaciones de RSRQ en la estación base 2. (Amarrillo bueno)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-21, que muestra el promedio de los valores de RSRQ en la estación base 2, se observa una buena calidad en la señal recibida. De los 19 puntos analizados, 19 indican una señal fuerte y condiciones favorables, destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y cobertura de la señal.

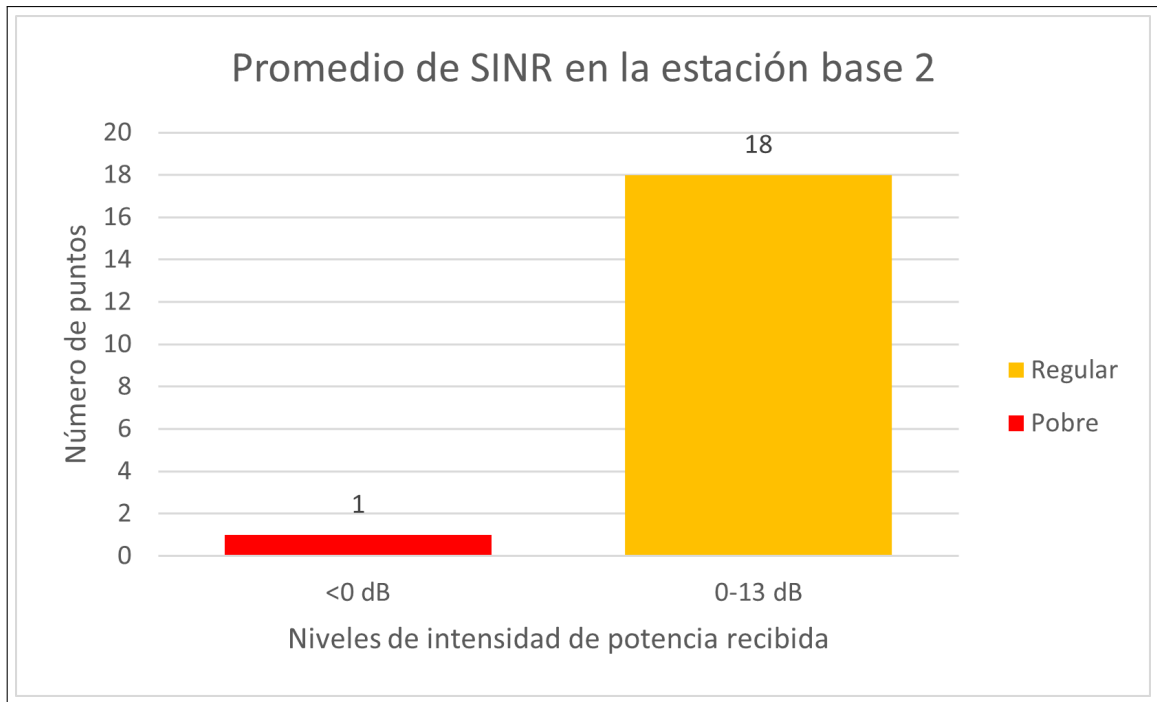


Ilustración 4-22: Histograma de las simulaciones de SINR en la estación base 2. (Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-22, que muestra el promedio de los valores de SINR en la estación base 2, se observa una calidad regular a pobre en la señal recibida. De los 19 puntos analizados, 18 indican una señal regular y 1 reflejan una baja intensidad de señal, destacando un rendimiento pobre en términos de la capacidad de rendimiento del canal.

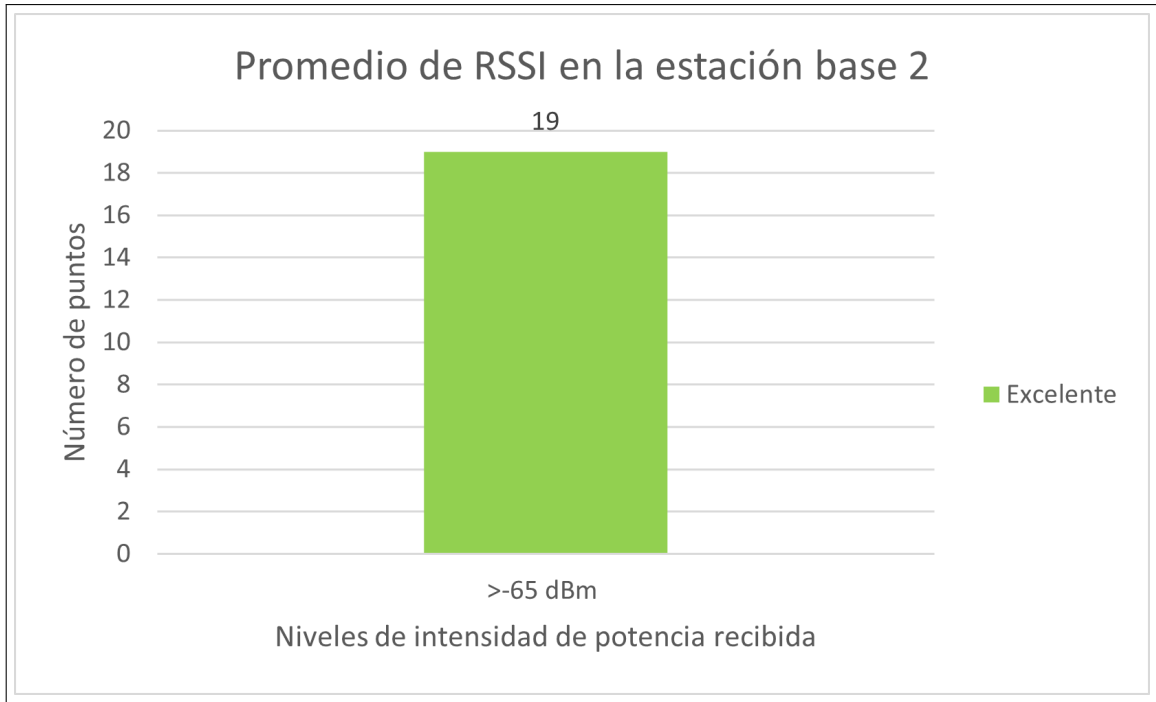


Ilustración 4-23: Histograma de las simulaciones de RSSI en la estación base 2. (Verde excelente)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-23, que muestra el promedio de los valores de RSSI en la estación base 2, se observa una excelente intensidad de la señal recibida. De los 19 puntos analizados, 19 indican una señal excelente, destacando un rendimiento óptimo en términos de intensidad de la señal.

4.3.3 Resultados de simulación de la estación base 3

En la tabla 4-13 es necesario tener en cuenta, al analizar los resultados, que los puntos P8 y P24 están vinculados a otro sector (LCID), ID de celda y eNB (ID), por lo que se excluyeron de la consideración. Además, los puntos P6 BS2, P7 BS2, P8 BS2, P9 BS2 y P10 BS2, pertenecientes a la estación base 2, se conectaron a la estación base 3, sumando un total de 27 puntos.

Tabla 4-13: Parámetros radioeléctricos obtenidos de la simulación en los puntos de la estación base 3

Puntos	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dBm)	SINR (dB)
P1	-52,07	-12,19	4,20	-42,43
P2	-70,62	-11,30	9,06	-39,32
P3	-64,62	-10,91	15,65	-33,71
P4	-59,62	-10,84	19,53	-28,78
P5	-60,62	-10,93	14,89	-29,69
P6	-67,62	-11,05	12,19	-36,57
P7	-72,62	-11,25	9,51	-41,37
P9	-66,62	-13,34	0,98	-33,28
P10	-72,62	-13,46	0,72	-39,16
P11	-67,62	-11,61	6,86	-36,02
P12	-71,62	-11,71	6,27	-39,91
P13	-74,62	-11,00	13,00	-43,62
P14	-70,62	-10,92	15,38	-39,70
P15	-64,64	-12,16	4,33	-33,74
P16	-63,64	-11,99	4,98	-32,90
P17	-70,62	-10,90	15,83	-39,72
P18	-70,62	-11,17	10,45	-39,45
P19	-65,64	-12,78	2,36	-34,11
P20	-63,64	-12,47	3,25	-32,42
P21	-66,64	-13,96	-0,31	-33,93
P22	-75,62	-13,04	1,68	-42,58
P23	-79,62	-11,56	7,12	-48,06
P6 BS2	-82,62	-11,27	9,39	-51,36
P7 BS2	-69,6	-11,1	10,9	-39,8
P8 BS2	-87,62	-11,84	5,63	-55,78
P9 BS2	-86,62	-12,04	4,79	-54,58
P10 BS2	-81,62	-11,06	12,00	-50,56

Realizado por: Sanga C., 2024

4.3.3.1 Histogramas de la estación base 3

A continuación, se presentan diferentes histogramas que representan el RSRP, RSRQ, SINR y RSSI de todos los puntos pertenecientes a la estación base 3. Estos puntos se distribuyen conforme a los intervalos definidos por LTE para la evaluación del servicio móvil, como se indica en la Ilustración 2-4 a 2-7 del capítulo II donde se detalla los parámetros de calidad de señal LTE.

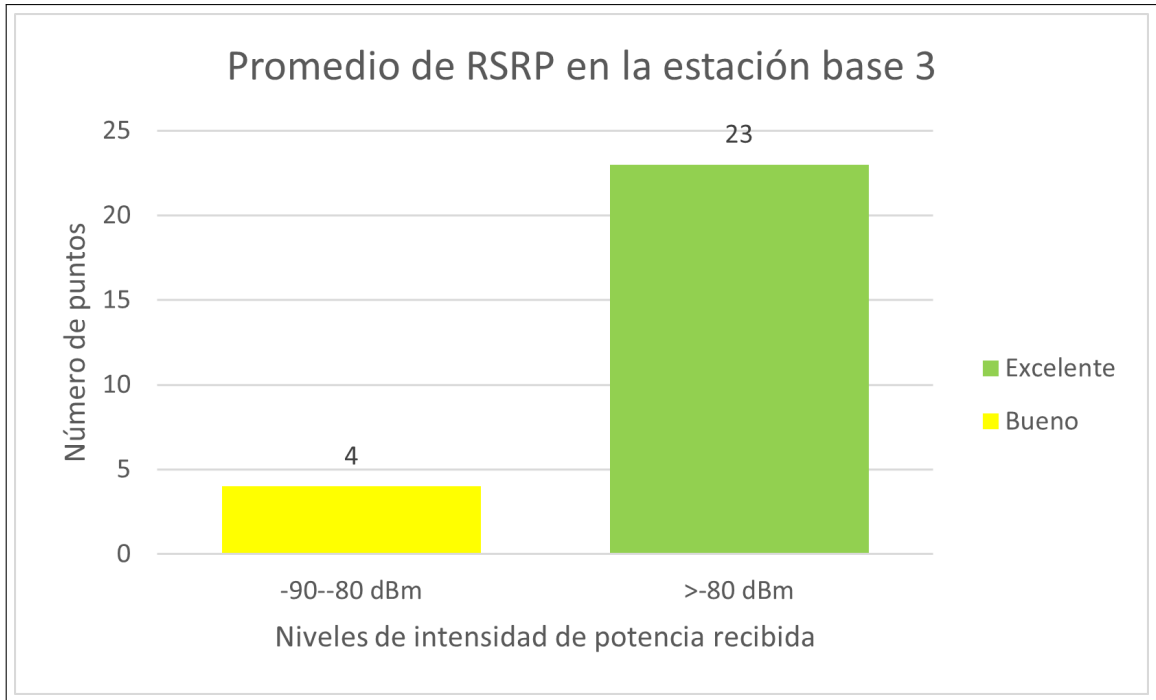


Ilustración 4-24: Histograma de las simulaciones de RSRP en la estación base 3. (Verde excelente, Amarrillo bueno)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-24, que representa el promedio de los valores de RSRP en la estación base 3, se observa una excelente calidad en la señal recibida. De los 27 puntos analizados, 23 indican una señal fuerte y 4 muestran una buena intensidad de señal destacando un rendimiento positivo en términos de calidad y potencia recibida de la señal.

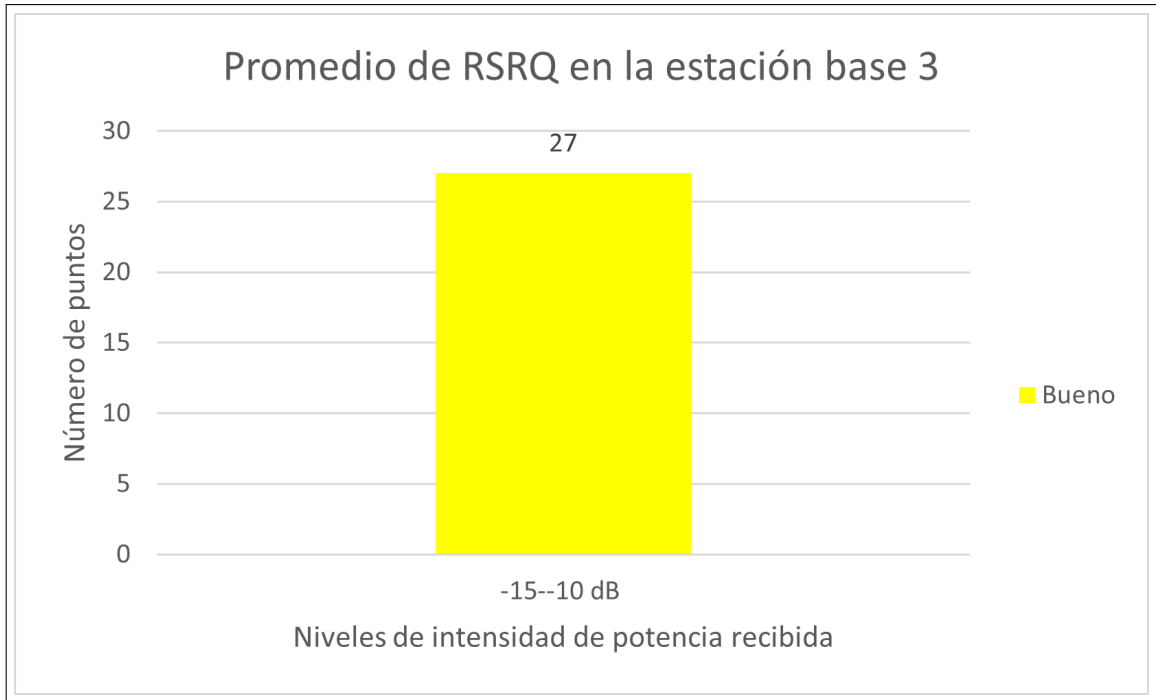


Ilustración 4-25: Histograma de las simulaciones de RSRQ en la estación base 3. (Amarrillo bueno)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-25, que muestra el promedio de los valores de RSRQ en la estación base 3, se observa una buena calidad en la señal recibida. De los 27 puntos analizados, 27 indican una señal fuerte y condiciones favorables, destacando un rendimiento aceptable en términos de calidad y cobertura de la señal.

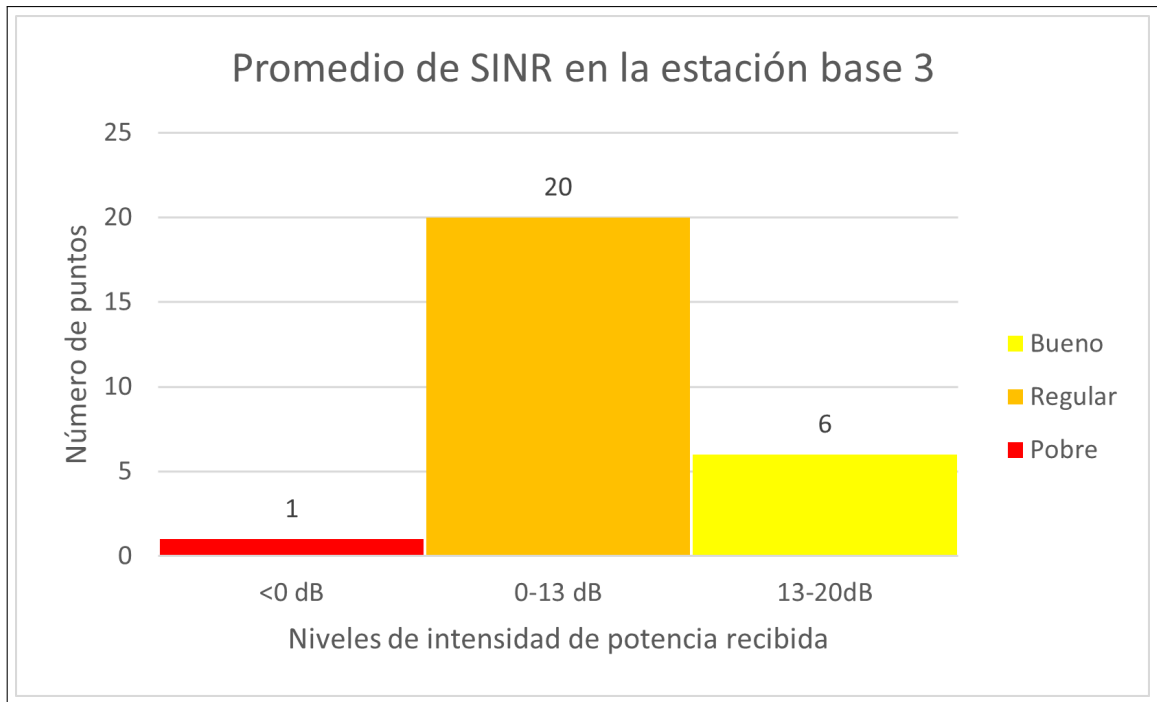


Ilustración 4-26: Histograma de las simulaciones de SINR en la estación base 3. (Amarrillo bueno, Naranja regular, Rojo sin señal)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-26 ,que muestra el promedio de los valores de SINR en la estación base 3, se observa una calidad regular a pobre en la señal recibida. De los 27 puntos analizados, 20 señalan condiciones de regular a pobres, 6 muestran una buena intensidad de señal y 1 refleja una baja intensidad de señal destacando un rendimiento pobre en términos de la capacidad de rendimiento del canal.

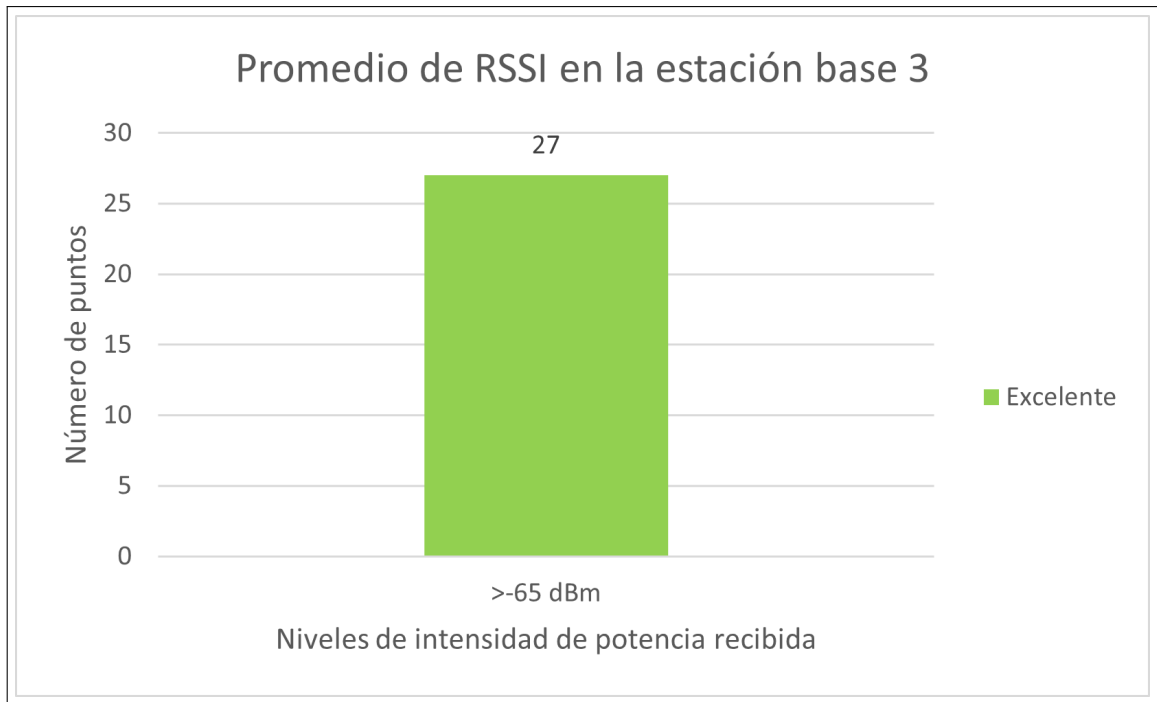


Ilustración 4-27: Histograma de las simulaciones de RSSI en la estación base 3. (Verde excelente)

Realizado por: Sanga C., 2024

Al analizar la ilustración 4-23 ,que muestra el promedio de los valores de RSSI en la estación base 3, se observa una excelente intensidad de la señal recibida. De los 27 puntos analizados, 27 indican una señal excelente, destacando un rendimiento óptimo en términos de intensidad de la señal.

4.4 Comparativa mediante el error cuadrático medio

Luego de recopilar tanto los valores medidos como los simulados, se llevó a cabo una comparación mediante el cálculo de la raíz del error cuadrático medio para cada estación base, utilizando la siguiente ecuación.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Ecuación 4-2: Error cuadrático medio

donde N es el número total de mediciones, y_i son los valores medidos, y \hat{y}_i son los valores simulados.

La raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio se calcula tomando la raíz cuadrada del

MSE. La fórmula del RMSE es la siguiente:

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

Ecuación 4-3: Raíz error cuadrático medio

El RMSE proporciona una medida de la dispersión de los errores de predicción en la misma unidad que los datos originales. Cuanto más bajo sea el RMSE, mejor será el ajuste del modelo a los datos.

Tabla 4-14: Valores RMSE de las tres estaciones base en diferentes parámetros radioeléctricos.

Estaciones base	RMSE			
	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	RSSI (dBm)
BS1	12.06	3.84	9.10	12.86
BS2	18.89	3.41	11.26	21.14
BS3	19.77	5.26	11.72	20.12

Realizado por: Sanga C., 2024

Finalmente, se evaluó el Error Cuadrático Medio (RMSE) entre los valores medidos y simulados de los parámetros radioeléctricos de la tecnología 4G LTE en las tres estaciones base. Donde la diferencia de error fue menor en la estación base 1 con 12.06 dBm de RSRP, 9.10 dB de SINR y 12.86 dBm de RSSI. Mientras que la diferencia de error fue mayor en la estación base 3 con 19.77 dBm de RSRP, 11.72 dB de SINR y 20.12 dBm de RSSI. No obstante, la estación base 2 destaca al presentar una diferencia de error menor con 3.41 dB de RSRQ en comparación con las estaciones base 1 y 3.

Se observa una diferencia significativa en algunas estaciones base entre los datos medidos y los simulados. Esta discrepancia se debe a que el software de simulación no tiene en cuenta factores como la vegetación, alturas exactas de edificios u obstáculos. Además, la falta de acceso a los datos exactos de la antena transmisora, que son propiedad privada de cada operador, impidió contar con valores precisos. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, se considera que los resultados ofrecen una aproximación sólida a las recomendaciones establecidas por el estándar.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- El estudio del estándar 4G LTE permitió determinar los parámetros radioeléctricos RSRP, RSRQ, SINR y RSSI los cuales sirven para la evaluación del servicio de la red móvil.
- Se llevó a cabo el desarrollo de un manual de medidas radioeléctricas en base a las recomendaciones internacionales más utilizadas y que abarca todos los parámetros radioeléctricos planteados en este estudio.
- Se aplicó el manual de medidas radioeléctricas al interior y exterior de la ESPOCH. Al comparar los datos medidos y simulados utilizando el RSME (Error cuadrático medio) de los parámetros definidos para LTE, se observó que la diferencia de error entre los valores medidos y simulados fue menor en la estación base 1 con 12.06 dBm de RSRP, 9.10 dB de SINR y 12.86 dBm de RSSI en comparación con las estaciones base 2 y 3.
- La estación base 2 destaca al presentar una diferencia de error menor en el parámetro RSRQ, con 3.41dB, en comparación con las estaciones base 1 y 3.

5.1 RECOMENDACIONES

- Se recomienda comparar las mediciones efectuadas mediante equipos de medición profesional con un test drive utilizado por la ARCOTEL.
- Se recomienda que la ARCOTEL proporcione más detalles técnicos, como la potencia de transmisión, la altura de las antenas, el azimuth y el downtilt, de las estaciones base de la red móvil que operan en el país. Esto permitiría realizar investigaciones más completas en el futuro.
- Se recomienda emplear un vehículo para llevar los instrumentos de medición de parámetros radioeléctricos requeridos durante las mediciones de campo en los diversos puntos asociados a cada estación base.

BIBLIOGRAFÍA

1. **3GPP**, *Release 10*. [blog]. 2023. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-10>.
2. **AGUSTI, Ramón**. *LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles*, Fundación Vodafone España, 2010, págs. 46-48.
3. **ARCOTEL**, *Norma de calidad en la prestación del servicio móvil avanzado*. [en línea] Quito-Ecuador, 2017. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/INFORME-PROYECTO-DE-REGULACION-3GPP-3GPP-8-NDICES-DE-CALIDAD-SMA.pdf>.
4. **ARCOTEL**, *Servicio Móvil Avanzado*. [en línea] Quito-Ecuador, 2019. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/1-preguntas-generales/>.
5. **ARCOTEL**, *Boletín Estadístico Trimestral mayo 2020. Infraestructura y Cobertura*. [en línea] Quito-Ecuador, 2020. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BoletinEstadistico-May2020-SMA-CoberturaInfraestructura.pdf>.
6. **ARCOTEL**, *Registros administrativos ARCOTEL*. [en línea] 2023. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.arcotel.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F11%2F1.1.3-Lineas-activas-por-tecnologia_Sep-2023.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK.
7. **ATDI**, *HTZ Communications -Radio network planning and optimisation ATDI*. [en línea] 2023. [Consulta: 21 enero 2024]. Disponible en: <https://atdi.com/products-and-solutions/htz-communications/>.
8. **BOIARYNOV, Serhii**. *Parámetros de calidad de la señal LTE y 5G*. [en línea] 2023. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://support.zyxel.eu/hc/es/articles/360005188999-Par%C3%A1metros-de-calidad-de-se%C3%B1al-LTE#:~:text=RSRP%20>.
9. **CABLEFREE**, *LTE RSSI, RSRP and RSRQ Measurement*. [blog]. 2018. [Consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/rsrp-rsrq-measurement-lte/>.
10. **DAHLMAN Erik, SKOLD Johan**. *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*, Elsevier Science, 2013. ISBN 9780124199972, págs. 233-234.
11. **ETSI**, *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management (3GPP TS 36.133 version 8.9.0 Release 8)*. [en línea] 2010. [Consulta: 24 enero 2024]. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136133/08.09.00_60/ts_136133v080900p.pdf.
12. **ITU**, *Manual Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/Decimétricas*. [en línea] 2002. [Consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-11-202109-S!!PDF-E.pdf.
13. **ITU**, *Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz*. [en línea] 2021. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-11-202109-S!!PDF-E.pdf.

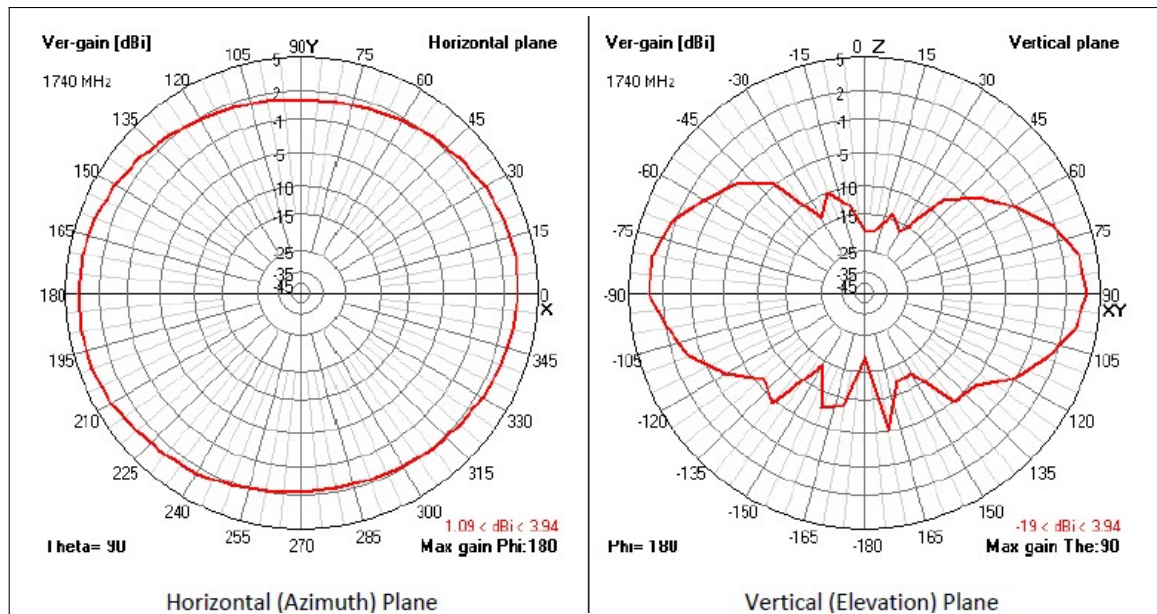
14. **LEMA VILLENA, Fausto Enrique**, Estudio para la recomendación de parámetros técnicos a utilizarse en el control de redes LTE 4G en Ecuador.(Trabajo de titulación), Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito-Ecuador, 2017. Págs. 8-38.
15. **MARTÍNEZ GARCÍA, David**, Despliegue de un prototipo de red 4G-LTE con Openairinterface para entorno didactico.(Trabajo de titulación), Campus Sur Politecnica, Escuela Técnica Superior De Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Madrid, España, 2019. Págs. 25-40.
16. **MERECI APOLO, Freddy Javier**, Diseño e implementacion de una celda celular con tecnologías 2G, 3G y LTE para la ciudad de San Jose de Chimbo en la provincia de Bolivar.(Trabajo de titulación), Escuela Politécnica Nacional, Escuela de formación de tecnólogos, Quito-Ecuador, 2020. Págs. 9-24.
17. **TELTONIKA**, *Recomendaciones sobre la intensidad de la señal móvil*. [blog]. 2022. [Consulta: 23 febrero 2024]. Disponible en: https://wiki.teltonika-networks.com/view/Mobile_Signal_Strength_Recommendations.

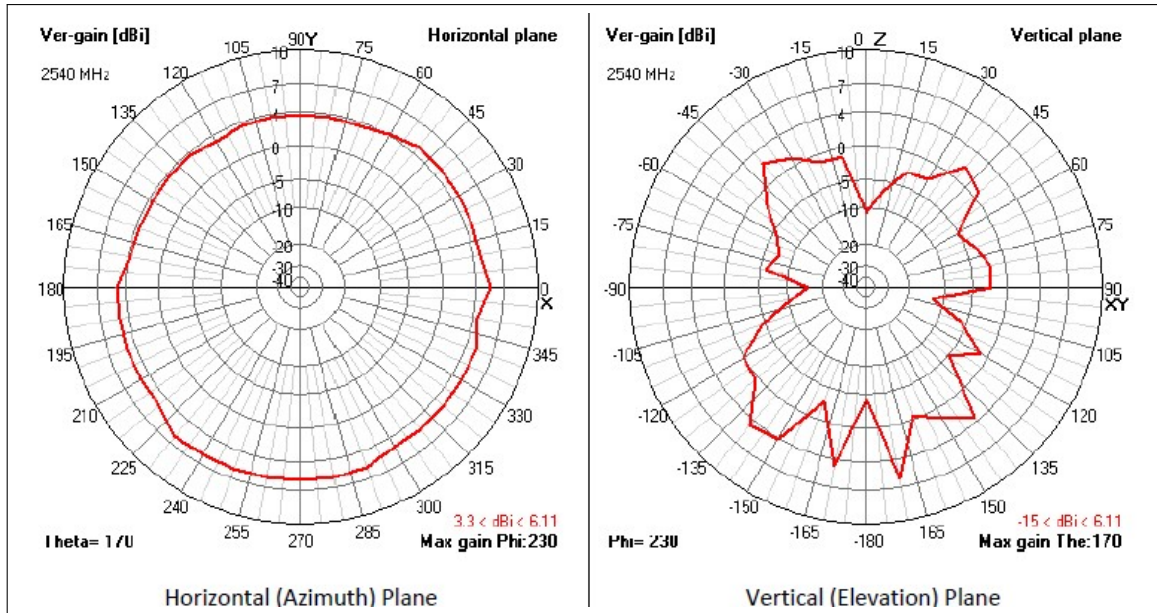
ANEXOS

ANEXO A: PARÁMETROS DE LA ANTENA RECEPTORA

Electrical Specifications	
Parameter	Rating
Frequency Range	600-6000 MHz includes all 3G, 4G, 5G, CBRS, FirstNet Bands
Gain	3 – 6 dBi
VSWR (in band)	≤ 3.0:1
Input Impedance	50 Ohm
Polarization	Vertical
Max Input Power	50 W
DC Grounded	No
Ground Plane	Not Required

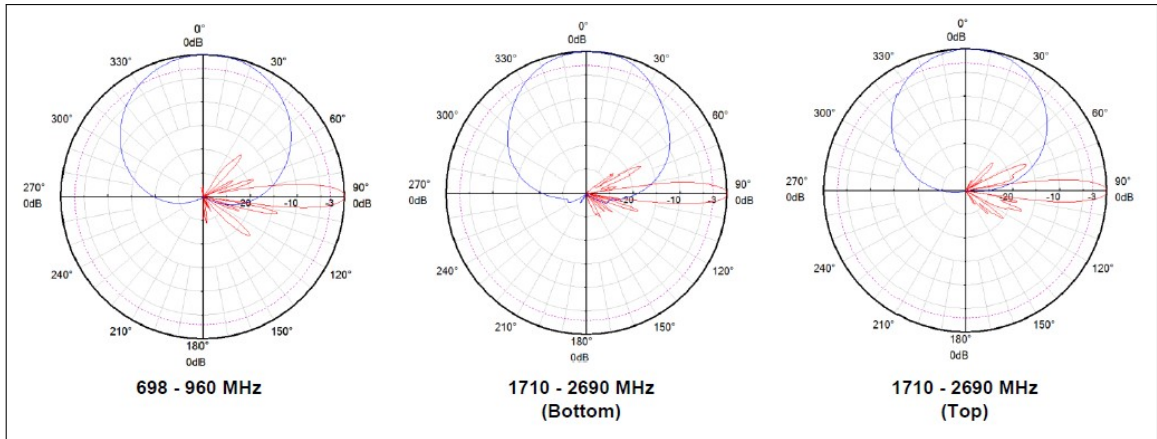
Mechanical Specifications	
Parameter	Rating
Connector Type	SMA Male (plug)
Length	8.7 inches / 221 mm
Width	2.3 inches / 58 mm
Weight	2.3 oz / 65 g
Materials	Polycarbonate / Brass - RoHS compliant
Antenna Color	Black
Operating Temperature	-40°C to +60°C





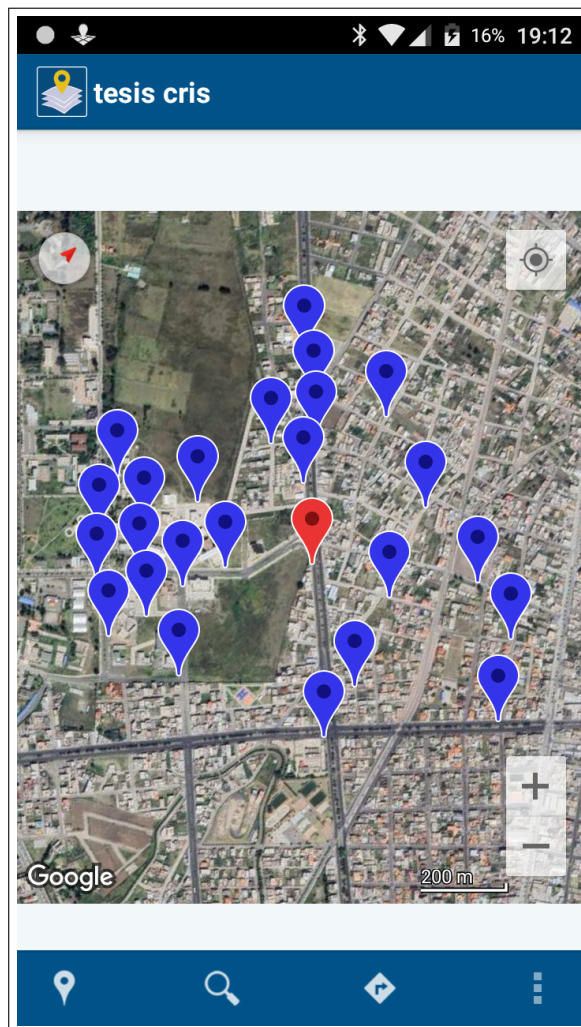
ANEXO B: PARÁMETROS DE LA ANTENA TRANSMISORA UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN

Electrical Properties																															
Frequency range (MHz)	698 - 960												3 x (1710 - 2690)																		
	698 - 803			790 - 862			824 - 894			880 - 960			1710 - 1990			1920 - 2200			2200 - 2490			2490 - 2690									
Polarization	+45°, -45°																														
Electrical downtilt (°)	0 - 10, continuously adjustable, each band separately																														
Gain (dBi)	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°										
	16.0	16.2	16.0	16.3	16.5	16.1	16.5	16.7	16.5	16.7	17.0	16.6							17.0	17.1	16.9	17.2	17.3	17.0	17.0	17.1	17.0	17.3	17.6	17.3	
	Bottom																			16.7	16.8	16.6	17.0	17.1	16.7	16.9	16.8	16.6	16.8	17.3	17.1
Top																															
Side lobe suppression for first side lobe above main beam (Typ.) (dB)	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°										
18	17	16	18	18	17	18	17	17	18	16	16	17	17	16	17	17	16	18	17	15	16	16	15								
Horizontal 3dB beam width (°)	67			66			65			62			63			62			61			60									
Vertical 3dB beam width (°)	8.8			8.5			8.0			7.4			7.4			6.8			6.0			5.5									
VSWR	< 1.5																														
Isolation between ports (dB)	Intra-system: ≥ 28 Inter-system: ≥ 30																														
Front to back ratio, copolar (dB)	Typ. 27												Typ. 28																		
Cross polar ratio (dB)	0°	Typ. 20																													
Max. power per input (W)	500 (at 50°C ambient temperature)												250 (at 50°C ambient temperature)																		
Total power per combined input (W)	1200 (at 50°C ambient temperature)																														
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -153 (2 x 43 dBm carrier)																														
Impedance (Ω)	50																														
Grounding	DC Ground																														

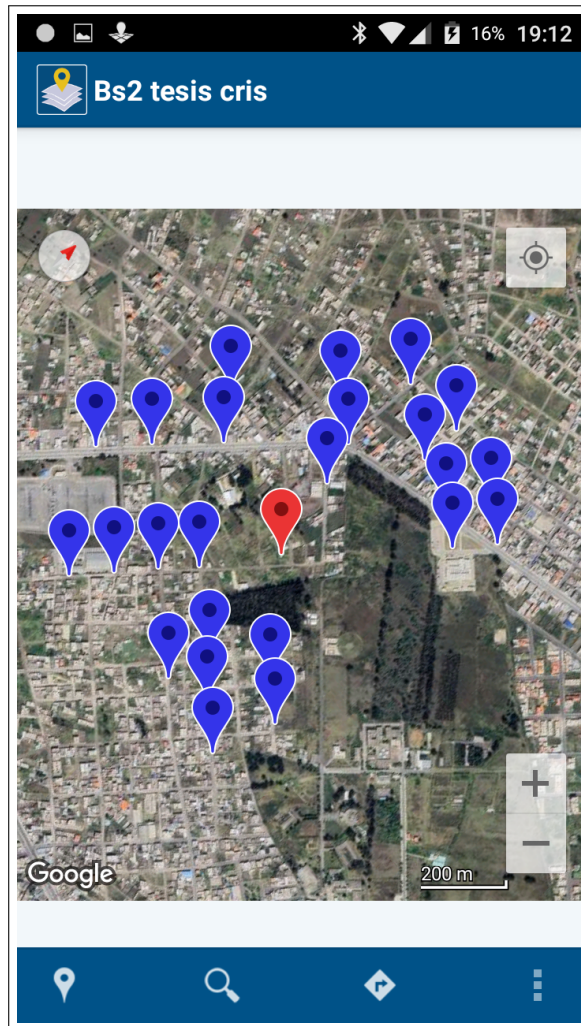


ANEXO C: MEDICIONES DE COORDENADAS, ALTITUD Y TIEMPO PARA LOS PUNTOS ASOCIADOS A CADA ESTACIÓN BASE MEDIANTE EL DISPOSITIVO SPECTRA MOBILE MAPPER 50

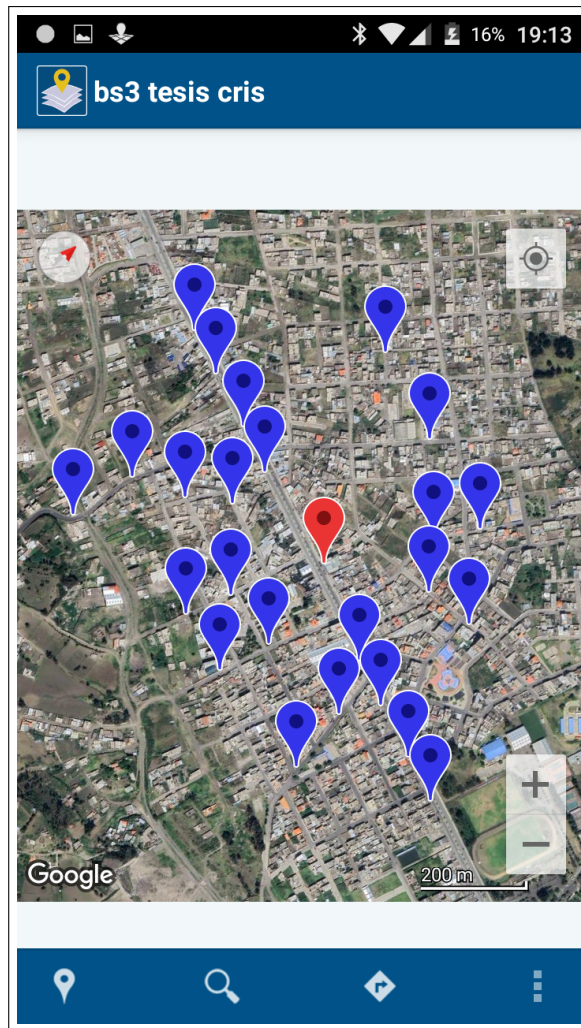
Estación base 1



Estación base 2



Estación base 3



ANEXOD: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN DE LOS PUNTOS CORRESPONDIENTES A CADA ESTACIÓN BASE UTILIZANDO EL SOFTWARE HTZ.

Tx/Rx parameters: 1 Tx1.1

General Patterns Channels Site eNB

MSI/RPE 2D reverse tilt 2D antenna H+V (1 polarization) ...
 Antenna file must be reloaded 27.SPH 3.SPV View

Horizontal pattern -90 Vertical pattern +90

Tx pol V H C M
 Rx pol V H C M
 X polar. disc. (dB) 0
 Tx ant gain (dBi) 17.00
 Rx ant gain (dBi) 0.00
 RS gain reduction (dB) 0

Antenna database

Horizontal pattern: 27.SPH
 Vertical pattern: 3.SPV

Antenna type:
 Standard antenna
 SU-MIMO SD
 SU-MIMO SM
 MU-MIMO SM
 SIMO
 AAS

Arrays T/R 1 / 1
 Layers / MU 1 / 1 Gain...
 0.0 0.0 dB
 BSR H/V +/- 0 / 0 deg
 Beam step H/V 0 / 0 deg
 BSR=Beam steering range in degrees

Diameter or size (m) 0.10 ...
 Beamwidth (°) 6.80 ...
 Crossover distance between near and far fields (m) 0.30

Two-line element set - Satellite catalog number 0 ...

Save .TRX Load .TRX 3D creation... Modify coverage* < >

Acceptar Cancelar

Tx/Rx parameters: 8 Tx31

General Patterns Channels Site eNB

Type Signal Status Frequency plan
 Tx/Rx A (0) LTE FDD (60) Unknown (0) # 8 activated

Tx/Rx
 Power/Port dBm 40
 Dynamic (dB) 0
 Tx ant gain (dBi) 17.00
 Rx ant gain (dBi) 0.00
 Losses (dB) tx 0.00 rx 0.00
 Tx add losses (dB) 0.00
 E.I.R.P (W) 501.1872
 Frequency (MHz) 1967.500000 ...
 Antenna height (m) 14.00
 Tx bandwidth (kHz) 15000.00
 Rx bandwidth (kHz) 15000.00

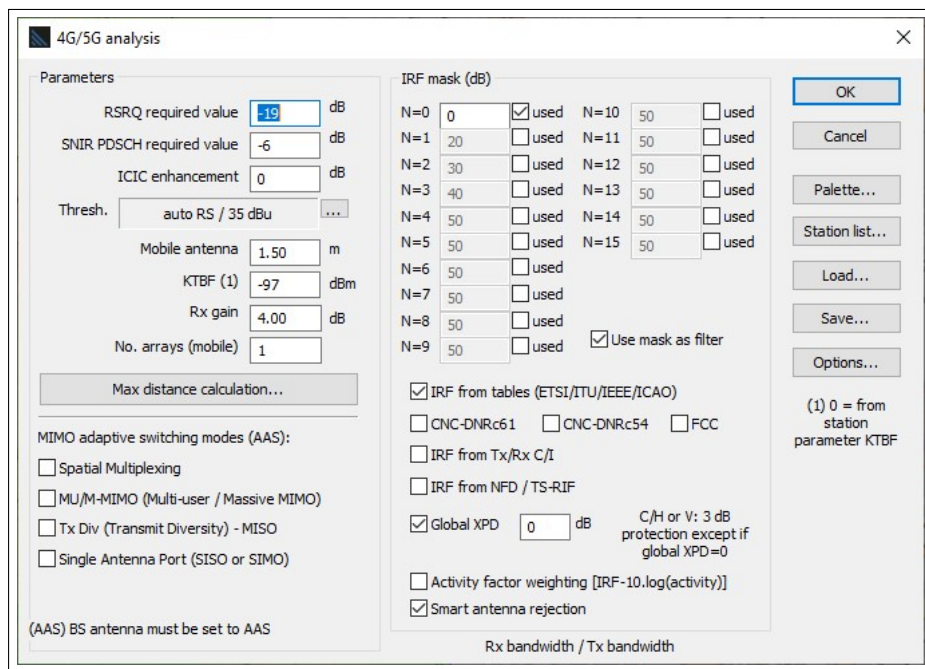
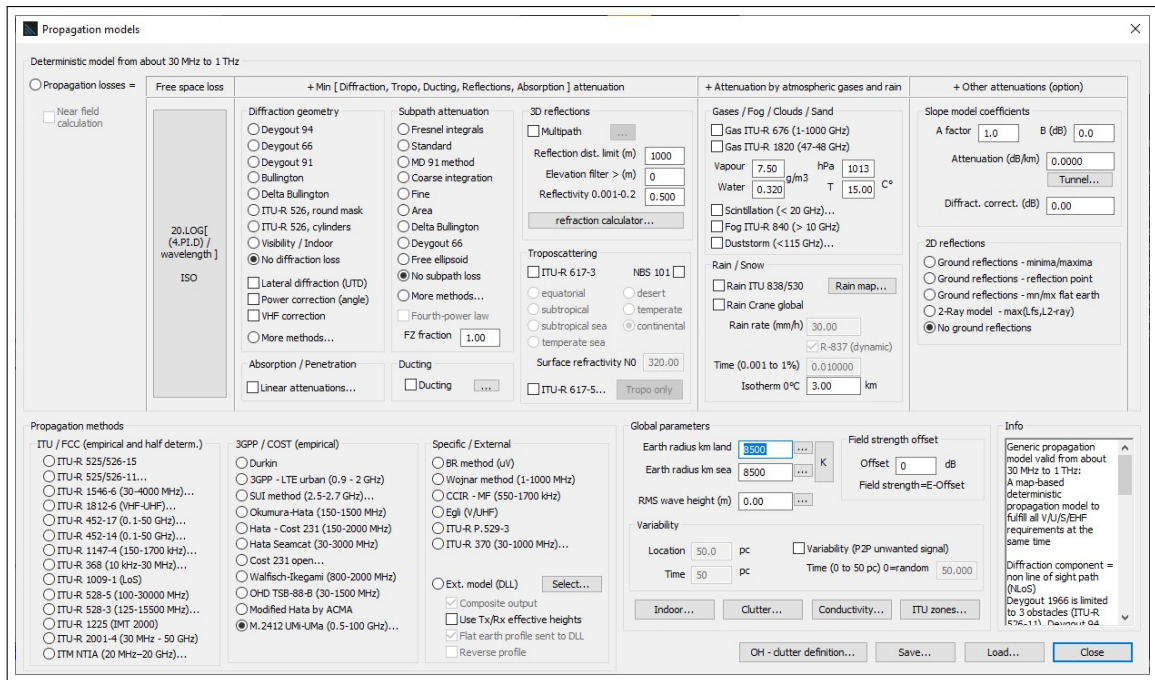
Coverage
 none
 Delete info

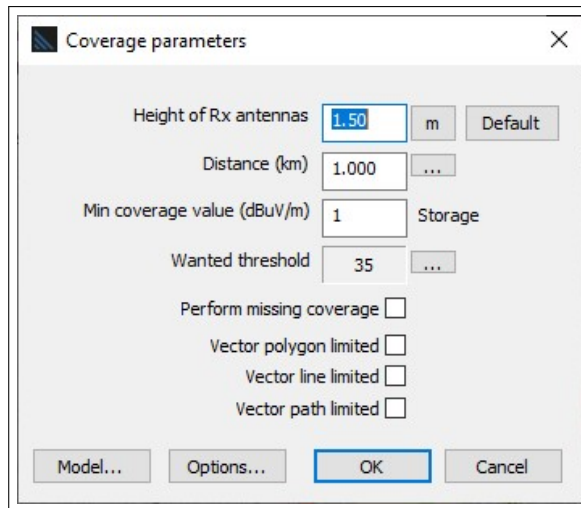
OOB or Spurious (dBW/MHz) 0
 Variable power
 Fixed power
 Fixed frequency
 Freq Hop / WB ...
 Variable elevation
 Fixed elevation

Info
 Callsign Tx31 Parenting 0
 Address Date (yyymmdd) 20240217
 Inf1 Type ID C
 Inf2 Link
 Network ID Group
 User Call number 0
 Date: start / end 0 / 0

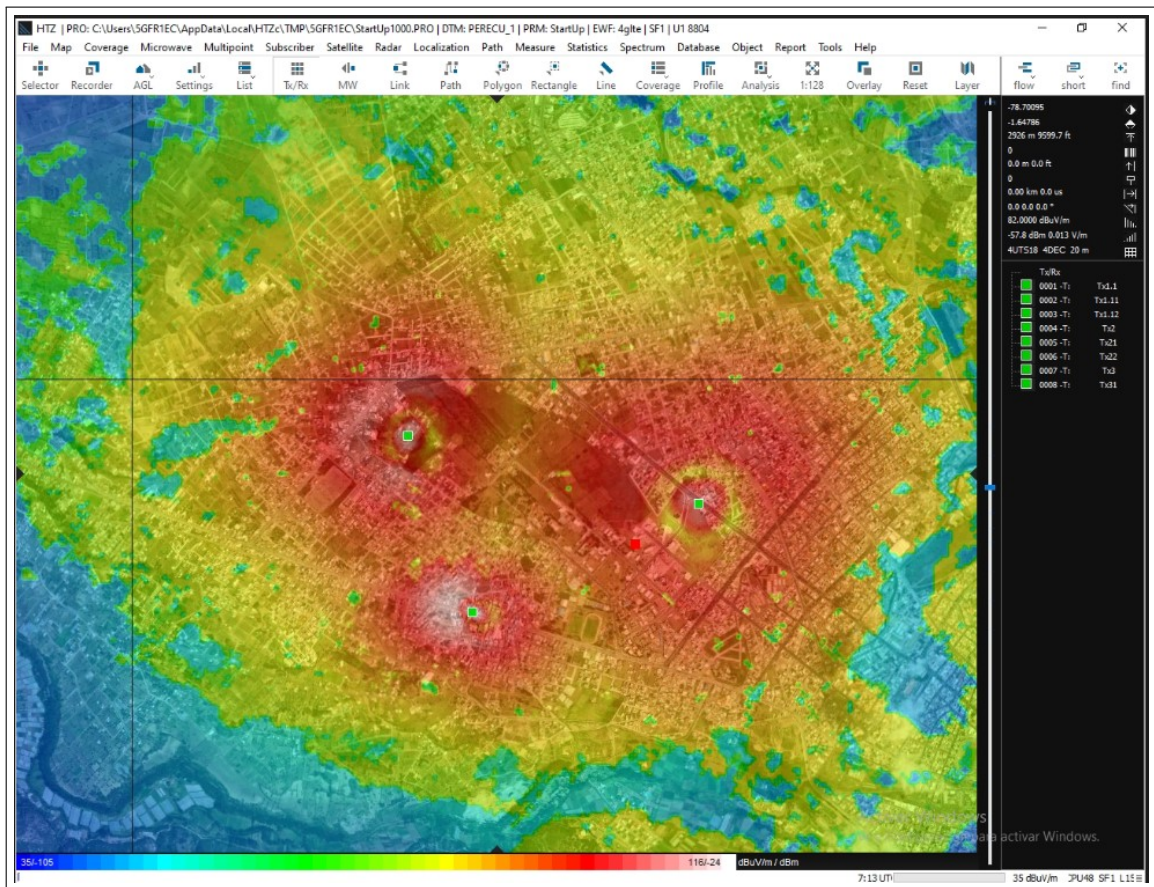
Comment:
 SQL record 0

Acceptar Cancelar





Simulación General

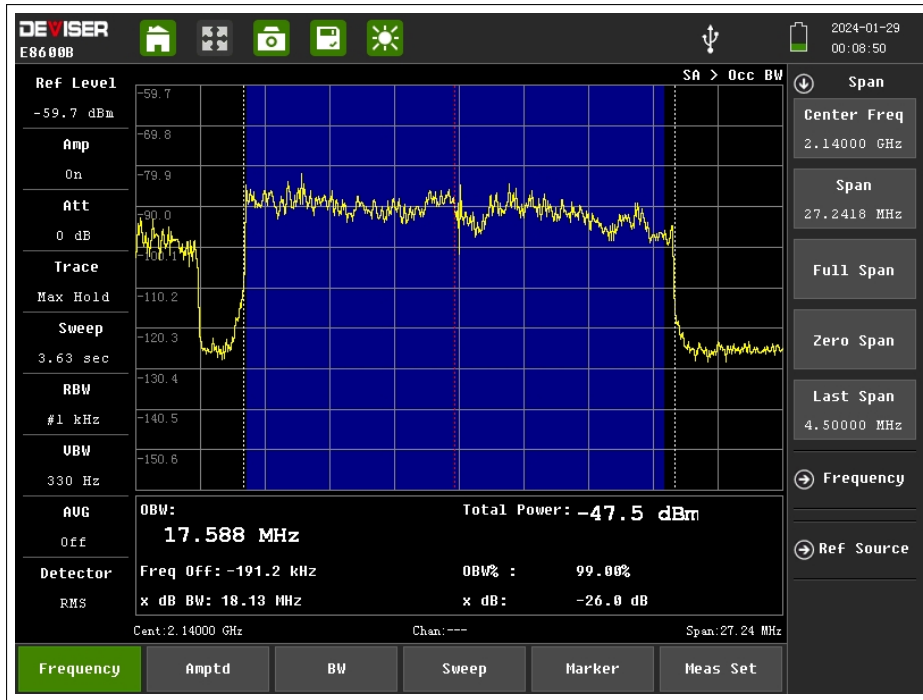


ANEXO E: MEDICIONES DE CAMPO

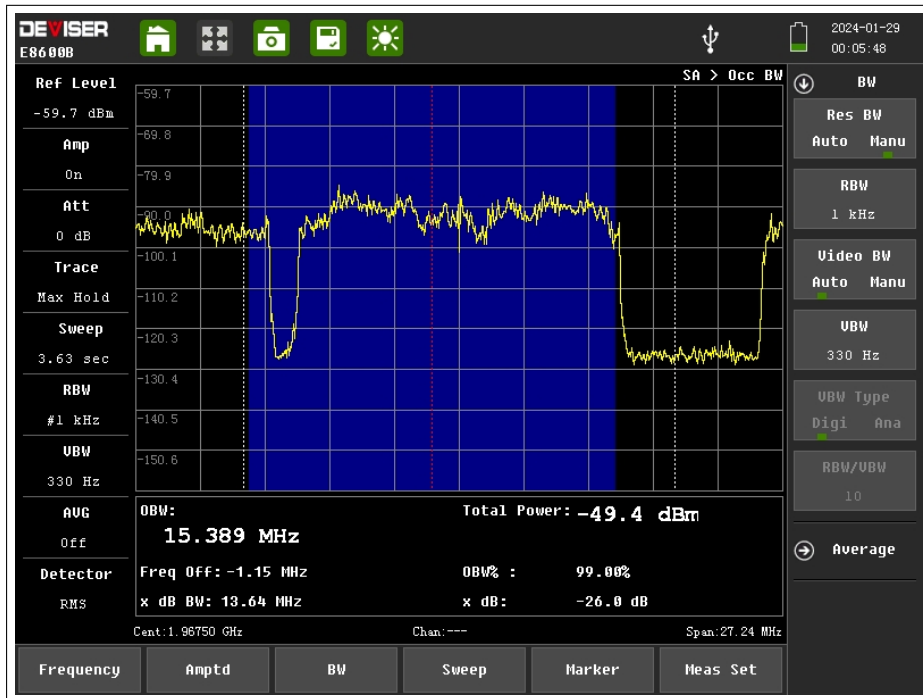




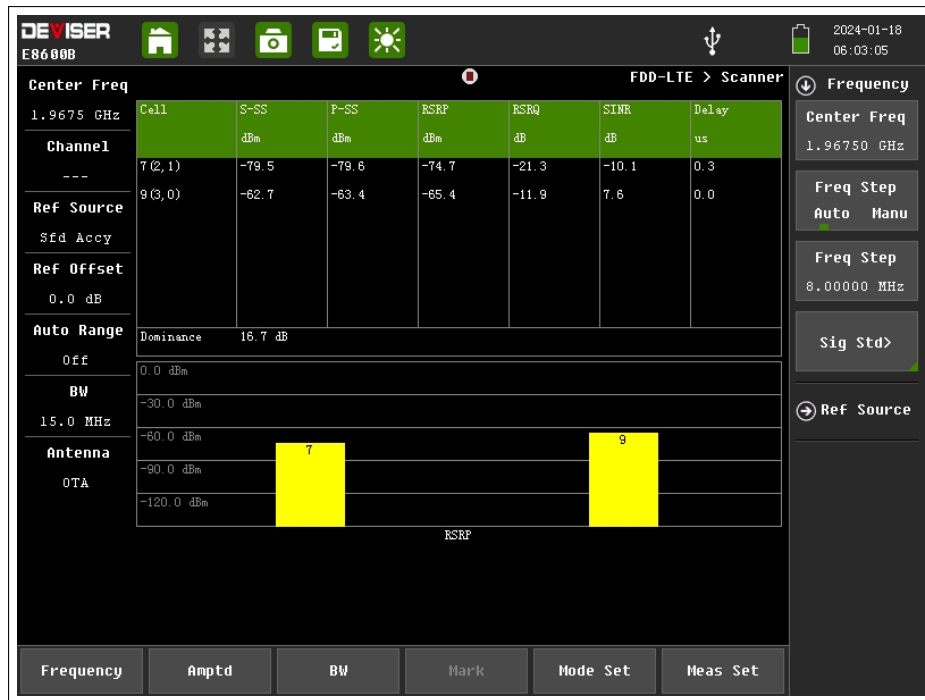
Piso de ruido y ancho de banda ocupado 20 MHz



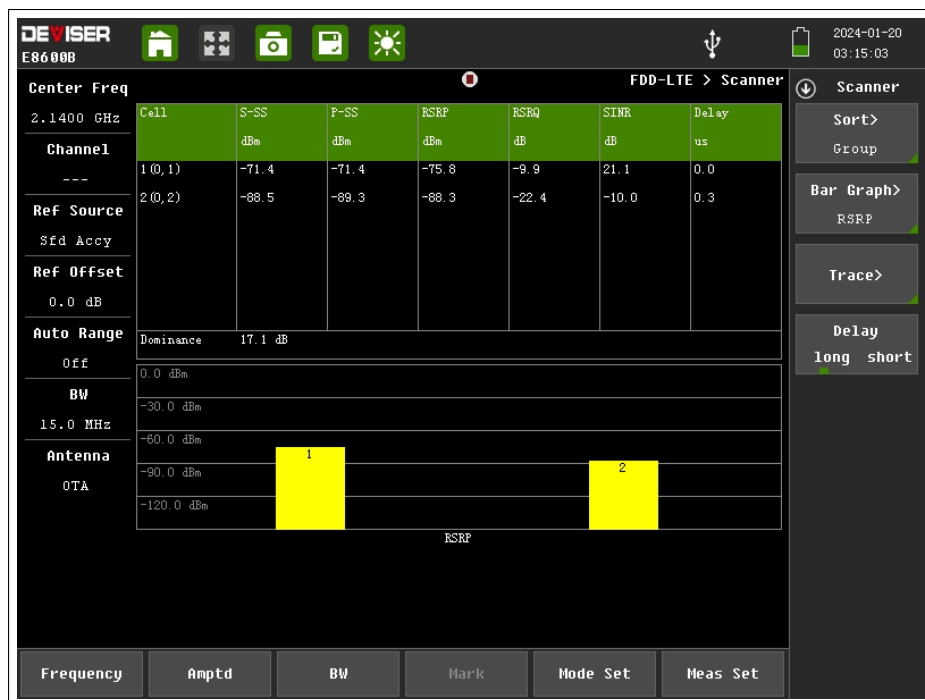
Piso de ruido y ancho de banda ocupado 15 MHz



Punto 1 de la estacion base 1



Punto 2 de la estacion base 2



Punto 3 de la estacion base 3

DEVISER E8600B 2024-01-22 04:47:38

FDD-LTE > Scanner

Center Freq 2.1400 GHz

Cell	S-SS dBm	P-SS dBm	RSRP dBm	RSRQ dB	SINR dB	Delay us
3(1,0)	-53.4	-53.2	-54.7	-13.6	15.9	0.0
5(1,2)	-73.4	-73.8	-81.4	-20.2	-8.9	-0.0

Channel ---

Ref Source Sfd Accy

Ref Offset 0.0 dB

Auto Range Off
Dominance 19.9 dB

BW 15.0 MHz
-30.0 dBm

Antenna OTA
-60.0 dBm
-90.0 dBm
-120.0 dBm

ESRP

Scanner

Sort>

Group

Bar Graph>

RSRP

Trace>

Delay

long short

Frequency
Amptd
BW
Mark
Mode Set
Meas Set