

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRONICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRONICO

Estudio de KPIs 3G - 4G de un repetidor celular mediante mediciones en zonas Indoor,
Santiago de Cao, Trujillo-2023

Línea de Investigación: Comunicación, tecnologías de la información e innovación
Sublínea de Investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Barreto Carrasco, Yeffrey Aldair,
Fernández García, José Miguel

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Vocal : Llanos León, Lenin Humberto

Asesor: Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

Trujillo - Perú

2024

Fecha de Sustentación:2024-03-02

Estudio de KPIs 3G - 4G de un repetidor celular mediante mediciones en zonas Indoor, Santiago de Cao, Trujillo-2023

por Jeffrey Aldair Barreto Carrasco



Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Fecha de entrega: 26-feb-2024 12:04a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2189574038

Nombre del archivo: Tesis_YABarreto-JMFernandez_25-02-2024.docx (6.57M)

Total de palabras: 16214

Total de caracteres: 75809

Estudio de KPIs 3G - 4G de un repetidor celular mediante mediciones en zonas Indoor, Santiago de Cao, Trujillo-2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

3 %	1 %	1 %	1 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Rosa M. Gonzalez Delgado. "Synthetic Spectra of H Balmer and He i Absorption Lines. I. Stellar Library", The Astrophysical Journal Supplement Series, 12/1999 Publicación	1 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	Submitted to University of Liverpool Trabajo del estudiante	1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Jurado de sustentación Oral

Aprobado por:

Ms. Ing. AZABACHE FERNÁNDEZ FILIBERTO MELCHOR
N° CIP 97916
Presidente

Ms. Ing. ALVARADO RODRIGUEZ LUIS ENRIQUE
N° CIP 149200
Secretario

Ing. LLANOS LEÓN LENIN HUMBERTO
N° CIP 139213
Vocal

Entregado el:

BARRETO CARRASCO YEFFREY ALDAIR.
DNI 71223798

FERNANDEZ GARCIA JOSE MIGUEL.
DNI 70610251

Ms. Ing. CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER
CIP N° 80252
Asesor

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRONICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRONICO

Estudio de KPIs 3G - 4G de un repetidor celular mediante mediciones en zonas Indoor,
Santiago de Cao, Trujillo-2023

Línea de Investigación: Comunicación, tecnologías de la información e innovación
Sublínea de Investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Barreto Carrasco, Yeffrey Aldair,
Fernández García, José Miguel

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor
Secretario : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique
Vocal : Llanos León, Lenin Humberto

Asesor: Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

Trujillo - Perú
2024

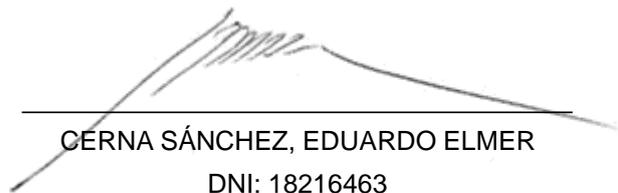
Fecha de Sustentación:

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER, docente del Programa de Estudio de Pregrado de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada **“Estudio de KPIs 3G - 4G de un repetidor celular mediante mediciones en zonas Indoor, Santiago de Cao, Trujillo-2023.”**, de los autores BARRETO CARRASCO, YEFFREY ALDAIR y FERNÁNDEZ GARCÍA, JOSÉ MIGUEL.

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 3%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 26 de febrero del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“Estudio de KPIs 3G - 4G de un repetidor celular mediante mediciones en zonas Indoor, Santiago de Cao, Trujillo-2023.”** y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Trujillo 26 de febrero del 2024.



CERNA SÁNCHEZ, EDUARDO ELMER

DNI: 18216463

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>



BARRETO CARRASCO YEFFREY ALDAIR.
DNI 71223798



FERNÁNDEZ GARCÍA JOSÉ MIGUEL.
DNI 70610251

DEDICATORIAS

Con cariño y gratitud a Dios y a mi madre quien es pilar en mi desarrollo profesional. A mis hermanas que me apoyaron en momentos difíciles. todo este trabajo ha sido posible gracias a ellas.

Yeffrey Barreto.

Al Señor Todopoderoso por haber permitido estar aquí y darme unos excelentes padres quienes luchan día a día por el bienestar de sus hijos, a mis abuelos por los buenos consejos, en especial a mi abuelo Tomas que desde el cielo guía mi camino. Y a todas las personas que estuvieron motivándome para crecer tanto en lo personal como profesional.

José Fernández.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar nuestros pasos y brindarnos bienestar y firmeza de seguir mejorando, superando las diversas dificultades que se presentan en esta vida y que nos permitió llegar, hoy hasta aquí.

A nuestros progenitores por enseñarnos desde la práctica valores y comprendernos en los momentos más difíciles que nos ha tocado vivir hasta el momento y ser parte de nuestras decisiones.

A la Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Programa de Estudio de Ingeniería Electrónica, por la acogida y formación que nos brindó durante los años de formación profesional, hecho con mucho esmero, responsabilidad y sobre todo brindándonos una enseñanza de calidad.

A los profesores del Programa de Estudio de Ingeniería Electrónica, quienes nos brindaron sabias enseñanzas y experiencias que fueron muy valiosos para nuestra formación profesional y gracias a ello seguimos avanzando en el campo profesional, muchas gracias.

A nuestro asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por brindarnos su apoyo incondicional en la realización y finalización del trabajo de investigación, por su perseverancia y entrega; y sobre todo por ser un buen profesor y habernos brindado sus conocimientos científicos en las diversas asignaturas a través de nuestra formación profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación estuvo enfocado a describir el comportamiento de KPIs obtenidos a partir de la señal emitida por una estación base celular en áreas indoor en un centro poblado periurbano al aplicar un repetidor de señal en el distrito de Santiago de Cao, provincia de Ascope, La Libertad, Perú. Para ello se seleccionaron 4 ambientes indoor con diferentes características. Las muestras de señal sin y con repetidor fueron clasificadas de acuerdo a rangos de calidad y aceptabilidad de los parámetros de optimización. Los KPIs resultantes al comparar las mediciones con y sin repetidor, reportaron mejoras en todos los ambientes indoor evaluados, presentándose incrementos en la aceptabilidad de KPIs que van desde el 37% de incremento en el ambiente 03, hasta un 55% de incremento en el ambiente 02. Dentro de los parámetros más visibles para el usuario, se lograron identificar incrementos favorables de velocidad, en 71% de puntos medidos.

Palabras clave: KPIs, parámetros de optimización, calidad de señal, Indoor.

ABSTRACT

The present investigation was focused on describing the behavior of KPIs obtained from the signal emitted by a cellular base station in interior areas in a peri-urban population center by applying a signal repeater in the district of Santiago de Cao, province of Ascope, La Libertad, Peru. For this, 4 interior environments with different characteristics were selected. The signal samples without and with a repeater were classified according to quality ranges and acceptability of the optimization parameters. The resulting KPIs when comparing the measurements with and without repeater, reported improvements in all the interior environments evaluated, presenting increases in the acceptability of KPIs ranging from 37% increase in environment 03, to a 55% increase in environment 02. Within the most visible parameters for the user, favorable increases in speed will be identified in 71% of measured points.

Keywords: KPIs, optimization parameters, signal quality, Indoor.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De acuerdo y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno del Programa de Estudio de Ingeniería Electrónica para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, dejamos a vuestra disposición el presente Trabajo de Investigación titulado: **“Estudio de KPIs 3G - 4G de un repetidor celular mediante mediciones en zonas Indoor, Santiago de Cao, Trujillo-2023”**.

Esta investigación, es producto de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, los cuales nos facilitaron la realización de nuestro trabajo de investigación.

Señores miembros del jurado esperamos que el presente trabajo de investigación se ajuste a las exigencias establecidas por nuestra universidad y merezca su aprobación.

Trujillo, febrero del 2024

Br. Yeffrey Aldair Barreto Carrasco.

Br. José Miguel Fernández García.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN:	13
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:	14
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2. MARCO DE REFERENCIA.....	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.2. MARCO TEÓRICO	21
2.3. MARCO CONCEPTUAL	28
2.4. HIPÓTESIS.....	29
2.5. VARIABLES DE ESTUDIO CATEGÓRICAS	29
3. METODOLOGÍA EMPLEADA	32
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	33
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	33
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	33
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.5. PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	43
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	70
4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.2. DOCIMASIA DE HIPÓTESIS.....	78
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
6. CONCLUSIONES	82
7. RECOMENDACIONES	83
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estaciones base celular.	25
Figura 2: Partes de Repetidor celular.	26
Figura 3: Vista satelital de la zona de interés.	42
Figura 4: Ubicación de EBC y sectores en el distrito de Santiago de Cao	43
Figura 5: Prueba drive test Santiago de Cao.	44
Figura 6: Diagrama de instalación del repetidor de señal.	45
Figura 7: Puntos donde se realizó las pruebas.	48
Figura 8: Ambiente indoor 01	49
Figura 9: Ambiente indoor 02	50
Figura 10: Ambiente indoor 03	50
Figura 11: Ambiente indoor 04	51
Figura 12: Registro de datos en red 4G.	52
Figura 13: Medición de niveles del KPI – RSRP sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes	19
Figura 14: Medición de niveles del KPI – RSRQ sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes	21
Figura 15: Medición de niveles del KPI – SINR sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes	23
Figura 16: Medición de niveles del KPI – RSSI sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes	25
Figura 17: Medición de niveles del KPI – RSCP sin y con repetidor de señal de celular en llamada en los 04 ambiente	27
Figura 18: Medición de niveles del KPI – RSRP sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes	29
Figura 19: Medición de niveles del KPI – RSRQ sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes	31
Figura 20: Medición de niveles del KPI – SINR sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes.	33
Figura 21: Medición de niveles del KPI – SINR sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes	35
Figura 22: MOS sin y con repetidor de los cuatro ambientes.	37
Figura 23: Diferencia de Throughput en los cuatro ambientes	40

Figura 24: Resumen de KPIs sin y con repetidor de señal en los cuatro ambientes.....	43
Figura 25: Gráficos circulares de porcentaje de KPIs en todos los ambientes.	45
Figura 26:, Diferencia de velocidades sin y con repetidor	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categoría MOS y Rango de aceptabilidad	28
Tabla 2: Rango de valores RSSI	29
Tabla 3: Rango Aceptabilidad RSSI	29
Tabla 4: Rango de valores RSRP	30
Tabla 5: Rango Aceptabilidad RSRP	30
Tabla 6: Rango de valores RSCP	31
Tabla 7: Rango Aceptabilidad RSCP	31
Tabla 8: Rango de valores RSRQ	32
Tabla 9: Rango Aceptabilidad RSRQ	32
Tabla 10: Rango de valores SINR	33
Tabla 11: Rango Aceptabilidad SINR	33
Tabla 12: Operacionalización de la Variable 01	37
Tabla 13: Operacionalización de la Variable 02	38
Tabla 14: Especificaciones técnicas de repetidor de señal	45
Tabla 15: Cuadro comparativo de artículos de investigación	47
Tabla 16: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 01	13
Tabla 17: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 02	14
Tabla 18: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 03	15
Tabla 19: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 04	16
Tabla 20: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 01	13
Tabla 21: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 02	14
Tabla 22: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 03	15
Tabla 23: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 04	16
Tabla 24: Indicadores clave de rendimiento de KPIs	17
Tabla 25: Rangos de aceptabilidad de KPIs y Mbps	18
Tabla 26: Rango de aceptabilidad MOS	36
Tabla 27: Rango de calidad Mbps	39

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN:

1.1 Problema de Investigación

a. Descripción de la Realidad Problemática

Las comunicaciones móviles han adquirido en la actualidad un papel muy importante en la vida cotidiana de las personas, siendo un rol esencial en una amplia gama de áreas en la vida contemporánea. En la actualidad ya no es solo la comunicación móvil de voz, y debido a la necesidad de compartir mayor información, las técnicas de telecomunicaciones se han adaptado a la demanda de usuarios que ahora pueden compartir datos en una gran variedad de formatos ya sean estas fotos, videos, etc. (Cedeño, Carlos.2022).

El autor J.R. Guerra Amaya (2006) destaca cuán importante es la arquitectura tecnológica de las redes móviles, incluyendo la estación base celular (EBC), donde se debe mantener un estándar para preservar una señal estable y garantizar la transferencia de datos de calidad. Este proceso se llama optimización y los estándares cambian de acuerdo a las tecnologías móviles y son esenciales para brindar una buena calidad de servicio. Factores tales como la intensidad de señal, la radiación electromagnética de las antenas, distancia y obstáculos que se interponen entre las EBC con el usuario contribuyen a la calidad de recepción de la señal. Y es una necesidad constante que las compañías telefónicas gestionen adecuadamente estos parámetros de optimización ya que debido al crecimiento de la tasa de usuarios deben de brindar una buena calidad de servicio (Victor, Joy y Endurance, 2020, p. 386).

Por otro lado, Barrantes et al. (2011) señalan que las áreas periurbanas que tienen baja densidad de población son las que se ven afectadas con las escasas infraestructuras móviles debido a costos elevados para las empresas de telecomunicaciones. Incluso si se invierte, solo se cubre el centro poblado o parte de ella, lo que causa problemas de cobertura y degradación de la señal.

Ante lo mencionado previamente existen algunas soluciones que pueden solventar los problemas de cobertura y que pueden ser implementadas por los usuarios para poder mejorar estas deficiencias que suelen ocurrir en las zonas periurbanas, dentro de los cuales se destaca el uso de repetidores celulares activos. Fundamentalmente estos dispositivos consisten en dos partes, la primera se encarga de recepción de la señal del transmisor, y para el segundo componente tiene la función de hacer una retransmisión de la señal. (Galarza Sancán, R. A.,2022)

El Distrito de Santiago de Cao es un centro poblado que corresponde a una zona periurbana ubicada en el Departamento La Libertad en la provincia de Ascope en la zona norte del Perú. Se caracteriza por tener una baja densidad poblacional aproximadamente de 3000 habitantes incluyendo los anexos de este distrito, estando enmarcada en la realidad de ser atendida por una sola estación celular. Esta situación se identificó mediante un reporte de medición drive test G-NetTrack realizado en todo el distrito, donde los resultados revelaron problemas en la calidad de señal, reflejándose en niveles extremadamente bajos de señal en la mayor parte del distrito. En ese sentido se pudo diagnosticar que la población de Santiago de Cao carece de calidad de servicio. En este contexto el repetidor celular activo, se presenta como una alternativa de posible solución en cuanto a mejoramiento de la calidad de servicio para los usuarios y los parámetros de calidad de la red de acceso.

b. Identificación del problema

En el orden de ideas antes mencionado, habiéndose identificado que, en el distrito de Santiago de Cao, los operadores solo disponen de una EBC y dentro del contexto de deficiencia en la calidad servicio, se abrió para los autores, una importante posibilidad de investigación al poder proponer un análisis acerca del comportamiento de parámetros KPI con la aplicación de un repetidor como una alternativa de solución en la mejora de la calidad de servicio para los usuarios

En tal sentido los autores propusieron describir a partir del proceso de mediciones, el comportamiento de la señal y las variaciones de los parámetros de performance downlink. Para ello se propuso realizar estas mediciones en ambientes indoor del Distrito de Santiago de Cao.

c. Formulación del problema

¿Cómo se comportan los parámetros KPI en la red 3G-4G con la aplicación del repetidor de señal celular en zonas indoor de Santiago de Cao, Trujillo?

1.2 Objetivos de la investigación

a. Objetivo General

Describir el comportamiento de los parámetros KPIs al usar un repetidor de señal en una zona periurbana indoor de Santiago de Cao.

b. Objetivos Específicos

- Seleccionar una metodología de medición aplicable a parámetros KPIs móviles en entornos Indoor.
- Determinar los parámetros KPIs en la red de acceso 3G-4G mediante mediciones sin el uso de Repetidor en zonas Indoor de Santiago de Cao.

- Determinar los parámetros KPIs en la red de acceso 3G-4G mediante mediciones con el uso de Repetidor en zonas Indoor de Santiago de Cao.
- Comparar los indicadores KPIs obtenidos bajo criterio de aceptabilidad.

1.3 Justificación de la Investigación

La investigación se pudo justificar académicamente porque se analizó una problemática real con las herramientas proporcionadas en la formación de pregrado, a través de las herramientas de medición de KPIs de uso libre que pueden ser utilizadas para diagnosticar los parámetros resultantes en el uso de soluciones típicas para interiores como son el uso de repetidores celulares. También se pudo justificar técnicamente porque permitió un aporte para profundizar sobre el alcance y conocimiento de parámetros específicos del comportamiento de la red 3G-4G, en particular en la zona periurbana Santiago de Cao que también puede ser proyectado a otras zonas de Trujillo con similares características, e inclusive a otras zonas del Perú.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes de la Investigación

- a. (Victor, Joy y Endurance, 2020, p. 386), en el artículo de investigación “Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures” concluye que la intensidad de señal recibida y la radiación electromagnética de arquitecturas 2G, 3G, 4G, se centraliza en dos factores, tales como la distancia desde la torre y la interferencia. Para las mediciones emplearon la aplicación “Cell Tower Info and Signal App” en un teléfono móvil Android 4G y un medidor de intensidad de campo de 3 ejes RF de Tenmars teniendo en cuenta los indicadores KPI para determinar la relación significativa entre la intensidad de la señal recibida, nivel de radiación electromagnética y la distancia de la estación transceptora base. El aporte a considerar son los rangos de optimización y aceptación de los indicadores KPI para la red 3G Y 4G, lo cual servirá como referencia para el presente trabajo.
- b. Zhang, L., Ni, Q., Zhai, M., Moreno, J., & Briso, C. (2019). en su artículo de investigación titulado “An Ensemble Learning Scheme for Indoor-Outdoor Classification Based on KPIs of LTE Network.” presentaron un Machine Learning orientado a la clasificación KPI en la red LTE, donde se extrajo variables a partir de los indicadores de rendimiento KPI, se recopilaron datos celulares mediante pruebas de campo con un sistema móvil típico, a partir de lo cual se propuso un esquema de aprendizaje para clasificar los informes de medición de las variables KPI que se extraen de la red, evaluando la importancia de las variables más resaltantes. El aporte que se considera en el trabajo realizado es la comparativa realizada entre los parámetros KPI en exterior e interior en la red LTE los cuales servirán como referencia para la presente investigación.
- c. Wu, C.-p., & Baker, K. R. (2012). en el artículo “Comparison of LTE Performance Indicators and Throughput in Indoor and Outdoor Scenarios at 700 MHz..” se enfocaron en comparar el rendimiento de los indicadores importantes KPI LTE tanto en escenarios en interior y

exterior. Para lograr esto se realizaron mediciones en diferentes ubicaciones recopilando datos cada cinco minutos en los emplazamientos. En la prueba de datos se usa un dispositivo LTE comercial y el software E7464A para la descarga simultánea de archivos. El principal aporte de esta investigación se centra en los parámetros temporales en la toma de datos, así como el análisis de los parámetros KPI comunes en la red LTE, además de la comparación en cuanto a rendimiento en exterior e interior. Estos elementos se considerarán como puntos de referencia para orientar y respaldar la investigación.

- d. Aragonés Salazar, N. J. (2019), en la tesis “Evaluación de parámetros de performance RF de una estación Open BTS bajo interferencia de un jammer SDR, mediante mediciones walk test realizadas en la banda de 900 MHz, en un ambiente indoor de la ciudad de Trujillo.” concluyó que la evaluación de parámetros performance RF de una estación Open BTS se centraliza en la performance de los parámetros KPIs, mediante pruebas de campo por medio de walk test que permitió identificar los parámetros con mayor degradación. Se considera como principal aporte los parámetros analizados tales como Rxl (calidad de voz), RQ (calidad de voz), MOS (mean Opinión score) lo cual sirve como referencia con la presente investigación.
- e. Gil Valeriano, F. G. (2017) en la tesis "Estudio del comportamiento de los KPI en campo de las soluciones In-Building DAS y LAMPSITE para una red de acceso 4G – LTE, en la ciudad de Trujillo (2016).”, se enfocó en identificar el comportamiento de parámetros KPIs en zonas con implementaciones in-bulding DAS y Lampsite, empleando mediciones de walk test en un celular de uso común para verificar la funcionalidad y calidad de red móvil, donde algunos indicadores presentan mayor alcance de cobertura, calidad y relación señal ruido. El aporte a considerar es el rango de aceptabilidad KPI, lo cual servirá como referencia para el presente trabajo.

2.2 Marco Teórico

2.2.1. Estación base celular

También denominada como site o emplazamiento, y de acuerdo a la tecnología que se usa cuenta con varios elementos, tales como el soporte de antenas, antenas para telefonía móvil y para enlaces microondas y cableado. Además, cabe resaltar que las estaciones usan macro celdas para zonas periurbanas y pico celdas para zonas de alta demanda como las ciudades principales (More, J., Trelles, J., & Pacheco, L. 2017)

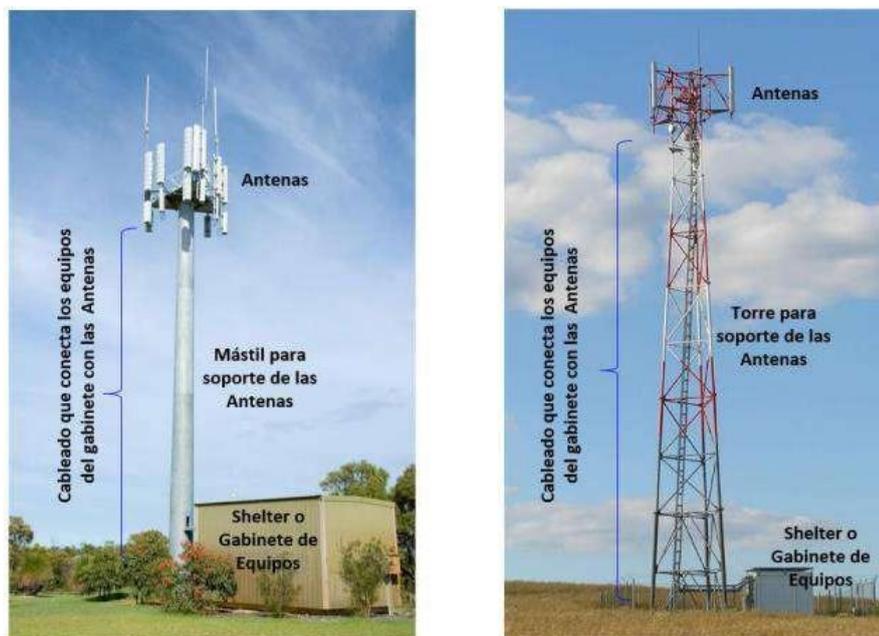


Figura 1: Estaciones base celular.

Fuente: OSIPTEL (2017)

2.2.2 Repetidor señal celular

Es un dispositivo que tiene como principio de funcionamiento el de un amplificador bidireccional, este es usado para poder propulsar con mucha más potencia la señal celular para ello este está compuesto por una antena receptora, el amplificador y la antena usada para la retransmisión. Tal y como se muestra en la Figura 2 (Lazo Llancachagua, L. A. 2015).

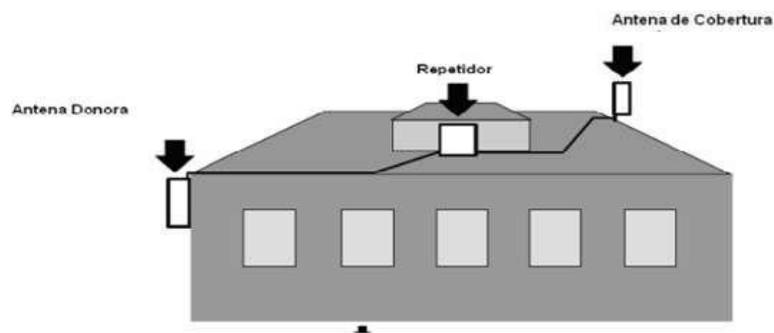


Figura 2: Partes de Repetidor celular.

Fuente: Aguirre León, L. M. (2010)

Citando a Aguirre León, L.M. (2010) Estos se utilizan para mejorar la cobertura de manera outdoor en carreteras para así brindar una continuidad de cobertura, pero debido muchas veces a las condiciones geográficas esta señal se degrada haciendo inaccesible establecer una comunicación, pero también es posible que se aplique de manera indoor en las casas o lugares donde la señal de la estación base celular no llega de manera óptima o inclusive es casi nula.

2.2.3 Tecnología 3G

Esta tecnología de tercera generación que está basada en la W-CDMA que es utilizado por los teléfonos móviles lo que es de suma importancia para poder brindar los servicios de voz y de datos, esta tecnología nos brinda una mayor velocidad y mayor capacidad de transmisión de información. Cabe destacar que la Velocidad de datos se comporta de manera única para la operadora y el comportamiento a una elevada y baja movilidad. (Cruz Alberca, K. P. 2019).

En este servicio se han implementado nuevas tecnologías tales como correos electrónicos, alta transferencia de datos, multimedia e internet móvil, además se permite una velocidad de transferencia de bajada de 2Mbps y en promedio 320 Kbps, inclusive la calidad de voz es muy similar a la calidad con las comunicaciones de teléfono fijas (Cano Osornio, L. 2014).

2.2.4 Tecnología 4G

Según (Barrantes Vera, B. G., Saenz Ravines, J. C. 2019), Al aumentar la tasa de transferencia de datos móviles, se hace referencia a la cuarta generación, en esta tecnología ya se puede apreciar una mejora notable en cuanto videollamadas en tiempo real con una gran disminución en el problema que ocurría en la tecnología 3g las pérdidas de conexión, la característica más notable de esta tecnología son sus altas velocidades de transmisión en un rango de 20 Mbps a 1Gbps

2.2.5 Drive test

El proceso tiene como principal función evaluar el campo mediante un recorrido, se efectúa en las redes celulares de manera independiente de la tecnología ya sea LTE, UMTS, etc. Su variación también ha definido como prueba el caminar por las áreas de interés para el recojo de datos. (Gallardo,2013).

2.2.6 Parámetros KPI

Un KPI es un indicador Clave de Rendimiento conocido en por sus siglas en inglés como Key Performance Indicator, estos indicadores están sujeto a valores que se pueden medir y comparar con la finalidad de poder determinar el desempeño del proceso. (Barrantes Vera, B. G., Saenz Ravines, J. C. 2019)

2.2.7 MOS

Este parámetro es muy importante ya que se utiliza para medir la calidad de las redes telefónicas. Esta Prueba consiste en preguntar a la persona que participaba en la toma de datos, su opinión sobre calidad de audio recibido a lo largo de la llamada. (Molina Villalta, K. A. 2021). En la tabla 1 se muestra los criterios para evaluar el rendimiento de la señal.

Tabla 1: Categoría MOS y Rango de aceptabilidad

MOS	COLOR	CATEGORÍA	RANGO ACEPTABLE DE KPI
1-2	Red	malo	5%
3	Yellow	regular	95%
4-5	Green	excelente	

Fuente: Aragonés Salazar, N. J. (2019)

2.2.8 RSSI

Received Signal Strength Indicator (RSSI), se refiere a la interferencia recibida y también a la calidad del canal, este parámetro comprende dos tipos de ruido, el ruido generado por la propia antena debido a un problema de hardware además por el gran exceso de tráfico en la celda y el ruido externo relacionados con otros amplificadores de señal, equipos, etc

Un valor muy elevado de interferencia puede causar que la señal se deteriora notablemente, teniendo como efecto las desconexiones de llamadas, caídas de llamada en curso, donde la característica más notable cuando existe demasiada interferencia es escuchar la típica voz robótica de la voz de destino. (González Morón, A. P. 2023)

En el caso para uplink, cuando es un nivel bajo por debajo de -115 dBm, esto significa que la señal que tiene proviene del terminal móvil del usuario tiene algunos problemas en su trayecto y este no está siendo bien recibida viendo afectado así el performance de la antena. (Baviera Martínez, C. 2023)

A continuación, se muestran en la Tabla 2 rangos de valores RSSI estudiados, donde se clasifica la intensidad de la señal de acuerdo a indicadores de excelente hasta sin señal

Tabla 2: Rango de valores RSSI

RSSI	INTENSIDAD SEÑAL
≥ -65 dBm	excelente
-65dBm a -75 dBm	Bien
-75 dBm a -85 dBm	Regular a Pobre
-85 dBm a -95 dBm	Señal Pobre
≤ -95 dBm	Sin señal

Fuente: Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 2(3), 386-396

Tabla 3: Rango Aceptabilidad RSSI

R.Aceptable 1	R.Aceptable 2
> -75 dBm 100%	> -65 dBm 95%

Fuente: Gil Valeriano, F. G. (2017).

2.2.9 RSRP

También conocido como nivel de potencia LTE o potencia recibida de la señal de referencia, es la potencia de la señal que es recibida por un dispositivo móvil desde una torre celular.

El dispositivo móvil usa este indicador ya que le permite determinar qué torre proporciona la señal más intensa y así seleccionar la más óptima para establecer su comunicación.

Este indicador evalúa la calidad del enlace entre el celular y la torre, cabe recalcar que un valor más alto indica que la señal es mucho más fuerte y por tal efecto trae consigo mejor cobertura y altas velocidades de transferencia de datos, y cuando el indicador es bajo, pues indica una señal mucho más débil, lo que trae consigo llamadas interrumpidas, rendimiento de la red bajo. (Aras Technologies ,2018)

A continuación, se muestran en la Tabla 3 rangos de valores RSRP estudiados, donde se clasifica la intensidad de la señal de acuerdo a indicadores de excelente hasta sin señal.

Tabla 4: Rango de valores RSRP

RSRP	INTENSIDAD SEÑAL
≥ -80 dBm	excelente
-80 dBm a -90 dBm	Bien
-90 dBm a -100 dBm	Regular a Pobre
≤ -100 dBm	Sin señal

Fuente: Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 2(3), 386-396

A continuación, se muestran en la Tabla 4 rangos de aceptabilidad para el parámetro RSRP

Tabla 5: Rango Aceptabilidad RSRP

R.Aceptable 1	R.Aceptable 2
> -100 dBm 100%	> -90 dBm 95%

Fuente: Gil Valeriano, F. G. (2017).

2.2.10 RSCP

Received Signal Code Power (RSCP), este parámetro indica la potencia de señal recibida, lo que determina la capacidad que tiene cada celda en cuanto se refiere a cobertura dependiendo de la frecuencia portadora, este parámetro cuenta con la unidad de dBm y es usada para poder determinar las pérdidas ocurridas en una trayectoria. Este indicador de manera general es usado para indicar la intensidad de la señal, criterio en la entrega de enlace descendente de energía y para poder juzgar la calidad de la recepción (Escobar Chamba, A. N. 2021).

Tabla 6: Rango de valores RSCP

RSCP	INTENSIDAD SEÑAL
-60 a 0	excelente
-75 a -60	Bien
-85 a -75	Regular
-95 a -85	pobre
-124 a -95	Muy pobre

Fuente: Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 2(3), 386-396

Tabla 7: Rango Aceptabilidad RSCP

R.Aceptable 1	R.Aceptable 2
>-75	>-60
100%	95%

Fuente: Gil Valeriano, F. G. (2017).

2.2.11 RSRQ

Este es un indicador sobre la calidad de la señal de referencia recibida. Su medición se basa en los otros parámetros KPI, siendo estos el RSSI Y RSRP, donde este último determina la calidad de la señal y el RSSI determina la interferencia o ruido. Este Parámetro está definido por la siguiente fórmula: $RSRQ = N \times RSRP / RSSI$, donde el N es el número de recursos físicos sobre los cuales se mide el RSSI, en otras palabras, es similar al ancho de banda del sistema. En la Tabla 6 se observa el rango de valores de RSRQ.

Tabla 8: Rango de valores RSRQ

RSRQ	INTENSIDAD SEÑAL
≥ -10 dB	excelente
-10 dB a -15 dB	Bien
-15 dB a -20 dB	Regular a Pobre
≤ -20 dBm	Sin señal

Fuente: Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 2(3), 386-396

A continuación, se muestran en la Tabla 9 rangos de aceptabilidad para el parámetro RSRQ

Tabla 9: Rango Aceptabilidad RSRQ

R.Aceptable 1	R.Aceptable 2
> -15 dB 100%	> -10 dB 95%

Fuente: Gil Valeriano, F. G. (2017).

2.2.12 SINR

Según Gil Valeriano, F. G. (2017), nos indica que este parámetro es la composición de la señal de interferencia y la amplitud de nivel de ruido, donde un valor que se considera óptimo es el de mayor a 10 dB, en la Tabla 10 se encuentra la clasificación del parámetro SINR clasificado según su rango de valores.

Tabla 10: Rango de valores SINR

SINR	INTENSIDAD SEÑAL
≥ -20 dB	excelente
-13 dB a -20 dB	Bien
0 dB a 13 dB	Regular a Pobre
≤ 0 dB	Sin señal

Fuente: Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 2(3), 386-396

A continuación, se muestran en la Tabla 11 rangos de aceptabilidad para el parámetro RSRQ

Tabla 11: Rango Aceptabilidad SINR

R.Aceptable 1	R.Aceptable 2
>10dB 100%	>15dB 95%

Fuente: Gil Valeriano, F. G. (2017).

2.3 Marco Conceptual

a. KPI

Se define como los indicadores claves de rendimiento.

b. RSSI

Es la potencia total de todo el ruido o interferencia en todas las áreas

c. RSRQ

Es la interferencia y la intensidad de la señal deseada. En tal caso como esta es la relación de dos indicadores de potencia distintos, el RSRQ tiene la unidad de dB y tiene un valor negativo

d. RSRP

Se define como la potencia recibida de la señal de referencia, siendo este parámetro el promedio en W de los elementos que transmiten señales de referencia

e. RSCP

Se define por sus siglas en inglés como Signal Code Power. Siendo esta la fuerza de la señal que es procesada por el móvil, siendo necesario para estimar la intensidad de la señal que recibimos

f. SINR

Se define como la relación entre la potencia de la señal y la potencia de ruido no deseado, las señales no deseadas comprenden el ruido externo e interno.

g. EBC

Se define como la estación base celular dispositivo que proporciona cobertura a un área conocida como celda.

h. Optimización

Es un proceso que tiene como objetivo la mejora del rendimiento y eficiencia y calidad de las redes para garantizar la mejor experiencia al usuario y brindar una alta calidad en todas las áreas de cobertura.

i. Indoor

En telecomunicaciones se hace la cobertura procedente del exterior.

j. Tasa de datos (Throughput)

De acuerdo a un artículo publicado por la 3GPP, indicado en la tesis de Gil Valeriano (2016) La tasa de velocidad de descarga dentro de una red de acceso y que para LTE teóricamente se puede llegar a 100 Mbps y con el uso de MIMO hasta 200 Mbps.

2.4 Hipótesis

a. General

Los Parámetros KPI de las redes 3G y 4G muestran un mejor desempeño con la aplicación de repetidor celular activo en zonas periurbanas indoor de Santiago de Cao, Trujillo.

2.5 Variables de estudio

a. Variable 01: Repetidor de señal Celular en zonas periurbanas

Definición Conceptual

Es un amplificador usado para mejorar el área de cobertura y la calidad de la señal en una red de telefonía móvil; donde su principio de funcionamiento es amplificar la señal del móvil y transmitirla con mayor potencia para mejorar la recepción de llamadas y una conexión de datos más rápida.

Indicadores.

- Ganancia de antena de cobertura
- Ganancia de antena Donadora
- Umbral Mínimo de señal Donadora

b. Variable 02: Parámetros KPI

Definición Conceptual

Son indicadores clave de desempeño, que son utilizados para hacer un diagnóstico del rendimiento en redes 3G y 4G, en términos de velocidad de datos, calidad de señal, tasa de desconexión y calidad de servicio.

Indicadores.

- RSSI
- RSRP
- RSRQ
- SINR
- RSCP
- MOS
- Throughput downlink

c. Operacionalización de las variables

Tabla 12: Operacionalización de la Variable 01

VARIABLE 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Repetidor de señal celular en zonas periurbanas	A partir de un umbral mínimo de señal recibida por una antena donadora, el repetidor amplifica tanto el uplink como el downlink de una EBC remota, permitiendo ampliar el alcance de las señales redireccionándolas con el empleo de una antena cobertura.	Umbral Mínimo de señal Donadora	Ficha de observación	dBm
		Ganancia de antena donadora	Ficha de observación	dB _i
		Ganancia de antena cobertura	Ficha de observación	dB _i
		Rango de amplificación	Ficha de observación	dB

Tabla 13: Operacionalización de la Variable 02

VARIABLE 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Parámetros KPI.	Los indicadores son métricas empleadas para medir el performance de las redes móviles 3G y 4G en las áreas periurbanas de Santiago de Cao, en términos de velocidad, calidad de señal y servicio.	RSSI	Ficha de observación	dBm
		RSRP	Ficha de observación	dBm
		RSRQ	Ficha de observación	dB
		SINR	Ficha de observación	dB
		RSCP	Ficha de observación	dB
		MOS	Ficha de observación	adimensional
		Throughput	Ficha de observación	Mbps

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

III. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1 Tipo y nivel de investigación

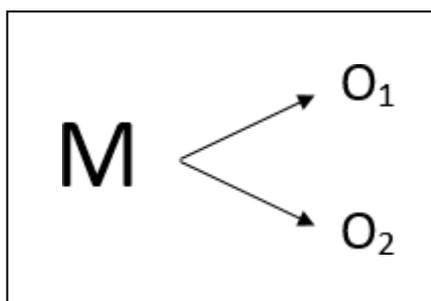
Es de nivel descriptivo, dado que se busca hacer una descripción del comportamiento de los parámetros KPI con la aplicación de un repetidor de señal celular en Santiago de Cao.

3.2 Población y muestra de estudio

Constituida por todos los escenarios indoor en los que sea posible emplear un repetidor dentro de una zona periurbana como Santiago de Cao. Por tratarse de una condición no determinística no existe un número definido de escenarios indoor en los que se pueda cuantificar la aplicación de repetidor y medición de sus parámetros.

De acuerdo a la disponibilidad de acceso, se van a utilizar 4 escenarios indoor en los cuáles, serán evaluados los KPIs, con la presencia de repetidor y sin la presencia de este. Estos 04 escenarios constituyen la muestra a emplear.

Debido a las necesidades de medición y procesamiento de la gran cantidad de datos que se van a recopilar, los autores justificaron la presencia de dos investigadores



M : Número de muestras

O₁ : Observación indoor de parámetros KPIs sin repetidor celular

O₂ : Observación indoor de parámetros KPIs con repetidor celular

3.3 Diseño de Investigación

Es de tipo descriptiva simple, de campo. Se realizó a través de mediciones haciendo uso de software para la toma de datos de los parámetros KPI.

a. Procedimiento

- Selección del protocolo de medición basándose en antecedentes de la IEEE.
- Pruebas de campo y recopilación de información de KPIs en 4 escenarios Indoor sin el uso de repetidor.
- Pruebas de campo y recopilación de información de KPIs en 4 escenarios Indoor con el uso de repetidor.

3.4 Recopilación de datos del distrito de Santiago de Cao

El distrito Santiago de Cao se encuentra en el departamento de La Libertad, este distrito es uno de los siete que conforman la provincia de Ascope, con una altitud 32 m.s.n.m. que cuenta con una densidad poblacional aproximada de 20000 habitantes contando todos sus anexos de este distrito y una superficie geográfica de 126.72 km² como se observa en la figura 3, el área estudiada cuenta con 2090 habitantes según censo realizado por INEI en el año 2017. Existe dos principales actividades económicas que destacan a Santiago de Cao que es la pesca y la agricultura de caña de azúcar. Que esta última destaca de manera significativa y se puede ver reflejado en los extensos campos de cultivo que rodean al distrito.

Santiago de Cao cuenta con dos postas médicas, una por lado de ESSALUD y la otra por parte de MINSA. Así mismo cuenta con centro educativo para cada nivel de estudio, Jardín "Mi cielito azul", la escuela "Niño Jesús de Praga" y el colegio "Manuel Arévalo". El municipio se encuentra en la plaza de armas donde también está ubicada a la parroquia Santiago Apóstol. En la figura 3 se visualiza una vista satelital del poblado de Santiago de Cao.



Figura 3: Vista satelital de la zona de interés.

Fuente: Google Earth (2023)

3.5 Recopilación de datos de EBC

El distrito tiene la característica de contar con una EBC para cubrir la mayor parte de su terreno tal como se muestra en la Figura 4 y ubicada a las afueras del poblado y hacia donde apuntan los sectores instalados. La EBC, está ubicada en la empresa Trupal, donde a sus alrededores cuenta con una gran vegetación, sus coordenadas de la EBC son -7.958141, -79.249907. Cabe recalcar que no cuenta con grandes edificaciones a su alrededor que genere una obstaculización en la transmisión de señal es la única EBC encargada de brindar cobertura a 1.5Km a la redonda.

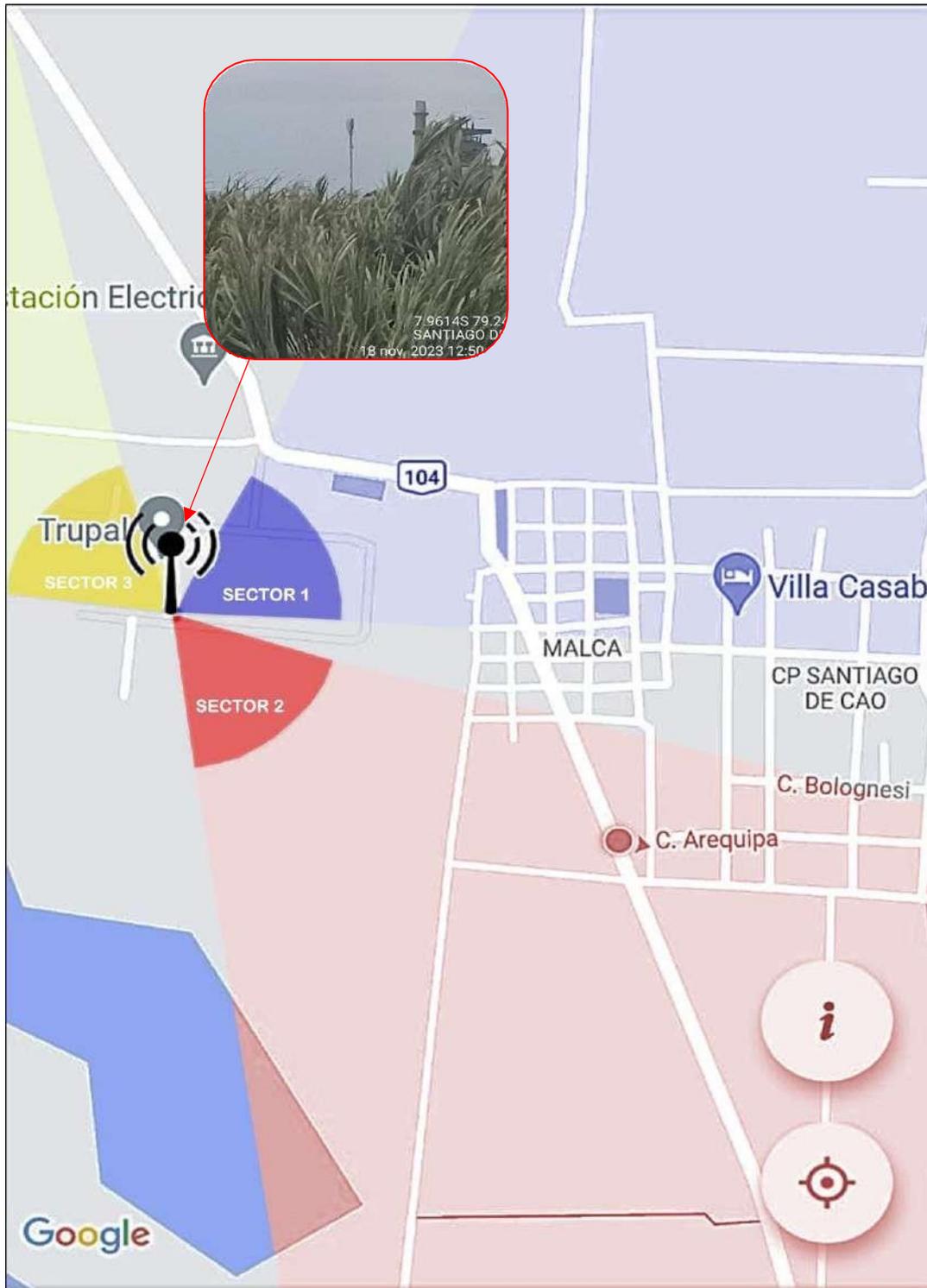


Figura 4: Ubicación de EBC y sectores en el distrito de Santiago de Cao.

3.6 Diagnóstico previo por Drive Test outdoor

En el distrito de Santiago de Cao, se realizó un diagnóstico previo de la degradación de la señal debido a que esta cuenta con una sola estación Base celular para abastecer a todo el distrito. Para ello se realizó una prueba drive test por todo el distrito para medir la potencia de la señal, así como su calidad. Esta Prueba permitió evaluar las áreas que tienen problemas de recepción tal y como se puede observar en la Figura 5

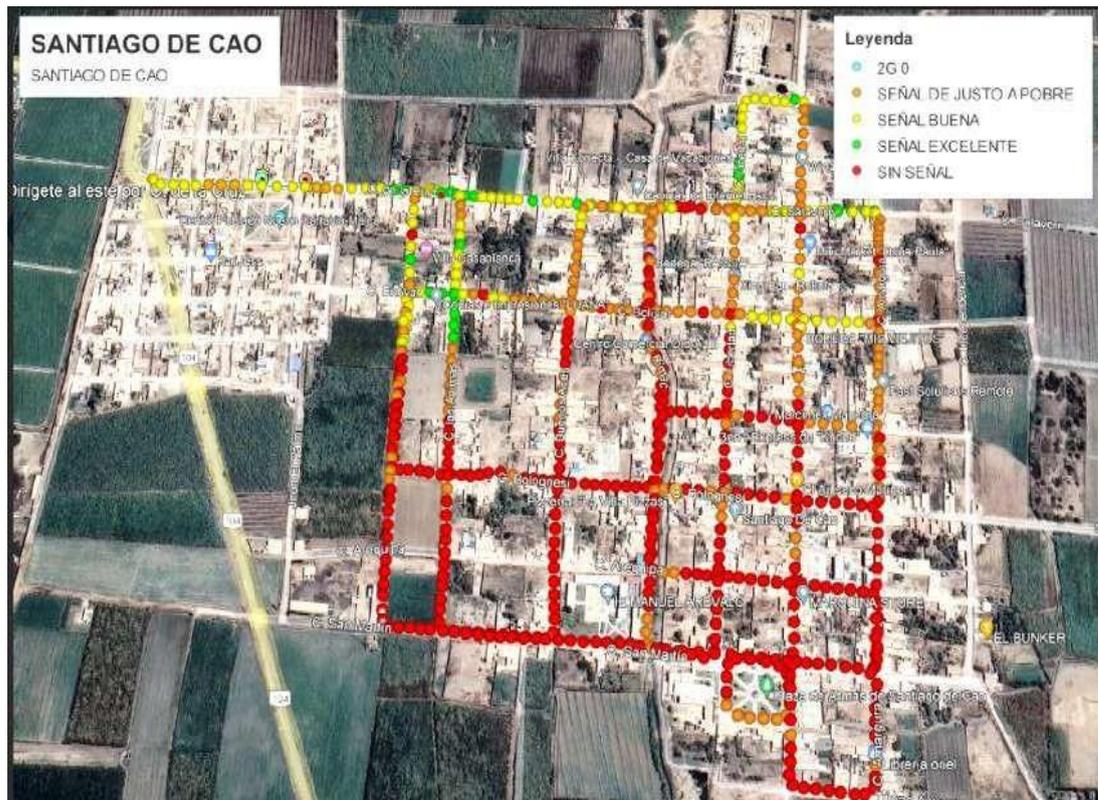


Figura 5: Prueba drive test Santiago de Cao.

a) Datos de Repetidor

El repetidor empleado para la investigación es de la marca SHENZHEN, que se caracteriza por su flexibilidad para trabajar en la red 3G y 4G amplificando las bandas de frecuencia 700/850/1900/2100 MHz. La Tabla 14 brinda un resumen de las especificaciones. Tales como sus parámetros de potencia, niveles de señal, etc.

Tabla 14: Especificaciones técnicas de repetidor de señal

MARCA	shenzhen
Red Trabajo	GSM 2G 3G 4G LTE
Frecuencia	700 MHz a 2100MHz
Ganancia	60-70 dBi
Max.Potencia	20+-3dBm
Coverage	500m ²
Temperatura	-10°c +60°c
Max. Potencia salida	20 ± 30 dBm
Tipo de instalacion	Instalación en Pared

b) Forma de instalación de repetidor

En la figura 6 se tiene la forma correcta de instalación del repetidor de señal para el correcto funcionamiento del mismo. Resaltar que la instalación del repetidor de señal se realizó en los cuatros ambientes elegidos.



Figura 6: Diagrama de instalación del repetidor de señal.

c) Elección del protocolo de medición de datos

Para la elección del protocolo de medición se tuvieron como referencia, el trabajo de investigación realizado por Wu, C. -p., & Baker, K. R. (2020) y la investigación Víctor et al. (2020). Ambas investigaciones emplearon dispositivos de bajo costo para la recopilación de información KPIs. Para la elección del protocolo en la presente investigación, se tomaron en cuenta cinco criterios:

C1. Orientación a la medición de KPIs 3G-4G

Respecto de este criterio, el protocolo de medición de Víctor et al. (2020) brinda criterios de medición, clasificación y aceptabilidad de parámetros KPI's, en tanto que; el protocolo de Wu, C. -p., & Baker, K. R. (2020), brinda 04 niveles de clasificación de parámetros KPI's.

C2. Orientación a mediciones en interiores (indoor)

Respecto de este criterio, el protocolo de medición de Víctor et al. (2020) está más orientado a mediciones tipo drive test, en tanto que el protocolo de Wu, C. -p., & Baker, K. R. (2020), se encuentra orientado tanto para mediciones en exteriores como interiores.

C3. Uso de herramientas de medición de bajo costo

Respecto de este criterio, el protocolo de medición de Víctor et al. (2020) empleó como dispositivo de captura de datos, un móvil celular android, en tanto el protocolo de Wu, C. -p., & Baker, K. R. (2020), empleó un modem USB 3G-4G LTE, junto al dispositivo E74 64A, el cual es un equipo profesional de optimización celular.

C.4. Rango de parámetros KPI 2G 3G 4G

Respecto de este criterio, el protocolo de medición de Víctor et al. (2020) emplea para el post procesamiento criterios de clasificación y aceptabilidad bastante bien detallados, en tanto el protocolo de Wu, C. -p., & Baker, K. R. (2020), emplea criterios más genéricos de clasificación dado que emplea una herramienta de post procesamiento ligada al equipo de optimización.

Con todo lo detallado anteriormente, se presenta la Tabla 15 en donde se observa la puntuación referencial (1: Deficiente, 2: Regular, 3: Bueno) por cada característica evaluada, dando la puntuación final, ventaja al protocolo de Victor, Joy y Endurance (2020), el cual fue finalmente el protocolo de medición empleado en el presente trabajo.

Tabla 15: Cuadro comparativo de artículos de investigación

CARACTERÍSTICAS	Wu, C. -p., & Baker, K. R.	Victor, Joy y Endurance
Orientado a medición de KPIs 3G-4G	2	3
Orientado a mediciones en interiores (indoor)	3	2
Uso de herramientas de medición de bajo costo	2	3
Rango de parámetros KPI 2G 3G 4G	2	3
TOTAL	9	11

d) Toma de medición de datos

Para el presente trabajo se consideraron los rangos de calidad de acuerdo al protocolo de Victor et al (2020), resaltando que la primera etapa de recopilación de los datos, se realizó sin el repetidor a fin de apreciar el comportamiento original de la señal. La segunda parte comprendió la toma de medidas con el empleo del repetidor de señal indoor. Para la medición de cada uno de los 7 KPIs se definieron 03 escenarios de red: modo iddle (standby), modo tráfico voz, y modo de datos. Estas mediciones se realizaron en 4 escenarios de zonas indoor de Santiago de Cao, con un numero de 200 muestras por cada ambiente indoor medido.

Los ambientes indoor considerados fueron 04 espacios de uso común y doméstico en viviendas del distrito Santiago de Cao. Dentro de estos espacios de uso común se pueden considerar: Sala, cocina, patio y habitaciones, ya sea en 1er o 2do piso.

Para la realización de la toma y guardado de datos de manera ordenada se optó por seccionar cada ambiente en cuadro (zona1- zona4) con muestras en cada uno de estos empezando por la posición P1 hasta la posición final P100 Correspondiente para cada lugar tal y como se puede apreciar en la Figura 7.

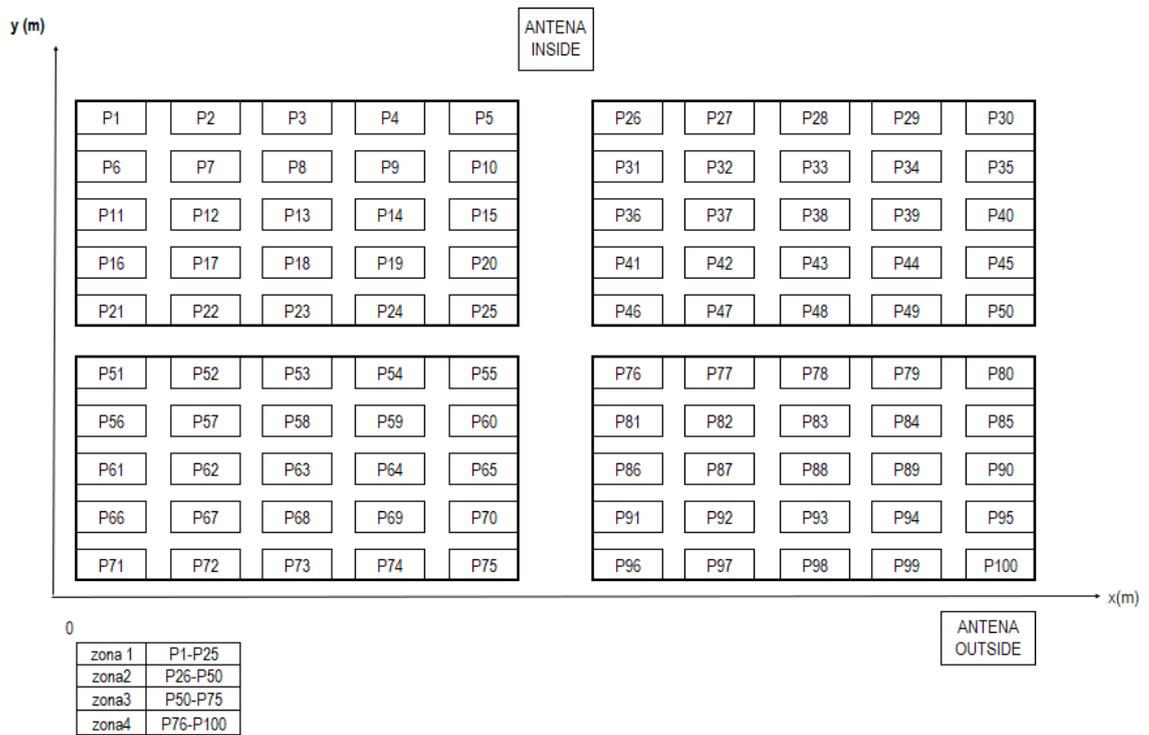


Figura 7: Puntos donde se realizó las pruebas.

En todos los ambientes indoor se realizaron tomas de datos que permitieron evaluar la variabilidad de la señal en áreas específicas de cada ambiente indoor seleccionado.

En los escenarios indoor se procedió a instalar el repetidor de señal celular, ubicando la antena donadora a una altura de aproximadamente de 5 metros, asegurando así una línea de visión directa y sin obstáculos con la EBC. Del mismo modo la antena cobertura se colocó a una distancia de 2 metros con respecto a la antena donadora. Esto para poder reducir acoplamiento de señales entre las antenas del repetidor de señal. El mejor lugar para ubicar la antena con la señal ya amplificadas y para poder potenciar la cobertura en todas las direcciones dentro del lugar de pruebas fue ubicarlo en la parte central de todos los ambientes.

e) Descripción general de ambientes indoor

e.1. Ambiente 01, espacio cerrado

Está ubicado a la entrada de una vivienda, pudiendo corresponder al ambiente típico de una sala techada. Las medidas de este ambiente son 4.10m de ancho y 3m de fondo, con una altura de 2.40 m. La ubicación de la antena exterior (donadora) se dio orientada hacia la EBC, y la antena interior (cobertura) se ubicó en la parte posterior central del ambiente, a fin de aprovechar su patrón de radiación sectorial, tal como se observa en la figura 8

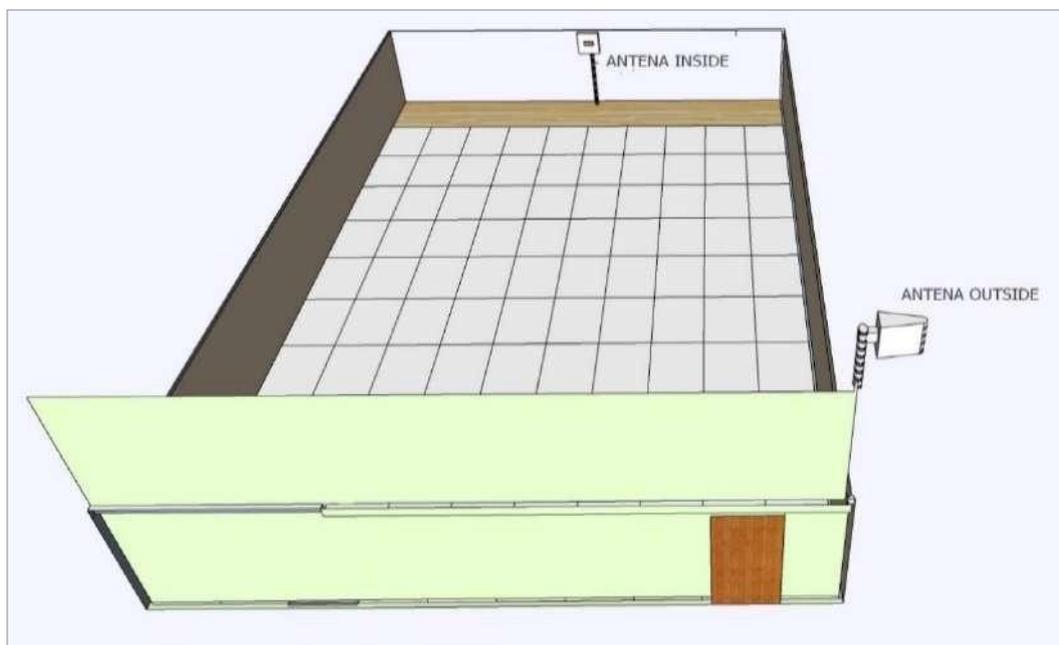


Figura 8: Ambiente indoor 01.

e.2. Ambiente 02 espacio abierto

Este espacio corresponde a un área libre de objetos y sin techo (abierto), tal como podría ser un patio en el interior de una vivienda ubicado entre dos ambientes. Las medidas de este lugar son 5.60m de ancho, 3.90m de fondo con paredes circundantes de altura 2.40m. La ubicación de las antenas exterior e interior son similares al primer ambiente, tal como se observa en la Figura 9.

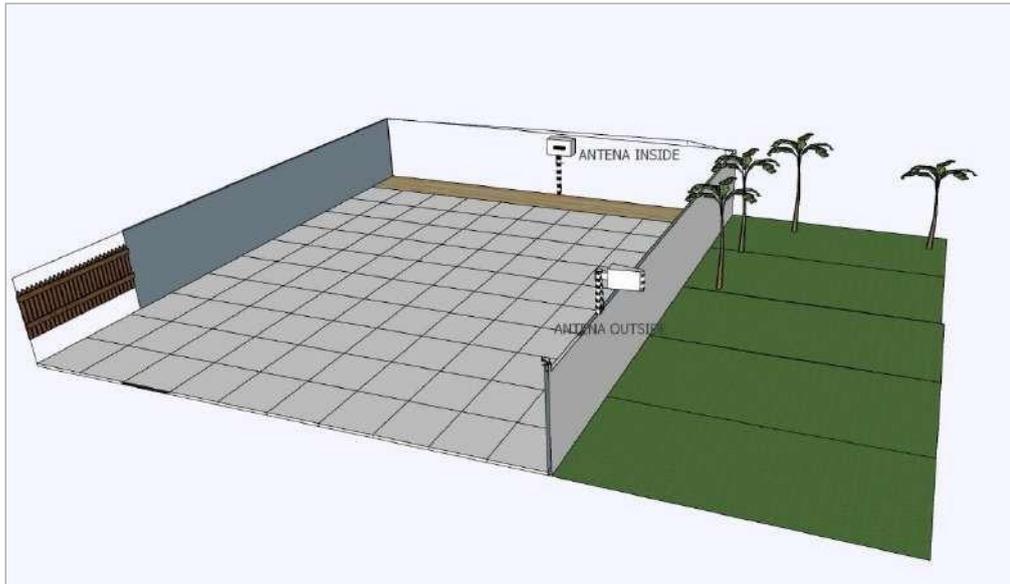


Figura 9: Ambiente indoor 02.

e.3. Ambiente 03 espacio cerrado confinado

Este espacio se encuentra ubicado en la planta baja y es un ambiente techado y pequeño que el caso particular de la vivienda evaluada corresponde al ambiente de cocina. Cuenta con un ancho de 3.10m y un fondo de 3.2m, asimismo el grosor de las paredes conserva la construcción original de adobe. La ubicación de las antenas exterior se puede observar en la figura 10.

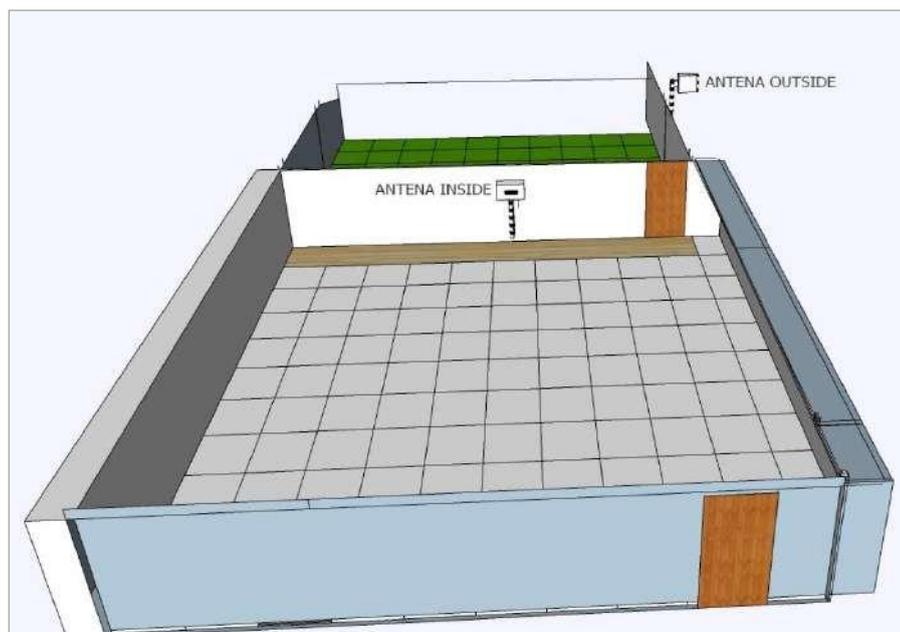


Figura 10: Ambiente indoor 03.

e.4. Ambiente 04 espacio cerrado en planta alta

Este ambiente corresponde a un espacio techado con ventanas ubicado en la segunda planta de una vivienda, pudiendo corresponder a una sala de estar o una sala de TV. Este ambiente cuenta con un ancho de 5 m y un largo de 3 m con pocos objetos en su interior. En la figura 11 se observa la ubicación de las antenas exterior (donadora) e interior (cobertura).



Figura 11: Ambiente indoor 04.

f) Reportes de medición de parámetros KPIs 3G-4G

La técnica usada para esta toma de datos fue walk test, que consiste en la recopilación de parámetros indicadores sobre la condición de calidad de red móvil desplazándose por los ambientes interiores de la vivienda. La medición de los KPIs se realizó tomando datos en fichas manuales en cada punto en los interiores del ambiente teniendo en cuenta un intervalo de 5 minutos entre cada toma de datos.

Como herramienta de apoyo a la medición se usó un software G-NetTrack versión Pro, para poder obtener información de los parámetros e indicadores sobre la calidad de la red móvil de la cobertura de la EBC. Asimismo, se utilizó un dispositivo celular de la marca Xiaomi modelo Note 10s que cuenta con un sistema operativo Android 11RP1A.200720.011. La aplicación G-NetTrack Pro proporcionó parámetros claves como Potencia de señal recibida (RSRP), Calidad de señal de referencia recibida (RSRQ), Indicador de intensidad de señal recibida (RSSI), relación de señal/ruido (SNR), Received Signal Code Power (RSCP), como se puede apreciar en la Figura 12. Dichos parámetros fueron esenciales para el desarrollo de esta investigación.

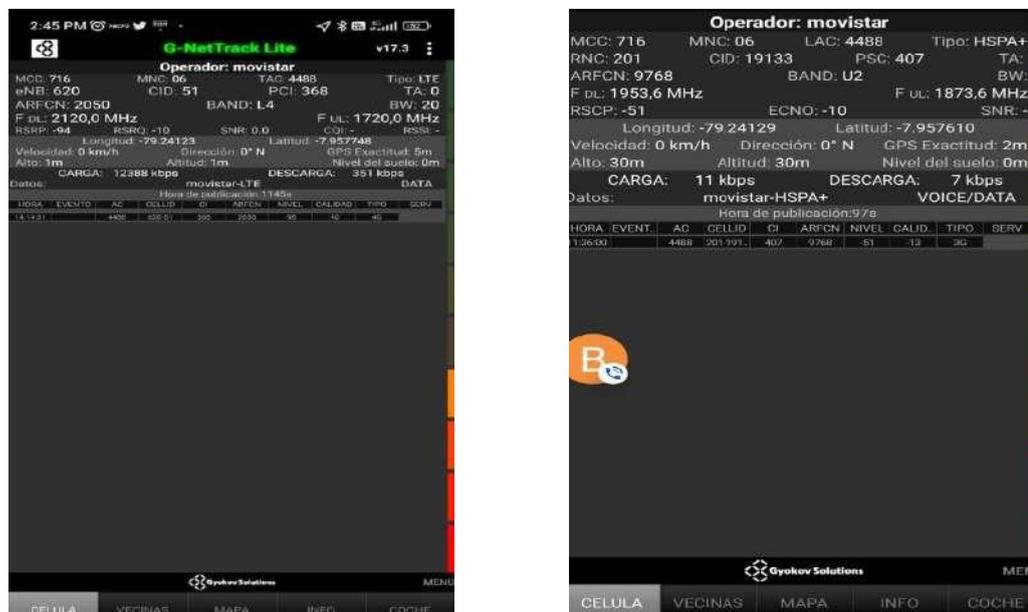


Figura 12: Registro de datos en red 4G.

Fuente: Aplicación G-Netrack Pro

El software también brinda otros parámetros importantes como son:

- FDL: Downlink, frecuencia conexión de bajada.
- FUL: Uplink, frecuencia conexión de subida.
- CID: Numero identificación de celda a las que se conecta el celular
- BAND: La banda de frecuencia.
- Drive: Referido al modo drive test. Es el reporte de los parámetros que se está tomando en el test.

g) Reporte de resultados obtenidos sin el repetidor celular en los 4 ambientes

Como se mencionó anteriormente, en cada escenario se realizó una división de 4 zonas y en cada zona se realizó la toma de 25 muestras, generando un total de 100 muestras por ambiente. En ese contexto se presenta un extracto de la zona 1 de los 4 ambientes, los parámetros obtenidos en la recolección de datos de calidad de red móvil de la EBC ubicada en Santiago de Cao.

AMBIENTE 1

Tabla 16: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 01

ZONA	n	STANDBY				LLAMADA		TEST DOWNLOAD				MOS					
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA 1	1	-104	-8	6	-93	LTE	-85	HSPA	6.88	-105	-10	6	-93	LTE		X	
	2	-99	-9	6	-91	LTE	-200	HSPA	12.09	-99	-9	7	-91	LTE		X	
	3	-100	-10	7	-91	LTE	-79	HSPA	5.53	-95	-10	5	-89	LTE			X
	4	-105	-10	6	-93	LTE	-87	HSPA	11,434	-99	-10	6	-91	LTE			X
	5	-100	-8	6	-91	LTE	-81	HSPA	15,173	-99	-8	7	-91	LTE		X	
	6	-101	-8	7	-91	LTE	-79	HSPA	8.22	-102	-9	5	-93	LTE		X	
	7	-98	-8	5	-91	LTE	-	HSPA	14.62	-97	-9	7	-89	LTE	X		
	8	-93	-9	5	-87	LTE	-83	HSPA	12.45	-96	-9	5	-90	LTE		X	
	9	-93	-8	6	-87	LTE	-87	HSPA	8.78	-91	-9	5	-87	LTE		X	
	10	-93	-9	6	-87	LTE	-75	HSPA	11.11	-93	-8	8	-87	LTE			X
	11	-97	-10	7	-89	LTE	-71	HSPA	13.06	-98	-9	7	-89	LTE			X
	12	-100	-9	6	-91	LTE	-85	HSPA	10.51	-100	-10	7	-91	LTE			X
	13	-100	-6	6	-91	LTE	-85	HSPA	14.43	-100	-13	6	-91	LTE			X
	14	-98	-8	8	-91	LTE	-81	HSPA	13.05	-94	-8	7	-89	LTE			X
	15	-98	-11	6	-91	LTE	-87	HSPA	12.8	-98	-13	5	-91	LTE		X	
	16	-106	-11	7	-95	LTE	-87	HSPA	10.5	-98	-7	8	-91	LTE		X	
	17	-96	-5	6	-91	LTE	-77	HSPA	13.31	-103	-13	9	-93	LTE			X
	18	-102	-9	6	-93	LTE	-85	HSPA	12.32	-103	-8	7	-93	LTE			X
	19	-100	-8	6	-91	LTE	-85	HSPA	10.00	-99	-9	7	-91	LTE		X	
	20	-102	-8	8	-93	LTE	-79	HSPA	13.16	-101	-10	7	-91	LTE		X	
	21	-102	-8	6	-93	LTE	-79	HSPA	10.44	-101	-10	7	-91	LTE		X	
	22	-102	-8	7	-93	LTE	-81	HSPA	11.34	-101	-10	6	-91	LTE			X
	23	-102	-5	6	-91	LTE	-77	HSPA	12.12	-101		6	-91	LTE			X
	24	-102	-5	9	-91	LTE	-73	HSPA	10.52	-103	-8	4	-93	LTE			X
	25	-102	-5	6	-91	LTE	-79	HSPA	10.97	-103	-8	6	-93	LTE		X	

AMBIENTE 02

Tabla 17: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 02

ZONA	n	STANDBY				LLAMADA			TEST DOWNLOAD					MOS			
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA 1	1	-93	-8	14	-89	LTE	-24	HSPA	24.9	-95	-9	13	-86	LTE			X
	2	-98	-9	12	-88	LTE	-24	HSPA	26.9	-99	-10	12	-88	LTE		X	
	3	-91	-8	11	-87	LTE	-24	HSPA	22.6	-95	-9	14	-89	LTE		X	
	4	-102	-9	13	-90	LTE	-24	HSPA	23	-102	-9	13	-91	LTE		X	
	5	-100	-10	11	-87	LTE	-24	HSPA	22.6	-98	-9	13	-89	LTE		X	
	6	-104	-9	10	-83	LTE	-24	HSPA	22.5	-102	-10	14	-91	LTE	X		
	7	-105	-10	12	-91	LTE	-24	HSPA	22.6	-102	-10	13	-91	LTE		X	
	8	-94	-9	14	-89	LTE	-24	HSPA	24.9	-96	-9	12	-86	LTE		X	
	9	-93	-10	13	-89	LTE	-24	HSPA	24.2	-94	-9	12	-85	LTE	X		
	10	-94	-9	12	-86	LTE	-24	HSPA	19.2	-94	-9	13	-90	LTE	X		
	11	-96	-9	14	-90	LTE	-24	HSPA	24.4	-96	-9	11	-87	LTE	X		
	12	-101	-10	13	-85	LTE	-24	HSPA	23.7	-101	-10	14	-92	LTE	X		
	13	-100	-9	12	-88	LTE	-61	HSPA	24.3	-99	-10	14	-89	LTE	X		
	14	-95	-9	11	-89	LTE	-61	HSPA	8.39	-94	-10	11	-89	LTE	X		
	15	-98	-8	12	-91	LTE	-63	HSPA	13.8	-97	-9	11	-89	LTE	X		
	16	-95	-8	13	-89	LTE	-24	HSPA	8.06	-97	-9	13	-89	LTE			X
	17	-95	-10	12	-89	LTE	-24	HSPA	1.85	-97	-9	11	-89	LTE			X
	18	-101	-10	14	-91	LTE	-24	HSPA	11.8	-99	-9	12	-91	LTE			X
	19	-97	-8	14	-89	LTE	-24	HSPA	11.6	-93	-9	13	-87	LTE			X
	20	-97	-10	11	-89	LTE	-24	HSPA	8.04	-93	-10	12	-87	LTE		X	
	21	-99	-9	10	-91	LTE	-24	HSPA	9.61	-96	-9	13	-89	LTE			X
	22	-98	-9	12	-91	LTE	-24	HSPA	2.98	-93	-9	13	-87	LTE			X
	23	-96	-10	15	-89	LTE	-79	HSPA	7.86	-94	-9	12	-89	LTE			X
	24	-94	-9	12	-89	LTE	-78	HSPA	15.3	-92	-9	10	-87	LTE			X
	25	-97	-10	10	-89	LTE	-74	HSPA	14.8	-97	-10	11	-89	LTE			X

AMBIENTE 03

Tabla 18: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 03

ZONA	n	STANDBY			LLAMADA				TEST DOWNLOAD					MOS			
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA 1	1	-103	-9	5	-93	LTE	-89	HSPA	3.76	-101	-9	3	-91	LTE	x		
	2	-94	-9	5	-89	LTE	-100	HSPA	2.30	-101	-9	3	-91	LTE	X		
	3	-97	-8	6	-89	LTE	-85	HSPA	1.26	-94	-8	8	-89	LTE			X
	4	-95	-9	5	-89	LTE	-87	HSPA	2.64	-96	-8	5	-89	LTE		X	
	5	-94	-9	5	-89	LTE	-88	HSPA	12.6	-97	-8	5	-89	LTE	X		
	6	-98	-9	3	-91	LTE	-81	HSPA	5.67	-96	-9	6	-89	LTE	X		
	7	-94	-9	3	-89	LTE	-87	HSPA	10.1	-93	-8	3	-87	LTE	X		
	8	-99	-8	3	-91	LTE	-88	HSPA	6.40	-99	-10	2	-91	LTE		X	
	9	-92	-9	5	-87	LTE	-90	HSPA	05.06	-95	-8	2	-89	LTE	X		
	10	-94	-8	4	-89	LTE	-78	HSPA	07.02	-94	-8	2	-89	LTE	X		
	11	-95	-9	6	-89	LTE	-79	HSPA	7.97	-97	-8	2	-89	LTE	X		
	12	-93	-9	6	-87	LTE	-83	HSPA	18.2	-98	-9	-2	-91	LTE	X		
	13	-95	-7	6	-89	LTE	-83	HSPA	10.0	-95	-8	4	-89	LTE	X		
	14	-94	-9	3	-89	LTE	-83	HSPA	15.1	-95	-10	2	-89	LTE			X
	15	-96	-8	6	-89	LTE	-89	HSPA	05.07	-96	-8	7	-89	LTE			X
	16	-98	-8	6	-91	LTE	-89	HSPA	3.50	-97	-10	6	-89	LTE	X		
	17	-95	-8	5	-89	LTE	-79	HSPA	17.2	-99	-9	7	-91	LTE	X		
	18	-97	-9	5	-89	LTE	-82	HSPA	14.6	-93	-9	4	-87	LTE	X		
	19	-98	-9	5	-91	LTE	-82	HSPA	17.7	-100	-9	7	-91	LTE	X		
	20	-99	-9	4	-91	LTE	-81	HSPA	10.3	-98	-9	4	-91	LTE	X		
	21	-98	-8	4	-91	LTE	-81	HSPA	10.4	-99	-9	7	-91	LTE	X		
	22	-97	-9	7	-89	LTE	-81	HSPA	10.0	-97	-10	6	-89	LTE	X		
	23	-96	-9	5	-89	LTE	-79	HSPA	4.28	-93	-8	6	-87	LTE			X
	24	-96	-8	5	-89	LTE	-82	HSPA	16.4	-94	-9	7	-89	LTE	X		
	25	-93	-7	6	-87	LTE	-83	HSPA	14.6	-95	-8	5	-89	LTE			X

AMBIENTE 04

Tabla 19: Reporte de resultados obtenidos sin repetidor ambiente 04

ZONA	n	STANDBY					LLAMADA			TEST DOWNLOAD					MOS		
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (maio)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA 1	1	-91	-9	7	-83	LTE	-79	HSPA	9.77	-96	-10	3	-87	LTE		x	
	2	-93	-8	8	-85	LTE	-80	HSPA	13.4	-90	-11	3	-81	LTE		x	
	3	-103	-10	7	-93	LTE	-74	HSPA	4.13	-100	-9	4	-91	LTE		x	
	4	-102	-10	7	-93	LTE	-81	HSPA	5.34	-104	-10	8	-93	LTE			x
	5	-95	-9	7	-87	LTE	-89	HSPA	20.4	-83	-11	5	-83	LTE		x	
	6	-93	-10	9	-85	LTE	-89	HSPA	9.31	-94	-10	6	-85	LTE		x	
	7	-103	-9	9	-93	LTE	-66	HSPA	6.13	-105	-9	6	-93	LTE	x		
	8	-101	-8	7	-91	LTE	-72	HSPA	11.1	-102	-10	4	-93	LTE	x		
	9	-100	-10	7	-91	LTE	-90	HSPA		-92	-10	6	-87	LTE	x		
	10	-91	-10	9	-81	LTE	-71	HSPA	5.51	-97	-12	6	-85	LTE		x	
	11	-88	-10	9	-79	LTE	-87	HSPA	14.7	-93	-10	4	-83	LTE		x	
	12	-94	-9	9	-89	LTE	-87	HSPA	20.8	-92	-10	8	-87	LTE		x	
	13	-89	-10	9	-85	LTE	-89	HSPA	18.8	-92	-9	6	-87	LTE		x	
	14	-93	-8	7	-85	LTE	-87	HSPA	8.52	-99	-10	8	-89	LTE		x	
	15	-90	-8	9	-87	LTE	-67	HSPA	6.75	-89	-9	3	-85	LTE		x	
	16	-87	-10	8	-85	LTE	-77	HSPA	12.3	-91	-9	4	-87	LTE		x	
	17	-99	-10	7	-89	LTE	-71	HSPA	8.60	-96	-10	8	-87	LTE		x	
	18	-95	-9	8	-87	LTE	-67	HSPA	20.5	-96	-10	5	-85	LTE	x		
	19	-91	-10	8	-87	LTE	-67	HSPA	1.63	-89	-10	5	-85	LTE		x	
	20	-90	-10	7	-87	LTE	-77	HSPA	21.8	-94	-10	4	-89	LTE		x	
	21	-94	-9	5	-85	LTE	-72	HSPA	9.31	-97	-10	4	-87	LTE		x	
	22	-89	-10	8	-85	LTE	-75	HSPA	5.19	-85	-9	6	-83	LTE	x		
	23	-85	-8	6	-83	LTE	-75	HSPA	12.9	-89	-9	7	-85	LTE	x		
	24	-93	-10	7	-83	LTE	-76	HSPA	10.2	-92	-10	2	-83	LTE	x		
	25	-88	-9	6	-85	LTE	-74	HSPA	10.2	-89	-10	6	-85	LTE	x		

h) Reporte de resultados obtenidos en la recepción celular en los 4 ambientes con repetidor

Posteriormente se realizó la instalación del repetidor de señal celular y se procedió a la toma de datos aplicando el mismo concepto de recolección y se obtuvo reportes de medición de los parámetros KPIs 3G-4G.

En el siguiente cuadro se muestra un extracto de los parámetros de calidad de señal de la red móvil y como esta se comporta los parámetros KPIs con la aplicación de un repetidor.

AMBIENTE 01

Tabla 20: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 01

ZONA	n	STANDBY		LLAMADA				TEST DOWNLOAD				MOS					
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA 1	1	-53	-10	16	-67	LTE	-61	HSPA	15.8	-50	-10	13	-67	LTE			X
	2	-51	-9	19	-67	LTE	-51	HSPA	18.8	-47	-10	17	-65	LTE			X
	3	-47	-10	19	-65	LTE	-51	HSPA	11.4	-57	-11	19	-69	LTE			x
	4	-56	-9	15	-69	LTE	-51	HSPA	20.9	-48	-10	13	-65	LTE		x	
	5	-47	-10	18	-65	LTE	-51	HSPA	15.6	-46	-10	19	-65	LTE			x
	6	-48	-9	21	-65	LTE	-51	HSPA	23.8	-57	-11	18	-69	LTE			x
	7	-62	-10	18	-73	LTE	-51	HSPA	25.7	-59	-9	18	-71	LTE			x
	8	-50	-10	22	-67	LTE	-51	HSPA	26.1	-47	-10	22	-65	LTE			x
	9	-48	-9	24	-65	LTE	-51	HSPA	24	-47	-10	24	-65	LTE		x	
	10	-60	-10	22	-71	LTE	-51	HSPA	20.9	-53	-9	22	-67	LTE		x	
	11	-56	-10	19	-69	LTE	-51	HSPA	21.3	-52	-9	16	-67	LTE		x	
	12	-53	-9	20	-67	LTE	-51	HSPA	23.1	-51	-9	12	-67	LTE			x
	13	-59	-8	16	-71	LTE	-51	HSPA	13	-57	-9	20	-69	LTE			x
	14	-63	-8	14	-73	LTE	-55	HSPA	32.9	-59	-10	16	-71	LTE			x
	15	-58	-9	13	-71	LTE	-51	HSPA	24.4	-61	-11	12	-71	LTE		x	
	16	-66	-9	10	-75	LTE	-51	HSPA	14.5	-52	-10	17	-67	LTE			x
	17	-68	-9	18	-75	LTE	-51	HSPA	15.9	-50	-10	19	-67	LTE		x	
	18	-47	-9	18	-65	LTE	-51	HSPA	22.5	-52	-10	14	-67	LTE		x	
	19	-45	-10	12	-63	LTE	-51	HSPA	15.9	-50	-10	17	-67	LTE			x
	20	-47	-9	13	-65	LTE	-51	HSPA	24.3	-51	-9	11	-67	LTE			x
	21	-56	-11	13	-69	LTE	-51	HSPA	13.56	-57	-10	11	-69	LTE		x	
	22	-55	-8	13	-69	LTE	-51	HSPA	8.6	-58	-10	11	-71	LTE	x		
	23	-60	-8	18	-71	LTE	-51	HSPA	6.8	-60	-9	16	-71	LTE		x	
	24	-61	-7	18	-71	LTE	-51	HSPA	8.4	-64	-11	16	-73	LTE		x	
	25	-60	-10	18	-71	LTE	-51	HSPA	3.67	-55	-10	16	-69	LTE		x	

AMBIENTE 02

Tabla 21: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 02

ZONA	n	STANDBY				LLAMADA			TEST DOWNLOAD					MOS			
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA 1	1	-56	-9	16	-69	LTE	-55	HSPA	22.6	-61	-10	16	-71	LTE			x
	2	-52	-10	18	-67	LTE	-55	HSPA	11.6	-62	-10	18	-73	LTE			x
	3	-53	-10	20	-67	LTE	-61	HSPA	10.6	-61	-9	19	-71	LTE			x
	4	-56	-10	14	-69	LTE	-53	HSPA	21.4	-62	-10	17	-73	LTE			x
	5	-57	-10	19	-69	LTE	-53	HSPA	23.7	-62	-10	20	-73	LTE			x
	6	-58	-8	15	-71	LTE	-55	HSPA	37.7	-61	-10	17	-71	LTE			x
	7	-55	-9	21	-69	LTE	-55	HSPA	30	-61	-9	17	-71	LTE			x
	8	-55	-9	18	-69	LTE	-57	HSPA	16.4	-62	-10	21	-73	LTE			x
	9	-47	-8	18	-65	LTE	-53	HSPA	38.5	-62	-10	18	-73	LTE			x
	10	-51	-9	17	-67	LTE	-55	HSPA	23.9	-62	-10	19	-73	LTE			x
	11	-56	-10	19	-69	LTE	-63	HSPA	20.5	-62	-10	18	-73	LTE			x
	12	-61	-8	21	-71	LTE	-55	HSPA	27.7	-61	-10	21	-71	LTE			x
	13	-60	-8	15	-71	LTE	-55	HSPA	26.2	-63	-9	18	-73	LTE			x
	14	-60	-9	14	-71	LTE	-55	HSPA	14.7	-63	-10	16	-73	LTE			x
	15	-50	-9	16	-67	LTE	-61	HSPA	22.4	-63	-10	15	-73	LTE			x
	16	-49	-9	22	-65	LTE	-55	HSPA	16.1	-63	-10	17	-73	LTE			x
	17	-50	-9	8	-67	LTE	-57	HSPA	2.98	-65	-10	19	-73	LTE			x
	18	-51	-10	20	-67	LTE	-55	HSPA	26.8	-66	-10	20	-75	LTE			x
	19	-50	-9	20	-67	LTE	-57	HSPA	19.5	-62	-10	19	-73	LTE			x
	20	-59	-10	15	-71	LTE	-55	HSPA	28	-61	-9	15	-71	LTE			x
	21	-58	-8	20	-71	LTE	-55	HSPA	22.4	-62	-10	13	-73	LTE			x
	22	-55	-9	19	-69	LTE	-57	HSPA	32.6	-62	-10	16	-73	LTE			x
	23	-53	-7	18	-67	LTE	-57	HSPA	33.9	-62	-10	15	-73	LTE			x
	24	-64	-8	20	-73	LTE	-73	HSPA	30.3	-60	-10	16	-71	LTE			x
	25	-62	-8	21	-73	LTE	-51	HSPA	17.8	-59	-10	19	-71	LTE			x

AMBIENTE 03

Tabla 22: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 03

ZONA	n	STANDBY				LLAMADA		TEST DOWNLOAD					MOS				
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA 1	1	-54	-11	16	-51	LTE	-51	HSPA	10.936	-65	-16	14	-73	LTE	x		
	2	-55	-11	21	-51	LTE	-52	HSPA	14.14	-61	-11	18	-71	LTE	x		
	3	-46	-11	19	-51	LTE	-51	HSPA	24.1	-63	-11	16	-73	LTE	x		
	4	-56	-12	20	-51	LTE	-51	HSPA	10.64	-57	-11	19	-69	LTE	x		
	5	-58	-11	20	-51	LTE	-51	HSPA	21.01	-58	-11	18	-71	LTE			x
	6	-64	-12	15	-51	LTE	-44	HSPA	22.57	-61	-11	14	-71	LTE			x
	7	-59	-11	23	-51	LTE	-59	HSPA	16.51	-64	-12	21	-73	LTE			x
	8	-53	-11	12	-51	LTE	-59	HSPA	12.18	-64	-11	14	-73	LTE			x
	9	-66	-11	15	-51	LTE	-49	HSPA	13.248	-64	-11	14	-73	LTE			x
	10	-74	-12	20	-51	LTE	-49	HSPA	23.72	-63	-11	18	-73	LTE			x
	11	-69	-11	18	-51	LTE	-48	HSPA	38.6	-64	-12	16	-73	LTE			x
	12	-57	-11	15	-51	LTE	-55	HSPA	18.43	-65	-17	18	-73	LTE			x
	13	-53	-11	25	-51	LTE	-49	HSPA	34.694	-75	-12	22	-79	LTE			x
	14	-64	-11	20	-51	LTE	-51	HSPA	19.05	-62	-12	19	-73	LTE			x
	15	-58	-11	22	-51	LTE	-67	HSPA	6.64	-58	-11	24	-71	LTE	x		
	16	-74	-11	19	-51	LTE	-55	HSPA	14.71	-60	-11	11	-71	LTE	x		
	17	-47	-11	18	-51	LTE	-55	HSPA	6.97	-61	-11	23	-71	LTE			x
	18	-45	-12	16	-51	LTE	-67	HSPA	14.38	-53	-11	21	-67	LTE	x		
	19	-44	-11	17	-51	LTE	-57	HSPA	24.75	-56	-11	17	-69	LTE			x
	20	-44	-11	21	-51	LTE	-57	HSPA	34.91	-55	-11	15	-69	LTE			x
	21	-68	-11	15	-51	LTE	-48	HSPA	21.6	-55	-11	20	-69	LTE			x
	22	-44	-11	16	-51	LTE	-48	HSPA	16.7	-55	-11	19	-69	LTE		x	
	23	-63	-11	18	-51	LTE	-48	HSPA	21.2	-54	-11	22	-69	LTE	x		
	24	-57	-11	16	-51	LTE	-48	HSPA	21.3	-54	-11	14	-69	LTE			x
	25	-47	-11	18	-51	LTE	-48	HSPA	14.694	-57	-12	14	-69	LTE			

AMBIENTE 04

Tabla 23: Reporte de resultados obtenidos con repetidor ambiente 04

ZONA	n	STANDBY				LLAMADA		TEST DONWLOAD							MOS		
		RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
	1	-61	-11	18	-71	LTE	-51	HSPA	28.2	-53	-10	16	-67	LTE			x
	2	-61	-11	17	-71	LTE	-51	HSPA	30.8	-56	-10	18	-69	LTE			x
	3	-59	-10	14	-71	LTE	-51	HSPA	20.3	-57	-10	14	-69	LTE			x
	4	-58	-10	12	-71	LTE	-51	HSPA	16.7	-57	-10	10	-69	LTE			x
	5	-58	-10	15	-71	LTE	-51	HSPA	15.4	-58	-11	13	-71	LTE			x
	6	-57	-11	13	-69	LTE	-51	HSPA	5.64	-58	-11	15	-71	LTE			x
	7	-57	-11	12	-69	LTE	-51	HSPA	21.2	-58	-11	13	-71	LTE			x
	8	-56	-9	11	-69	LTE	-51	HSPA	25.7	-58	-11	10	-71	LTE			x
	9	-56	-9	16	-69	LTE	-51	HSPA	20.7	-58	-11	10	-71	LTE			x
	10	-54	-9	15	-69	LTE	-51	HSPA	15.2	-58	-11	11	-71	LTE			x
	11	-59	-9	15	-71	LTE	-51	HSPA	8.17	-57	-11	13	-69	LTE			x
ZONA	12	-61	-9	11	-71	LTE	-51	HSPA	20.7	-56	-10	14	-69	LTE			x
1	13	-58	-9	16	-71	LTE	-51	HSPA	13.7	-56	-10	14	-69	LTE			x
	14	-64	-10	11	-73	LTE	-51	HSPA	12.5	-57	-11	15	-69	LTE			x
	15	-54	-9	14	-69	LTE	-51	HSPA	18.6	-56	-10	17	-69	LTE			x
	16	-55	-9	18	-69	LTE	-51	HSPA	18.5	-56	-10	14	-69	LTE			x
	17	-54	-10	15	-69	LTE	-51	HSPA	34.4	-57	-10	16	-69	LTE			x
	18	-54	-10	11	-69	LTE	-51	HSPA	19.4	-56	-10	10	-69	LTE			x
	19	-52	-8	14	-67	LTE	-51	HSPA	21.5	-56	-11	16	-69	LTE			x
	20	-53	-9	15	-67	LTE	-51	HSPA	20.7	-57	-11	14	-69	LTE			x
	21	-56	-10	16	-69	LTE	-51	HSPA	25.6	-57	-10	11	-69	LTE			x
	22	-51	-10	16	-67	LTE	-51	HSPA	24.6	-57	-10	20	-69	LTE			x
	23	-52	-10	20	-67	LTE	-51	HSPA	28	-57	-10	17	-69	LTE			x
	24	-52	-10	18	-67	LTE	-51	HSPA	22.9	-57	-9	15	-69	LTE			x
	25	-56	-11	16	-69	LTE	-51	HSPA	14.6	-56	-10	18	-69	LTE			x

3.5 Procesamiento y Análisis de Datos

a) Tablas de análisis del comportamiento de parámetros KPIs

Todos los datos obtenidos, fueron registrados de acuerdo a los parámetros brindados por el software G-NetTrack Pro, herramienta en la cual se puede visualizar en tiempo real los valores de cada uno de los parámetros que indican el performance de la señal registrada haciendo mención a algunos de ellos como RSCP, RSRP, RSSI, SNR, RSRQ en la red 3G-4G.

b) Mediciones de KPIs en Tecnología 3G-4G

Para el análisis de KPIs en los ambientes indoor se utilizó como referencia los rangos de calidad indicados en la Tabla 24 recopiladas de la publicación IEEE realizada por Victor, et al (2020) en el artículo denominado Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures.

Tabla 24: Indicadores clave de rendimiento de KPIs

RSSI	INTENSIDAD SENAL
>= -65 dBm	excelente
-65dBm a -75 dBm	Bien
-75 dBm a -85 dBm	Regular a Pobre
-85 dBm a -95 dBm	Señal Pobre
<= -95 dBm	Sin señal

RSRP	INTENSIDAD SENAL
>= -80 dBm	excelente
-80 dBm a -90 dBm	Bien
-90 dBm a -100 dBm	Regular a Pobre
<= -100 dBm	Sin señal

RSCP	INTENSIDAD SENAL
-60 a 0	excelente
-75 a -60	Bien
-85 a -75	Regular
-95 a -85	pobre
-124 a -95	Muy pobre

RSRQ	INTENSIDAD SENAL
>= -10 Db	excelente
-10 dB a -15 dB	Bien
-15 dB a -20 dB	Regular a Pobre
<= -20 dBm	Sin señal

SINR	INTENSIDAD SENAL
>= -20 dB	excelente
-13 dB a -20 dB	Bien
0 dB a 13 dB	Regular a Pobre
<= 0 dB	Sin señal

Fuente: Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 2(3), 386-396

Así mismo se recopiló información para utilizar como referencia acerca de los rangos de aceptabilidad de los parámetros KPIs obtenidos del trabajo de investigación realizado por Aragonés Salazar, N. J. (2019) y para los rangos de aceptabilidad del test Download se tuvo como referencia la investigación de Gil Valeriano, F. G. (2017). tal y como se indica en la tabla 25.

Tabla 25: Rangos de aceptabilidad de KPIs y Mbps

KPIs-4G	Rango Aceptable 1	%
		Nº1 Muestras
RSRP	> -100dBm	100
RSRQ	> -15dB	100
SNIR	> 10dB	100
RSSI	> -75dBm	100
RSCP	> -75	100
Mbps	>1 Mbps	100

c) KPI: RSRP en la red 4G stand by de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. De acuerdo con la tabla mencionada con anterioridad y los datos recopilados en la investigación nos da la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro RSRP y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos como se muestra en la figura 13.

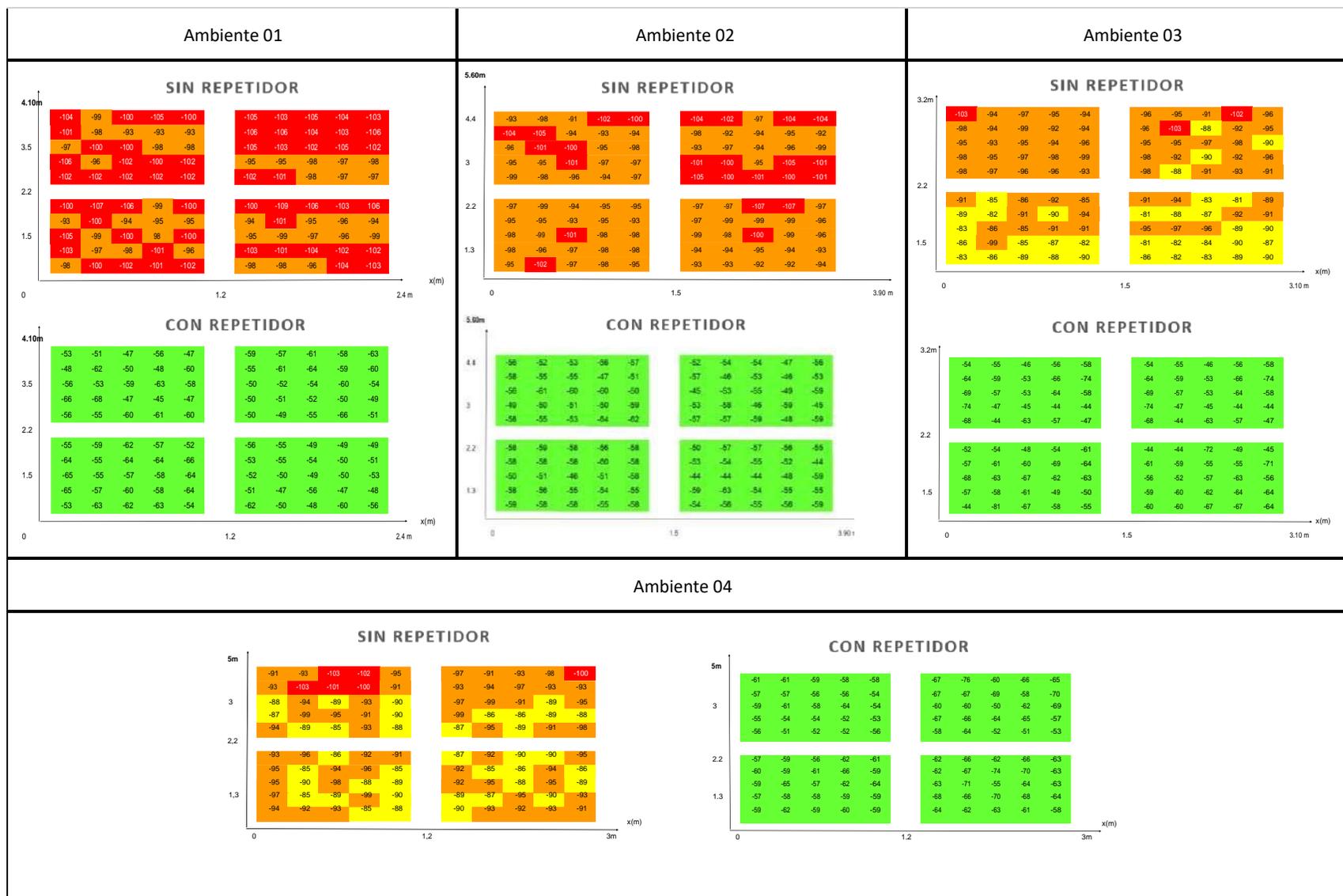


Figura 13: Medición de niveles del KPI – RSRP sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes

d) KPI RSRQ en la red 4G stand by de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro RSRQ y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos como se muestra en la figura 14.

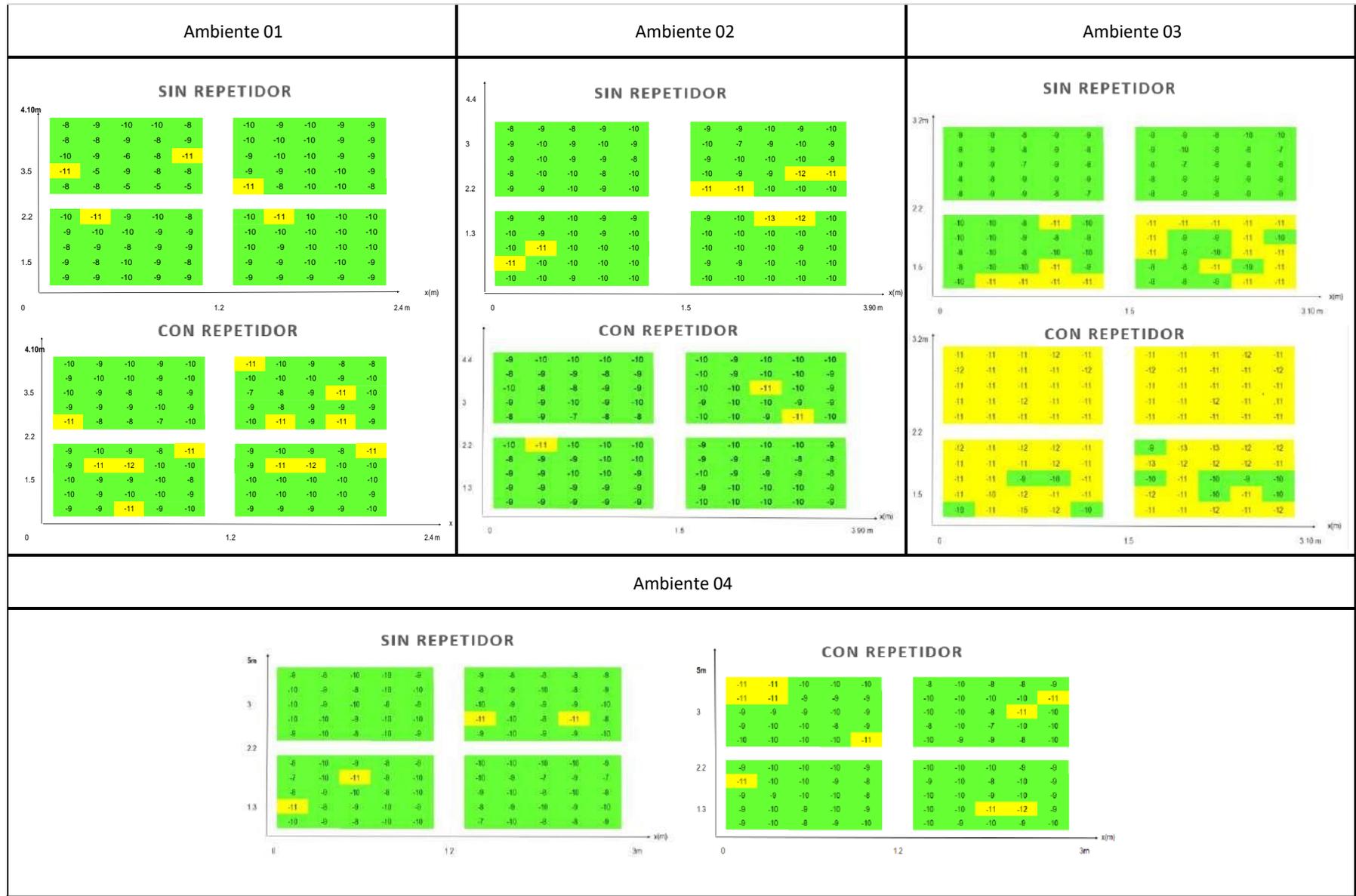


Figura 14: Medición de niveles del KPI – RSRQ sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes

e) KPI SINR en la red 4G stand by de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro SINR y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos como se muestra en la figura 15.

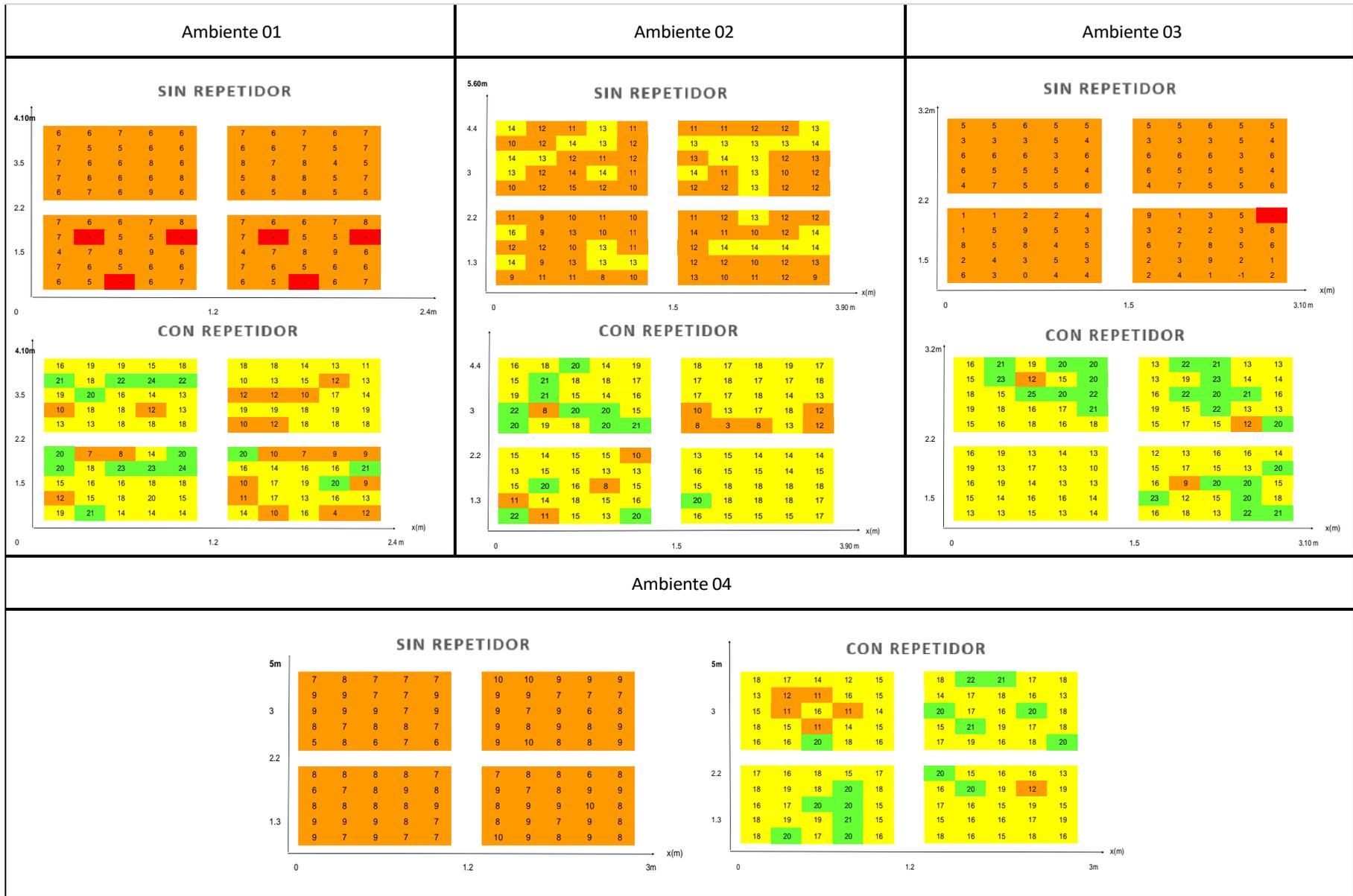


Figura 15: Medición de niveles del KPI – SINR sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes

f) KPI RSSI en la red 4G stand by de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro RSSI y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos como se muestra en la figura 16.

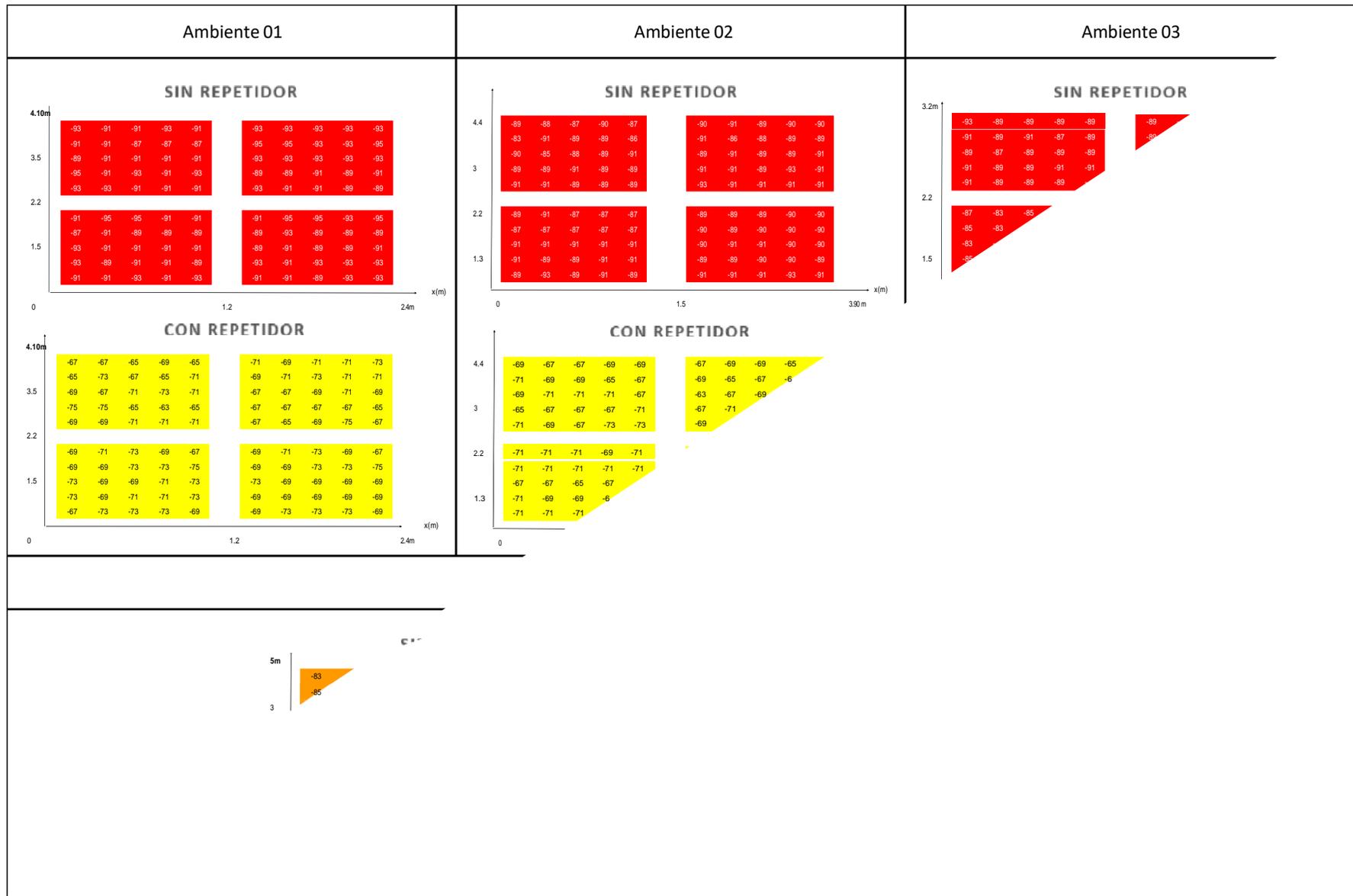


Figura 16: Medición de niveles del KPI – RSSI sin y con repetidor de señal de celular en Stand By en los 04 ambientes

g) KPI RSCP en la red 3G llamada telefónica de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro RSCP y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos como se muestra en la figura 17

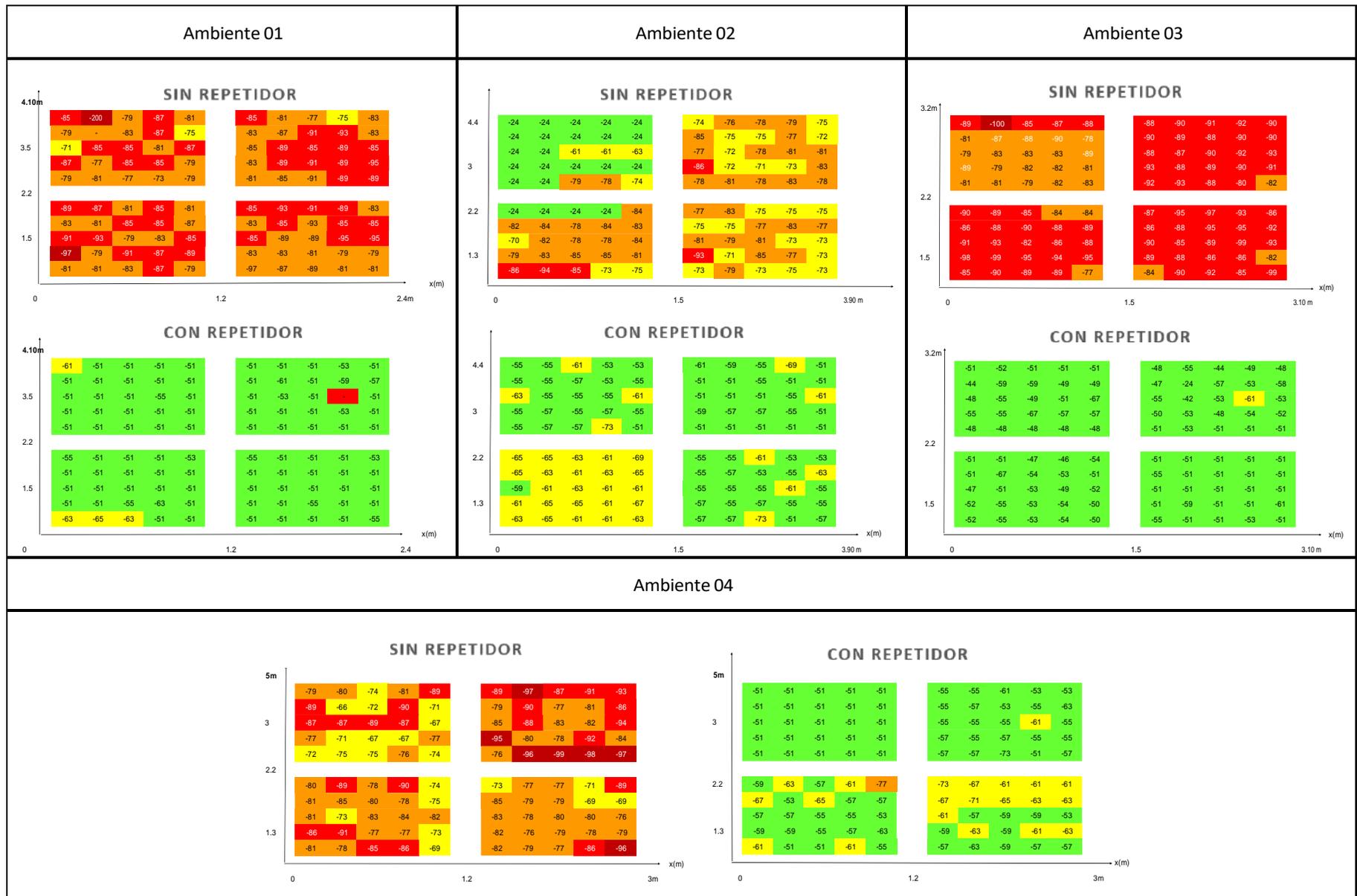


Figura 17: Medición de niveles del KPI – RSCP sin y con repetidor de señal de celular en llamada en los 04 ambiente

h) KPI RSRP en la red 4G test download de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro RSRP y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos como se muestra en la figura 18.

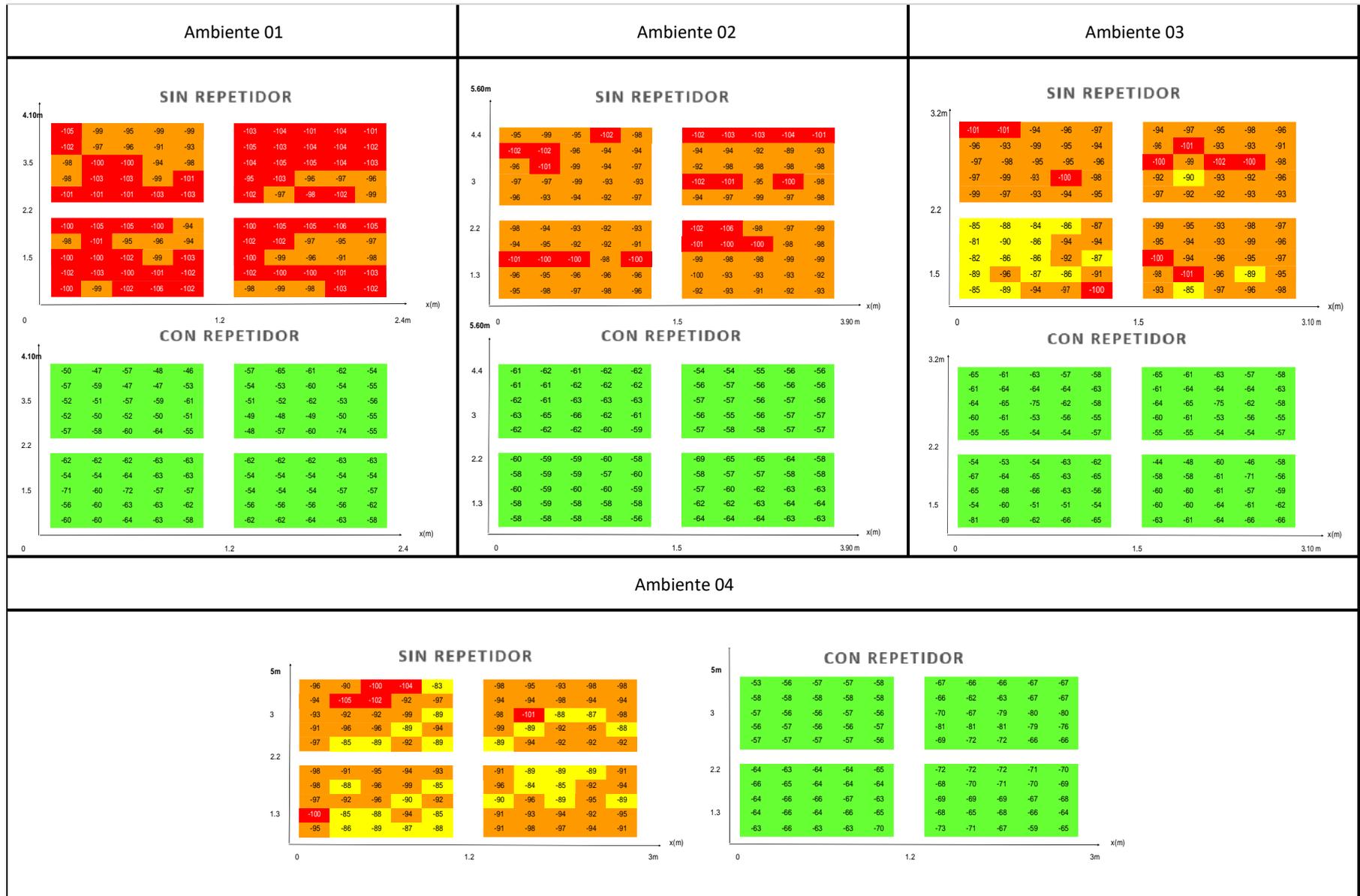


Figura 18: Medición de niveles del KPI – RSRP sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes

i) KPI RSRQ en la red 4G test download de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro RSRQ y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos como se muestra en la figura 19.

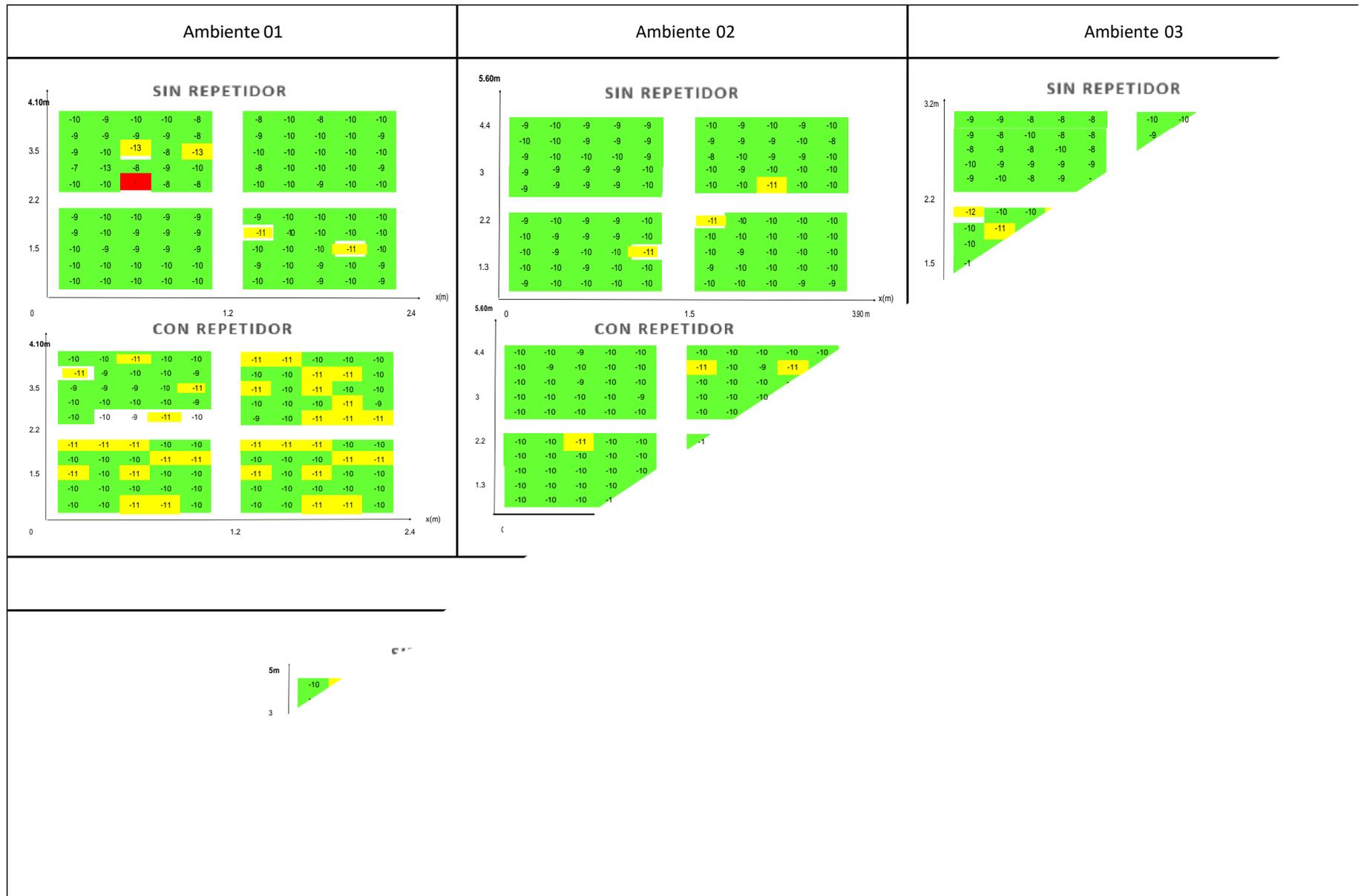


Figura 19: Medición de niveles del KPI – RSRQ sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes

j) KPI SINR en la red 4G test download de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro SINR y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos. como se muestra en la figura 20.

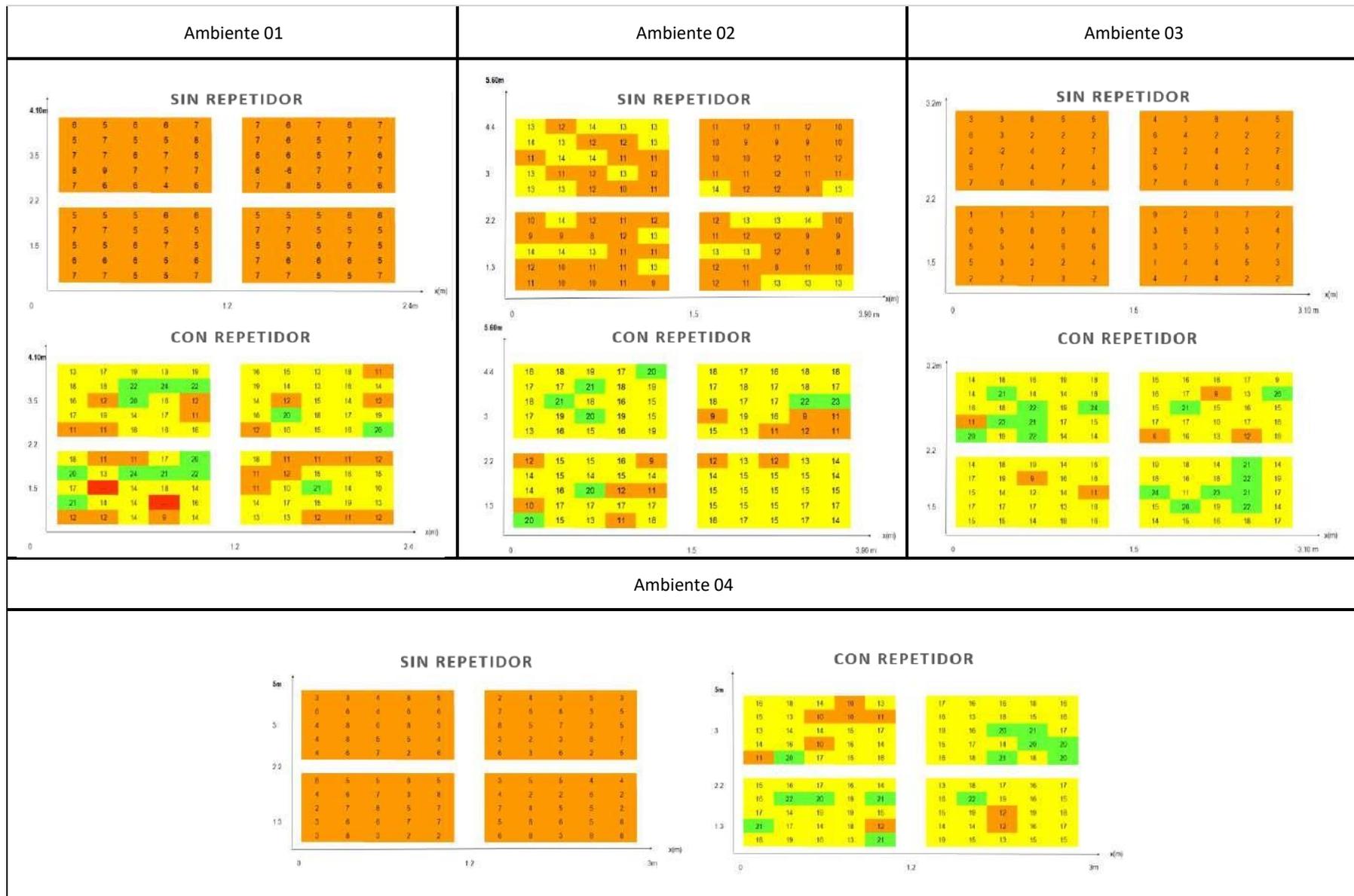


Figura 20: Medición de niveles del KPI – SINR sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes.

k) KPI RSSI en la red 4G test download de los 4 ambientes:

Para el análisis de este parámetro de optimización se definió los rangos de calidad de la señal, resaltando con colores de acuerdo a su calidad. Los datos recopilados en la investigación nos dan la facilidad de poder comprender el comportamiento del parámetro RSSI y observar el desenvolvimiento de la señal en los diferentes ambientes elegidos. como se muestra en la figura 21.

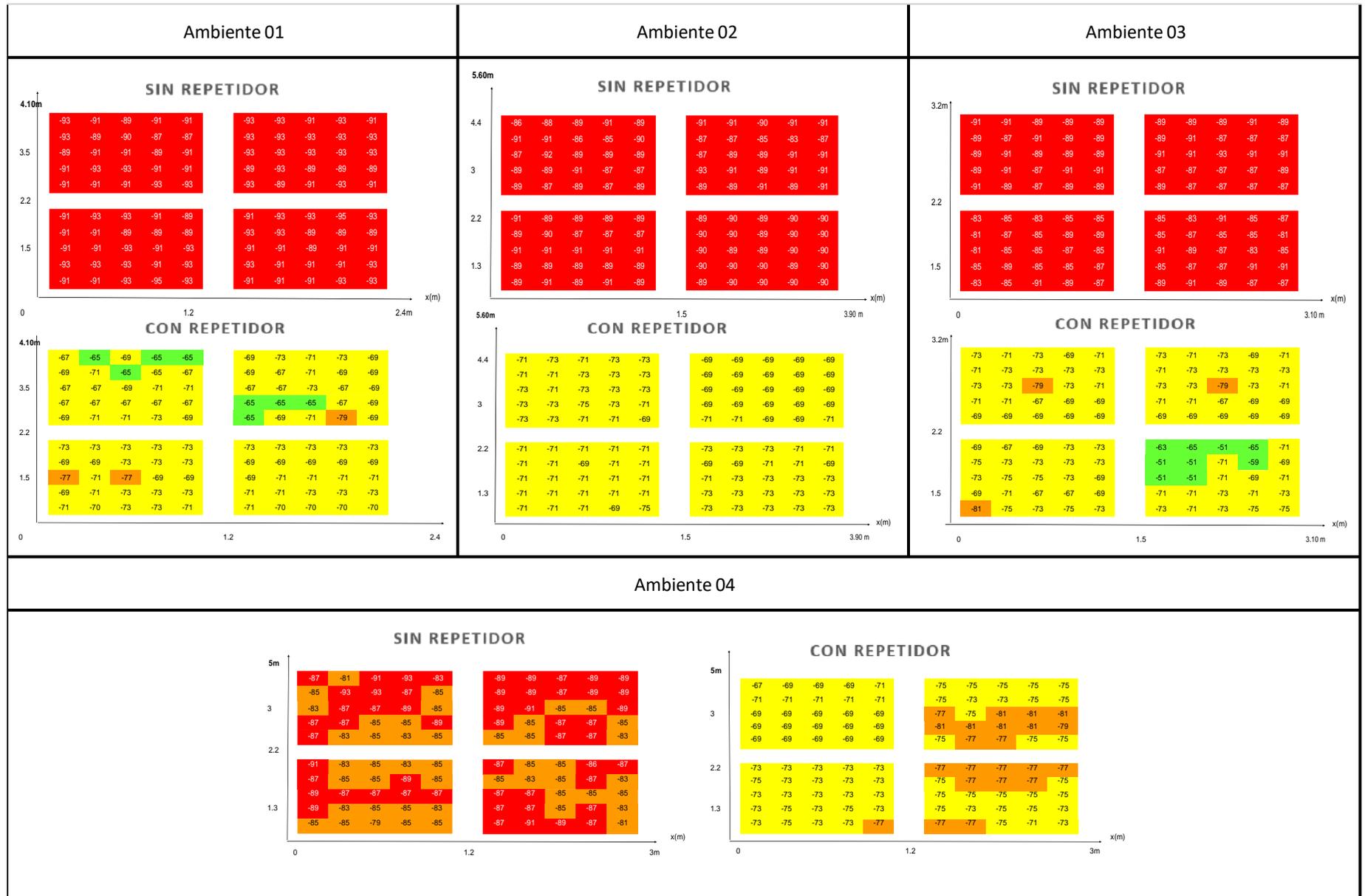


Figura 21: Medición de niveles del KPI – RSSI sin y con repetidor de señal de celular en Test Download en los 04 ambientes

I) **MOS score de los 4 ambientes indoor**

MOS es un parámetro de valoración de la percepción de tienen los usuarios al usar la red y es importante de analizar, ya que al final de todo es el usuario quien califica, cuestiona si la cobertura de señal es buena y la recepción el mensaje de manera adecuada o es pésima. Por ello se aplicó este análisis en los 4 escenarios establecidos en la realización de las pruebas para observar y determinar si con la aplicación del repetidor de señal el porcentaje es aceptable que cuando no se utiliza el repetidor de cobertura. Esta opinión está basada en cuanto de calidad apreciaban los participantes ya sea cortes, micro cortes e inclusive llamadas telefónicas que no transcendían y el rango que establece si el parámetro es aceptable, se basa en la Tesis de Gil Valeriano, F. G. (2017) donde el verde significa excelente amarillo regular y rojo malo. De acuerdo a la tabla 26.

Tabla 26: Rango de aceptabilidad MOS

MOS	COLOR	CATEGORÍA	RANGO ACEPTABILIDAD
1-2	Red	malo	5%
3	Yellow	regular	95%
4-5	Green	excelente	

Esta manera de organizar la información con los datos recopilados nos facilita el análisis para determinar la comparativa del uso del repetidor de cobertura de señal móvil de manera indoor en los diferentes escenarios elegidos en el distrito de Santiago de Cao como se muestra en la figura 22.

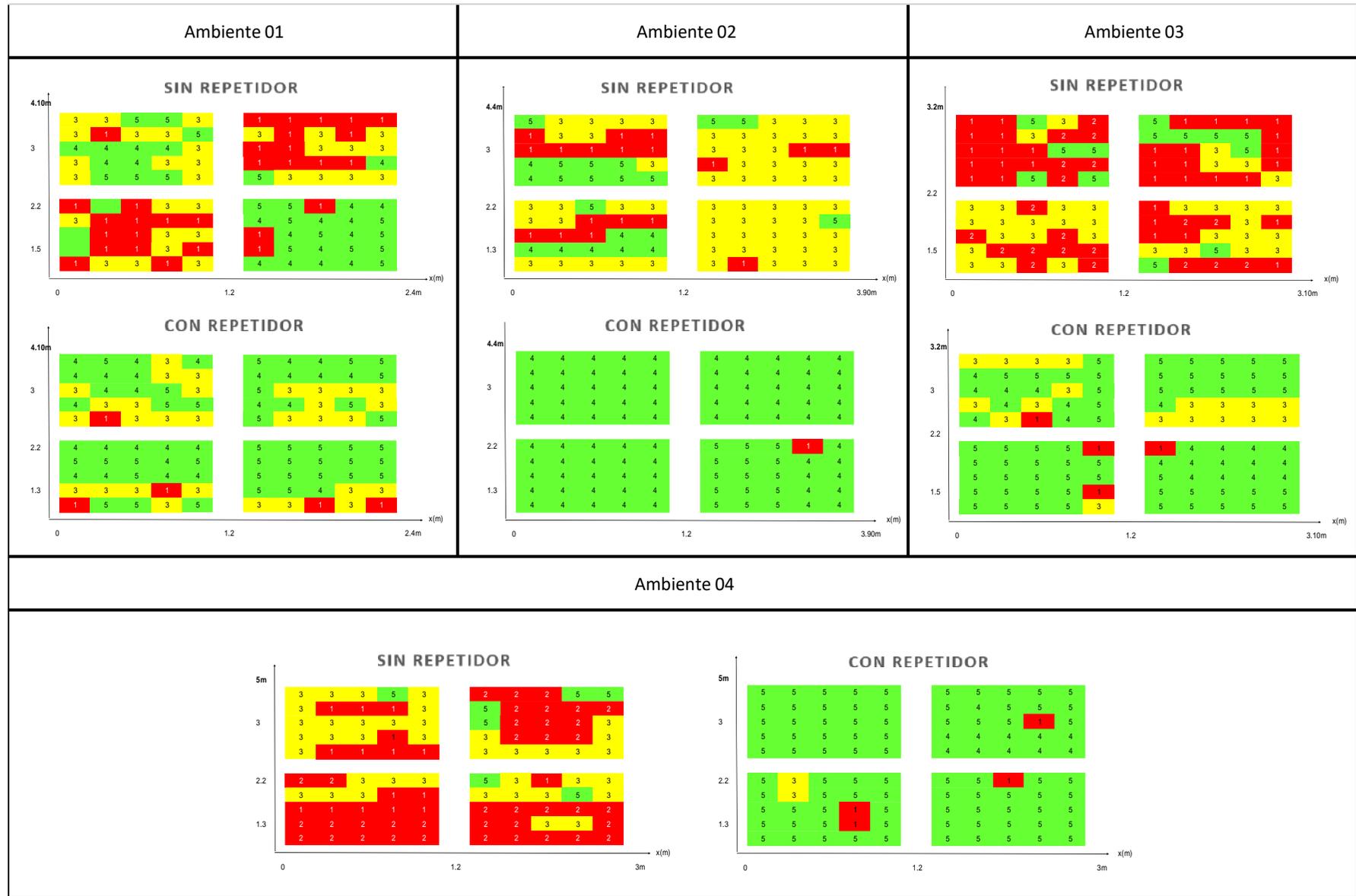


Figura 22: MOS sin y con repetidor de los cuatro ambientes.

El tamaño de muestra por ambiente es de 100 pruebas tanto sin el uso del repetidor y con el uso de este mismo. Con el parámetro MOS se puede observar que sin el uso del repetidor tenemos aproximadamente $\frac{1}{4}$ de muestra de puntos rojos que nos indica que el usuario no le da buena valoración por motivos ya explicados anteriormente. Del mismo modo pasa con los puntos de color amarillos que es un valor intermedio, en el caso de los puntos verdes indica que la valoración del usuario y su interacción con la prueba es buena. Cuando se aplica el repetidor de señal se puede ver un cambio drástico y notable con respecto a los puntos rojos, que casi son nulos a comparación con la primera imagen y prevalecen los puntos verdes en compañía de puntos amarillos.

El ambiente 02 está orientado a un patio parcialmente techado dentro de la casa ubicada en Santiago de Cao. Con el parámetro MOS se puede observar que sin el uso del repetidor tenemos que la mayoría de puntos son amarillos que nos indica que el usuario le da una valoración intermedia. Los puntos de color verde se ven muy disminuidos, al igual de los puntos rojos. Cuando se aplica el repetidor de señal se puede ver un cambio radical en lo absoluto con los puntos de color verde, Se aprecia que el usuario le da la valoración máxima en la interacción con la cobertura de señal del casi 100%.

Este ambiente se establece en una zona cerrada con bastantes paredes de adobe de casona por lo que se puede observar que sin el uso del repetidor tenemos la mayoría de puntos rojos, en otras palabras, la prueba de llamada realizada por los participantes se tuvo una percepción pésima. Cuando se aplica el repetidor de señal se puede ver un cambio importante los puntos de color verde ya que prevalece ante los puntos de color amarillo y rojo.

Este ambiente se ubica un segundo piso Con el parámetro MOS se puede observar que sin el uso del repetidor tenemos que puntos rojos prevalecen casi en todo el ambiente, pero el aplicar el repetidor de señal de cobertura entramos a otro panorama que nos indican que los usuarios dieron la

valoración máxima en cuanto a interacción con las pruebas siendo el color verde quien predomina en el ambiente indoor.

m) Test de Download en los 4 ambientes Indoor

Para el análisis de este parámetro se realizó pruebas de descargar en cada uno de los puntos en los ambientes, teniendo como rango de velocidad los mostrados en la tabla 27.

Tabla 27: Rango de calidad Mbps

<i>Rango de velocidad (Mbps)</i>	
<i>menos de 1</i>	<i>muy lento</i>
<i>1-5</i>	<i>lento a moderado</i>
<i>5-10</i>	<i>aceptable a bueno</i>
<i>mas de 10</i>	<i>rapido a muy rapido</i>



Figura 23: Diferencia de Throughput en los cuatro ambientes

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

A continuación, se presentarán un resumen de los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados

Con respecto de la selección de la tecnología de medición aplicable a parámetros KPIs en entornos indoor se comparó la investigación de Victor et al. (2020) y Wu et al. (2012), eligiéndose dicha metodología ya que este mismo se enfoca en la medición de la intensidad de la señal con un dispositivo móvil comercial recopilando datos de los KPIs con rangos establecidos que permiten la evaluación de la calidad de la señal. Este estudio recopila datos utilizando equipo comercial en una red LTE con un software llamado GNet Track PRO además que desglosa cada KPIs de la señal para estudiar el comportamiento con la aplicación de un repetidor de señal, por lo tanto, convierte esta investigación en un buen precedente.

Después de realizar la recopilación de los parámetros KPIs, a partir de las señales que se emiten desde la EBC y llegan a los diferentes ambientes sin el uso del repetidor; Se apreció en diferentes modos de operación tales como, iddle, tráfico de voz y download, que solo los indicadores de RSRQ, y Throughput son los únicos que cumplieron con los criterios de aceptabilidad, en la mayoría de ambientes. Es decir, sólo dos de los once indicadores evaluados cumplieron con el criterio de aceptabilidad.

Realizada la recopilación de parámetros KPIs con la aplicación del repetidor de señal celular en zonas indoor. Se apreció en los diferentes modos de operación que, entre seis a ocho indicadores (RSRP, RSRQ, RSSI, RSCP, RSRP, Throughput y MOS) cumplieron con los criterios de aceptabilidad, en la mayoría de ambientes. En la figura 24 se representan gráficos del cumplimiento por ambiente conforme lo descrito.

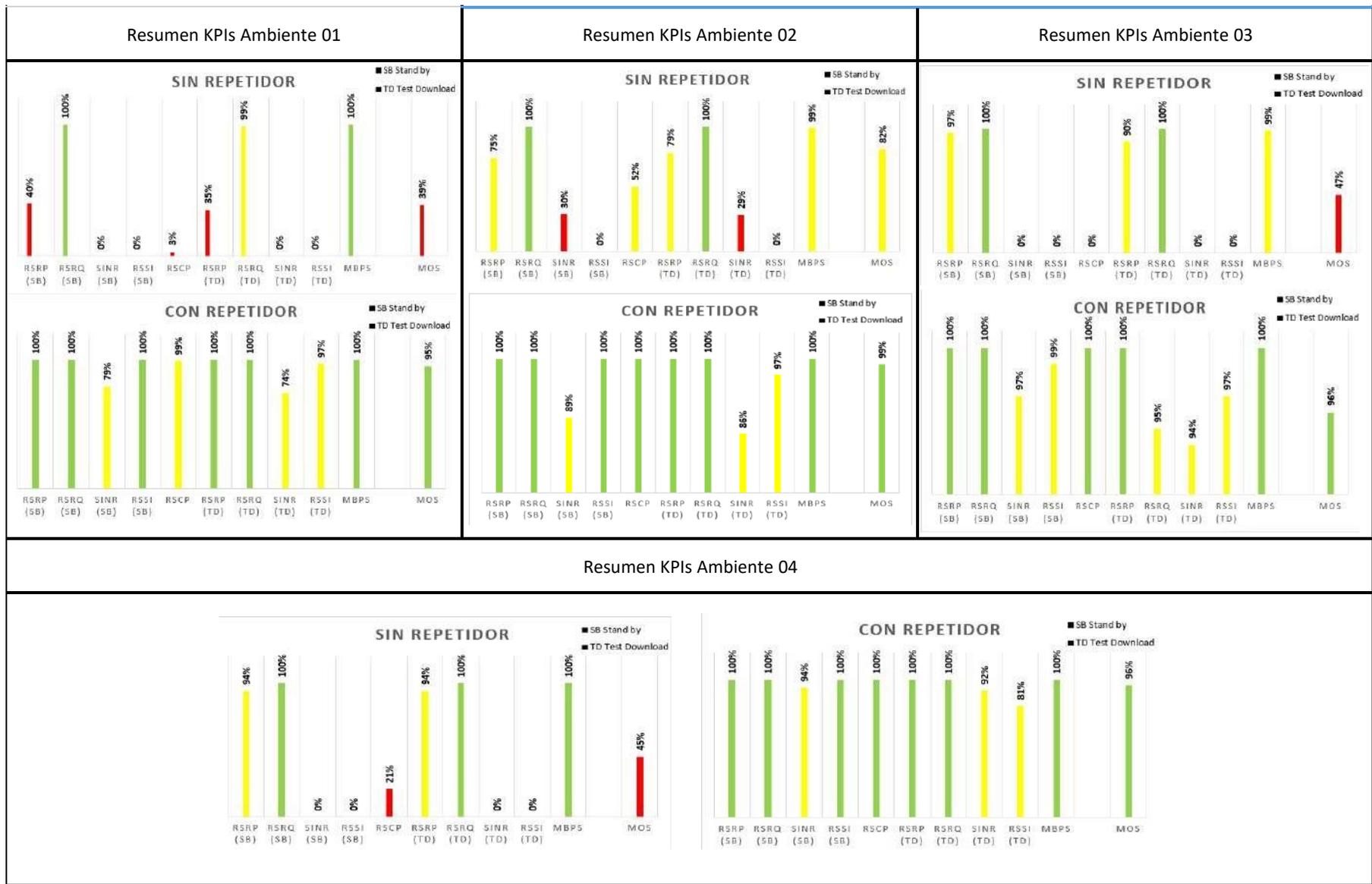


Figura 24: Resumen de KPIs sin y con repetidor de señal en los cuatro ambientes

Para poder comparar los porcentajes de aceptabilidad indicadores KPIs, obtenidos con y sin repetidor celular en zonas indoor del Distrito de Santiago de Cao, se ha elaborado la Tabla 40, en donde se puede observar por cada uno de los ambientes:

Ambiente 01

Con el uso del repetidor, se pasó de 02 indicadores aceptables, a 07 indicadores aceptables. Los porcentajes de cumplimiento de KPIs no aceptados pasaron de 0% mínimo a un 74% mínimo. Del mismo modo se puede indicar que la aceptabilidad de indicadores KPIs incrementó de 18% a 64% (46% incremento de aceptabilidad de KPIs).

Ambiente 02

Con el uso del repetidor, se pasó de 02 indicadores aceptables, a 08 indicadores aceptables. Los porcentajes de cumplimiento de KPIs no aceptados pasaron de 0% mínimo a un 86% mínimo. Del mismo modo se puede indicar que la aceptabilidad de indicadores KPIs incrementó de 18% a 73% (55% incremento de aceptabilidad de KPIs).

Ambiente 03

Con el uso del repetidor, se pasó de 02 indicadores aceptables, a 06 indicadores aceptables. Los porcentajes de cumplimiento de KPIs no aceptados pasaron de 0% mínimo a un 94% mínimo. Del mismo modo se puede indicar que la aceptabilidad de indicadores KPIs incrementó de 18% a 55% (37% incremento de aceptabilidad de KPIs).

Ambiente 04

Con el uso del repetidor, se pasó de 03 indicadores aceptables, a 08 indicadores aceptables. Los porcentajes de cumplimiento de KPIs no aceptados pasaron de 0% mínimo a un 81% mínimo. Del mismo modo se puede indicar que la aceptabilidad de indicadores KPIs incrementó de 27% a 73% (46% incremento de aceptabilidad de KPIs).

En la figura 25 se representan los porcentajes de clasificación de indicadores según su cumplimiento, Se puede apreciar el porcentaje de KPIs no aceptables en color rojo, el porcentaje de KPIs aceptables en color verde. Asimismo, aquellos indicadores que no alcanzaron aceptabilidad, pero superaron el 50% se cumplimiento se representan en color amarillo.

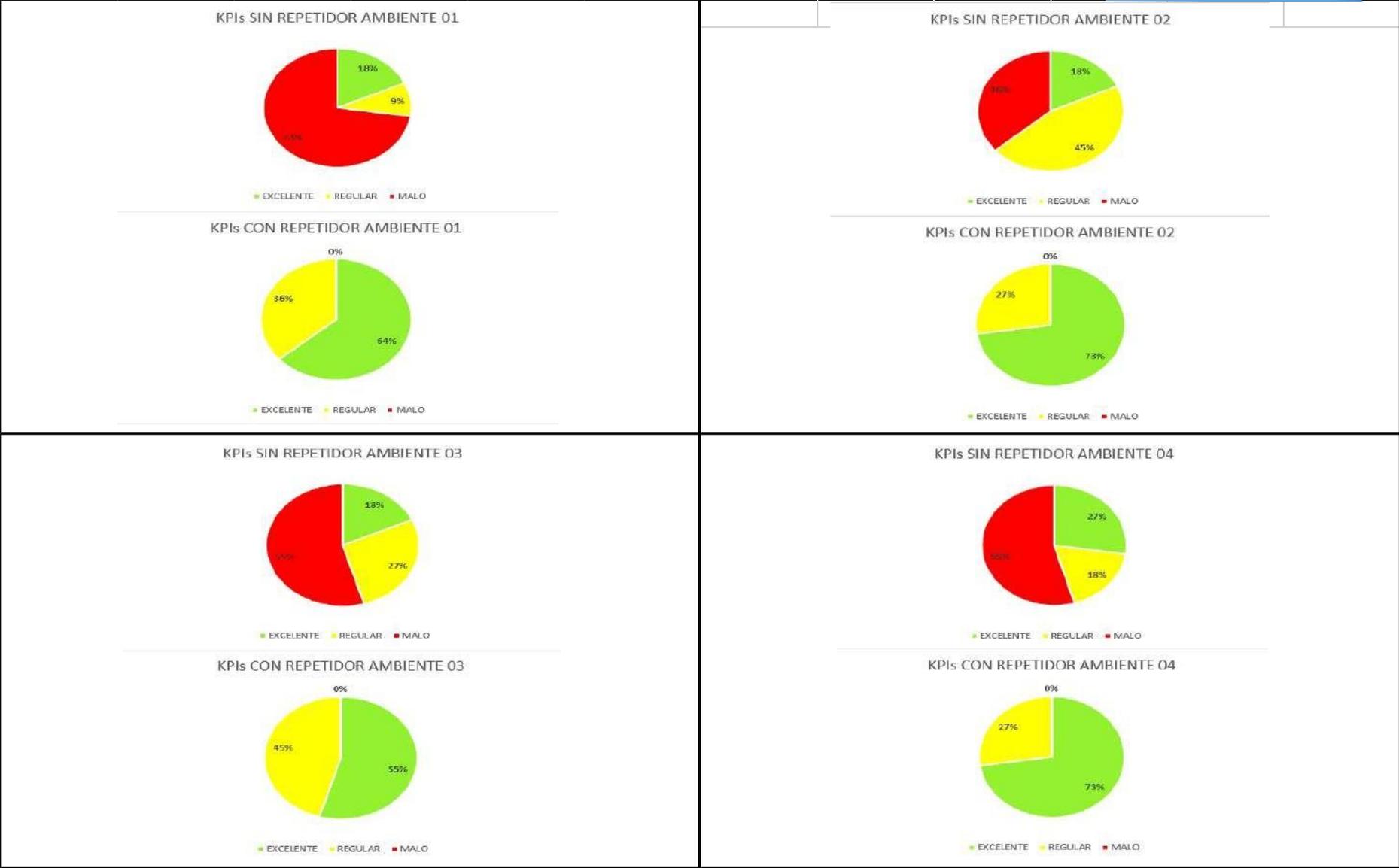


Figura 25: Gráficos circulares de porcentaje de KPIs en todos los ambientes

4.2 Docimasia de Hipótesis

Conforme los resultados presentados anteriormente, todos los ambientes indoor evaluados presentaron incrementos de cumplimiento de KPIs que van desde el 37% de incremento de aceptabilidad de KPIs (ambiente 03), hasta un 55% de incremento de aceptabilidad de KPIs (ambiente 02), con la aplicación del repetidor celular.

En todos los ambientes, al observar los KPIs con el empleo de repetidor celular se puede identificar una mejora notable en los indicadores claves de performance por lo cual los autores afirman que se ha cumplido la hipótesis propuesta.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- La metodología de Víctor et al. (2020) se consideró debido a que su metodología es más adecuada para evaluar la medición de la intensidad de la señal. A pesar que no tiene una referencia de mediciones en ambientes indoor, brinda a detalle información acerca de los KPIs que deben ser medidos y del rango en el que se considera aceptable. Además, la metodología de esta investigación es muy cercana con la realizada por el autor Gil Valeriano (2020), es decir, la utilización de un teléfono móvil con sistema Android, donde realizó un estudio de parámetros KPIs en una red 4G. La metodología de Wu et al. (2012) no fue considerada a pesar que su metodología se realiza en ambientes indoor y outdoor, pero no indica que KPIs son los evaluados, ni mucho que rangos son los adecuados para cada parámetro de optimización. Solo se evalúa una comparativa indoor y outdoor para identificar si la intensidad de señal es buena o mala.
- Sin el uso de repetidor los parámetros básicamente en su mayoría son deficientes, algunos temas de throughput son rescatables en algunas partes de las zonas evaluadas, pero los parámetros que más se distinguen sin repetidor son el RSRQ y el throughput teniendo un buen cumplimiento en aceptabilidad en comparación a los otros parámetros.
- Con el uso de repetidor de señal aparte del RSRQ y el throughput el panorama es totalmente opuesto, los parámetros se encuentran entre excelente y bueno lo que destaca una mejoría realmente notable que se ve reflejado en los cuatro ambientes indoor especialmente en los ambientes 02, 03, 04 donde las aceptabilidades de los parámetros en su mayoría cumplen al 100%.
- Existe una evidente mejora en la mayoría de parámetros, donde las diferencias llegan a ser, incluso, del 100%. Los únicos parámetros discutibles que salen de lo esperado son RSRQ y el throughput en todos los ambientes.

Cabe destacar que, con el uso del repetidor celular, la señal original de la EBC, se vuelve interferencia para el repetidor. Y de la misma forma este parámetro está ligado a la velocidad puesto que la relación señal ruido, ligada a los parámetros SINR, RSRQ, también va vinculada a la velocidad de transferencia y en ese sentido también puede verse afectado tal y como se aprecia en el ambiente 01 donde existe una interferencia notable en comparación a los otros ambientes

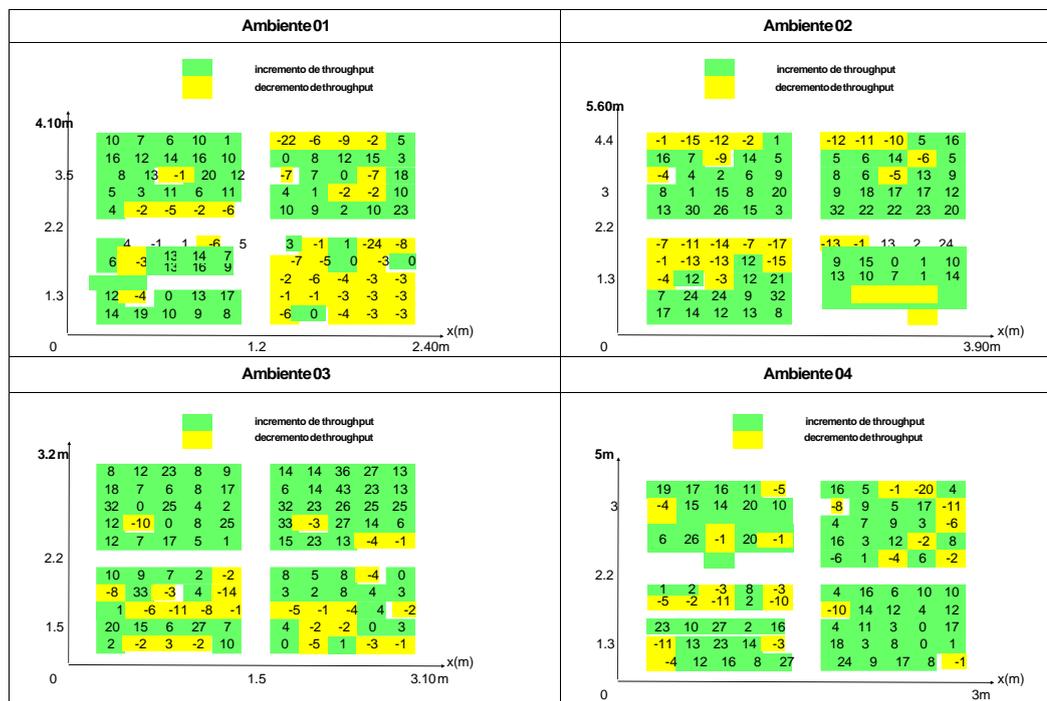


Figura 26: Diferencia de velocidades sin y con repetidor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI. CONCLUSIONES

- La selección de la metodología de medición se basó en el trabajo de Victor et al (2020), el cual se caracteriza por tener detalle de mediciones, clasificación de indicadores, además por adecuarse a equipos de uso comercial y herramientas de uso libre, lo cual es mucho más asequible para los recursos que se pueden disponer para una investigación de bajo costo.
- Sin la aplicación del repetidor, la mayoría de indicadores KPIs no caen en el rango de aceptabilidad. Los KPIs que se destacan por mantener su aceptabilidad son el RSRQ y el throughput que alcanza un nivel de aceptabilidad del 100% y 99% respectivamente.
- Con la aplicación del repetidor, la mayoría de indicadores KPIs se encontraron en el rango de aceptabilidad, asimismo todos los indicadores incrementaron su cumplimiento aun cuando algunos no llegaron al rango aceptable.
- Al comparar las mediciones con y sin repetidor, se identifica que en todos los ambientes indoor evaluados se presentaron incrementos de cumplimiento de KPIs que van desde el 37% de incremento de aceptabilidad (ambiente 03), hasta un 55% de incremento de aceptabilidad (ambiente 02). Dentro de los parámetros más visibles para el usuario, se lograron identificar incrementos favorables de velocidad, en 71% de puntos medidos.

VII. RECOMENDACIONES

- El tema de la interferencia es un tema importante a poder profundizar en el análisis de los parámetros KPIs puesto que, al aplicar un repetidor, la señal remanente se vuelve una interferencia que es compleja y cambiante y que llega a tener dependencia del tipo de tráfico, del número de usuarios entre otros factores, lo cual se considera una oportunidad de ampliación del presente trabajo, enfocado en una mayor profundización del análisis del parámetro throughput.
- Se recomienda ampliar la investigación no solo a ambientes indoor sino a ambientes outdoor con el uso de herramientas adecuadas de drive test, incrementando las muestras para el post procesamiento y así poder proyectar los resultados a más zonas alrededor del centro poblado o a otras zonas con distintas características geográficas y demográficas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cedeño, Carlos. (2022, 06 septiembre). Tecnología móvil: qué es, desarrollo, usos y tipos de tecnología celular actual. Cinco Noticias <https://www.cinconoticias.com/tecnologia-movil/>
- Barrantes, Roxana, Aileen Agüero y Mireia Fernández-Ardévol 2011 "La telefonía móvil en el ámbito rural: estudio de un caso en Puno, Perú". En Manuel Castells, Mireia Fernández-Ardévol y Hernán Galperin, eds., Comunicación móvil y desarrollo económico y social en América Latina. Lima: Fundación Telefónica Digitalización y desarrollo rural: ¿hasta qué punto van de la mano? (iep.org.pe)
- GALARZA SANCAN, A. R. (2023, February 7). UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ. *UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ*. https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3635/1/GALARZA%20SANCAN%20RONALD%20ALEXANDER_PDF%20%281%29.pdf
- Victor, O., Joy, E. O., & Endurance, O. (2020). Investigating the Received Signal Strength and Electromagnetic Radiation from 2G, 3G and 4G Mobile Architectures. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 2(3), 386-396. ISSN: 2682-5821 (pISSN), eISSN: 2682-5821.
- Zhang, L., Ni, Q., Zhai, M., Moreno, J., & Briso, C. (2019). An Ensemble Learning Scheme for Indoor-Outdoor Classification Based on KPIs of LTE Network. *IEEE Access*, 7, páginas. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2914451>
- Aragonés Salazar, N. J. (2019). Evaluación de Parámetros de Performance RF de una Estación Open BTS Bajo Interferencia de un Jammer SDR, Mediante Mediciones Walk Test Realizadas en la

Banda de 900 MHz, en un Ambiente Indoor de la Ciudad de Trujillo.
Gil Valeriano, F. G. (2017). Estudio del Comportamiento de los KPI en Campo de las Soluciones In-Building DAS y LAMP SITE para una Red de Acceso 4G – LTE, en la Ciudad de Trujillo 2016.

Wu, C. -p., & Baker, K. R. (2012). Comparison of LTE Performance Indicators and Throughput in Indoor and Outdoor Scenarios at 700 MHz. En 2012 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall) (pp. 1-5). Quebec City, QC, Canada. doi:10.1109/VTCFall.2012.6399246.

Wu, C.-p., & Baker, K. R. (2012). Comparison of LTE Performance Indicators and Throughput in Indoor and Outdoor Scenarios at 700 MHz. IEEE. (ISBN: 978-1-4673-1881-5)

Gallardo,F(2013).Evolución del acceso , la cobertura y penetración de servicios de telefonía Perú, Recuperado de:
<https://docplayer.es/6525527-Peru-evolucion-del-acceso-la-cobertura-y-la-penetracion-en-los-servicios-de-telefonía.html>

More, J., Trelles, J., & Pacheco, L. (2017). Estimación del número de Estaciones Base Celular (EBC) requeridas al año 2021. OPSITEL. Enlace del PDF:
<https://www.osiptel.gob.pe/media/4vwns0o1/estimacion-numero-estaciones-base-celular.pdf>

Lazo Llancachagua, L. A. (2015). Diseño y simulación de un repetidor de telefonía celular en la banda de 850 MHz para zona rural (Tesis de maestría).. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5959>

Aguirre León, L. M. (2010). Planificación y diseño de la ampliación de cobertura de la red celular GSM y ajuste de parámetros mediante

un repetidor activo para la zona norte de la provincia de Napo para una empresa de telefonía celular (Tesis de maestría).
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2288>

Cruz Alberca, K. P. (2019). Diseño de un Sistema Distribuido de Antenas para Mejorar la Red Móvil en el Interior de Centros Comerciales de Piura. Universidad Nacional de Piura. Repositorio UNP. URL: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1826>

Cano Osornio, L. (2014). Análisis de Parámetros CPICH, RSCP y EC/IO en Redes 3G. Instituto Politécnico Nacional. Repositorio del IPN. URL <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/13290>

Escobar Chamba, A. N. (2021). Diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE en una estación referencial. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Repositorio ESPE. URL: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/23824/T-ESPE-044354.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Baviera Martínez, C. (2023). Estudio de Key Performance Indicators (KPIs) mediante análisis masivo de datos Big Data de un emplazamiento de comunicaciones móviles 4G LTE 700 y 5G NR 700 en la ciudad de Mérida. [Tesis de maestría]. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/195521>

González Morón, A. P. (2023). Análisis y automatización de incidencias en la red móvil. [Tesis de maestría]. Universitat Oberta de Catalunya (UOC). <http://hdl.handle.net/10609/148144>

Barrantes Vera, B. G., & Saenz Ravines, J. C. (2019). Identificación de Factores que Afectan la Calidad de Servicio de la Red Móvil LTE en la Ciudad de Otuzco - 2018, Mediante una Medición Drive-Test.

Molina Villalta, K. A. (2021). Análisis de Desempeño del Servicio de Voz sobre Redes LTE (VoLTE) mediante el Uso de Indicadores Claves de Rendimiento (KPI). Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17692>

Aras Technologies. (2018). EEI: Niveles de potencia para LTE (RSRP).

Recuperado de EEI: Niveles de Potencia para LTE (RSRP) (arastechnologies.com)

Guerra Amaya, J. R. (2006). Diseño de Estación Celular para la localidad de Laredo – Trujillo – La Libertad. Recuperado de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/247/GUERRA_AMAYA_JOSE_DISENO_ESTACION_CELULAR_LAREDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aguirre León, L. M. (2010). Planificación y diseño de ampliación de cobertura de red celular GSM y ajuste de parámetros mediante un repetidor activo para la zona norte de la provincia de Napo. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital de la Escuela Politécnica Nacional. URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2288/1/CD-2971.pdf>

ANEXOS

ANEXO 01:

GUIA DE OBSERVACIÓN

Objetivo: Obtención de las **mediciones de parámetros KPI** con/sin aplicación de repetidor celular en 4 ambientes indoor.

Ubicación: Distrito de Santiago de Cao

Investigadores:

- Yeffrey Aldair Barreto carrasco
- Jose Miguel Fernandez Garcia

Fecha: 23/04/2023

Los datos de todos los parámetros KPI en los 4 ambientes indoor se obtuvieron siguiendo el siguiente procedimiento:

- 1) Se Identifica las áreas donde se implementaría el repetidor de señal celular además se consideró la ubicación clave de este dispositivo alejado de algún objeto o equipos con el fin de minimizar interferencias.
- 2) Se realiza la instalación y cableado de la antena interior y la antena exterior en los ambientes indoor ubicados en zonas libres de objetos para evitar fluctuaciones o acoplamientos entre ambas.
- 3) Se realiza la descarga y configuración de la aplicación G-netTrack en el dispositivo móvil para la medición de parámetros como RSSI, RSRP, RSCP, RSRQ.
- 4) Una vez ubicado el repetidor en sus posiciones, se secciona el ambiente en 4 Mini zonas, donde en cada Mini zona se hará una toma de 25 datos donde el recorrido de la toma de datos va desde P1-P100 en cada zona
- 5) Se recolectan los datos de los parámetros KPI mencionados anteriormente en cada ambiente (1,2,3,4) utilizando el programa G-Netrack Pro con la presencia y ausencia del repetidor de señal celular , datos que serán ingresados en una tabla de Excel para los 4 ambiente como se muestra a continua

Tabla de medición del nivel de parámetros de optimización

ZONA	STANDBY				LLAMADA				TEST DOWNLOAD					MOS			
	n	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	RSCP	TIPO	VELOCIDAD DL MAX (Mbps)	RSRP	RSRQ	SNR	RSSI	TIPO	1-2 (malo)	3 (regular)	4-5 excelente
ZONA #	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
	11																
	12																
	13																
	14																
	15																
	16																
	17																
	18																
	19																
	20																
	21																
	22																
	23																
	24																
	25																

METODO DE MEDICION

Respecto al método de medición empleado por Gil Valeriano, F. G. (2017) , se realizaron mediciones de parámetros KPI en campo de soluciones IN-Bulding DAS y Lampsite para una red de acceso 4G, mediante la técnica de walk test y el empleo del software G-Netrack Pro

Número de mediciones:

Conforme las recomendaciones de Becerra L. (2004), se seleccionó un número mínimo requerido de 25 mediciones de potencia interferente, para obtener un valor incertidumbre de 2.1 dB, con una desviación estimada de $\sigma = 1.6$ dB, para el 95.45% de los datos.

El tiempo de la medición se encuentra asociado al número mínimo de mediciones requeridas (repeticiones). La herramienta empleada permite capturar una medición por segundo, por lo cual el tiempo empleado para cada medición es estimado en 20 segundos.

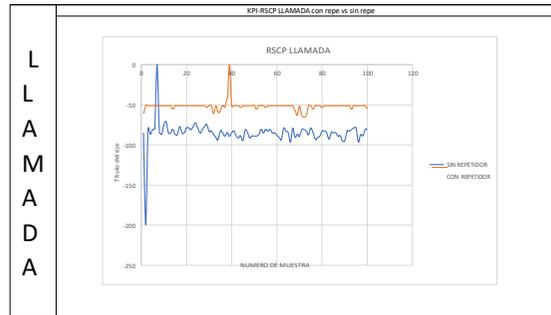
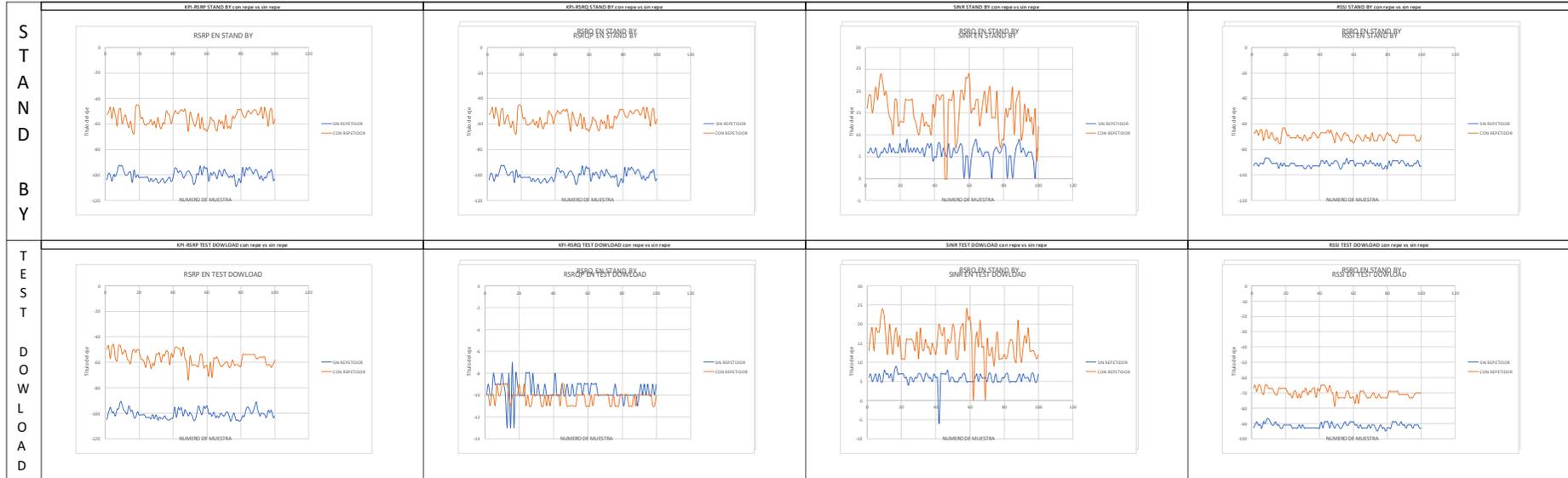
Referencias:

La presente guía de observación, está basada en los métodos de medición empleados por:

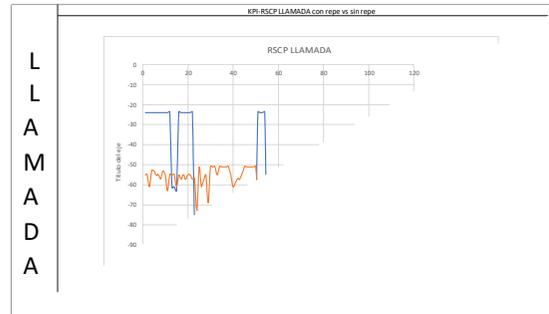
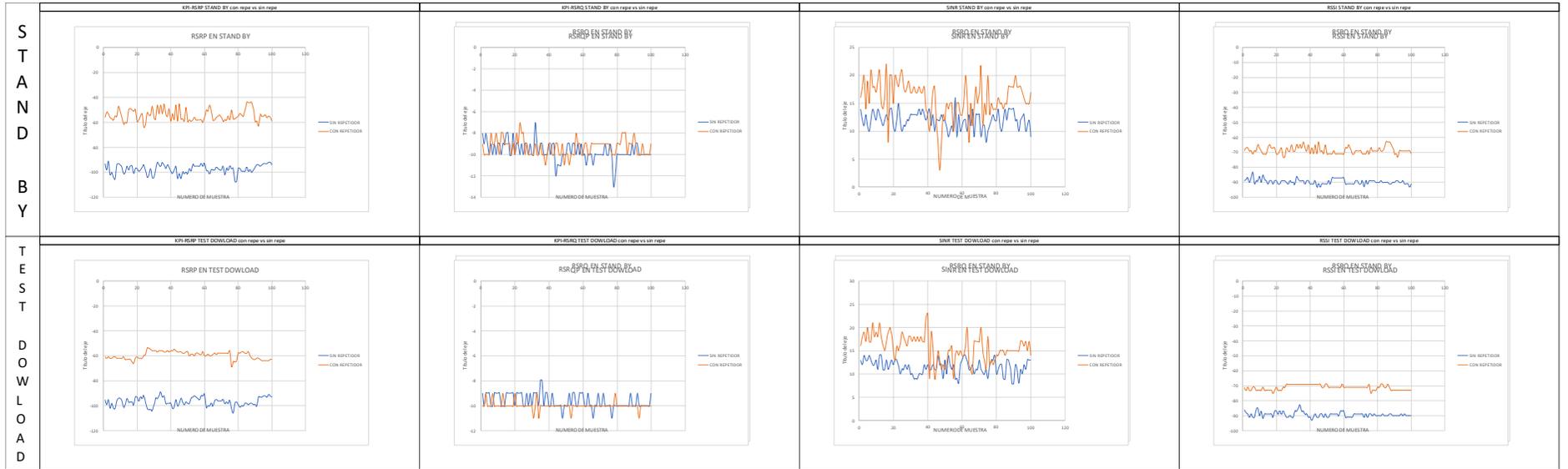
- Cayhuaray Aguirre, J. R., & De La Cruz Aguilar, H. F. (2023). *Comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia entre dos transceptores 2.4 GHz coubicados en un emplazamiento urbano, Trujillo-2022.*
- Becerra L. (2004) "Número de Mediciones Necesarias" Centro Nacional de Metrología, México
- Gil Valeriano, F. G. (2017). Estudio del Comportamiento de los KPI en Campo de las Soluciones In-Building DAS y LAMPSITE para una Red de Acceso 4G – LTE, en la Ciudad de Trujillo 2016.

ANEXO 02: Graficas de parámetros KPI con/sin la aplicación de repetidor de señal celular

ESCENARIO 01



ESCENARIO 02

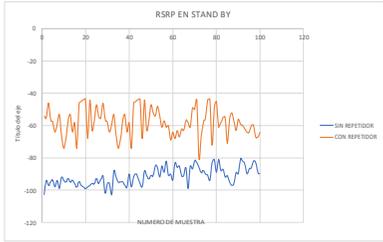


L
L
A
M
A
D
A

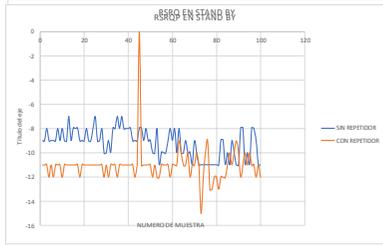
ESCENARIO 03

S
T
A
N
D
B
Y

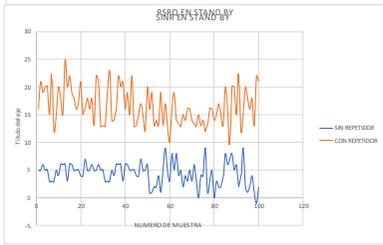
KPI-RSRP STAND BY con repe vs sin repe



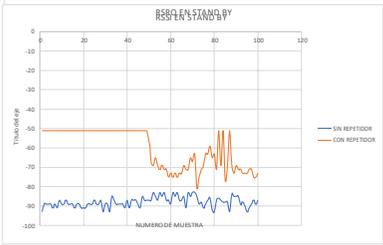
KPI-RSRQ STAND BY con repe vs sin repe



SINR STAND BY con repe vs sin repe

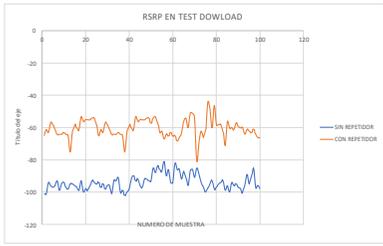


RSI STAND BY con repe vs sin repe

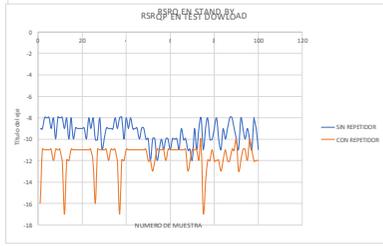


T
E
S
T
D
O
W
N
L
O
A
D

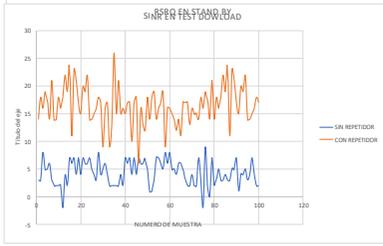
KPI-RSRP TEST DOWNLOAD con repe vs sin repe



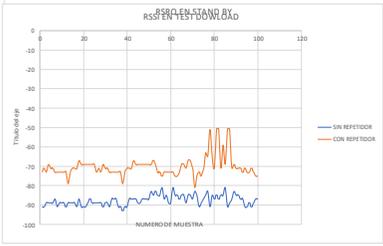
KPI-RSRQ TEST DOWNLOAD con repe vs sin repe



SINR TEST DOWNLOAD con repe vs sin repe

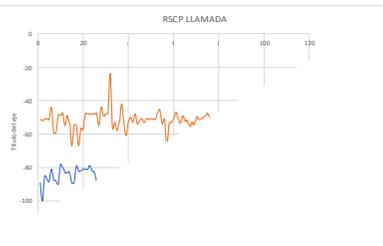


RSI TEST DOWNLOAD con repe vs sin repe

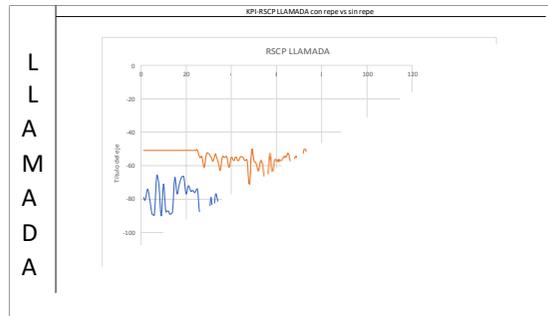
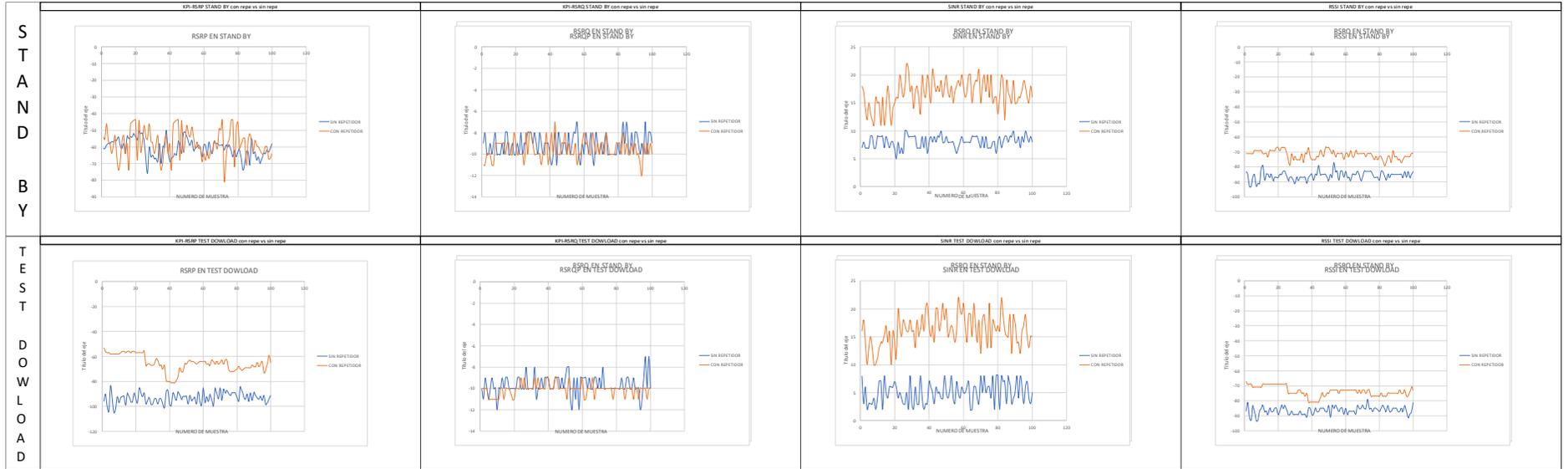


L
L
A
M
A
D
A

KPI-RSCP LLAMADA con repe vs sin repe



ESCENARIO 04



ANEXO 03: CONSOLIDADOS PORCENTUAL DE PARAMETROS KPIs

Ambiente 01

PARAMETRO KPI RSRP (SB)					
PARAMETRO KPI RSRP (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	40%	0%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	40	40	60%	100%
	<< -100 dBm	60	60		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	0%
	<< -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (SB)					
PARAMETRO KPI RSRQ (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	95	95	100%	95%
	-10 dB a -15 dB	5	5		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	5%
	<< -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= -10 dB	88	88	100%	88%
	-10 dB a -15 dB	12	12		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	12%
	<< -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (SB)					
PARAMETRO KPI SINR (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	0%	0%
	13 dB a 20 dB	0	0		
	0 dB a 13 dB	94	94	100%	100%
	<< 0 dB	6	6		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	15	15	100%	15%
	13 dB a 20 dB	64	64		
	0 dB a 13 dB	21	21	21%	85%
	<< 0 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (SB)					
PARAMETRO KPI RSSI (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	0%	0%
	-65 dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	100%	100%
	-85 dBm a -95 dBm	100	100		
<< -95 dBm	0	0			
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	100%	0%
	-65 dBm a -75 dBm	100	100		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	0%	100%
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
<< -95 dBm	0	0			
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSCP (LLAMADA)					
PARAMETRO KPI RSCP (LLAMADA)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	-60 a 0	0	0	0%	0%
	-75 a -60	3	3		
	-85 a -75	52	52	97%	100%
	-95 a -85	43	43		
<< -124 a -95	2	2			
CON REPETIDOR	-60 a 0	94	94	100%	94%
	-75 a -60	5	5		
	-85 a -75	0	0	1%	6%
	-95 a -85	1	1		
<< -124 a -95	0	0			
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRP (TD)					
PARAMETRO KPI RSRP (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	35%	0%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	35	35	65%	100%
	<< -100 dBm	65	65		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	0%
	<< -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (TD)					
PARAMETRO KPI RSRQ (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	95	95	99%	95%
	-10 dB a -15 dB	4	4		
	-15 dB a -20 dB	0	0	1%	5%
	<< -20 dB	1	1		
CON REPETIDOR	>= -10 dB	68	68	100%	68%
	-10 dB a -15 dB	32	32		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	32%
	<< -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (TD)					
PARAMETRO KPI SINR (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	0%	0%
	13 dB a 20 dB	0	0		
	0 dB a 13 dB	100	100	100%	100%
	<< 0 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	13	13	100%	13%
	13 dB a 20 dB	61	61		
	0 dB a 13 dB	24	24	26%	87%
	<< 0 dB	2	2		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (TD)					
PARAMETRO KPI RSSI (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	0%	0%
	-65 dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	100%	100%
	-85 dBm a -95 dBm	100	100		
<< -95 dBm	0	0			
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	8	8	100%	8%
	-65 dBm a -75 dBm	89	89		
	-75 dBm a -85 dBm	3	3	3%	92%
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
<< -95 dBm	0	0			
TOTAL		200			

Ambiente 02

PARAMETRO KPI RSRP (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	75%	0%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	75	75	25%	100%
	<= -100 dBm	25	25		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	0%
	<= -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	92	92	100%	92%
	-10 dB a -15 dB	8	8		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	8%
	<= -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= -10 Db	97	97	100%	97%
	-10 dB a -15 dB	3	3		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	3%
	<= -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	30%	0%
	13 dB a 20 dB	30	30		
	0 dB a 13 dB	70	70	70%	100%
	<= 0 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	13	13	89%	13%
	13 dB a 20 dB	76	76		
	0 dB a 13 dB	11	11	11%	87%
	<= 0 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	0%	0%
	-65dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	100%	100%
	-85 dBm a -95 dBm	100	100		
	<= -95 dBm	0	0		
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	100%	0%
	-65dBm a -75 dBm	100	100		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	0%	100%
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
	<= -95 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSCP (LLAMADA)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	-60 a 0	23	23	23%	23%
	-75 a -60	29	29		
	-85 a -75	43	43	48%	77%
	-95 a -85	5	5		
	-124 a -95	0	0		
CON REPETIDOR	-60 a 0	65	65	100%	65%
	-75 a -60	35	35		
	-85 a -75	0	0	0%	35%
	-95 a -85	0	0		
	-124 a -95	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRP (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	79%	0%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	79	79	21%	100%
	<= -100 dBm	21	21		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	0%
	<= -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	97	97	100%	97%
	-10 dB a -15 dB	3	3		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	3%
	<= -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= -10 Db	96	96	100%	96%
	-10 dB a -15 dB	4	4		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	4%
	<= -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	29%	0%
	13 dB a 20 dB	29	29		
	0 dB a 13 dB	71	71	71%	100%
	<= 0 dB	0	0		
	<= -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	8	8	86%	8%
	13 dB a 20 dB	78	78		
	0 dB a 13 dB	14	14	14%	92%
	<= 0 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	0%	0%
	-65dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	100%	100%
	-85 dBm a -95 dBm	100	100		
	<= -95 dBm	0	0		
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	9	9	9%	9%
	-65dBm a -75 dBm	88	88		
	-75 dBm a -85 dBm	3	3	3%	91%
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
	<= -95 dBm	0	0		
TOTAL		200			

Ambiente 03

PARAMETRO KPI RSRP (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	97%	62%
	-80 dBm a -90 dBm	62	62		
	-90 dBm a -100 dBm	35	35	38%	
	<< -100 dBm	3	3		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	
	<< -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	80	80	100%	80%
	-10 dB a -15 dB	20	20		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	
	<< -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= -10 Db	11	11	100%	11%
	-10 dB a -15 dB	89	89		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	
	<< -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	0%	
	13 dB a 20 dB	0	0		
	0 dB a 13 dB	99	99	100%	
	<< 0 dB	1	1		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	20	20	20%	
	13 dB a 20 dB	77	77		
	0 dB a 13 dB	3	3	3%	
	<< 0 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	0%	
	-65dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	100%	
	-85 dBm a -95 dBm	100	100		
	<< -95 dBm	0	0		
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	63	63	63%	
	-65dBm a -75 dBm	36	36		
	-75 dBm a -85 dBm	1	1	1%	
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
	<< -95 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSCP (LLAMADA)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	-60 a 0	0	0	0%	
	-75 a -60	0	0		
	-85 a -75	20	20	100%	
	-95 a -85	79	79		
	-124 a -95	1	1		
CON REPETIDOR	-60 a 0	99	99	99%	
	-75 a -60	1	1		
	-85 a -75	0	0	0%	
	-95 a -85	0	0		
	-124 a -95	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRP (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	90%	19%
	-80 dBm a -90 dBm	19	19		
	-90 dBm a -100 dBm	71	71	10%	
	<< -100 dBm	10	10		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	
	<< -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	84	84	100%	84%
	-10 dB a -15 dB	16	16		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	
	<< -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= -10 Db	3	3	95%	3%
	-10 dB a -15 dB	92	92		
	-15 dB a -20 dB	5	5	5%	
	<< -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	0%	
	13 dB a 20 dB	0	0		
	0 dB a 13 dB	100	100	100%	
	<< 0 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	16	16	94%	16%
	13 dB a 20 dB	78	78		
	0 dB a 13 dB	6	6	6%	
	<< 0 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	0%	
	-65dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	100%	
	-85 dBm a -95 dBm	100	100		
	<< -95 dBm	0	0		
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	8	8	8%	
	-65dBm a -75 dBm	89	89		
	-75 dBm a -85 dBm	3	3	3%	
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
	<< -95 dBm	0	0		
TOTAL		200			

Ambiente 04

PARAMETRO KPI RSRP (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	94%	47%
	-80 dBm a -90 dBm	47	47		
	-90 dBm a -100 dBm	47	47	53%	
	<= -100 dBm	6	6		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	
	<= -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	96	96	100%	96%
	-10 dB a -15 dB	4	4		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	
	<= -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= -10 Db	90	90	100%	90%
	-10 dB a -15 dB	10	10		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	
	<= -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	0%	0%
	13 dB a 20 dB	0	0		
	0 dB a 13 dB	100	100	100%	
	<= 0 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	14	14	94%	14%
	13 dB a 20 dB	80	80		
	0 dB a 13 dB	6	6	6%	
	<= 0 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (SB)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	0%	0%
	-65dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	53	53	100%	
	-85 dBm a -95 dBm	47	47		
<= -95 dBm	0	0			
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	100%	0%
	-65dBm a -75 dBm	100	100		
	-75 dBm a -85 dBm	0	0	0%	
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
<= -95 dBm	0	0			
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSCP (LLAMADA)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	-60 a 0	0	0	<= 1%	0%
	-75 a -60	21	21		
	-85 a -75	48	48	79%	
	-95 a -85	24	24		
<= -124 a -95	7	7			
CON REPETIDOR	-60 a 0	79	79	100%	79%
	-75 a -60	21	21		
	-85 a -75	1	1	1%	
	-95 a -85	0	0		
<= -124 a -95	0	0			
TOTAL		201			

PARAMETRO KPI RSRP (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -80 dBm	0	0	94%	29%
	-80 dBm a -90 dBm	29	29		
	-90 dBm a -100 dBm	65	65	6%	
	<= -100 dBm	6	6		
CON REPETIDOR	>= -80 dBm	100	100	100%	100%
	-80 dBm a -90 dBm	0	0		
	-90 dBm a -100 dBm	0	0	0%	
	<= -100 dBm	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSRQ (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -10 dB	92	92	100%	92%
	-10 dB a -15 dB	8	8		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	
	<= -20 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= -10 Db	81	81	100%	81%
	-10 dB a -15 dB	19	19		
	-15 dB a -20 dB	0	0	0%	
	<= -20 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI SINR (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= 20 dB	0	0	0%	0%
	13 dB a 20 dB	0	0		
	0 dB a 13 dB	100	100	100%	
	<= 0 dB	0	0		
CON REPETIDOR	>= 20 dB	13	13	94%	13%
	13 dB a 20 dB	79	79		
	0 dB a 13 dB	8	8	8%	
	<= 0 dB	0	0		
TOTAL		200			

PARAMETRO KPI RSSI (TD)	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE (%)	Rango aceptabilidad 1 100%	Rango aceptabilidad 2 95%
SIN REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	100%	0%
	-65dBm a -75 dBm	0	0		
	-75 dBm a -85 dBm	46	46	100%	
	-85 dBm a -95 dBm	54	54		
<= -95 dBm	0	0			
CON REPETIDOR	>= -65 dBm	0	0	19%	0%
	-65dBm a -75 dBm	81	81		
	-75 dBm a -85 dBm	19	19	100%	
	-85 dBm a -95 dBm	0	0		
<= -95 dBm	0	0			
TOTAL		200			

VELOCIDADES MBPS

Ambiente 1

APLICACIÓN	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango aceptabilidad 1 100%
SIN REPETIDOR	>=10 Mbps	59	59	100
	5-10 Mbps	32	32	
	1-5 Mbps	9	9	
	<= 1 Mbps	0	0	0
CON REPETIDOR	>=10 Mbps	61	61	100
	5-10 Mbps	28	28	
	1-5 Mbps	11	11	
	<= 1 Mbps	0	0	0
TOTAL		200		

Ambiente 2

APLICACIÓN	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango aceptabilidad 1 100%
SIN REPETIDOR	>=10 Mbps	66	66	99
	5-10 Mbps	16	16	
	1-5 Mbps	17	17	
	<= 1 Mbps	1	1	1
CON REPETIDOR	>=10 Mbps	96	96	100
	5-10 Mbps	3	3	
	1-5 Mbps	1	1	
	<= 1 Mbps	0	0	0
TOTAL		200		

Ambiente 3

APLICACIÓN	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango aceptabilidad 1 100%
SIN REPETIDOR	>=10 Mbps	47	47	100
	5-10 Mbps	33	33	
	1-5 Mbps	20	20	
	<= 1 Mbps	0	0	0
CON REPETIDOR	>=10 Mbps	74	74	100
	5-10 Mbps	24	24	
	1-5 Mbps	2	2	
	<= 1 Mbps	0	0	0
TOTAL		200		

Ambiente 4

APLICACIÓN	RANGO	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango aceptabilidad 1 100%
SIN REPETIDOR	>=10 Mbps	77	77	99
	5-10 Mbps	16	16	
	1-5 Mbps	6	6	
	<= 1 Mbps	1	1	1
CON REPETIDOR	>=10 Mbps	97	97	100
	5-10 Mbps	3	3	
	1-5 Mbps	0	0	
	<= 1 Mbps	0	0	0
TOTAL		200		

MAIN OPINION SCORE

AMBIENTE 1

APLICACIÓN	MOS	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango de aceptabilidad
SIN REPETIDOR	1-2	30	30	61
	3	31	31	39
	4-5	39	39	
CON REPETIDOR	1-2	5	5	5
	3	30	30	95
	4-5	65	65	

AMBIENTE 2

APLICACIÓN	MOS	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango de aceptabilidad
SIN REPETIDOR	1-2	18	18	18
	3	61	61	82
	4-5	21	21	
CON REPETIDOR	1-2	1	1	1
	3	0	0	99
	4-5	99	99	

AMBIENTE 3

APLICACIÓN	MOS	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango de aceptabilidad
SIN REPETIDOR	1-2	53	53	53
	3	34	34	47
	4-5	13	13	
CON REPETIDOR	1-2	4	4	4
	3	20	20	96
	4-5	76	76	

AMBIENTE 4

APLICACIÓN	MOS	N MUESTRAS	PORCENTAJE %	Rango de aceptabilidad
SIN REPETIDOR	1-2	55	55	55
	3	38	38	45
	4-5	7	7	
CON REPETIDOR	1-2	4	4	4
	3	2	2	96
	4-5	94	94	

Anexo 04 porcentaje diferencias de velocidades de los 04 ambientes

