

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**ELECTRÓNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE  
ANTENAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE  
COBERTURA EN LA ESTACIÓN CENTRAL DEL  
METROPOLITANO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. GUTIERREZ SALINAS, XAVIER ANDRE**

**Bach. RIVERA CARDENAS, JUAN GABRIEL**

**ASESOR: Ing. LUIS CUADRADO LERMA**

**LIMA - PERÚ**

**2015**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, a mis padres Adolfo Gutiérrez y Rosa Salinas, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

***Xavier André Gutierrez Salinas***

Dedico principalmente este proyecto de tesis a mis padres, quienes siempre me brindaron el soporte necesario para no desistir a mis objetivos, se lo dedico también a mis hermanos quienes apoyan y brindan ánimos en todo momento. Asimismo se lo dedico a todas aquellas personas que influenciaron en la conclusión de este proyecto.

***Juan Gabriel Rivera Cardenas***

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro Agradecimiento a los docentes de la carrera de Ing. Electrónica quienes apoyaron a nuestra formación profesional.

Al Ing. Luis Cuadrado Lerma nuestro asesor, por su apoyo para la terminación de nuestro proyecto de Tesis.

Al Ing. Adolfo Gutierrez Salinas, por su apoyo en el capítulo IV de esta investigación y brindarnos su valioso tiempo.

En general a todas las instituciones, organismos, archivos, bibliotecas, que de alguna manera contribuyeron a facilitarnos acceso a la información requerida para alcanzar los objetivos trazados en esta tesis.

En especial a nuestros padres y hermanos, de los cuales siempre recibimos su apoyo.

Finalmente, a todas aquellas personas, colegas y amigos que nos brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de nuestros objetivos.

Xavier André Gutierrez Salinas

Juan Gabriel Rivera Cárdenas

INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	2
1.1.- Fundamentación y formulación del problema	2
1.2.- Objetivos principales y secundarios	2
Objetivo Principal:	2
Objetivos Secundarios:	2
1.3.- Justificación del Estudio e importancia	3
1.4.- Fundamentación y formulación de las hipótesis	3
Hipótesis Principal	3
Hipótesis Secundarias	3
1.5.- Identificación y clasificación de las variables	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1.- Antecedentes del estudio de investigación	5
2.2.- Bases teóricas vinculadas al problema	6
2.2.1.- Redes móviles	6
2.2.1.1.- Red de segunda generación	6
2.2.1.2.- Redes de tercera generación	12
2.2.1.3 Sistemas de cuarta generación (4G)	21
2.2.1.4.- Soluciones Indoor	25
2.3.- Glosario de Términos	31
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	32
3.1.- Tipificación de la investigación	32
3.2.- Operacionalización de variables	32
3.3.- Estrategia para la prueba de hipótesis	33
3.5.- Instrumentos de recolección de datos	34
3.5.1.- La Observación	34
3.5.2.- Medición	34

CAPÍTULO IV: ASPECTOS DE INGENIERIA	35
4.1.- Problemática a resolver	35
4.1.1.- Descripción del caso	35
4.1.2.- Toma de mediciones	40
4.1.2.1.- Herramientas de Medición	40
4.1.3.- Propuesta de la Arquitectura de la Solución	44
4.1.4.- Arquitectura de la Solución	45
4.2.- Equipamiento a utilizar	47
4.3.- Diseño de la solución	49
4.4.- Predicciones de Cobertura	49
4.5.- Cuadros de Potencias del Diseño	61
4.6.- Diagramas Generales de la Solución	67
4.7.- Listado de Materiales	70
4.8.- Análisis económico de la solución	72
4.9.- Cronograma de Implementación	101
CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	102
5.1.- Presentación, análisis e interpretación de datos adquiridos	102
5.2.- Análisis y discusión de los resultados.	129
CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES	135
BIBLIOGRAFIA	136
ANEXOS	137
Anexo 01: Equipos RF	137
Anexo 02: Tarifas de Operadores Móviles	141
Anexo 03: Registro de concurrencia de usuarios del servicio Metropolitano	143
Anexo 04: Numero de líneas móviles prepago y postpago	144

## Índice de Gráficos

Grafico 1. Arquitectura GSM	8
Grafico 2. Sistema de Evolución UMTS	13
Grafico 3. Arquitectura de Red de Acceso Móvil – UTRAN	15
Grafico 4. División de Potencia entre Release 99 y HSDPA	16
Grafico 5. Arquitectura UMTS - Release 7	19
Grafico 6. Requerimientos LTE	23
Grafico 7. Arquitectura LTE y UMTS release 10 – Small Cell Backhaul	26
Grafico 8. Opciones de conectividad cuando se utiliza una celda macro existente	266
Grafico 9. Reflexión de señales para proveer servicios indoor en zonas urbanas	288
Grafico 10. Implementación típica de un sistema MIMO	30
Grafico 11. Valores de Longitudes de Onda	30
Grafico 12. Ubicación geográfica de la Estación Central del Metropolitano	35
Grafico 13. Estaciones celular de Telefónica próximas a la Estacion Central	37
Grafico 14. Estaciones celular de Entel próximas a la Estación Central	38
Grafico 15. Estaciones celulares de Claro próximas a la estación central del Metropolitano	39
Grafico 16. Interfaz gráfica RAN-Advisor True Site	41
Grafico 17. Visualización de características del software de medida	41
Grafico 18. Ejemplo de prueba outdoor utilizando RANAdvisor	42
Grafico 19. Ejemplo de prueba indoor utilizando RANAdvisor	43
Grafico 20. Diseño general de la solución	46
Grafico 21. BBU3900 – Huawei	47
Grafico 22. RRU 3908 – Huawei	47
Grafico 23. Splitter de 2 vías – RFS	48
Grafico 24. Antena Omnidireccional y Antena Panel – RFS	48
Grafico 25. Vista 3D de la estación central del Metropolitano	50
Grafico 26. Predicción de cobertura – Primer diseño - Sistema 2G	52
Grafico 27. Predicción de cobertura – Primer diseño - Sistema 3G	53
Grafico 28. Predicción de cobertura – Primer diseño - Sistema 4G	54
Grafico 29. Predicción Downlink – Primer diseño - Sistema 4G	55

Grafico 30. Predicción de cobertura - Segundo diseño - Sistema 2G	56
Grafico 31. Predicción de cobertura - Segundo diseño - Sistema 3G	57
Grafico 32. Predicción de cobertura - Segundo diseño - Sistema 4G	58
Grafico 33. Predicción Downlink – Segundo diseño - Sistema 4G	59
Grafico 34. Distribución esquemática - Primer diseño	67
Grafico 35. Distribución esquemática - Segundo diseño	68
Grafico 36. Esquema unilineal eléctrico	69
Grafico 37. Distribución estimada del mercado de telefonía móvil en Lima	74
Grafico 38. Distribución de líneas prepago y por contrato de Movistar en Lima	75
Grafico 39. Distribución de líneas prepago y por contrato de Claro en Lima	80
Grafico 40. Distribución de líneas prepago y por contrato de Entel en Lima	855
Grafico 41. Cronograma de Implementación	1011
Grafico 42. Prueba RxLev – Claro – 2G	1033
Grafico 43. Prueba celda dominante - Claro - 2G	1044
Grafico 44. Pruebas RSCP - Claro - 3G	1055
Grafico 45. Prueba Ec/No - Claro - 3G	1066
Grafico 46. Prueba celda dominante - Claro - 3G	1077
Grafico 47. Prueba RxPower - Claro - 3G	10809
Grafico 48. Prueba RSRP - Claro - 4G	10909
Grafico 49. Prueba RSRQ - Claro - 4G	1100
Grafico 50. Prueba celda dominante - Claro - 4G	1111

Grafico 51. Prueba RxLev outdoor- Claro - 2G  
1122

Grafico 52. Prueba Best Server outdoor - Claro - 2G  
1122

Grafico 53. Prueba RSCP outdoor - Claro - 3G  
1133

Grafico 54. Prueba Scrambling Code outdoor - Claro - 3G  
1133

Grafico 55. Prueba Ec/No outdoor - Claro - 3G  
1144

Grafico 56. Prueba RSRP outdoor - Claro - 4G  
1144

Grafico 57. Prueba celda dominante outdoor - Claro - 4G  
1155

Grafico 58. Prueba RxLev - Movistar - 2G  
1166

Grafico 59. Prueba Best Server - Movistar - 2G  
1177

Grafico 60. Prueba RSCP - Movistar - 3G  
11818

Grafico 61. Prueba Ec/No - Movistar - 3G  
11919

Grafico 62. Prueba RxPower - Movistar - 3G  
1200

Grafico 63. Prueba Scode - Movistar - 3G  
1211

Grafico 64. Prueba RSRP - Movistar - 4G  
1222

Grafico 65. Prueba RSRQ - Movistar - 4G  
1233

Grafico 66. Pruebas celda dominante - Movistar - 4G  
1244

Grafico 67. Prueba RxLev outdoor - Movistar - 2G

1255

Grafico 68. Prueba Best server outdoor - Movistar - 2G

1266

Grafico 69. Prueba RSCP outdoor - Movistar - 3G

1266

Grafico 70. Prueba Ec/No outdoor - Movistar - 3G

1277

Grafico 71. Prueba Scrambling code outdoor - Movistar - 3G

1277

Grafico 72. Prueba RSRP outdoor - Movistar - 4G

1288

Grafico 73. Prueba celda dominante outdoor - Movistar - 4G

12828

## Índice de Tablas

Tabla 1. Identificación de Variable	32
Tabla 2. Cuadro de potencias – Primer diseño – Sistema 2G	62
Tabla 3. Cuadro de potencias - Primer diseño - Sistema 3G	63
Tabla 4. Cuadro de potencias - Primer diseño - Sistema 4G	63
Tabla 5. Cuadro de potencias - Segundo diseño - Sistema 2G	64
Tabla 6. Cuadro de potencias - Segundo diseño - Sistema 3G	65
Tabla 7. Cuadro de potencias - Segundo diseño - Sistema 4G	66
Tabla 8. Listado de materiales - Primer diseño	70
Tabla 9. Listado de materiales - Segundo diseño	71
Tabla 10. CAPEX - Primer diseño	72
Tabla 11. OPEX - Primer diseño	73
Tabla 12. Márgenes de Ganancia por llamada Telefónica	75
Tabla 13. Ganancias Anuales	76
Tabla 14. Márgenes de Ganancias por Megabyte	77
Tabla 15. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos	77
Tabla 16. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Movistar	78
Tabla 17. Calculo VAN – TIR	78
Tabla 18. Márgenes de Ganancia por llamada Telefónica – Claro	
800	
Tabla 19. Ganancias Anuales – Claro	81
Tabla 20. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Claro	82
Tabla 21. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Claro	82
Tabla 22. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Claro	
833	
Tabla 23. Calculo VAN – TIR	84
Tabla 24. Márgenes de Ganancia por llamada – Entel	
855	

Tabla 25. Ganancias Anuales – Entel	
Tabla 26. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Entel	866
Tabla 27. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Entel	877
Tabla 28. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Entel	888
Tabla 29. Calculo VAN – TIR	888
Tabla 30. CAPEX - Segundo diseño	889
Tabla 31. OPEX Segundo diseño	889
Tabla 32. Márgenes de Ganancia por llamada Telefónica	900
Tabla 33. Ganancias Anuales	900
Tabla 34. Márgenes de Ganancias por Megabyte	911
Tabla 35. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos	911
Tabla 36. Flujo de Caja - Segundo diseño - Operador Movistar	922
Tabla 37. Calculo VAN – TIR – Movistar	933
Tabla 38. Márgenes de Ganancia por llamada – Claro	933
Tabla 39. Ganancias Anuales – Claro	944
Tabla 40. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Claro	944
Tabla 41. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Claro	955

Tabla 42. Flujo de Caja - Segundo diseño - Operador Claro	
966	
Tabla 43. Calculo VAN – TIR	
966	
Tabla 44. Márgenes de Ganancia por llamada Telefónica – Entel	
977	
Tabla 45. Ganancias Anuales – Entel	
988	
Tabla 46. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Entel	98
Tabla 47. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Entel	99
Tabla 48. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Entel	
1000	
Tabla 49. Calculo VAN – TIR	
1000	
Tabla 50. Cuadro KPI actuales - Claro - RxLev indoor	
1300	
Tabla 51. Cuadro KPI actuales - Claro - Best Server indoor	
1300	
Tabla 52. Cuadro KPI actuales - Claro - RSCP indoor	
1300	
Tabla 53. Cuadro KPI actuales - Claro - Ec/No indoor	
1311	
Tabla 54. Cuadro KPI actuales - Claro - Celda Dominante indoor	
1311	
Tabla 55. Cuadro KPI actuales - Movistar - RxLev indoor	
1311	
Tabla 56. Cuadro KPI actuales - Movistar - Best Server indoor	
1322	
Tabla 57. Cuadro KPI actuales - Movistar - RSCP indoor	
1322	
Tabla 58. Cuadro KPI actuales - Movistar - Ec/No indoor	
1322	

## RESUMEN

La presente tesis consiste en el diseño de un sistema *MIMO* mediante la tecnología *DAS (Distributed Antenna System)*, orientada a una red RF *Indoor* en la estación central del metropolitano, mejorando la cobertura de señal de los sistemas 2G, 3G y 4G.

La tesis se ha organizado de la siguiente forma:

En el primer capítulo se presenta el planteamiento del estudio de investigación, identificando las problemáticas existentes, trazando objetivos a lograr al final de la tesis. Parte importante de este capítulo es la justificación del estudio y su importancia que posee, así también identificar las variables, para finalmente tener un claro concepto de la problemática.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico. Primero se describe los antecedentes del estudio de investigación relacionadas a las estaciones macro y sistemas *Indoor* que se ven involucrados en la estación central del metropolitano, así también la descripción de las bases teóricas vinculadas al problema, se elaboró un glosario de los términos que a la comprensión de la tesis.

En el tercer capítulo se muestra el diseño metodológico, teniendo claro el tipo de investigación que será realizado, así mismo la operacionalización de las variables, que son segmentadas para poder ser medidas y/o controladas, por último la técnica de investigación a realizar.

En el cuarto capítulo se muestra el cronograma de trabajo, aspectos económicos como presupuestos y financiamientos en base a los recursos a utilizar en el estudio.

En el quinto capítulo se muestran las mediciones actuales de los parámetros de cobertura móvil en la estación central del Metropolitano. El sexto capítulo presenta las conclusiones y observaciones de la presente tesis.

**Palabras Clave:** Sistema distribuido de Antenas, cobertura, sistemas indoor, walktest, drive test.

### **ABSTRACT**

This thesis is about the design of a system MIMO using technology DAS (Distributed Antenna System), oriented to an RF Indoor network in the metropolitan central station, improving signal coverage of 2G, 3G and 4G systems.

The thesis is organized as follows:

In the first chapter, the approach of the research study was made identifying existing problems, tracing objectives to be achieved at the end of the thesis. An important part of this chapter is the justification of the study and its importance that it has, this we help us to identify variables to finally have a clear understanding of the problem.

The second chapter presents the theoretical framework. First the background of the research study related to macro-stations and Indoor systems that are involved in the metropolitan central station and also the description of the theoretical basis related to the problem, a glossary of terms was made that support us to the understanding of the thesis.

In the third chapter the methodological design is shown, knowing clearly the type of research to be done, likewise the operationalization of the variables, which are separated with the objective of be measured or controlled. Lastly, investigative technique to perform is shown.

In the fourth chapter, we show the work schedule, budget and economic issues such as financing based on the resources used in the study sample.

In the fifth chapter we show the current measurements of the parameters of mobile coverage in the metropolitan central station. The sixth chapter presents the conclusions and observations of this thesis.

**Keywords:** Distributed Antenna System, coverage, indoor system, walktest, drivetest.

## INTRODUCCION

En la actualidad la mayoría de personas tienden a depender más de la disponibilidad de las redes móviles, ya sea para cerrar negocios, dar algún tipo de información o simplemente el acto de comunicarse, sin embargo existen muchas zonas en la ciudad de Lima, de gran concurrencia humana, que no cuentan con una cobertura optima y en donde beneficiarse de las bondades de las redes móviles resulta simplemente imposible, tal es el caso de la estación central del Metropolitano.

En la presente tesis se planteará un diseño que permita asegurar una buena cobertura móvil que traiga como consecuencia una aceptable disponibilidad para el acceso a los datos móviles y comunicación móvil de manera ininterrumpida.

Iniciamos definiendo cual es la problemática de la investigación que surge con la siguiente pregunta ¿Qué tipo de diseño, en base a la tecnología del sistema distribuido de antenas, permitirá mejoras en los indicadores de cobertura y así obtener una optimización de una red móvil en la estación central del metropolitano?

Nos apoyamos en herramientas de medición tal como *JDSU RanAdvisor* a fin de dar a conocer cuál es la situación actual, en aspectos de cobertura móvil, de la estación central del Metropolitano.

Una vez obtenidas las mediciones, se puede proceder con el análisis e interpretación de las mismas a fin de poder identificar los puntos de mejora.

Por último se procede a proponer un diseño con el apoyo de un software llamado *iBwave*, con el cual se tendría una mejora a niveles de cobertura.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1.- Fundamentación y formulación del problema**

¿Qué tipo de diseño *DAS* permitirá mejorar en los niveles de cobertura móvil y obtener la optimización de una red móvil en la estación central del Metropolitano?

Asimismo se identificaron tres problemas secundarios:

- a) ¿Cuáles son los parámetros actuales en la estación central del metropolitano utilizando el método de medición *walktest*?
- b) ¿Cómo se ven afectados los servicios de telefonía móvil por la falta de infraestructura en la estación central del metropolitano?
- c) ¿Qué tecnología es beneficiosa al diseño de la solución *Indoor* en base a aspectos económicos y tecnológicos?

### **1.2.- Objetivos principales y secundarios**

#### ***Objetivo Principal:***

Proponer una solución *DAS* para mejorar la cobertura del servicio de telefonía móvil y optimizar los parámetros de medición en la estación central del metropolitano.

#### **Objetivos Secundarios:**

- a) Identificar el estado actual de los parámetros de cobertura móvil en la estación central del metropolitano mediante el método de medición *walktest*.
- b) Describir como se ve afectado el servicio de telefonía móvil de un sistema *indoor* debido a la falta de infraestructura en la estación central del Metropolitano.
- c) Proponer que equipamiento sería beneficioso acorde al diseño de la solución *indoor* en base a aspectos económicos y tecnológicos.

### **1.3.- Justificación del Estudio e importancia**

La necesidad de la comunicación en nuestros tiempos ha evolucionado a un nuevo nivel por lo que la disponibilidad de las redes móviles deben ser de gran fiabilidad, esto se puede reflejar en calidad de servicio y la percepción del usuario que tiene de esta.

En la actualidad, toda actividad implica estar comunicados desde los negocios hasta el acto de informar de alguna catástrofe y todo esto gracias a la posesión de un celular, aquí radica la importancia de tener una buena cobertura del servicio, sin embargo esto no ocurre así, es frecuente quedarse sin servicio cuando uno está en algún sótano o lugares de gran concurrencia humana, por ende es vital estar comunicado.

Esta tesis buscara una solución ante el problema de la falta de cobertura de los sistemas de telefonía móvil en la estación central del metropolitano utilizando un diseño propio *RF Indoor* apoyado en la tecnología *D.A.S.* (Sistema distribuido de Antenas) orientándonos a las tecnologías 2G, 3G y 4G.

Con el diseño *RF Indoor* propuesto se busca una mejora en los niveles de señal dentro de la infraestructura en mención garantizando la cobertura del servicio de telefonía móvil.

### **1.4.- Fundamentación y formulación de las hipótesis**

#### **Hipótesis Principal**

Las dos alternativas de diseño de sistema distribuido de antenas permitieron optimizar en cobertura y capacidad los servicios de las redes móviles (2G, 3G y 4G) en la estación central de Metropolitano.

#### ***Hipótesis Secundarias***

La medición de los parámetros de cobertura móvil con el método de medición *walktest* en la estación central del metropolitano no está con los valores óptimos.

Los servicios de telefonía móvil se ven afectados por la falta de infraestructura de los operadores en la estación central del Metropolitano.

Tecnología con gran presencia en el mercado y que cuente con disponibilidad de soporte es beneficiosa al diseño de solución *Indoor*.

### **1.5.- Identificación y clasificación de las variables**

- Cobertura (Variable dependiente del tipo cuantitativo)
- Servicios de Telefonía Móvil (Variable independiente del tipo cualitativo)
- Infraestructura (Variable independiente del tipo cuantitativa)
- Diseño DAS (Variable dependiente del tipo cualitativo)

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1.- Antecedentes del estudio de investigación

La utilización de sistemas de radio para la comunicación móvil es una idea que surge con los primeros experimentos de Marconi, realizados en 1901, en los que se instalaron los primeros sistemas de radio móvil sobre vehículos con apariencia de tranvías. El primer servicio de telefonía móvil fue utilizado por la policía de Detroit en la década de 1920. Desde entonces han aparecido y se han desarrollado muchos sistemas que han prestado servicio a distintos usuarios. En este proceso, se han ido produciendo muchos avances, tanto tecnológicos como teóricos. Entre los primeros, cabe destacar el desarrollo del transistor y el desarrollo de los circuitos integrados, que permitió la actual revolución en la microelectrónica. Además, la invención de la modulación de frecuencia permitió acercarse al objetivo de un sistema mucho más resistente al ruido, permitiendo, por primera vez el intercambio de calidad por ancho de banda. La modulación digital y los códigos de protección contra errores son otros pasos en la misma dirección. El desarrollo de las técnicas de división por código es el último paso en este sentido. En abril de 1990 solo el 3% de la población nacional tenía un teléfono fijo, el Internet era algo de lo que se escuchaba hablar en entornos académicos, pero que no se utilizaba ni en los mejores sueños y el acceso a la información era un privilegio. Para cada tipo de comunicación había un aparato y el consumo de vídeos y de música venía predefinido por quienes programaban las emisiones muy lejos de casa. Las noticias se leían en el diario, se esperaba a poder ver a alguien para hablarle y las cartas se escribían en papel y se enviaban por correo.

En el año 2001, en nuestro país, *Telecom Italia Mobile (TIM)* ingresa a nuestro mercado con la tecnología *GSM* quien busco con esta tecnología ofrecer menores tarifas por minuto además de brindar nuevos servicios, como la transmisión de datos y acceso inalámbrico a Internet a través de los teléfonos celulares.

Tiempo después, en el 2005, América Móvil adquiere el 100% de *TIM Perú*. Claro es la marca comercial con la que América Móvil opera en nuestro país y fue lanzada en ese mismo año. Movistar pone en servicio su red *GSM* en el Perú con cobertura en los 24 departamentos en el año 2007, con ello Movistar contaba con las dos tecnologías más desarrolladas: *GSM* y *CDMA*.

En el año 2008 la empresa operadora América Móvil del Perú fue la primera en ofrecer el servicio de banda ancha móvil, prestada principalmente a través de las tecnologías *UMTS/HSPA* (también conocidas como 3G y 3.5G) utilizando la infraestructura de la red convencional 2G, aunque en un principio su cobertura estaba limitada en algunos distritos de la capital. En mayo del 2009 Telefónica Móvil lanzo su servicio de banda ancha móvil de manera comercial. Asimismo a mediados del mes de noviembre *Nextel del Perú* también lanza este servicio, dado el aumento en la demanda del acceso a las tecnologías de banda ancha móvil. En marzo del 2010 América Móvil del Perú y Telefónica Móvil ofrecían cobertura de sus servicios en las principales ciudades del país, cubriendo 11 y 13 departamentos del país respectivamente. Por otra parte *Nextel del Perú* cubría las ciudades principales de la costa y algunos departamentos como Cuzco y Puno.

Con el rápido crecimiento de las redes móviles aparecieron las demandas de nuevas necesidades técnicas para el mejoramiento de cobertura en locaciones *indoor*, llegando las soluciones de repetidoras y *small cells*, una de ellas son las *femtoceldas*.

## **2.2.- Bases teóricas vinculadas al problema**

### **2.2.1.- Redes móviles**

#### **2.2.1.1.- Red de segunda generación**

*GSM* es un estándar de telefonía móvil celular digital de segunda generación que utiliza una variación de la tecnología de acceso *TDMA* (*Time Division Multiple Access*). Esta tecnología es una de las más utilizadas a nivel mundial,

fue inicialmente desarrollada a fin de habilitar el servicio de interoperabilidad entre sistemas de distintos países europeos.

La arquitectura de la red *GSM* está básicamente dividida en tres partes: el sistema de conmutación, el sistema de estaciones base y el sistema de operación y mantenimiento.

Cada uno de estos sistemas contiene una serie de unidades funcionales en las cuales se realizan todas las funciones que el sistema *GSM* es capaz de proporcionar. Las funciones relacionadas con el proceso de llamadas y abonados están implementadas en el sistema de conmutación, mientras que las funciones realizadas con la radio se concentran en el sistema de estaciones base; todo ello está supervisado por el sistema de operación y mantenimiento. Al sistema de estaciones base irá conectada la estación móvil vía una interfaz aérea y a través de esta estación, el abonado de la red móvil será capaz de efectuar y recibir llamadas.

Para la gestión de llamadas hacia/desde abonados de la red fija es necesario que el sistema de conmutación tenga implementadas las interfaces apropiadas de interconexión con toda la variedad de redes fijas existentes: red telefónica básica, red digital de servicios integrados, red de paquetes, etc.

Para la gestión de llamadas hacia/desde otros abonados móviles es necesario que el sistema de conmutación tenga implementada la interfaz hacia otras entidades de la red *GSM*.

a) Sistema de conmutación

El sistema de conmutación realiza todas las funciones normales en telefonía, como la gestión de llamadas, control de tráfico, análisis de numeración, tarificación y estadísticas de llamadas. Incluye las siguientes unidades funcionales o nodos de la red *GSM*:

Central de conmutación de móviles (MSC)

Registro de posiciones base (HLR)

Registro de posiciones visitado (VLR)

Centro de autenticación (AUC)

## Registro de identificación de estaciones móviles (EIR)

### b) Sistema de estaciones base

El sistema de estación base, fundamentalmente, es responsable de las funciones de radio en el sistema GSM: gestión de las comunicaciones radio, manejo del traspaso de llamadas entre células en el área bajo su control, control del nivel de potencia de la señal tanto de las estaciones base como de las estaciones móviles.

Incluyen las siguientes unidades funcionales:

Controlador de estaciones base (BSC)

Estaciones base (BTS)

### c) Sistema de operación y mantenimiento

El sistema de operación y mantenimiento, centralizado y remoto, proporciona los medios necesarios para poder llevar a cabo una eficiente gestión de la red tanto de la parte de conmutación como la de radio.

Las principales tareas a realizar por este sistema son: gestión de la red celular, administración de abonados, gestión de averías y medidas de funcionamiento de la red de conmutación y de radio. (Véase gráfico 1).

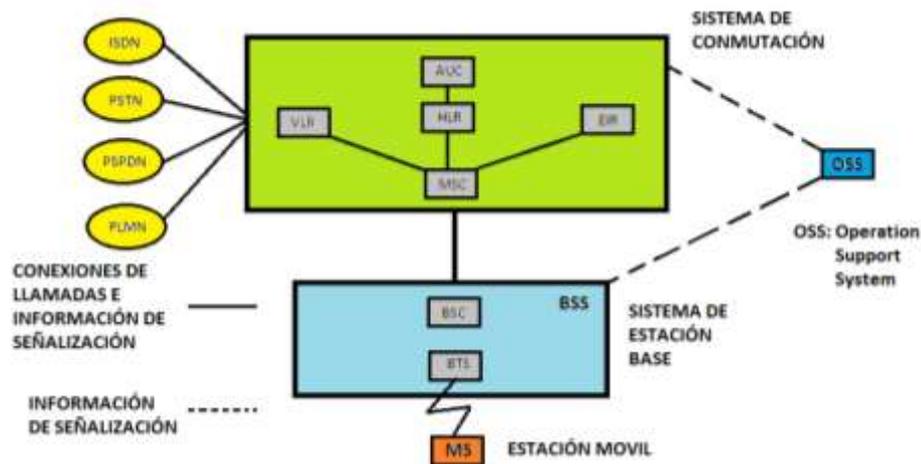


Gráfico 1. Arquitectura GSM

Fuente: Rey, E. (2003). Telecomunicaciones Móviles.

De manera general las redes de segunda generación cuentan con los siguientes componentes en su estructura.

- Estación Móvil (MS): Una estación móvil está constituida por una tarjeta *SIM* (*Módulo de identificación de abonado*), que permite identificar de manera única al usuario y al terminal móvil y por el terminal propiamente dicho, es decir, el teléfono móvil.

Los terminales se identifican por medio de un número único de identificación de 15 dígitos denominado *IMEI* (*Identificador internacional de equipos móviles*).

Una estación móvil además de permitir el acceso a la red a través de la interfaz de radio con funciones de procesado de señales y de radiofrecuencia, debe ofrecer también una interfaz al usuario humano (un micrófono, altavoz, *display* y tarjeta para la gestión de las llamadas de voz) y una interfaz para otro tipo de equipos (ordenador personal).

La *MS*, además de establecer una conexión con la *BTS*, se comunica directamente con la *MSC* y el *VLR*, vía control de movilidad (*MC*) y control de llamadas (*CC*).

- Modulo de Identidad (*SIM*): Es una tarjeta que se introduce en el terminal móvil. En redes *GSM*, permitiendo identificar a cada usuario independientemente del terminal utilizado durante la comunicación con la estación base.

La información del operador, llamado *IMS* (*Identidad de Suscriptor Móvil Internacional*), se almacena en la tarjeta *SIM*.

La tarjeta *SIM* también se puede utilizar para almacenar información definida por el usuario como entradas de la agenda. Una de las ventajas de la arquitectura de *GSM* es que las *SIMs* se pueden mover de una estación móvil a otra.

- Estación Base Transceptora (*BTS*): La estación base controla la conexión radio entre el teléfono móvil y la red; y es también conocida por célula, ya que cubre una determinada área geográfica.

Un *BSS* (*Base Station Subsystem* o subsistema de estación base) está compuesto por dos elementos: la *BTS* (*Base Transceiver Station*) y la *BSC* (*Base Station Controller*); cada *BSS* puede tener o más *BTS*. Las *BTS* albergan el equipo de transmisión y recepción, y gestionan los protocolos de radio con el móvil.

En áreas urbanas existen más *BTS* que en zonas rurales ya que deben abastecer a un mayor número de abonados, y en algunos casos con características físicas o geográficas particulares (como por ejemplo, túneles) son colocados retransmisores para garantizar el servicio.

Cada estación utiliza técnicas digitales para permitir que varios usuarios se conecten a la red, así como para permitir que realicen y reciban llamadas simultáneamente (*multiplexing*).

Los fabricantes de equipos *BTS* han sido capaces de reducir su tamaño sustancialmente. El tamaño típico en 1991 era parecido al de una armadura, actualmente tiene el tamaño de un buzón de correos. Sin embargo, la estructura básica de las *BTS* no ha cambiado. El estándar *GSM* permite que una *BTS* tenga hasta 16 transmisores, aunque en la realidad la mayoría de las *BTS* tienen entre uno a cuatro transmisores.

- Estación Base Controladora (*BSC*): La *BSC*, o estación base controladora, administra los recursos de radio de una o más *BTS*; entre sus funciones se incluyen el *handover* (que ocurre cuando el usuario se mueve de una celda a otra, permitiendo que la conexión se mantenga), el establecimiento de los canales de radio utilizados y posibles cambios de frecuencia.

Finalmente, establece la conexión entre el móvil y el *Mobile Service Switching Center* (*MSC*), el corazón del sistema *GSM*.

- Unidad Transcodificadora y adaptadora de Velocidad (*TRAU*): Una de las funciones más interesantes de *GSM* la desarrolla la *TRAU*, que está localizada habitualmente entre la *BSC* y la *MSC* para las conexiones de voz. La *TRAU* es el equipo en el cual se lleva a cabo la codificación y decodificación de la voz (fuente), así como la adaptación de velocidades en el caso de los datos.

Es capaz de comprimir la voz desde 64 Kbps hasta 16 Kbps en el caso de un canal full-rate (el flujo de datos neto es de 13 Kbps); y 8 Kbps en el caso de un canal half-rate (el flujo de datos neto de un canal half-rate es de 6.5 Kbps).

- Centro de conmutación móvil (*MSC*): El *MSC* es el centro de la red; a través de él se realiza una llamada originada en un móvil dirigida a otras redes fijas (las analógicas *PSTN* o digitales *ISDN*) o móviles. El nudo en el que se encuentra posee además una serie de equipos destinados a controlar varias funciones, como el cobro del servicio, la seguridad y el envío de mensajes *SMS*.

- *Home Location Register (HLR)*: Este contiene toda la información administrativa sobre el cliente del servicio y la localización actual del terminal. Permite que la red verifique si un móvil que intenta llamar posee un contrato de servicio válido. Si la respuesta es afirmativa, el *MSC* envía un mensaje de vuelta al terminal informándole que está autorizado a utilizar la red. Entonces, el nombre de la operadora aparece en pantalla, informando que se pueden efectuar y recibir llamadas. Cuando el *MSC* recibe una llamada destinada a un móvil, se dirige al *HLR* para verificar la localización del destinatario. Paralelamente, el terminal envía un mensaje a la red cada cierto tiempo para informar de su posición (este proceso es denominado polling).

- *Visitor Location Register (VLR)*: es utilizado para controlar el tipo de conexiones que un terminal puede hacer. Por ejemplo, si un usuario posee restricciones en las llamadas internacionales, el *VLR* impide que éstas sean hechas, bloqueándolas y enviando un mensaje de vuelta al teléfono móvil informando al usuario.

El *VLR*, como el *HLR*, es un registro de datos, pero sus funciones difieren entre sí; ya que mientras el *HLR* es responsable de muchas funciones estáticas, el *VLR* proporciona el manejo de datos del operador.

- *Equipment Identity Register (EIR)*: Equipos robados pueden ser utilizados cambiando la tarjeta SIM. Para evitar este hecho, cada terminal GSM tiene un número único de identificación, el número internacional de equipo móvil (IMEI)

mediante el cual, se pueden bloquear los terminales que han sido sustraídos quedando inoperativos. Es responsabilidad del operador de red el equipar a cada PLMN con una base de datos adicional con los terminales sustraídos, EIR. [1]

Entre los indicadores que más destacan para las señales de redes GSM tenemos:

- *Rx Level* que es la potencia de señal que se percibe en el receptor del MS. Con este valor se determina como es la calidad de la cobertura de la red.
- *C/I* la cual hace referencia a la relación entre la potencia de portadora y la potencia de la interferencia (*Carrier to Interference Ratio*). Si este valor tiene valores bajos se perderá cobertura ya que el MS no distinguirá la señal de portadora con el ruido.
- *Best Server* el cual indica cual es la BTS que domina en el lugar donde se esté y que, por ende, es la que está brindando la cobertura de red.

### **2.2.1.2.- Redes de tercera generación**

El concepto de la *IMT-2000* (*International Mobiles Telecommunication*) nació de la *UIT* más conocido como el sistema de tercera generación orientado a las telecomunicaciones móviles. Las normas técnicas para la implementación de los nuevos sistemas de tercera generación, se asignaron en las bandas de frecuencias dentro del espectro que van desde los 400 MHz hasta los 3 GHz. Este sistema ofrece una plataforma para la distribución de convergencia fija, servicios móviles de voz, datos, internet y servicios multimedia.

Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información, los sistemas 3G alcanzan diferentes tasas de velocidades de transmisión en *DOWNLINK* y *UPLINK* y permite una movilidad limitada a los usuarios en base a la velocidad a la que estos se desplacen.

Los sistemas de 3G utilizan la tecnología de múltiple acceso *WCDMA* o división de códigos de banda ancha, la cual permite obtener mayores ventajas de

capacidad, calidad de voz, aprovecha mejor el espectro, permite optimizar el uso del espectro compartiéndolo con otros sistemas, pero una desventaja fundamental del sistema es que *WCDMA* se encuentra limitada por el ruido, por ello la capacidad del sistema está en base a la diferencia entre ruido del medio y el usuario. *WCDMA* es utilizado con un *BW* de 5 MHz que permite velocidades mayores a los 2 Mbps.

Los sistemas de tercera generación han ido mejorando conforme el avance tecnológico y la demanda y necesidad de acceso a los servicios móviles y fijos, estas mejoras mostradas y descritas en la figura a continuación. (Véase gráfico 2)

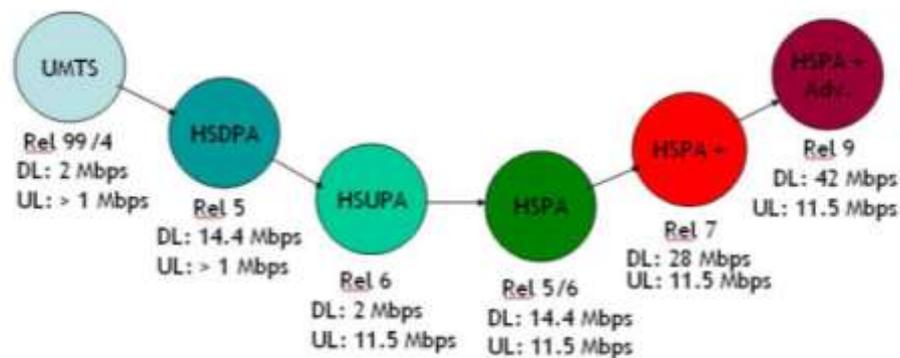


Grafico 2. Sistema de Evolución UMTS  
Fuente: Design and Implementation of RF Indoor Network, pag. 14

## UMTS – release 99

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) se refiere a la interconexión de un nuevo tipo de red de acceso (AN), la UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), adaptado a la pre-release 99 GSM / GPRS red central (CN) de la infraestructura UTRAN.

Un requisito básico para la Rel-99 UMTS era minimizar los impactos en el CN en la introducción de la UTRAN. Este principio se logró en gran medida. Los

mayores impactos son la creación de un nuevo tipo de interfaz entre las redes básicas y de acceso, y la "modernización" de la CN de señalización de tener en cuenta las nuevas capacidades que ofrece la UTRAN. [2] (véase gráfico 3).

Se describe la red UMTS, utilizando un enfoque de arriba hacia abajo, la red se divide lógicamente en un número de conjuntos, tanto desde el aspecto arquitectónico y desde el aspecto protocolos. Desde el punto de vista arquitectónico, los conjuntos se llaman "dominios" (un dominio es un grupo de entidades). Desde el punto de vista de los protocolos, los conjuntos se llaman "estratos" (un estrato es un grupo de protocolos). Estos principios, introducidos por primera vez en UMTS, también podrían aplicarse a GSM (y de hecho a otros tipos de red).

Ellos no corresponden a ninguna realización concreta en la red, pero se establecieron principalmente para organizar el trabajo como para permitir diferentes grupos de personas que trabajan en paralelo, cada uno es responsable de un dominio y / o estrato. [3]

Los dominios son:

- El Dominio del equipo del usuario, que contiene los elementos del usuario final compuestos por:

El dominio del equipo móvil (el "teléfono"), que contiene la transmisión y recepción del radio del Dispositivo (en la terminación móvil, MT) y la aplicación (es el equipo terminal, TE), definido por el grupo 3GPP T2 y el dominio USIM, normalmente integrado En una tarjeta IC, definido por el grupo 3GPPP T3.

- El dominio de infraestructura, es decir, el conjunto de todas las entidades de la red, están integradas por:

El dominio de acceso de red, comprende todas las entidades relacionadas estrechamente a las tecnologías de radio, definido por el 3GPP, Grupos RAN1 a RAN4 y el Dominio de la red central, definido por 3GPP CN1 a grupos CN4, están compuestos por:

## El Dominio de red de servicio

- El dominio de conmutación de circuitos (CS)
- El dominio de conmutación de Paquetes (PS)
- El dominio de transito de red (potencialmente Compuesta de CS y PS)
- El dominio de red local: que contiene todos los datos específicos de los usuarios y de los responsables de la información, los datos específicos de los usuarios y de responsables de la gestión de la Información suscrita.

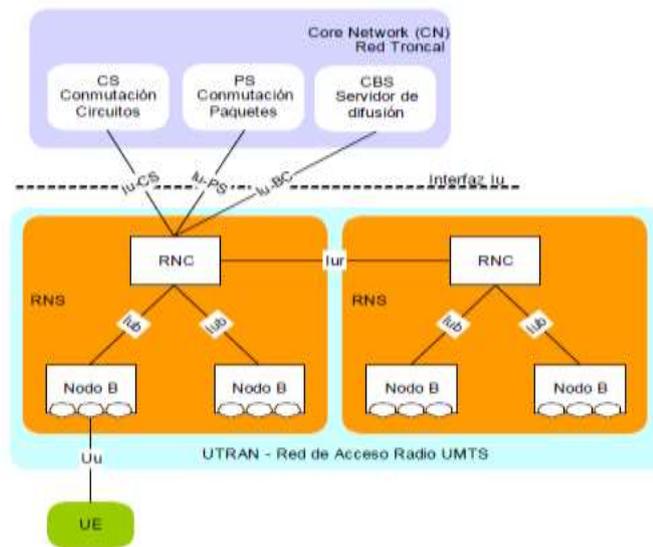


Grafico 3. Arquitectura de Red de Acceso Móvil – UTRAN

Fuente: Arquitectura de Red de Acceso Movil de Cuarto Generacion: Mobil-IP RAN, pag. 30

## HSDPA – release 5

HSDPA se basa en técnicas tales como la modulación adaptativa y ARQ híbrido para lograr un alto rendimiento, reducir el retardo y lograr altas tasas de velocidad pico.

Se basa en un nuevo tipo de canal de transporte, el hs-dsch, que termina en el nodo B. HS-DSCH sólo es aplicable a RABs dominio PS. La tecnología HSDPA ofrece tasas teóricas de hasta 14.4 Mbps en downlink, utilizando 5 MHz de espectro.

En HSDPA los recursos compartidos entre los canales de transporte DL R99 y canales de transporte HSDPA son códigos de poder y de canalización. Cuando los servicios de HSDPA están activos, la potencia de DL desde el Nodo B hacia el remitente normalmente se mantiene constante y compartida entre los canales R99 y los nuevos canales específicos de HSDPA, La potencia que no se utiliza para R99 puede ser utilizado para HSDPA. Si no hay tráfico de HSDPA, entonces la potencia fluctuará, dependiendo del uso R99. La velocidad para 16QAM es de 11 Mbps. (véase gráfico 4).

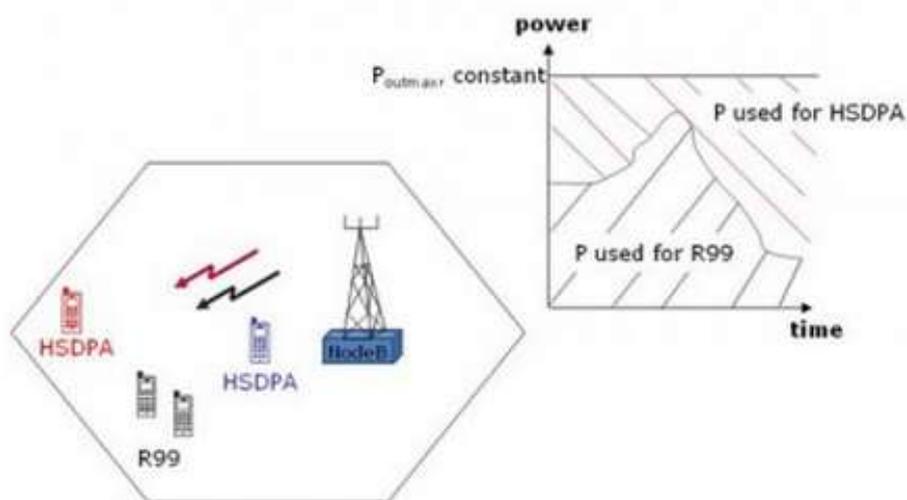


Grafico 4. División de Potencia entre Release 99 y HSDPA  
Fuente: The Mobile Broadband Standard

### HSUPA – release 6

Enlace Ascendente Mejorado, también conocido como High Speed Uplink Packet Access (HSUPA), se ha introducido en WCDMA Release 6. Se proporciona mejoras en WCDMA, capacidades de enlace ascendente y el desempeño en términos de altas tasas de velocidad de datos, menor latencia y la mejora de la capacidad del sistema, por lo tanto es un complemento natural a HSDPA. Juntos, los dos se conocen comúnmente como Packet Access de alta velocidad (HSPA).

Un complemento a HSDPA es HSUPA el cual permite velocidades de enlace ascendente de hasta 5.74Mbps. Sin embargo, con este aumento de la velocidad de datos viene una más compleja y dinámica señal de enlace ascendente que requiere un diseño del transmisor más robusto y su verificación. [4]

Una diferencia importante entre DL y UL es que para DL hay un transmisor por celda (Nodo B), mientras que para el UL puede haber muchos transmisores, cada UE (Equipo de Usuario) con un UL activo, cada movimiento y el envío de forma independiente. Por lo tanto, los canales físicos DL serán todos ortogonales al menos en el momento de la transmisión, que tiene códigos de canalización del mismo árbol de código y estarán compartiendo la potencia disponible en el Nodo B. En el UL no es posible conseguir ortogonalidad perfecta ya que los remitentes (UEs), se mueven de forma independiente. Cada UE tiene su propio árbol de código de canalización y su propia batería. Al igual que en R99 aleatorización de largos códigos, con baja correlación, se utilizan para separar entre canales de diferentes transmisores, es decir Nodo B DL y UL de los equipos móviles.

En HSDPA los datos a diferentes UEs se realizan en un canal compartido, mientras que en UL mejorado de los datos de diferentes usuarios se realizarán en un canal dedicado; canal de transporte Enhanced Dedicated Channel (E-DCH) asignada al canal físico E-DCH-Canal de Datos Físicos Dedicados (E-DPDCH) para altas velocidades de datos más de un E-DPDCH se utilizará. El E-DPDCH puede utilizar un código de canalización con un valor mínimo de SF = 2. En release 6 la velocidad del canal máximo para la mejora de UL es de 5,8 Mbps, con una velocidad de datos máxima de 5,4 Mbps, este valor es válido para la capa MAC. Para la mejorada UL hay dos opciones para TTI, 2 ms o 10 ms.

Para mejorar la programación de UL todavía se lleva a cabo por el Nodo B, ahora el nodo receptor, mientras que la selección de formato de transporte se realiza por los UEs programados. El NodoB medirá el nivel de interferencia en el UL y recibe información sobre el estado del búfer en el UE, y toma una

decisión acerca de los UE que han de ser programados. Información sobre la decisión de programación se entrega en concesiones de programación, que también proporciona información sobre la cantidad de energía de la UE (s) se puede utilizar durante la transmisión. Cuanto mayor sea la potencia más alta es la tasa de bits, y la interferencia. En DL los recursos compartidos son códigos de canalización y potencia, en el UL el recurso compartido es la contribución a la interferencia intra-celda. [5]

### **HSPA – release 7**

High Speed Packet Access (HSPA) ha sido una actualización a las redes WCDMA (tanto FDD y TDD) utilizados para aumentar el rendimiento de paquetes de datos. La introducción se realiza en pasos; Alta velocidad de Downlink (DL), el acceso de paquetes de datos (HSDPA), se introdujo en 3GPP Release 5 y Enhanced Link (UL), también conocida como los datos de acceso de alta velocidad UL Paquete (HSUPA), llegó en release 6.

La combinación de HSDPA y mejorada UL se conoce como HSPA. HSPA Evolution (también conocido como HSPA + y evolucionado HSPA).

Para aumentar aún más las tasas de bits en la evolución de HSPA, conocido como HSPA +, se añaden nuevas funciones; por ejemplo mayor orden de modulación 64QAM (DL) y 16QAM (UL), así como múltiple entrada múltiple salida (MIMO), que se utiliza sólo en DL.

La velocidad máxima de canal DL, utilizando 64QAM y 15 códigos, es de 21 Mbps y UL usando 16QAM es de 11 Mbps, (Véase gráfico 5). [4]

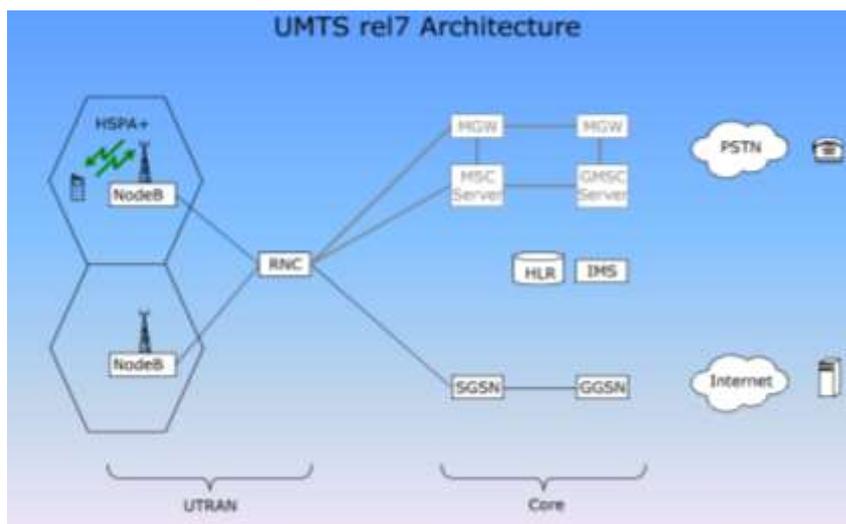


Grafico 5. Arquitectura UMTS - Release 7  
Fuente: Release 7, 3GPP

### HSPA+ release 11

La nueva característica de HSPA en rel-11 es que incluyen 8 portadoras HSDPA, la transmisión múltiple de DL, 4 branch MIMO DL, Doble haz en antena en UL y MIMO junto con 64QAM y una serie de mejoras pequeñas en el estado CELL FACH.

### Mejoras en Downlink

Ocho portadoras HSDPA (8C-HSDPA) amplía HSDPA agregando portadoras de hasta 40 MHz de ancho de banda permitiendo transmitir en simultáneo hasta ocho portadoras hacia un único UE. Las portadoras no necesariamente tienen que residir adyacentes entre sí en bloques de frecuencias contiguas, ya que es posible tener portadoras juntas en más de una banda de frecuencia.

*Downlink Multiflow Transmission* mejora las velocidades de datos en HSDPA al borde de las celdas, por lo tanto la reducción de interferencias entre celdas y el aumento de señal deseada. Al transmitir flujos de datos independientes a los UE, el alcance pico en el borde de la celda y la velocidad promedio de datos se puede aumentar. Esta ganancia se debe a la multiplexación espacial y a la explotación avanzada de los receptores de supresión de interferencias que son capaces de suprimir la interferencia cruzada de los dos flujos de datos entre sí. Se puede configurar celdas dobles HSDPA para transmitir a los UE, hasta

cuatro celdas (dos en cada portadora) al mismo tiempo. Multiflow también es compatible con MIMO 2x2 permitiendo para cada celda en el conjunto Multiflow para transmitir dos flujos de datos a los UE.

### **DOWNLINK 4-branch MIMO**

DL 4-BRANCH MIMO introduce un modo de orden superior en MIMO para HSDPA. Con cuatro antenas de recepción en los UE, la tasa máxima del DL se puede duplicar. Esto es posible con MIMO 2x2 a 84 Mbps para una portadora de 5 MHz. La ganancia de capacidad de MIMO 4-branch proviene principalmente de mejorar las 4 vías de diversidad de recepción (Rx). La ganancia pico de velocidad de datos es habilitada mediante la extensión de las capas HSDPA MIMO de dos en MIMO 2x2 a cuatro en MIMO 4x4.

En rel-11, MIMO es compatible con hasta cuatro portadoras (20MHz) que conducen a una tasa de datos máxima del DL de 336 Mbps. Las futuras versiones podrían consolidar el MIMO 4-BRANCH y 8 portadoras HSDPA juntas y llegar a 672 Mbps de velocidad de datos máxima para HSPA con un ancho de banda de 40 MHz y cuatro capas MIMO.

### **Mejoras en UPLINK**

Doble formación de haz de la antena UL y 2x2 MIMO UL con 64 QAM permite las transmisiones HSUPA que se originan a partir de dos antenas de transmisión. Tanto rango 1 (simple formación de haz corriente) y el rango 2 (doble flujo MIMO) ambos modos de transmisión son introducidos. Las ganancias de formación de haces rango 1 permiten una mejor cobertura de tasa de datos de enlace ascendente y el rango 2 MIMO duplica la velocidad de datos máxima alcanzable en el soporte. Además, configuraciones de antenas 2x4 con 4 antenas Nodo B Rx han sido considerados en el trabajo de evaluación del 3GPP, Adicionalmente las antenas de recepción están en más de una opción de implementación y no afectan los estándares. Cuatro terminales de Rx se espera que aproximadamente duplique la capacidad y mejore significativamente la probabilidad de rango de transmisión.

Con 2x2 UL (y 2x4) MIMO, la tasa máxima de UL alcanza 23 Mbps por portadora de 5 MHz con modulación 16 QAM. Como un paso evolutivo adicional, también se introduce modulación 64 QAM, con lo que la tasa pico de UL con MIMO llega hasta 35 Mbps por portadora 5 MHz. [6]

Los parámetros en UMTS que serán más relevantes son:

- RSCP (*Receive Signal Code Power*) es la potencia que mide el receptor del teléfono móvil proveniente del CPICH, la cual es constante y nos da una gran idea de cómo es la cobertura de la red en el área en que uno se encuentra.

- $E_c/N_0$  es la energía por chip sobre el total de la densidad espectral de potencia. Esto no permite cuantificar el nivel de interferencia en el medio.

- DSC (*Dominant Scrambling Code*) mide el SC, que es el código de acceso múltiple en WCDMA, que domina en un punto y sirve para identificar el origen de la celda que da cobertura. Muchos PSC en una pequeña área incrementa la probabilidad de que se caiga una llamada.

- CQI (*Channel Quality Indicator*) es un indicador provisto por una conexión remota, generalmente por el nodo B, que da información acerca de la calidad del canal que se mida.

- TX Power mide la potencia de transmisión del UE al momento de que se está llevando a cabo una llamada.

- RX Power mide la potencia de recepción del UE al momento de que se está llevando a cabo una llamada.

- HSDPA Throughput que mide la velocidad de descarga de datos efectiva que se alcanza en una sesión en UMTS.

- HSUPA Throughput que mide la velocidad de descarga de datos efectiva que se alcanza en una sesión en UMTS.

### **2.2.1.3 Sistemas de cuarta generación (4G)**

Los sistemas de cuarta generación también conocidos como 4G inicialmente orientada a la telefonía móvil, su plataforma está totalmente basada en IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, no es una tecnología o un estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir

el máximo rendimiento de procesamiento , alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores , dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para brindar velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo un servicio de punto a punto con alta seguridad y permitiendo ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, con un mínimo coste.

Esta convergencia de tecnologías surge de la necesidad de agrupar diferentes estándares con el fin de delimitar el ámbito de funcionamiento de cada uno de ellos y con el fin también de integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario.

El objetivo que persigue es el de garantizar una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando siempre el sistema que mejor servicio proporcione. [7]

## **LTE**

Long Term Evolution (LTE) del móvil Universal de telecomunicaciones (UMTS) se ha desarrollado para asegurar que la tecnología siga siendo competitiva en el futuro previsible. Requisitos para el sistema LTE versión 8 incluyen la mejora de la capacidad del sistema y la cobertura, mejorar la experiencia del usuario a través de mayores velocidades de datos y reducir la latencia, reducir los costos de implementación y operación, y una perfecta integración con los sistemas existentes. Los requisitos pueden ser divididos en diferentes categorías de rendimiento del sistema, la latencia, cobertura, despliegue y complejidad. Para lograr estos objetivos, se necesitan nuevos diseños para las redes de acceso de radio y arquitecturas de los sistemas. (Véase gráfico 6).

Desde una perspectiva de rendimiento del sistema y de usuario, los siguientes requisitos se han definido como tasa máxima de datos, la eficiencia espectral de celdas, el rendimiento de la celda de usuario de última generación, y

rendimiento para el usuario promedio. Para el enlace descendente, velocidades de datos pico de al menos 100 Mbps deben ser apoyadas por un ancho de banda de 20 MHz del sistema (véase la figura 6), mientras que para el enlace ascendente, la máxima tasa de datos es de 50 Mbps. Teléfonos, usuarios celulares de última generación y de rendimiento promedio, los requisitos están definidos en términos de Eficiencia espectral (es decir, el rendimiento soportable en bits por segundo por MHz) y en relación con la release 6 UMTS.

Feature	Requirements
Peak data rate	Downlink – 100 Mbps at 20 MHz Uplink – 50 Mbps at 20 MHz
Cell spectral efficiency	Downlink – 3–4 times Rel-6 HSDPA Uplink – 2–3 times Rel-6 HSUPA
Cell-edge user spectral efficiency	Downlink – 2–3 times Rel-6 HSDPA Uplink – 2–3 times Rel-6 HSUPA
Average user spectral efficiency	Downlink – 3–4 times Rel-6 HSDPA Uplink – 2–3 times Rel-6 HSUPA
C-plane latency	100 ms from camped to active state 50 ms from dormant to active state
C-plane capacity	400 users
U-plane latency	5 ms
Broadcast service	Spectrum efficiency of 1 bit/s per Hz
Mobility	Up to 350 km/h
Maximum cell range	100 km
Spectrum support	Flexible (up to 20 MHz)

Grafico 6. Requerimientos LTE  
Fuente: Release 8 – LTE and LTE-A, pag. 11

Requisitos de latencia también se definen para los planos de control y de usuario. Para el plano de usuario (plano U), se desea una latencia máxima de 5 ms. Esta latencia se mide como la de un solo sentido de retardo desde cuando un paquete está disponible en el protocolo de Internet (IP) de capa para cuando llega al equipo de usuario (UE).

Latencia *Control-Plane* (C-Plane) se define mediante dos requisitos diferentes. El primer requisito es que el tiempo de transición desde acampado a estado activo debe ser inferior a 100 ms, y el Segundo requisito es que el tiempo de transición de inactivo a estado activo debe ser inferior a 50 ms.

En términos de implementación, *LTE* debe ser compatible con un radio de celda de hasta 100 km, velocidades de usuario de hasta 350 Km / h (por ejemplo, en un entorno de tren de alta velocidad), y el espectro flexible. Sin embargo, los requisitos de rendimiento indicados en la figura 6 se pueden ver afectados en escenarios de despliegue más difíciles. Por ejemplo, degradaciones ligeras se permiten dentro de un radio de celda superior a 5 kilómetros pero menos de 30 Km. Para un radio de entre 30 y 100 Km, los requisitos son más flexibles hasta el punto de que el sistema debería ser operativo. *LTE* también apoyará los servicios de radiodifusión mejorados con el requisito de 1 bit / s por Hz en toda el área de cobertura, lo que significa que, con un ancho de banda del sistema de 10 MHz, los usuarios pueden disfrutar de un rendimiento agregado de enlace descendente de 10 Mbps. Esto es equivalente a recibir 50 canales de televisión o de radio simultáneas a una velocidad de datos de 200 Kbps cada uno. [8]

### ***LTE ADVANCED***

*Long Term Evolution Advanced (LTE Advanced)* está especificado mediante los *release 10* y *11*.

*LTE-Advanced* se centra en una mayor capacidad. *LTE Release10* proporciona velocidades de bits más altas de una manera rentable y, al mismo tiempo, cumple plenamente los requisitos establecidos por la UIT para las *IMT* avanzada, también se conoce como 4G.

- El aumento de velocidad de datos máxima, DL 3 Gbps, UL 1.5 Gbps
- Eficiencia espectral superior, de un máximo de 16bps / Hz en R8 a 30 bps / Hz en R10
- Aumento del número de abonados activos simultáneamente.
- Mejora del rendimiento en los bordes de la celda, por ejemplo DL 2x2 MIMO al menos 2,40 bps / Hz / celda.

Las principales funcionalidades introducidas en *LTE-Advanced* son agregación de portadoras (CA), una mayor utilización de técnicas de múltiples antenas y el apoyo a los nodos de retransmisión (RN). [9]

#### **2.2.1.4.- Soluciones Indoor**

##### **a) Small Cell**

Se reconoce que una definición unívoca de un despliegue de celdas pequeñas es difícil llegar a un acuerdo dentro de la industria. Como un ejemplo, de acuerdo con 3GPP, los tipos de celdas son de base clasificada en la "pérdida de acoplamiento mínima" entre el sitio celular y dispositivo de usuario, originando así cuatro clases de celdas. Otras definiciones disponibles consideran el radio de la celda, el número de usuarios conectados, las opciones de implementación y así sucesivamente (véase el grafico 7). [10]

A continuación se identifican celdas pequeñas como aquellas que cumplan con los siguientes requisitos de alto nivel:

- Ellos proporcionan la cobertura de un área más pequeña que una celda macro (de modo que una celda macro se superpone varias celdas pequeñas en la misma zona) (véase grafico 8).
- A medida que las celdas macro, que se implementan y administran los operadores.
- Se conceden un acceso abierto a todos los usuarios (del mismo operador).
- Se caracterizan por un equipo y menor costo de instalación si se compara con celdas macro.
- Están orientados a los servicios de datos de soporte del sistema operativo, aunque los servicios de voz también puede ser apoyada.

La definición de celdas pequeñas puede ser aún más detallada a través de los parámetros técnicos que figuran a continuación.

- Capacidad (definida en términos de media, alta)
- Servicios apoyados (mejores velocidades de datos, los datos en tiempo real, la voz)

- Apoyo a la Movilidad (apoyo de traspaso entre celdas macro y pequeñas o entre las celdas pequeñas, el apoyo de la interfaz X2, relación de tráfico S1 / X2).
- Requisitos de servicio en términos de calidad de servicio (latencia, jitter, pérdida de paquetes, disponibilidad) y los requisitos de tiempo y sincronización de frecuencia. [11]
- Consumo de energía (relacionado con backhaul)
- Condiciones de operación (acceso público, backhaul desplegado del operador)
- Ubicación de Potencial (interior / exterior, a pocos metros sobre el nivel de la calle o en la azotea)

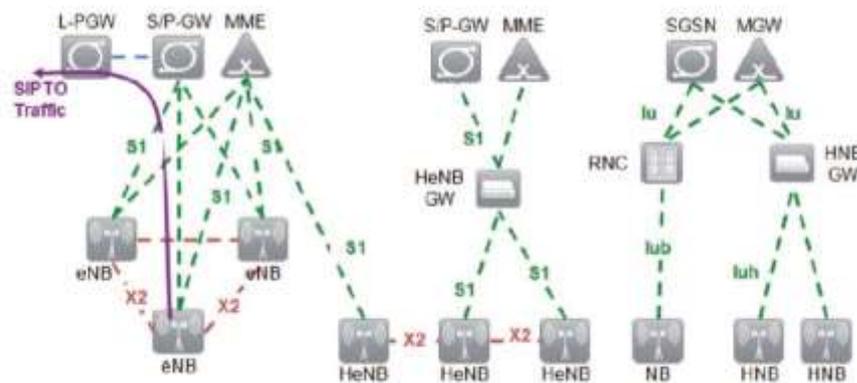


Grafico 7. Arquitectura LTE y UMTS release 10 – Small Cell Backhaul

Fuente: Release 10 – Small Cell Backhaul Requirements, pag.9

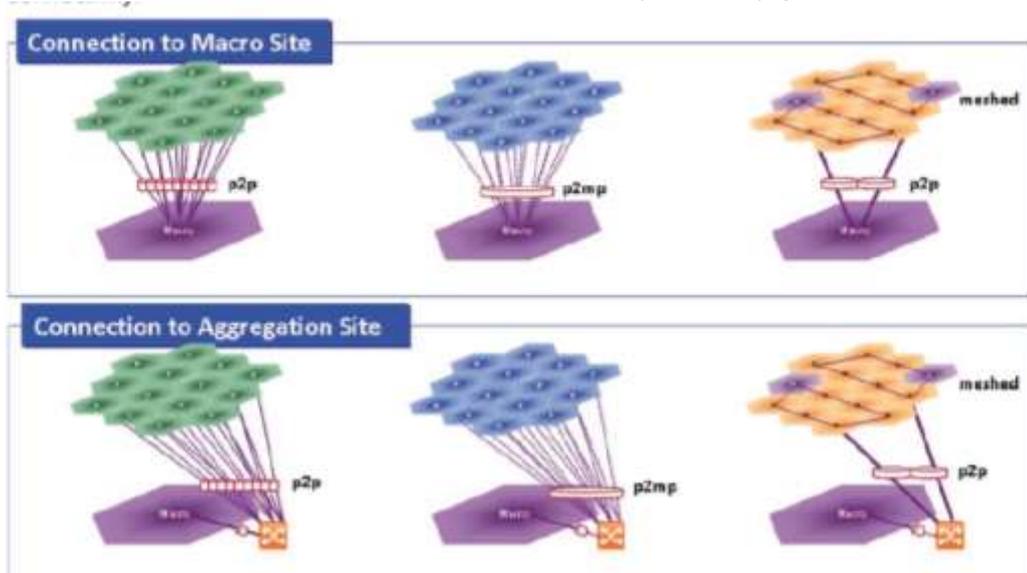


Grafico 8. Opciones de conectividad cuando se utiliza una celda macro existente

Fuente: Small Cell Backhaul Requirements, pag.20

## **b) *Distribution Antenna System (DAS)***

Sistemas de antenas distribuidas (*DAS*) se introdujeron originalmente para simplemente cubrir los puntos muertos en las comunicaciones inalámbricas de interior, los estudios recientes han identificado otras ventajas potenciales, tales como la capacidad de energía y el sistema, mejorando sus aplicaciones.

En *DAS*, los módulos de las antenas están distribuidos geográficamente para reducir la distancia de acceso en lugar de centralizar en un lugar. Cada módulo de antena distribuida está conectado a una estación base doméstica (*Main Unit*) a través de cables dedicados, fibra óptica, o un enlace exclusivo *RF*. Aunque son posibles las conexiones a través del mismo enlace de *RF* que es utilizado por una celda. *DAS* es bastante similar a los sistemas repetidores en el hecho de que los módulos de las antenas distribuidas y la estación base están conectados físicamente. Sin embargo, el *DAS* se distingue de sistema repetidor convencional por el hecho de que cada módulo de antena distribuida es capaz de transmitir diferentes datos en el enlace descendente mientras que los repetidores simplemente repiten las señales de la estación base transmisora (*BTS*). Por lo tanto, *DAS* es una generalización de sistemas de repetidores convencionales. Dado que los módulos de antenas distribuidas y la estación base transmisora, juntos construyen un canal vector macroscópica de entrada múltiple salida única (*MISO*), el *DAS* también se pueden interpretar como un sistema de múltiples antenas macroscópica.

Desde un punto de vista arquitectónico, *DAS* tiene ventajas evidentes sobre los sistemas de comunicación convencionales. *DAS* puede reducir el coste del sistema de instalación y simplificar el mantenimiento porque *DAS* puede reducir el número necesario de estaciones base dentro de un área de servicio de destino. Además, la probabilidad de bloqueo se puede mejorar debido al principio de eficiencia *trunking* porque los recursos para el procesamiento de señales, tales como tarjetas de canal (transmisión), estos elementos están centralizados y compartida en la estación base doméstica (*Main Unit*). Además de estas ventajas arquitectónicas, *DAS* también ha demostrado que posee ventajas en términos de potencia de señal a interferencia más ruido (*SINR*), y

la capacidad debido a que la macro-diversidad y la distancia de acceso es reducida.

### c) Combinación de Cobertura entre *Indoor* y *Outdoor*

A menudo, uno encuentra que un edificio donde se encuentra una estación base macro en la azotea tiene sorprendentemente pobre cobertura en interiores cerca del núcleo central, especialmente en las plantas inferiores. Esto se debe principalmente al hecho de que la potencia de radio es transmitida lejos del edificio por las antenas de alta ganancia; la cobertura en el interior del edificio tiene que depender de las reflexiones de los edificios y las estructuras adyacentes (Véase el grafico 9). Este es un problema específicamente en edificios de gran altura que no están rodeados por estructuras adyacentes altas que pueden reflejar la señal de RF en el edificio. En estos casos puede tener sentido utilizar la azotea estación base macro como donante para un *DAS* interior. Esto ahorra el costo de una estación base *Indoor*, *backhaul* entre otros. La capacidad de concentración de enlaces entre las zonas interiores y exteriores. Si se compensan los perfiles de tráfico entre las dos áreas, puede ser un uso muy eficiente de los recursos.

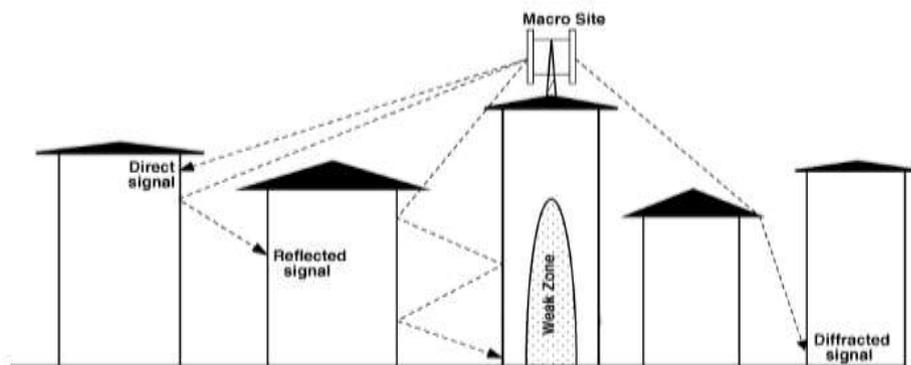


Grafico 9. Reflexión de señales para proveer servicios indoor en zonas urbanas  
Fuente: Indoor Radio Planning, pag. 125

#### **d) DAS Indoor para aplicaciones MIMO**

Cubrimos los conceptos básicos de los sistemas de antena avanzadas, utilizando *MIMO* para que podamos optimizar el rendimiento de datos en el edificio. En este punto en el tiempo que parece poco realista desde un punto de vista práctico para implementar más de  $2 \times 2$  *MIMO* dentro de los edificios, debido a las restricciones de instalación. La utilización de antenas de polarización cruzada, podría aliviar el desafío de implementar *MIMO* en la vida real.

La clave para un buen rendimiento *MIMO* es una separación total de los enlaces *MIMO* en todo el *DAS*, desde las dos antenas de todo el camino a la estación base, por lo que no es posible utilizar la misma infraestructura pasiva en cualquier punto en el *DAS* a cubrir, ya que destruiría el aislamiento entre las trayectorias de *MIMO* en el sistema

#### **e) Calculo de la distancia de separación entre antenas MIMO para interiores DAS**

La separación entre antenas ideal es de  $3-7 \lambda$ ; esto también aplica al implementar soluciones *Indoor MIMO* mediante *DAS* con el fin de beneficiarse de un máximo de correlación entre las vías *MIMO* creadas por la dispersión de los interiores. Uso de la directriz de una separación de antena *MIMO* de  $3-7 \lambda$  se puede calcular la separación ideal. Calculamos la longitud de onda ( $\lambda$ ) de una frecuencia de RF como se muestra en el grafico 10 a continuación.

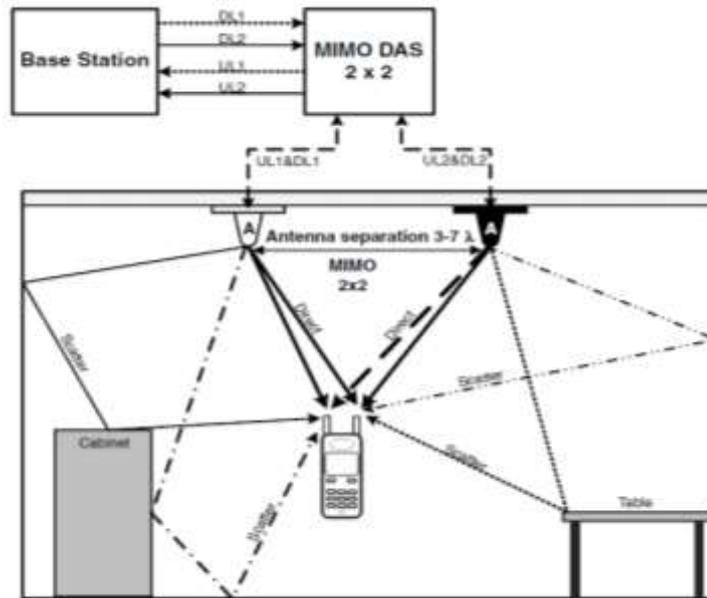


Grafico 10. Implementación típica de un sistema MIMO  
Fuente: Indoor Radio Planning, pag. 172

$$\text{Longitud de onda (metros)} = 300 / \text{frecuencia (MHz)}$$

Fórmula 1. Calculo de Longitud de Onda

Usando esta fórmula podemos calcular el DAS ideales separación de antena MIMO para el despliegue dentro de un edificio, para el típico LTE / HSPA + frecuencias como se muestra en el gráfico 11 a continuación. [12] [13]

Frequency [MHz]	MIMO distance @ 3 $\lambda$ [m]	MIMO distance @ 5 $\lambda$ [m]	MIMO distance @ 7 $\lambda$ [m]
460	1.96	3.26	4.57
700	1.29	2.14	3.00
850	1.06	1.76	2.47
950	0.95	1.58	2.21
1850	0.49	0.81	1.14
2150	0.42	0.70	0.98
2350	0.38	0.64	0.89
2600	0.35	0.58	0.81
3500	0.26	0.43	0.60

Grafico 11. Valores de Longitudes de Onda  
Fuente: Indoor Radio Planning, pag. 194

### 2.3.- Glosario de Términos

Esta Tesis utiliza las siguientes abreviaciones:

<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Access Network
<b>GSM</b>	Global System Mobile
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project
<b>HS-DSCH</b>	High Speed Downlink Shared Channel
<b>HS-SCCH</b>	High Speed Shared Control Channel
<b>HSUPA</b>	High Speed Uplink Packet Access
<b>UE</b>	User Equipment
<b>E-DCH</b>	Enhanced Dedicated Channel
<b>E-DPDCH</b>	E-DCH Dedicated Physical Data Channel
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output
<b>DAS</b>	Distributed Antenna System

## CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

### 3.1.- Tipificación de la investigación

La presente investigación es del tipo “experimental” ya que se manipulan variables independientes para ver sus efectos sobre variables dependientes en una determinada situación.

En esta investigación buscaremos manipular la variable independiente “niveles RSSI” para analizar los efectos sobre la variable dependiente “cobertura”.

Asimismo la investigación tendrá un enfoque “cuantitativo”, esto se debe a que la hipótesis planteada contiene variables, las que por medio de un proceso de definiciones (conceptuales u operacionales) se convierten en datos perceptibles; es decir datos contables o medibles.

Por otra parte buscaremos responder a las causas de los eventos, buscar una respuesta por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este, teniendo en cuenta esta perspectiva podemos indicar que la investigación tendrá también un enfoque “explicativo”.

### 3.2.- Operacionalización de variables

A continuación se presenta la tabla 1 donde se muestra la operacionalización de las variables.

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnica de Investigación</b>
Parámetros de Medición	Potencia	Decibelios	Medición - Walktest
Cobertura	Distancia	Metros	Medición
Servicios de Telefonía Móvil	Tipos de servicios	Acceso a la información	Estadística
Infraestructura	Despliegue	Existencia de hardware	Observación

Tabla 1. Identificación de Variables  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.- Estrategia para la prueba de hipótesis

Una vez desarrollada las técnicas de recolección de datos, arrojaran una serie de datos provenientes de las muestras, la forma en la que se analizaran los resultados en la guía de observación será cualitativa, conocido como el análisis cualitativo.

Los resultados se codificaran de manera de poder plasmarlos en tablas (tabulaciones) lo que nos permitirá categorizar y efectuar un análisis a través de gráficos.

### 3.4.- Población y muestra

La población está definida por todos los usuarios del servicio de transporte metropolitano que concurren a la estación central como paradero. Los datos obtenidos nos ofrecen una estadística de 25806 personas que utilizan a diario el servicio de buses en la estación central del metropolitano.

La muestra se define con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q)}{[(N - 1) \cdot e] + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Fórmula 2. Obtención de muestra

Sea:

“N” el tamaño de la población

“Z” la varianza tipificada (típica 95%)

“S” la desviación estándar (típica 15%)

“e” representa el error muestra (típico 5%)

“p” representa la proporción de elementos que presentan las características (típico 50%)

“q” representa la proporción de elementos que no presentan las características (típico 50%)

Obteniendo:

$$n = 575.82$$

### **3.5.- Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos utilizados en la siguiente investigación son:

#### **3.5.1.- La Observación**

Aplicaremos la técnica de la observación científica, esta se da cuando el observador tiene el objetivo claro, definido y preciso. El observador sabe que es lo que desea observar y para que quiere hacerlo.

#### **3.5.2.- Medición**

A través de técnicas de medición como el *walktest* y *drivetest* obtendremos datos experimentales y en la parte de diseño nos apoyaremos en el software "*IB Wave*" el cual nos brindara mediciones teóricas.

## CAPÍTULO IV: ASPECTOS DE INGENIERIA

### 4.1.- Problemática a resolver

#### 4.1.1.- Descripción del caso

La estación central del metropolitano ubicada en el parque Los Héroes Navales en el cruce con Av. Paseo de la República 170, frente al palacio de justicia y el hotel Sheraton, es una estación de buses de transporte del metro de Lima el cual opera desde el 28 de Julio del 2010. (Véase gráfico 12). Esta estación brinda servicio de transporte público y áreas comerciales, las cuales convergen en la estación del metropolitano. La estación central del metropolitano recibe a diario un promedio de 26830 personas que demandan del servicio de transporte del metropolitano. La estación central del metropolitano tiene la particularidad que sus accesos se encuentran en la avenida paseo de la republica pero en ambos sentidos, además posee un área de 25 000 m<sup>2</sup>.

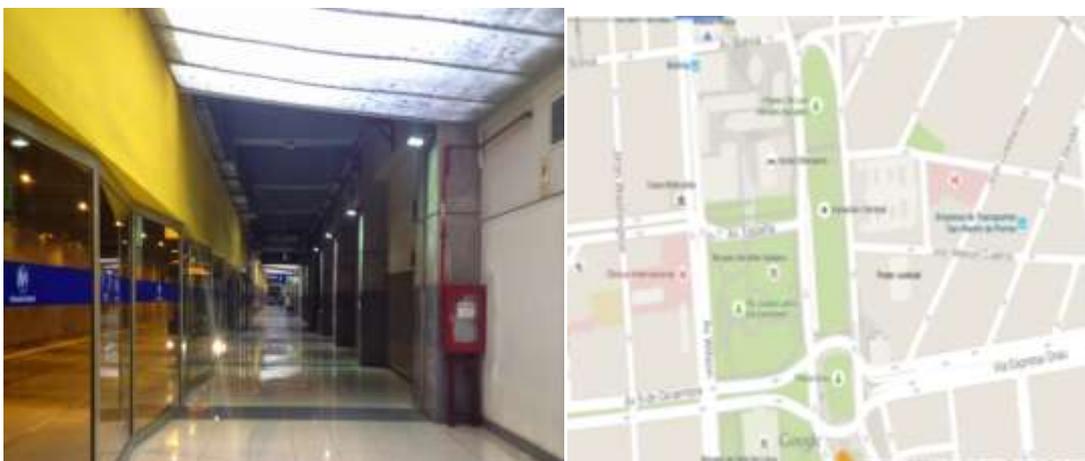


Gráfico 12. Ubicación geográfica de la Estación Central del Metropolitano  
Fuente: Elaboración propia

La estación cuenta con un problema de cobertura en sus interiores. Los usuarios y trabajadores que a diario frecuentan y demandan de los servicios de la estación central del metropolitano experimentan constantes problemas al

intentar realizar llamadas telefónicas o navegar en la red mediante sus dispositivos móviles, estos problemas se ven reflejados al intentar acceder a los servicios de telefónica móvil, llámese 2G, 3G y 4G.

Este problema trae consigo muchas consecuencias. Primero se tiene que considerar que se trata de un lugar al que concurren una gran cantidad de personas a diario, por ello el hecho de que no se puedan concretar las comunicaciones a través de los

Teléfonos móviles puede comprometer el accionar la integridad de los usuarios y trabajadores en situaciones de emergencia que puedan presentar, por ello la comunicación es vital, además la estación central del metropolitano posee extensas áreas comerciales las cuales se ven afectadas a diario por las falencias de cobertura por parte de los operadores móviles. A demás el aspecto económico también se ve afectado puesto que al ser un lugar con gran afluencia y el hecho de que las personas no puedan comunicarse ya sea mediante llamadas o acceso a los datos móviles, se genera una pérdida de oportunidad tanto para los usuarios como para el operador del servicio.

En base a la ubicación central del metropolitano analizaremos porque es que se tiene falencias en las coberturas de los servicios móviles de los operadores Movistar, Claro y Entel, para ello ubicaremos e identificaremos las estaciones de servicio móvil más cercanas a la estación central del metropolitano, tanto para Telefónica del Perú, América Móvil y Entel.



Grafico 13. Estaciones celulares de Telefónica próximas a estación central del Metropolitano  
Fuente: Elaboración propia

Como se visualiza en el grafico 13, se tomó en cuenta las macro celdas de MOVISTAR más cercanas a la estación central del metropolitano, debido que están a menor distancia y ello indica un mejor nivel de potencia en las áreas aledañas a estas. Las distancias entre las estaciones mostradas y la estación del metropolitano se describen a continuación.

EBC JUSTICIA	→ 80 m
EBC ONP	→ 50 m
EBC HOTEL SHERATON	→ 40 m

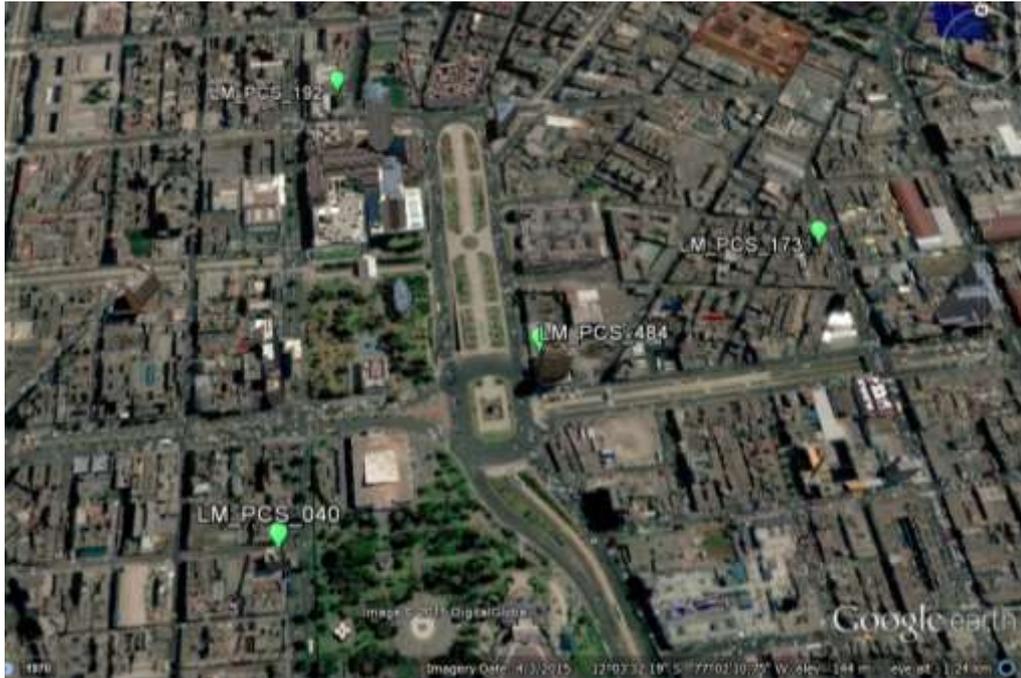


Grafico 14. Estaciones Celulares de Entel próximas a la estación central del Metropolitano  
Fuente: Elaboración propia

Como se visualiza en el grafico 14, se tomó en cuenta las macro celdas de ENTEL más cercanas a la estación central del metropolitano, debido que están a menor distancia y ello indica un mejor nivel de potencia en las áreas aledañas a estas. Las distancias entre las estaciones mostradas y la estación del metropolitano se describen a continuación.

LM\_PCS\_484 → 117.19 m

LM\_PCS\_192 → 217.82 m

LM\_PCS\_040 → 342 m

LM\_PCS\_173 → 414.8 m



Grafico 15. Estaciones celulares de Claro próximas a la estación central del Metropolitano  
Fuente: Elaboración propia

Como se visualiza en el grafico 15, se tomó en cuenta las macro celdas de CLARO más cercanas a la estación central del metropolitano, debido que están a menor distancia y ello indica un mejor nivel de potencia en las áreas aledañas a estas. Las distancias entre las estaciones mostradas y la estación del metropolitano se describen a continuación.

EB CENTRO CIVICO	→ 58.74 m
EB ROSSEVELT	→ 71.33 m
EB PARQUE EXPOSICION	→ 228.56 m
EB COMPUPLAZA	→ 238.62 m
EB ESPANA	→ 327.77 m

Como se observa en los tres gráficos anteriores, teóricamente se debería de obtener óptimos niveles de potencia debido a la proximidad hacia las estaciones móviles, lo cual es cierto en las zonas *outdoor*, pero en los lugares *indoor* como la estación central del Metropolitano se generan las falencias de cobertura y esto a su vez por el tipo de diseño de infraestructura y la composición de materiales que esta posee.

#### **4.1.2.- Toma de mediciones**

La toma de mediciones de cobertura de telefonía móvil tiene como finalidad dar a conocer, de una manera más exacta, la situación dentro de la Estación Central del Metropolitano, lo que nos ayudara a comparar, plantear alguna mejora y hacer nuestras conclusiones finales.

##### **4.1.2.1.- Herramientas de Medición**

Las herramientas necesarias para realizar las mediciones de campo para cada una de las tecnologías son:

- Un teléfono móvil de gama alta, en nuestro caso utilizamos un Samsung Galaxy S5. (véase gráfico 16)
- Aplicativo de medición, *RAN Advisor TrueSite* propietario de *JDSU*.

Elegimos este aplicativo ya que facilita la toma de mediciones en cualquier ambiente *indoor*, el aplicativo puede ser desplegado dentro de un Smartphone con plataforma *Android*. El hecho que el aplicativo este dentro del *Smartphone* ayuda a la discreción al momento de la toma de medidas, cuenta con un modo ingeniería el cual provee alta flexibilidad permitiéndonos ver mediciones en tiempo real además de permitirnos cargar planos en formato JPG (*Joint Photographic Expert Group*) y realizar las mediciones colocando nuestra posición en el plano.

La interfaz gráfica es verdaderamente manejable y facilita el uso del aplicativo a los usuarios con poca experiencia.



Grafico 16. Interfaz gráfica RAN-Advisor True Site

Fuente: Viavi Solutions. (2015). RANAdvisor. Recuperado de <http://nse.viavisolutions.com>

Cuenta con la herramienta “*Forcing and Locking*” la cual es de gran importancia ya que obliga al dispositivo móvil a trabajar bajo ciertos parámetros que uno establezca, por ejemplo la banda de frecuencia correspondientes a las tecnologías móviles, brindando resultados acorde a la banda de trabajo seleccionada. (Véase gráfico 17).

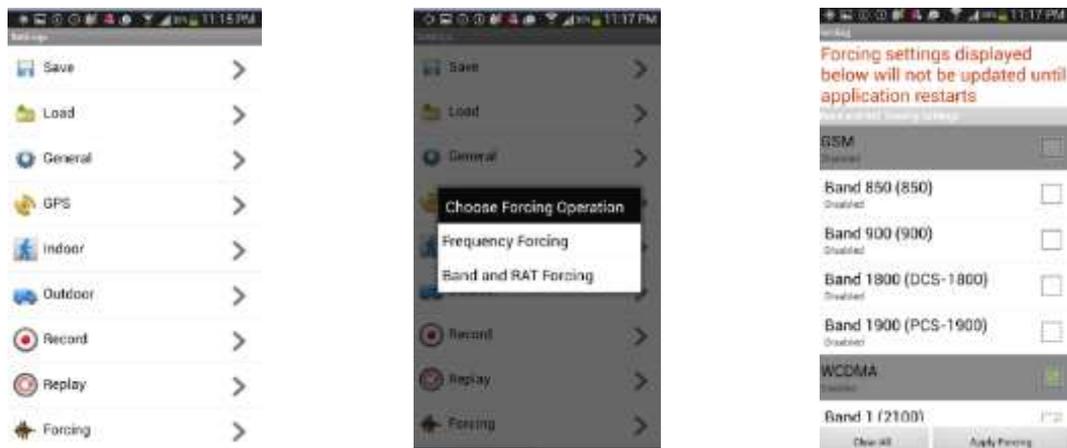


Grafico 17. Visualización de características del software de medida

Fuente: Viavi Solutions. (2015). RANAdvisor. Recuperado de <http://nse.viavisolutions.com>

Otra característica a resaltar es la visualización y el mapeo de resultados, el aplicativo nos permite ver las mediciones en *Google Maps*, ya sea el *Street Maps* o las vistas satelitales, ambas son soportadas y nos indican la intensidad de la señal de un área desde un punto de inicio hasta un punto final, útil para las pruebas de drive-test. (Véase gráfico 18).

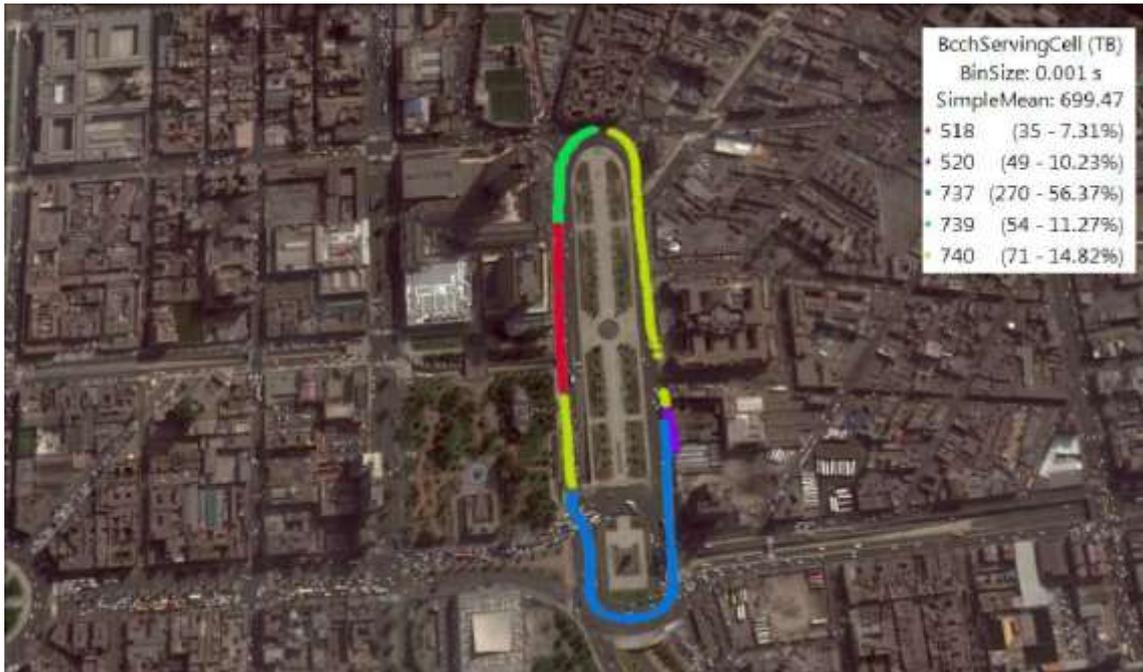


Grafico 18. Ejemplo de prueba outdoor utilizando RANAdvisor  
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las mediciones *indoor*, el aplicativo tiene la particularidad de permitirnos asociar algún mapa en formato imagen, lo cual ayuda a no ser dependiente de la asociación *Google Maps* y el *GPS*. (Véase gráfico 19).

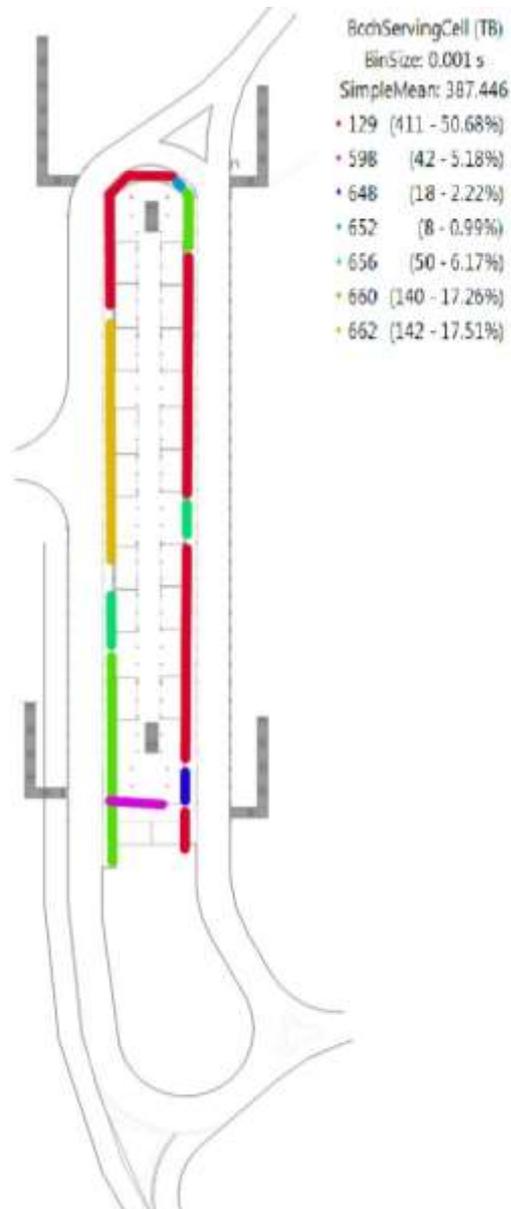


Gráfico 19. Ejemplo de prueba indoor utilizando RANAdvisor  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.- Propuesta de la Arquitectura de la Solución

El diseño de optimización a utilizar será *In-Building*. Se eligió esta solución debida a que es la mejor se acomoda para el tipo de mejora que se necesita. Como se describe anteriormente existen 2 soluciones de optimización *In-Building*, los repetidores convencionales de banda y canal y la tecnología DAS. La primera de estas como ya se explicó, recibe la señal de una celda, la amplifica y la concentra dentro de un edificio y/o espacio determinado. El inconveniente con este método es que se toman los recursos de una celda ya existente y como se mencionó en el análisis del problema , la estación central del metropolitano presenta a diario gran movilización de personas que demandan del servicio de buses, por lo que usando repetidoras se solucionaría el problema de cobertura al interior de la estación central pero a su vez se generaría un problema de capacidad, debido a que la celda resultaría congestionada con lo cual las comunicaciones tampoco se podrían realizar.

En cuanto a la solución DAS , esta provee una mejora no solo en la capacidad sino también en la cobertura que es el problema principal en la estación central del metropolitano , debido a las características a niveles de infraestructura , un inconveniente que podría suceder si no se realiza un diseño DAS y no se establecen de manera correcta los parámetros de potencia de transmisión por antena, estos lóbulos de transmisión podrían interferirse sobre la macro-celda y generarse un punto de incertidumbre lo cual generaría una interferencia sobre la macro-celda teniendo como consecuencia que las comunicaciones no puedan realizarse en su totalidad.

Esta solución es la más óptima al problema de cobertura en la estación central del metropolitano ya que disminuiría el tráfico de las celdas aledañas y lograría una optimización en las señales de los diferentes servicios móviles (2G, 3G y 4G) al interior de las instalaciones del metropolitano. Las ventajas a largo plazo tanto económicas como en el desempeño de la red hacen valer el esfuerzo del diseño de optimización de cobertura. Esto será verificado cuando se analicen los resultados finales.

#### 4.1.4.- Arquitectura de la Solución

Se diseñará una solución DAS que tomará en cuenta las tecnologías GSM, UMTS y LTE es por esto que se presentaran 3 arquitecturas de red, ya que se necesitará una BTS 2G, un *NodoB* 3G y un *eNODOB* 4G. Las señales de todas las tecnologías provenientes de la red principal del operador llegaran en primera instancia a un equipo de transmisiones en este caso un *router*, que en base al diseño y disposición de la problemática se propone un *Huawei ATN-910* debido que este posee interfaces *Ethernet* para poder enrutar y comunicar las tecnologías 3G y 4G , asimismo posee una interface de cables *flexis E1* para el enrutamiento del sistema 2G mediante E1's, dicho sea de paso que la comunicación entre la BTS, NODO B y eNODOB hacia la planta interna o una estación remota como una *URA* y/o *EBC* será mediante fibra óptica. Estas conexiones de red tendrán como llegada una interface de red en una BBU dependiendo el tipo de tecnología ya sea una tarjeta GTMU para 2G , una tarjeta WMPT para 3G o una tarjeta UMPT para 4G. Así mismo estos equipos necesitan de una unidad de radio remota para poder filtrar, modular y demodular la señal a transmitir (RRU), esta comunicación entre BBU y RRU independientemente de la tecnología se realizara mediante fibra óptica. Las señales GSM, UMTS y LTE, a la salida de cada RRU respectivo pasarán por un *triplexor* que combinara las señales para ser transportadas mediante cable coaxial *superflex*, luego serán llevadas por un arreglo de *splitters* antes de llegar a las antenas, que finalmente darán la cobertura al interior de la estación central del metropolitano. (Véase gráfico 20).

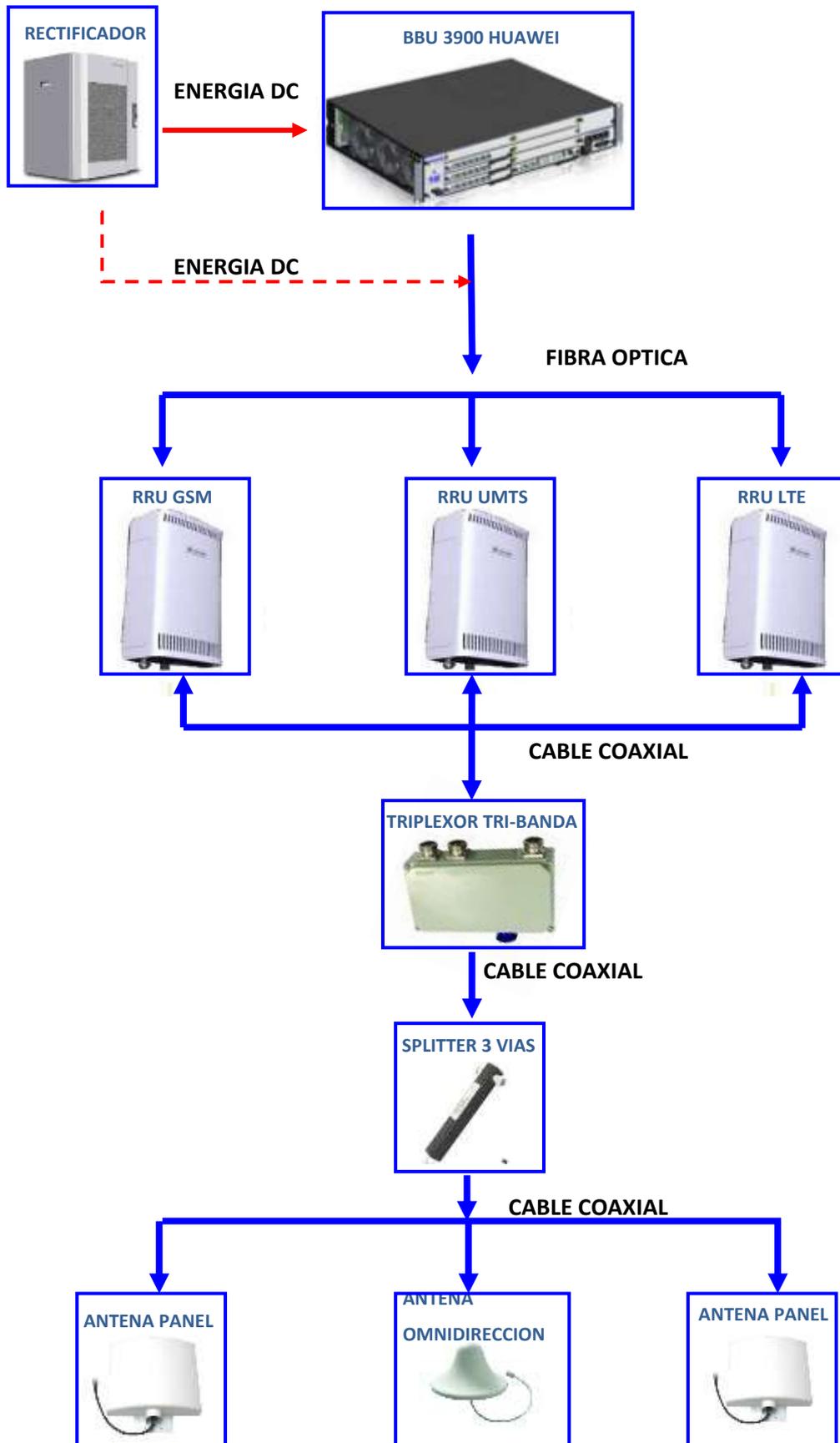


Grafico 20. Diseño general de la solución

Fuente: Elaboración propia

## 4.2.- Equipamiento a utilizar

El equipamiento que se utilizara se eligió en base a las necesidades de la solución, reputación de los fabricantes y la accesibilidad de los precios.

Utilizaremos un BBU3900 del proveedor *Huawei* capaz de trabajar con las tecnologías *GSM*, *UMTS* o *LTE*, requiere una alimentación de -48V DC y tiene como dimensiones físicas 86mm de altura, 442 mm de ancho y 310mm de profundidad, tiene un peso máximo de 12 Kg en una configuración total o 7Kg en una configuración típica. El equipo no debe de superar los 55° C como temperatura de trabajo. (Véase gráfico 21).

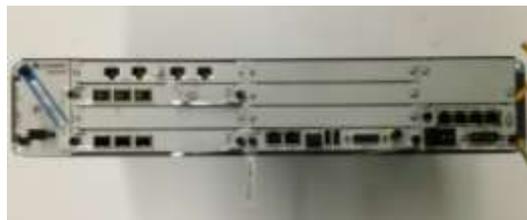


Grafico 21. BBU3900 - Huawei

Fuente: Huawei. (2012). BBU3900 Description. Recuperado de <http://e.huawei.com>

Se utilizará una *RRU3908* del proveedor *Huawei* el cual tiene una sensibilidad de -125.5 dBm en modo *UMTS* o -113.5 dBm en modo *GSM*, requiere de una alimentación de -48V DC y tiene como dimensiones físicas 485 mm de altura, 380 mm de ancho y 170 mm de profundidad, tiene un peso de 23 Kg. (Véase gráfico 22).



Grafico 22. RRU 3908 - Huawei

Fuente: Huawei. (2012). RRU3908 Description. Recuperado de <http://e.huawei.com>

Se requerirá de un módulo rectificador compacto de -48V DC de salida con potencia de salida de 800W del proveedor *Eltek Valere* capaz de transmitir alarmas y *warnings* con indicadores *LED* y demás funcionalidades que ayuden a la operación. Sus dimensiones físicas son 42.5 mm de altura, 88.9 mm de ancho y 250 mm de profundidad, tiene un peso no mayor de 1.08 Kg. Este brindara soporte a la *BBU* y a la *RRU*.

Utilizaremos *splitters* del proveedor RFS, tanto de 2 vías (modelo PDC2E) como de 3 vías (modelo PDS3E), elegimos estos modelos en específico ya que pueden operar en un rango de frecuencias desde los 700 a los 2700MHz, teniendo dentro de este rango las banda designadas para *GSM* como *UTMS*. (Véase gráfico 23).



Grafico 23. Splitter de 2 vías - RFS

Fuente: RFS. (2012). Splitters Power Dividers. Recuperado de <http://www.rfsworld.com>

Las antenas que utilizaremos serán del tipo panel, del proveedor RFS, modelo *I-ATP1*. Usaremos también antenas de tipo omnidireccional, del proveedor *RFS*, modelo *I-ATO1*. La elección de estas antenas se basó en que ambas tienen un gran rango de frecuencias de trabajo, las que pueden aportar a nuestro diseño. (Véase gráfico 24).



Grafico 24. Antena Omnidireccional y Antena Panel - RFS

Fuente: RFS. (2014). Antenna description. Recuperado de <http://www.rfsworld.com>

Se puede encontrar las respectivas fichas técnicas con especificaciones físicas y tecnológicas de cada equipamiento utilizado en este diseño en la parte de anexos.

#### **4.3.- Diseño de la solución**

Una vez realizadas las visitas técnicas para la recolección de datos y recabada la información descrita en el capítulo anterior, donde en primera instancia se definió la problemática de este caso, en la cual se hizo un estudio de la situación actual y se planteó la solución. En este punto se realizara el diseño a detalle de la solución. Para esto se necesitó previamente definir detalladamente todos los equipos que formaran parte del diseño y predicción de mejora de cobertura al interior de la estación central del metropolitano.

Conociendo los equipos a utilizar, ya es posible realizar un diseño exacto de la solución. Para esto se necesitara definir la mejor ubicación de los equipos, las predicciones de cobertura, diagramas unilineales a manera informativa, y cuadros de potencia del sistema a diseñar, y así como también un alcance económico de la solución a implementar.

#### **4.4.- Predicciones de Cobertura**

Para realizar el diseño de mejora de cobertura 2G, 3G y sistema MIMO 4G, se utilizará el programa *iBwave Design* en su versión 6.6. Este programa es muy versátil y dinámico y permite realizar predicciones de cobertura muy precisas puesto que nos permite modelar la infraestructura subterránea donde se pretende dar una mejora de cobertura. Esta modelación permite considerar las características de cada ambiente en base a sus medidas altura, ancho, largo, grosor de las paredes y el material por las que están conformadas. Por ello la primera etapa del diseño es modelar la estación central del metropolitano definiendo y colocando todos los parámetros en base a las características del lugar. Estos datos fueron obtenidos previamente mediante una visita técnica para la toma de mediciones métricas y mejor ubicación de futuros equipos a

diseñar. El resultado de este modelo es una vista del lugar en 3D como se muestra en el siguiente gráfico. (Véase gráfico 25).

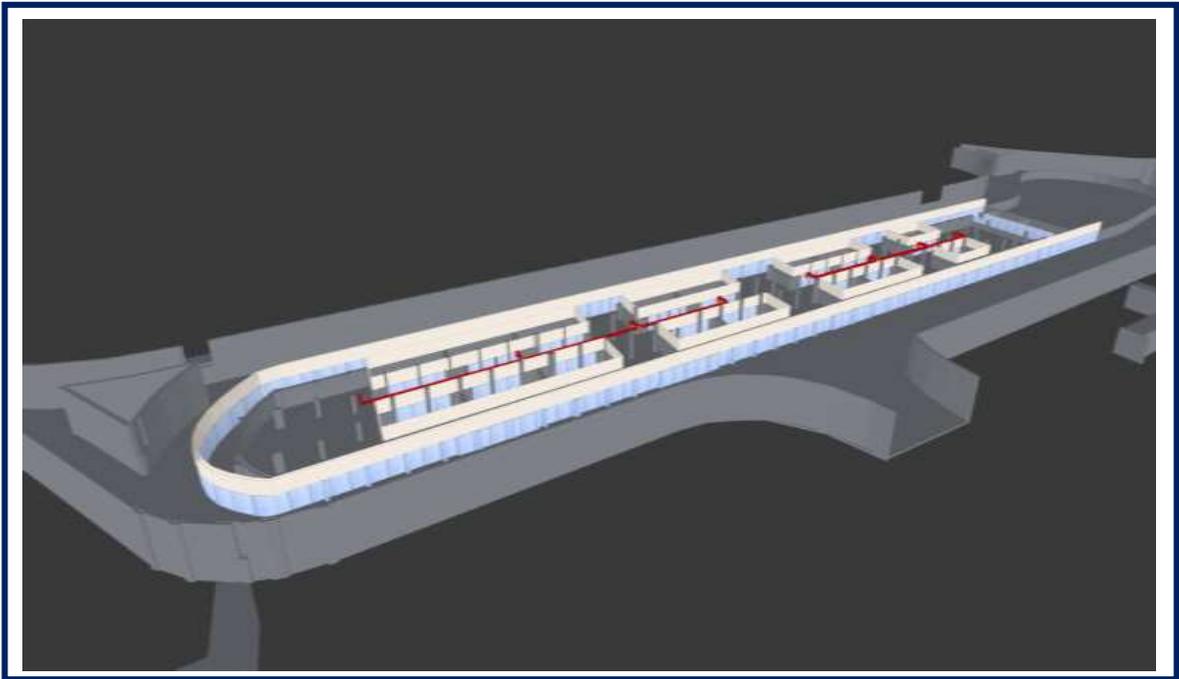


Grafico 25. Vista 3D de la estación central del Metropolitano  
Fuente: Elaboración propia

Una vez conseguida la vista 3D, cuando se trabaje sobre los planos el programa asociara lo realizado en el plano con el diseño en 3D, con la cual se realizaran las predicciones considerando cada una de las estructuras que afectan a la propagación de la señal.

Una vez realizado el plano, se procede a realizar el diseño y ubicación de los equipos en base a los parámetros definidos anteriormente. Para ello se debe tener en cuenta la mejor ubicación de los equipos principales como RRU (*Remote Radio Unit*), para idear como llegara el cableado hasta las antenas y así mismo como se distribuirán los *splitters*. También se tiene que asegurar que la señal quede en el recinto y no genere interferencia a los usuarios móviles que se encuentran al exterior de la estación central del metropolitano , por ello se tendrá como patrón de diseño el uso de antenas omnidireccionales en la zona del pasadizo central y así dar cobertura proporcionalmente desde el centro hacia los contornos o zona de los paraderos y así evitar que la señal se

escape y sea percibida por usuarios externos y genere interferencia a las macro-celdas y viceversa . Asimismo se debe asegurar que se cumplan los objetivos descritos en puntos anteriores, por lo tanto se debe tener cuidado con los parámetros de potencia a irradiar y considerar las pérdidas de los equipos a utilizar para alcanzar las metas propuestas de cobertura.

Una vez realizado el diseño de la red , el cual demanda mucha paciencia, puesto que el resultado esperado no se obtiene con la primera configuración y diseño propuesto, debido a las características del lugar y comportamiento de las señales de RF en base a ellas, al igual que con los resultados de las mediciones de cobertura existentes obtenidas, a continuación se mostrara las predicciones de cobertura tanto para el pasadizo central como también la zona de paraderos de las diferentes tecnologías 2G , 3G y 4G propuestas para los operadores Claro y Movistar.

(Véase desde gráfico 26 hasta grafico 33)

## PRIMERA PROPUESTA DE DISEÑO

### Predicción de Cobertura – Diseño 2G

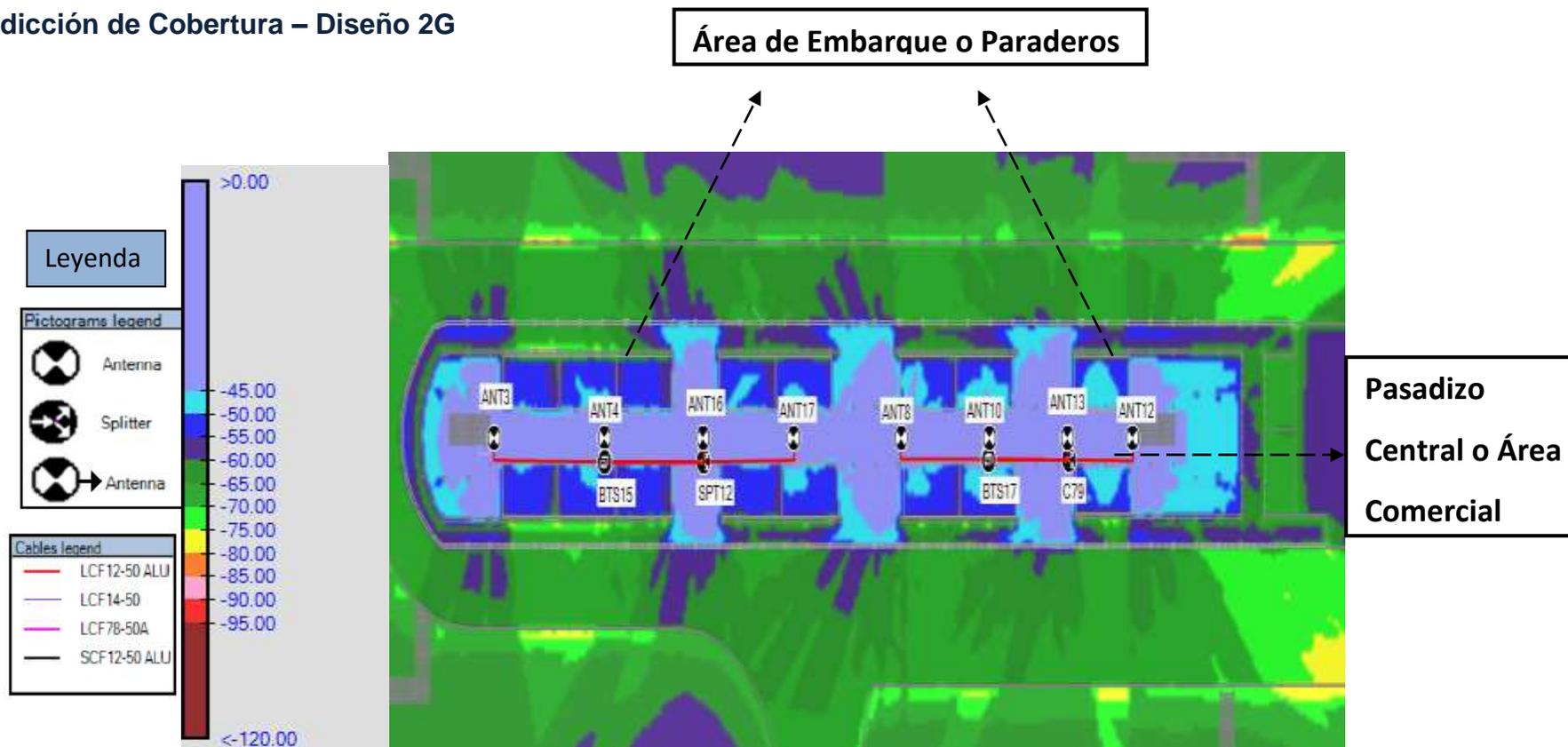


Grafico 26. Predicción de cobertura – Primer diseño - Sistema 2G

Fuente: Elaboración propia

## Predicción de Cobertura – Diseño para 3G

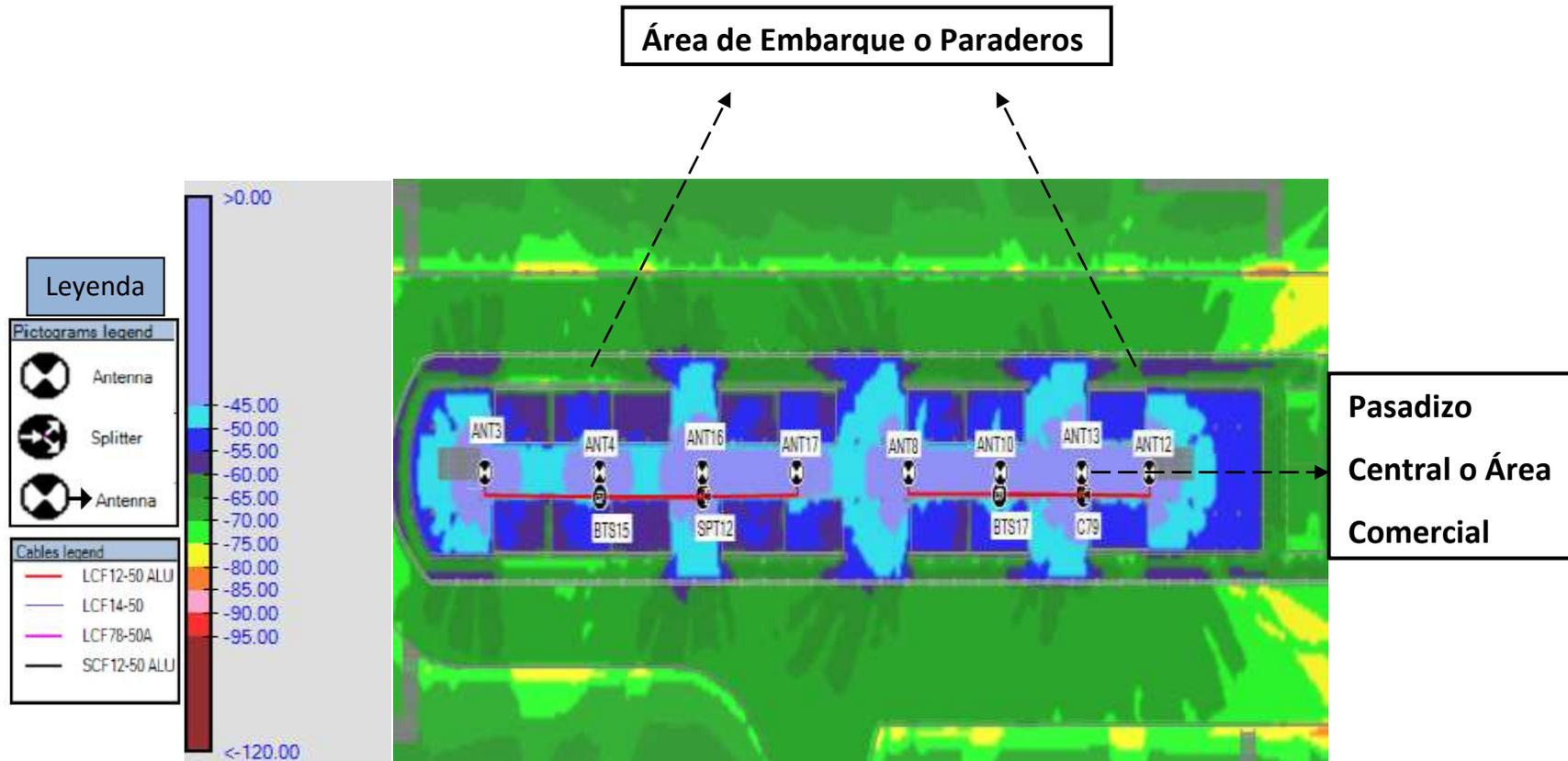


Grafico 27. Predicción de cobertura – Primer diseño - Sistema 3G

Fuente: Elaboración propia

## Predicción de Cobertura – Diseño para 4G

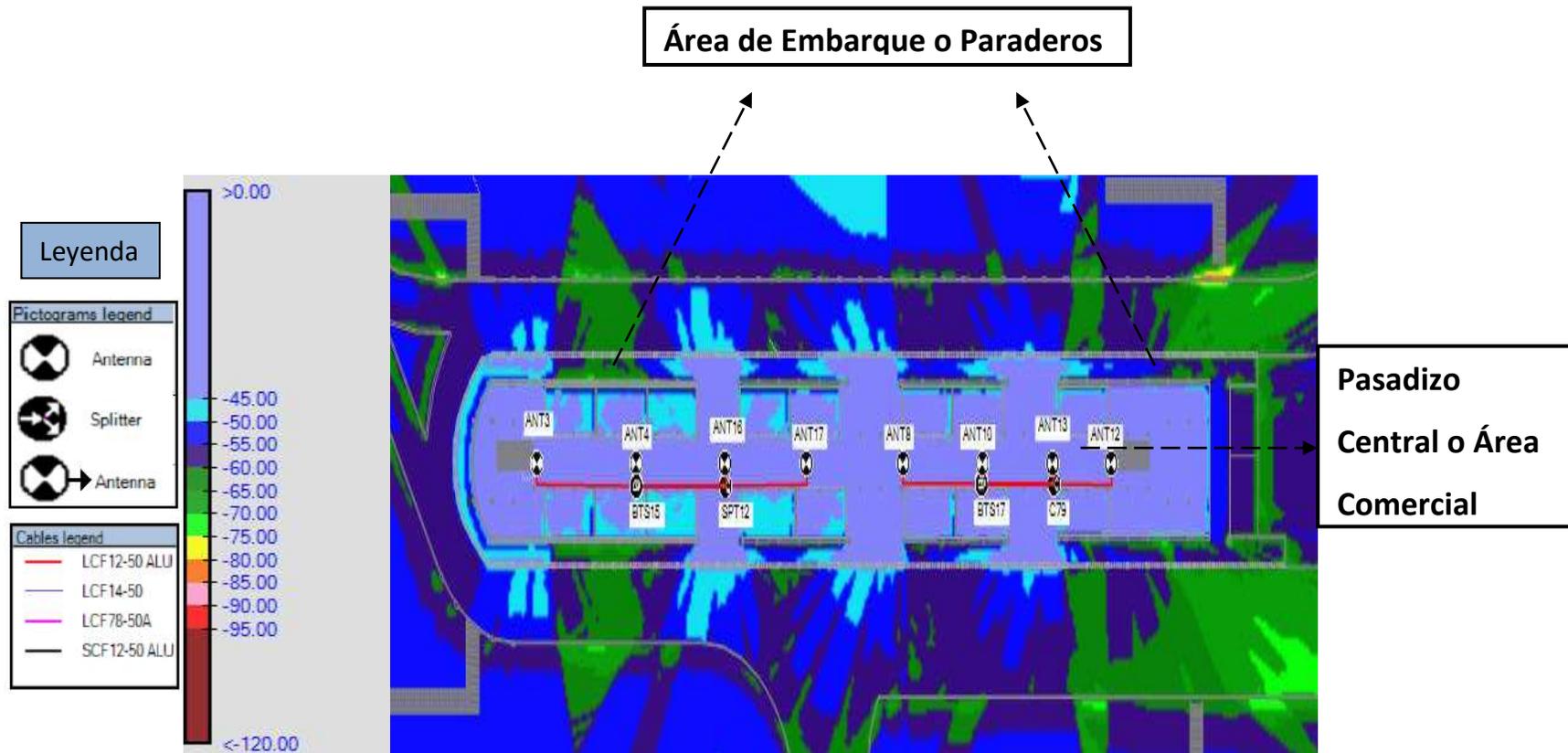


Gráfico 28. Predicción de cobertura – Primer diseño - Sistema 4G

Fuente: Elaboración propia

## Predicción Downlink – Diseño 4G

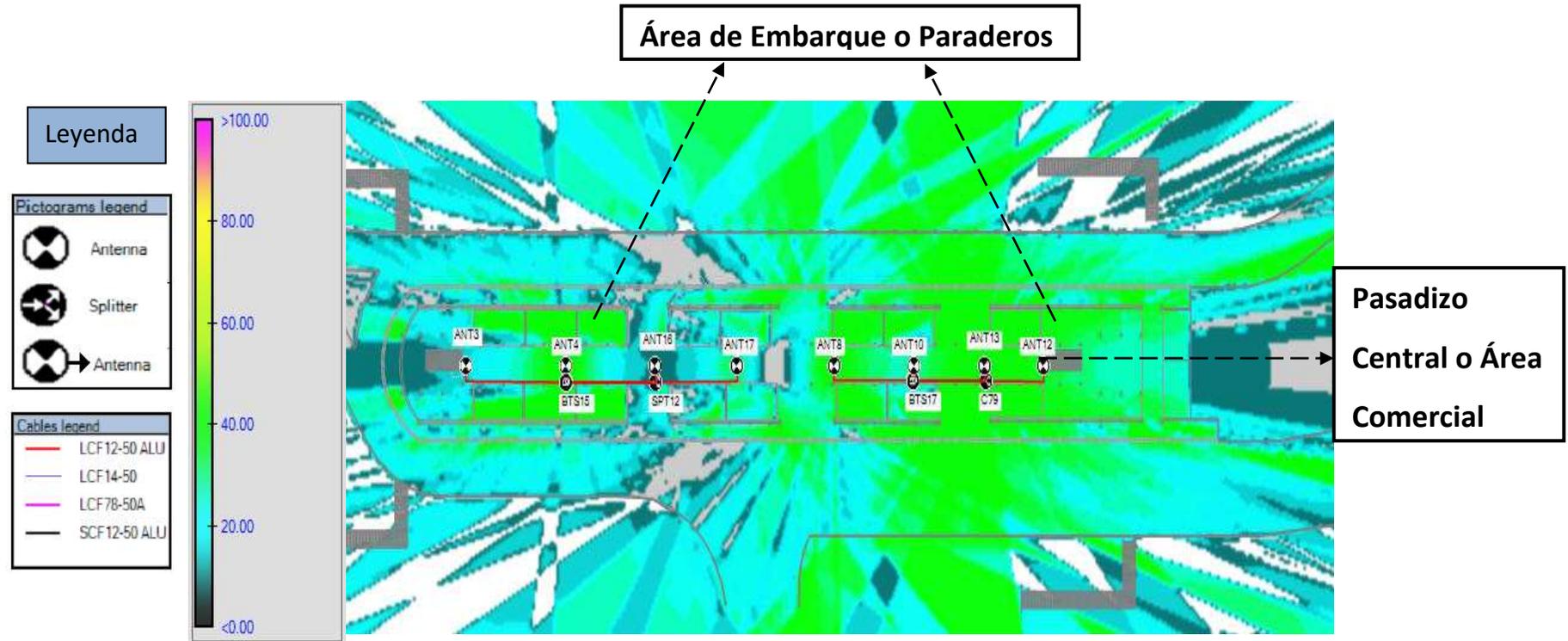


Grafico 29. Predicción Downlink – Primer diseño - Sistema 4G

Fuente: Elaboración propia

## SEGUNDA PROPUESTA DE DISEÑO

### Predicción de Cobertura – Diseño para 2G

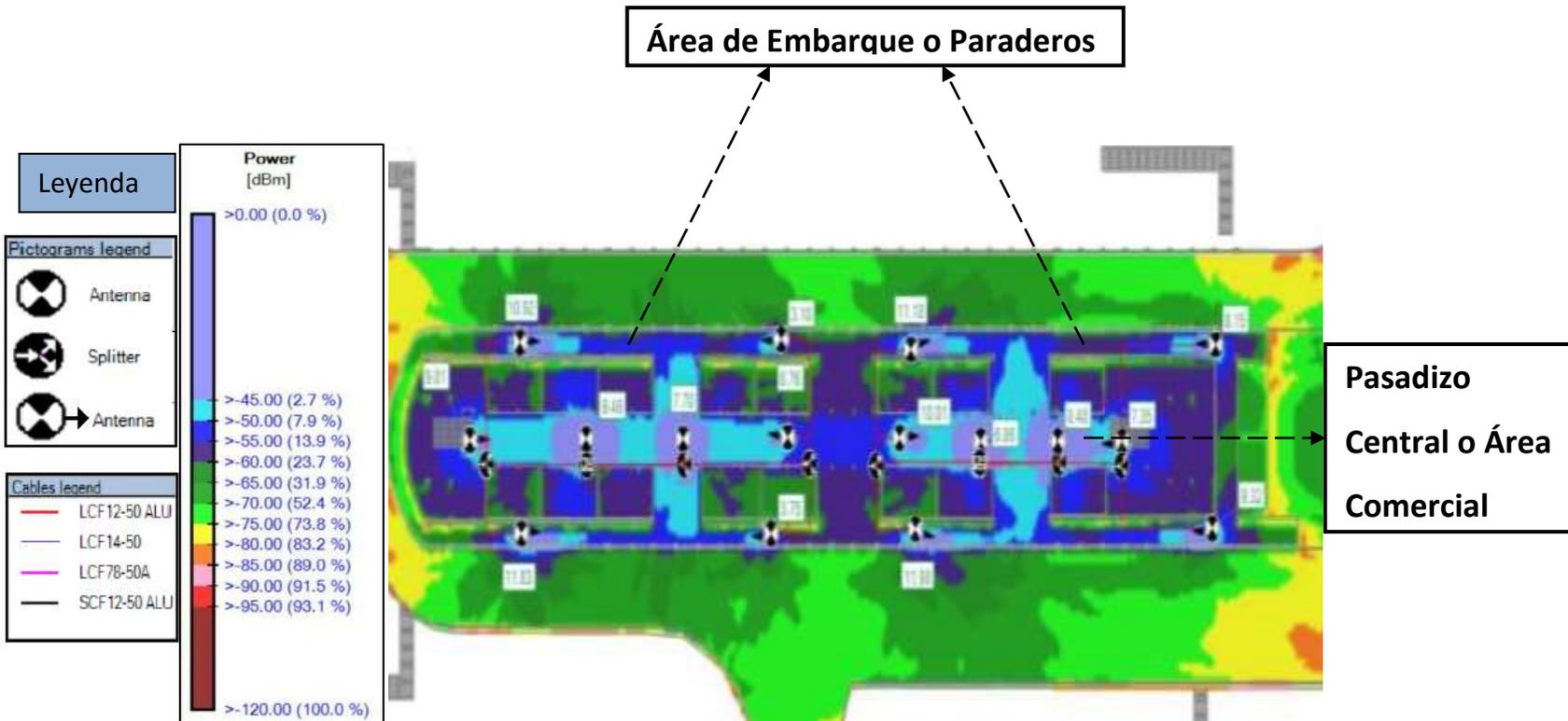


Gráfico 30. Predicción de cobertura - Segundo diseño - Sistema 2G

Fuente: Elaboración propia

## Predicción de Cobertura – Diseño para 3G

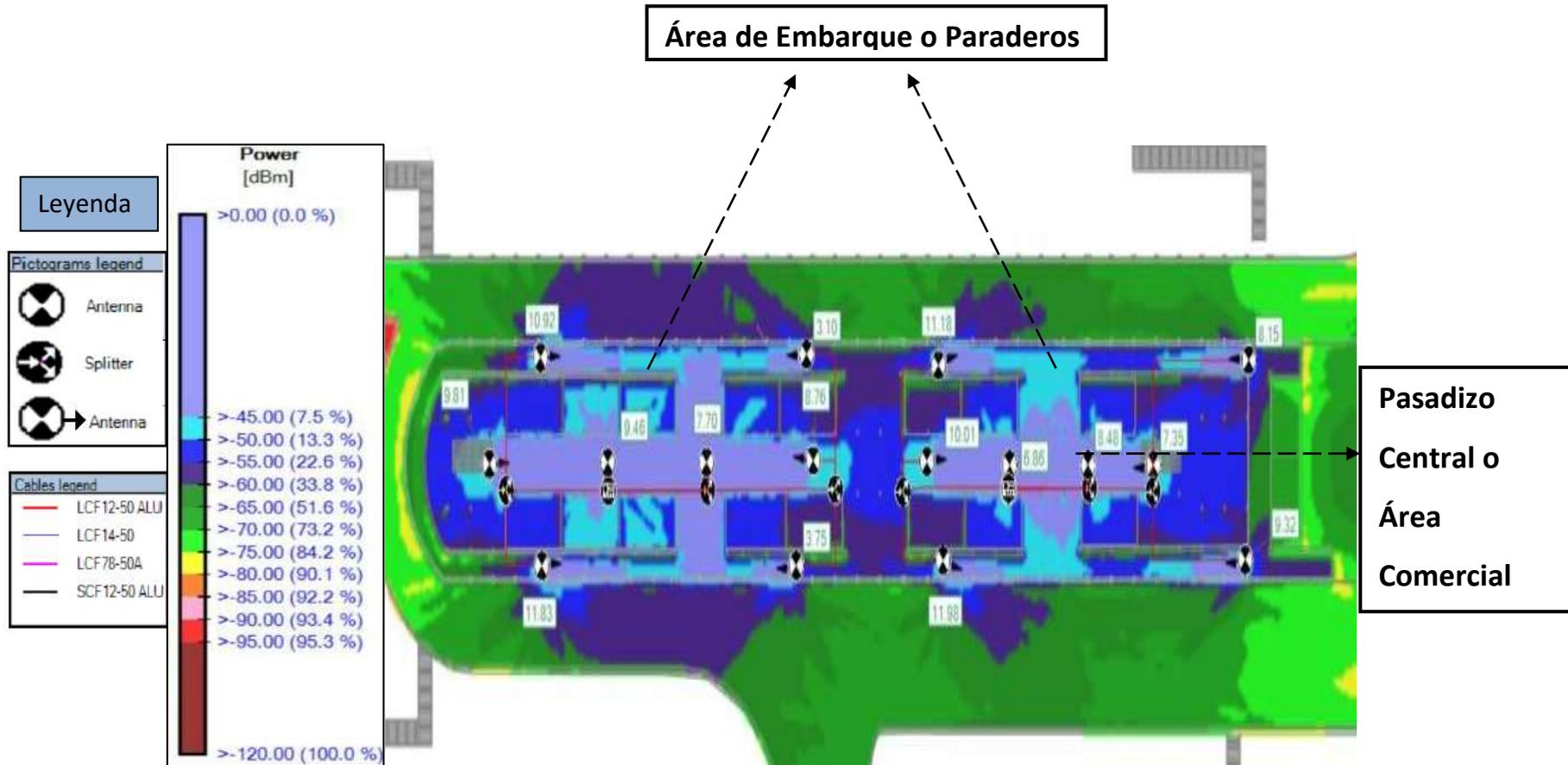


Grafico 31. Predicción de cobertura - Segundo diseño - Sistema 3G

Fuente: Elaboración propia

## Predicción de Cobertura – Diseño para 4G

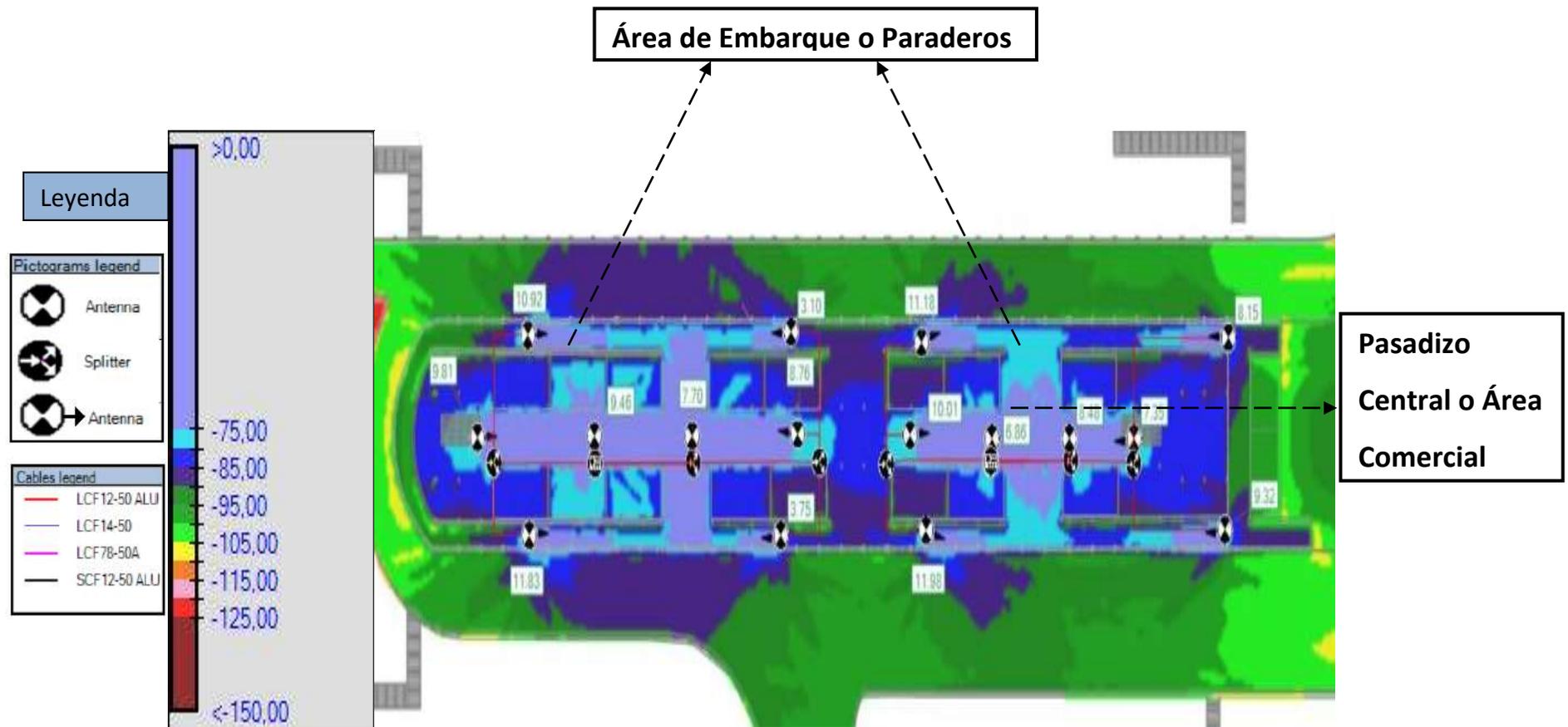


Grafico 32. Predicción de cobertura - Segundo diseño - Sistema 4G

Fuente: Elaboración propia

## Predicción Downlink – Diseño 4G

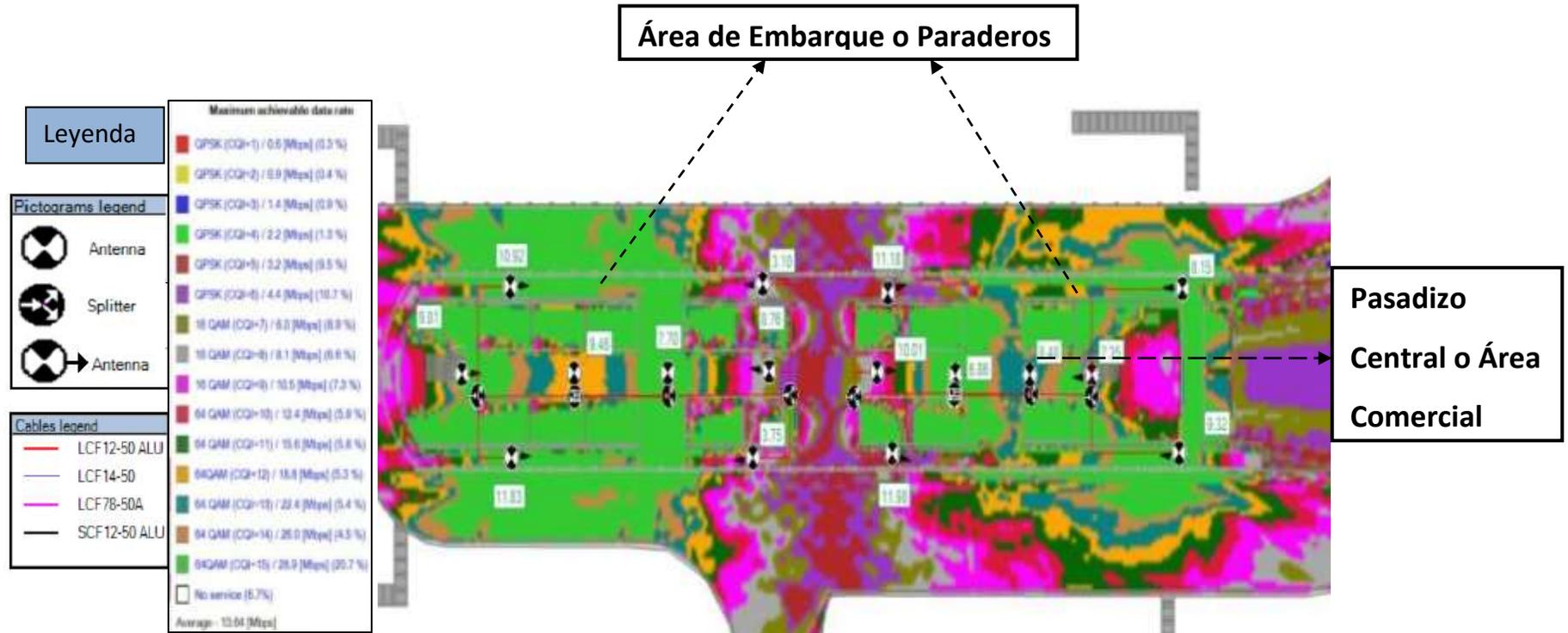


Grafico 33. Predicción Downlink – Segundo diseño - Sistema 4G

Fuente: Elaboración propia

Se observa en los graficos mencionados (grafico 26 – 33), tanto en el primer y segundo diseño de predicción se lograría considerablemente una mejora de cobertura mediante el arreglo de antenas propuestas para los sistemas 2G, 3G y 4G, en el área comercial o pasadizo central como también en las áreas de paraderos que es una de las áreas críticas debido a la concentración de usuarios móviles. Este diseño aseguraría que se cumplan los objetivos propuestos en el trabajo de investigación, como se ven en las imágenes donde se muestra *Rx Level*, *RSCP* y *RSRP*, las cuales están por encima de – 75 dBm en más del 95% del área de cobertura. Así mismo se aprecia la ubicación de los *splitters*, *tabs* y la distribución del cableado dentro de la estación central del Metropolitano.

Como se muestra en las imágenes, es importante parametrar de manera correcta las potencias de los equipos de radio remota para garantizar una óptima cobertura en los interiores del establecimiento y asimismo pueda darse de manera óptima el *soft-handover* entre sectores del nuevo *eNodeB*, *NodeB* y *BTS* propuesto, asimismo un óptimo *handover* entre las macro-celdas *Outdoor* y el sistema *Indoor* propuesto, esto en base a los valores ya mostrados en las imágenes, en los cuales no solo mejoran la señal de recepción que podrían recibir los equipos móviles , sino también los niveles de ruido y por ende las velocidades de datos tanto en *uplink* como en *downlink*.

Las especificaciones al detalle del diseño serán mostradas a continuación en donde permitirá observar de forma esquematizada la ubicación exacta de cada antena y la división de sectores en base a la predicción de mejora de cobertura. Asimismo tablas de potencias mostrando las pérdidas de potencia que podrían generarse al implementarse estos nuevos sistemas móviles.

#### 4.5.- Cuadros de Potencias del Diseño

Un punto importante que se debe tener en cuenta para verificar el diseño realizado es mediante el Link Budget o cálculo de potencias en donde se calcula todas las ganancias y pérdidas de la red, para determinar la potencia de transmisión real que irradia el sistema de RF. En este caso el software *iBwave* nos permite realizar simulaciones de cobertura del sistema de *In-Building* como si este se encontrara irradiando empíricamente, así nos ofrece los puntos o lugares en donde la potencia es óptima o se encuentra degradada. En las tablas se ven los cuadros de potencias del diseño tanto para 2G, 3G y 4G respectivamente. En estos campos se puede observar medidas como las atenuaciones del cable coaxial, atenuaciones de los *splitters* propuestos en el diseño y finalmente ganancia de las antenas según sus características para finalmente realizar adiciones y sustracciones para obtener la potencia total irradiada por cada antena según su ubicación. Cabe recalcar que para los cálculos de potencia realizados por el *iBwave* se asumió diferentes potencias de salida de los equipos (*RRUs*) entre:

$$20 \text{ dBm} < P_{tx} < 30 \text{ dBm} \quad v \quad 0.1 \text{ W} < P_{tx} < 1$$

A continuación se muestra el link Budget o cuadros de potencias, donde indicamos las ganancias y las pérdidas de la red. (Véase desde la tabla 2 hasta la tabla 7)

## Primera Propuesta de Diseño

### Cuadros de Potencias de Sistema Radiante 2G

	Perdida por Cable	Perdida por Splitters		Perdida Combinador			
Antena	Perdida (dB)	Cantidad (L=6.6dB)	Perdida Total (dB)	Perdida Total (dB)	Salida del Sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada por Antena (dB)
Ant 3	-7.05	1	-6.6	-0.3	25	2.85	13.9
Ant 4	-9.33	1	-6.6	-0.3	25	2.85	11.62
Ant 8	-5.7	1	-6.6	-0.3	25	2.85	15.25
Ant 10	-9.06	1	-6.6	-0.3	25	2.85	11.89
Ant 12	-8.54	1	-6.6	-0.3	25	2.85	12.41
Ant 13	-6.84	1	-6.6	-0.3	25	2.85	14.11
Ant 16	-6.71	1	-6.6	-0.3	25	2.85	14.24
Ant 17	-9.01	1	-6.6	-0.3	25	2.85	11.94

Tabla 2. Cuadro de potencias – Primer diseño – Sistema 2G

Fuente: Elaboración propia

### Cuadros de Potencias de Sistema Radiante 3G

	Perdida por Cable	Perdida por Splitters		Perdida Combinador			
Antena	Perdida (dB)	Cantidad (L=6.6dB)	Perdida Total (dB)	Perdida Total (dB)	Salida del Sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada por Antena (dB)
Ant 3	-4.88	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	13.07
Ant 4	-6.37	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	11.58
Ant 8	-3.99	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	13.96
Ant 10	-6.18	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	11.77
Ant 12	-5.85	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	12.1
Ant 13	-4.74	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	13.21
Ant 16	-4.66	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	13.29
Ant 17	-6.16	1	-6.6	-0.3	25	-0.15	11.79

Tabla 3. Cuadro de potencias - Primer diseño - Sistema 3G

Fuente: Elaboración propia

### Cuadros de Potencias de Sistema Radiante 4G

	Perdida por Cable	Perdida por Splitters		Perdida Combinador			
Antena	Perdida (dB)	Cantidad (L=3.3dB)	Perdida Total (dB)	Perdida Total (dB)	Salida del Sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada por Antena (dB)
Ant 3	-6.58	1	-3.3	-0.3	25	2.85	17.67
Ant 4	-9.25	1	-3.3	-0.3	25	2.85	15
Ant 8	-4.98	1	-3.3	-0.3	25	2.85	19.27
Ant 10	-8.93	1	-3.3	-0.3	25	2.85	15.32
Ant 12	-8.32	1	-3.3	-0.3	25	2.85	15.93
Ant 13	-6.32	1	-3.3	-0.3	25	2.85	17.93
Ant 16	-6.18	1	-3.3	-0.3	25	2.85	18.07
Ant 17	-8.88	1	-3.3	-0.3	25	2.85	15.37

Tabla 4. Cuadro de potencias - Primer diseño - Sistema 4G

Fuente: Elaboración propia

## Segunda Propuesta de Diseño

### Cuadros de Potencias de Sistema Radiante 2G

Antena	Pérdida Cable	Pérdida por Coupler			Pérdida por Splitters			Pérdida Combinador	Salida del Sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada por Antena (dB)
	Pérdida (dB)	Cantidad (L=-1.7 dB)	Cantidad (L=-6 dB)	Pérdida Total (dB)	Cantidad (L=-6.6 dB)	Cantidad (L=-9.8 dB)	Pérdida Total ( dB)	Pérdida Total (dB)			
Ant 2	-4.97	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	25	2.85	11.18
Ant 3	-4.97	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	25	2.85	11.18
Ant 4	-2.29	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	25	2.85	13.86
Ant 5	-2.29	1	0	-1.7	1	0	-9.9	-0.2	25	2.85	13.76
Ant 6	-5.82	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	25	2.85	9.33
Ant 7	-5.82	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	25	2.85	9.33
Ant 8	-5.49	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	25	2.85	9.66
Ant 9	-5.49	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	25	2.85	9.66
Ant 10	-2.12	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	25	2.85	14.03
Ant 11	-2.12	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	25	2.85	14.03
Ant 12	-5.75	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	25	2.85	10.4
Ant 13	-5.75	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	25	2.85	10.4

Tabla 5. Cuadro de potencias - Segundo diseño - Sistema 2G

Fuente: Elaboración propia

### Cuadros de Potencias de Sistema Radiante 3G

Antena	Pérdida Cable	Pérdida por Coupler			Pérdida por Splitters			Pérdida Combinador	Salida del Sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada por Antena (dB)
	Pérdida (dB)	Cantidad (L=-1.7 dB)	Cantidad (L=-6 dB)	Pérdida Total (dB)	Cantidad (L=-6.6 dB)	Cantidad (L=-9.8 dB)	Pérdida Total (dB)	Pérdida Total (dB)			
Ant 2	-4.97	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	13.18
Ant 3	-4.97	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	13.18
Ant 4	-2.29	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	15.86
Ant 5	-2.29	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	15.86
Ant 6	-5.82	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	27	2.85	11.33
Ant 7	-5.82	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	27	2.85	11.33
Ant 8	-5.49	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	27	2.85	11.66
Ant 9	-5.49	0	1	-6	1	0	-6.5	-0.2	27	2.85	11.66
Ant 10	-2.12	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	16.03
Ant 11	-2.12	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	16.03
Ant 12	-5.75	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	12.4
Ant 13	-5.75	1	0	-1.7	1	0	-9.8	-0.2	27	2.85	12.4

Tabla 6. Cuadro de potencias - Segundo diseño - Sistema 3G

Fuente: Elaboración propia

### Cuadros de Potencias de Sistema Radiante 4G

Antena	Pérdida Cable	Pérdida por Coupler			Pérdida por Splitters			Pérdida Combinador	Salida del Sistema (dB)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada por Antena (dB)
	Pérdida (dB)	Cantidad (L=-1.7 dB)	Cantidad (L=-6 dB)	Pérdida Total (dB)	Cantidad (L=-6.6 dB)	Cantidad (L=-3.3 dB)	Pérdida Total (dB)	Pérdida Total (dB)			
Ant 2	-5	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	14.35
Ant 3	-5	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	14.35
Ant 4	-2.16	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	17.19
Ant 5	-2.16	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	17.19
Ant 6	-5.88	0	1	-6	0	1	-3.3	-0.2	25	2.85	12.47
Ant 7	-5.88	0	1	-6	0	1	-3.3	-0.2	25	2.85	12.47
Ant 8	-5.53	0	1	-6	0	1	-3.3	-0.2	25	2.85	12.82
Ant 9	-5.53	0	1	-6	0	1	-3.3	-0.2	25	2.85	12.82
Ant 10	-1.97	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	17.38
Ant 11	-1.97	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	17.38
Ant 12	-5.79	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	13.56
Ant 13	-5.79	1	0	-1.7	1	0	-6.6	-0.2	25	2.85	13.56

Tabla 7. Cuadro de potencias - Segundo diseño - Sistema 4G  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.- Diagramas Generales de la Solución

Después de realizar los diseños de cobertura realizamos sus diagramas unilineales donde se muestran los diseños completos, detallando los equipos usados, distancia de cables, etc. En las figuras se pueden observar estos diagramas unilineales con todas las antenas a utilizar y su distribución. Estos diagramas representan la arquitectura detallada de la solución. (Véase gráfico 34).

#### Distribución Esquemática Primera Propuesta

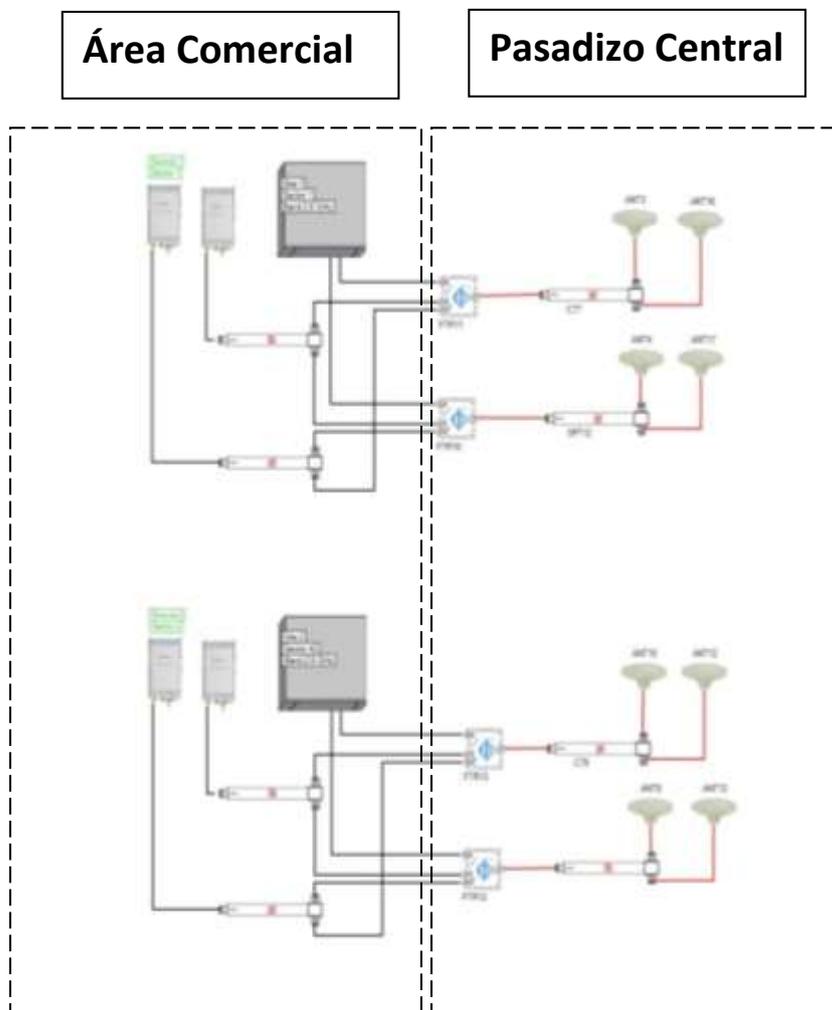


Gráfico 34. Distribución esquemática - Primer diseño  
Fuente: Elaboración propia

En esta vista se detalla la cantidad de antenas del primer diseño DAS al interior de la estación central más no la ubicación exacta de los equipos que se muestran en las predicciones de cobertura descritas en el punto anterior.

### Distribución Esquemática Segunda Propuesta

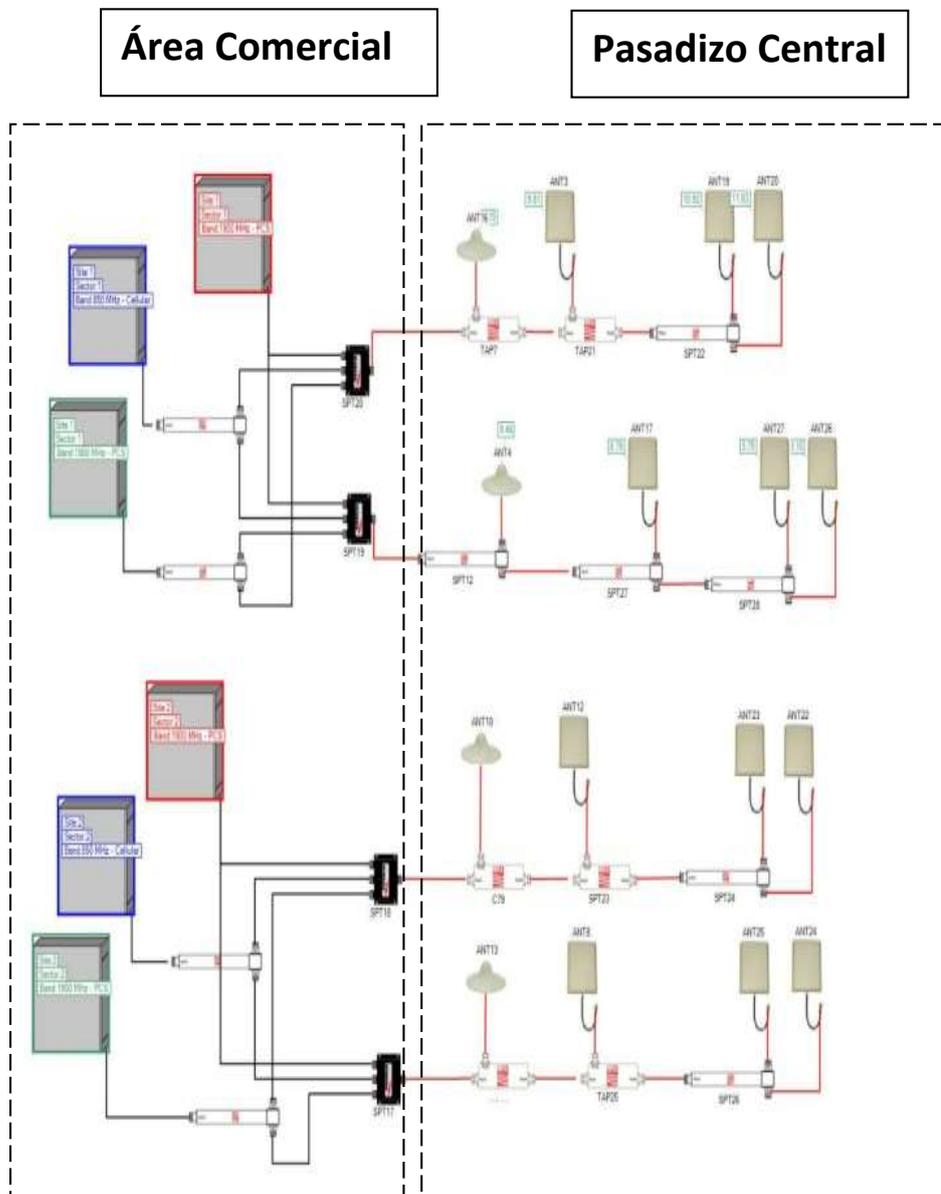


Grafico 35. Distribución esquemática - Segundo diseño

Fuente: Elaboración propia

En esta vista se detalla la cantidad de antenas del segundo diseño DAS al interior de la estación central más no la ubicación exacta de los equipos que se muestran en las predicciones de cobertura descritas en el punto anterior. (Véase gráfico 35).

## Diagrama Unilineal Eléctrico

Conocida la distribución del sistema de antenas y de los equipos de RF se debe considerar el tema eléctrico de la solución, dígame los puntos de corriente eléctrica , como energías AC de 220 Vac , los puntos de energía DC previstos mediante módulos rectificadores de – 48 Vdc y los puntos de toma a tierra. (Véase gráfico 36).

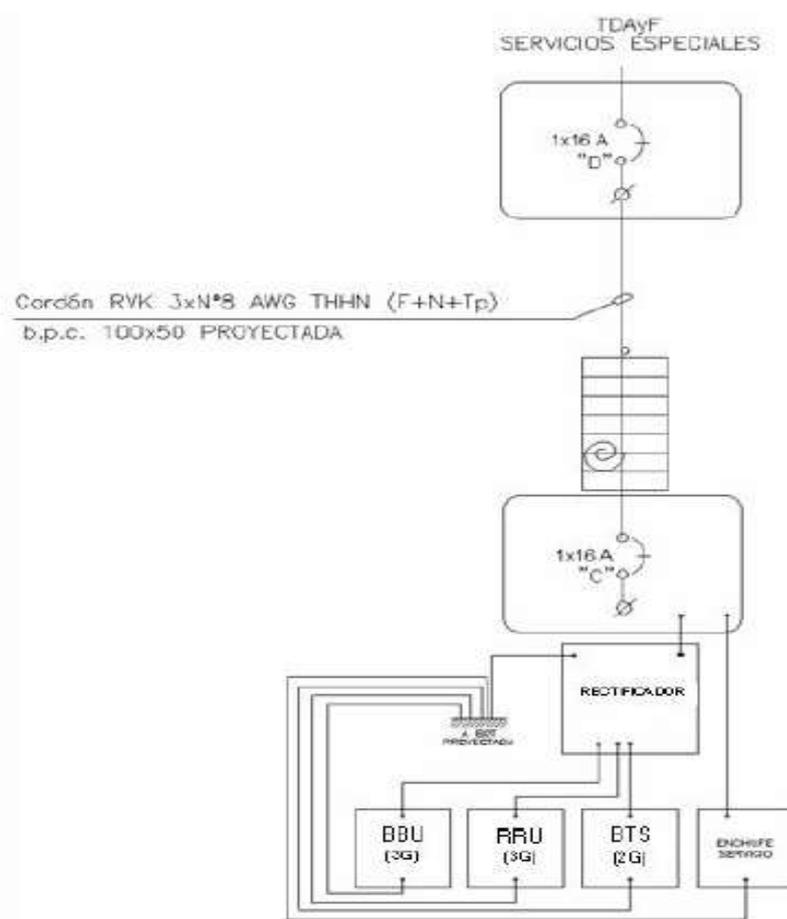


Grafico 36. Esquema unilineal eléctrico  
Fuente: Elaboración propia

En la figura se observa gráficamente la distribución eléctrica de la red diseñada. Se aprecia que el equipo rectificador es el único equipo que se conecta directamente a la red eléctrica, dado que los equipos de RF trabajan a – 48 Vdc. Esta vista es frontal mas no muestra la ubicación exacta en la que se ubicaran los módulos rectificadores, dado que se tiene que tener en cuenta las distancias desde la toma de corriente AC hasta la ubicación de los módulos rectificadores.

#### 4.7.- Listado de Materiales

Culminado el proceso de diseño de las 2 soluciones de cobertura, es necesario precisar los materiales que se deben utilizar y así mismo su cantidad. Esta lista de materiales pone énfasis en materiales pasivos y activos mas no en materiales de adecuación que podrían ser requeridos si se requiriese implementarse como cajas de paso, canaletas, etc. Esta lista preliminar ayuda a estimar los costos y presupuestos aproximados del costo total de un proyecto.

#### Primer Diseño de Solución

En la tabla 8, se puede observar los materiales a utilizar en la primera propuesta de diseño de la solución *indoor* en la estación central del metropolitano. En la tabla se puede observar que se indica cada elemento que formara parte de la red diseñada y se dan detalles como modelo, una breve descripción y la cantidad requerida para propósitos de implementar este diseño.

EQUIPO	MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD
Antenna	I-ATO1-698/2700 (ALU)	Antena Omnidireccional Indoor Para CDMA, GSM, DCS, PCS, 3G y WLAN - 698-960 MHz / 1700-2700 MHz	12
Attenuator	N-TER-100 (NEXTEL)	Termination - 100 Watt - N Male	2
Cable	SCF12-50JFN (ALCATEL)	CELLFLEX - 1/2" Super flexible Foam Dielectric Coaxial Cable, Halogen Free, Polyethylene, PE, Flame Retardant, LSOH	40.00 m
Cable	LCF12-50JFNL (ALCATEL)	CELLFLEX - 1/2" Low-Loss Foam Coaxial Cable, Halogen Free, Polyethylene, PE, Flame Retardant, LSOH	181.19 m
Connector	NM-SCF12-C02	N Male OMNI FIT Connector for SCF/RSF12-50 Cable	20
Connector	NM-LCF12-D01	N Male OMNI FIT Connector for LCF12-50 Cable	44
Filter	FDAP5002/1C-3L	ShareLite AWS/PCS Low Loss Diplexer, full DC pass	2
Splitter	CDS6E-698/2700 (NEXTEL)	Ultra Wide Band Coupler - 6 dB - 698-2700 MHz - N Connectors	2
Splitter	PDS2E-698/2700	2-way Power Divider - Low Loss - Wideband 698-2700 MHz - N Connectors	8
Splitter	CD3E-700/2700 (NEXTEL)	Hybrid Coupler - 3dB - Low PIM - Wide Band Version - 698-2700 MHz - N Connectors	2

Tabla 8. Listado de materiales - Primer diseño

Fuente: Elaboración propia

## Segundo Diseño de Solución

En la tabla 9, se puede observar los materiales a utilizar en la segunda propuesta de diseño de la solución *indoor* en la estación central del metropolitano. En la tabla se puede observar que se indica cada elemento que formara parte de la red diseñada y se dan detalles como modelo, una breve descripción y la cantidad requerida para propósitos de implementar este diseño.

EQUIPO	MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD
Antenna	I-ATO1-698/2700 (ALU)	Indoor Omnidireccional Antenna for CDMA, GSM, DCS, PCS, 3G and WLAN - 698-960 MHz / 1700-2700 MHz	8
Cable	SCF12-50JFN (ALCATEL)	CELLFLEX - 1/2" Super flexible Foam Dielectric Coaxial Cable, Halogene Free, Polyethylene, PE, Flame Retardant, LSOH	70.00 m
Cable	LCF12-50JFNL (ALCATEL)	CELLFLEX - 1/2" Low-Loss Foam Coaxial Cable, Halogene Free, Polyethylene, PE, Flame Retardant, LSOH	302.40 m
Connector	NM-SCF12-C02	N Male OMNI FIT Connector for SCF/RSF12-50 Cable	32
Connector	NM-LCF12-D01	N Male OMNI FIT Connector for LCF12-50 Cable	24
Filter	BN 570515	Triplexer GSM 900 / GSM1800-UMTS / TDSCDMA-Wi-Fi-LTE - Port 1 (790-960 MHz) Port 2 (1710-2170 MHz) Port 3 (2300-2690 MHz) - 7-16 socket	4
Radio Transceiver	RRU3908 (GSM)	Outdoor Remote Unit – GSM	2
Radio Transceiver	RRU3908 (Cell)	Outdoor Remote Unit - 850 MHz (UMTS)	2
Splitter	PDS2E-698/2700	2-way Power Divider - Low Loss - Wideband 698-2700 MHz - N Connectors	8

Tabla 9. Listado de materiales - Segundo diseño  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.8.- Análisis económico de la solución

A continuación se realizara un análisis económico del sistema DAS diseñado en donde se analizara la rentabilidad de este proyecto. En primer lugar se tomó en cuenta la inversión o costos iniciales, en donde se tiene en cuenta los precios de los equipos de RF y sus materiales tanto de adecuación como también los servicios de instalación que este conlleva. Para el caso del precio de los equipos se tomó de datos el valor de mercado de los elementos principales de la red. Luego en base a ello se da un estimado del precio necesario en equipamiento y elementos como conectores y tuberías. Por último se estima el precio de los servicios de instalación así como el estudio de ingeniería los cuales permitieron obtener los parámetros de cobertura previamente al diseño, los valores de los puntos antes mencionados serán desplegados mediante CAPEX y OPEX mostrados a continuación. (Véase tabla 10 – tabla 11)

#### Inversión Inicial

#### Primera Propuesta de Diseño

Tasa de Cambio	S/. 3.25
----------------	----------

EQUIPAMIENTO	Costo Unitario USD	Costo Total USD	Costo Total PEN
Antenas ( x 8)	80	640	2080
BBU 3900 HUAWEI (x3)	8000	24000	78000
RRU 3900 HUAWE (x2)	4000	8000	26,000
<b>TOTAL</b>	<b>12080</b>	<b>32640</b>	<b>106,080</b>

	Costo Total USD	Costo Total PEN
Estudios de Ingeniería	12000	39000
Materiales de Instalacion	6000	19500
Servicio de Instalacion	5000	16250
<b>TOTAL</b>	<b>23000</b>	<b>74750</b>

Tabla 10. CAPEX - Primer diseño  
Fuente: Elaboración propia

## Gastos Operativos

	Costo Total USD	Costo Total PEN
Gastos de Energia	800	2600
Gastos de Alquiler	700	2275
Gastos de Operacion y Mantenimiento	200	650
<b>TOTAL</b>	<b>1700</b>	<b>5,525</b>

Tabla 11. OPEX - Primer diseño  
Fuente: Elaboración propia

Conocido el valor de la inversión de diseño, equipamiento e instalación es necesario analizar lo que el operador podría percibir como ganancia anual con la red diseñada. Para obtener ello primero se debe considerar cuanta ganancia neta obtiene el operador por cada minuto de llamada concretada o realizada. Por ende, considerando las tarifas del mercado por minuto de una llamada, los márgenes de ganancia del mercado, la cantidad promedio de usuarios móviles que recibe a diario la estación central del metropolitano y la cantidad de líneas móviles por operador, se obtuvieron los siguientes resultados. (Los datos estadísticos son mostrados en los anexos)

- La estación central del metropolitano recibe a diario un promedio de 25806 usuarios del servicio de buses y tiendas.
- En Diciembre del 2014 el número de líneas de telefonía móvil en servicio por Modalidad Contractual en el departamento de Lima es 11,315.771, este valor abarca clientes prepago y post-pago. (Véase grafico 37)
- Las líneas prepago representa el 60.5% del total de líneas existentes en el departamento de Lima
- Las líneas post-pago representan el 39.5% del total de líneas existentes en el departamento de Lima.

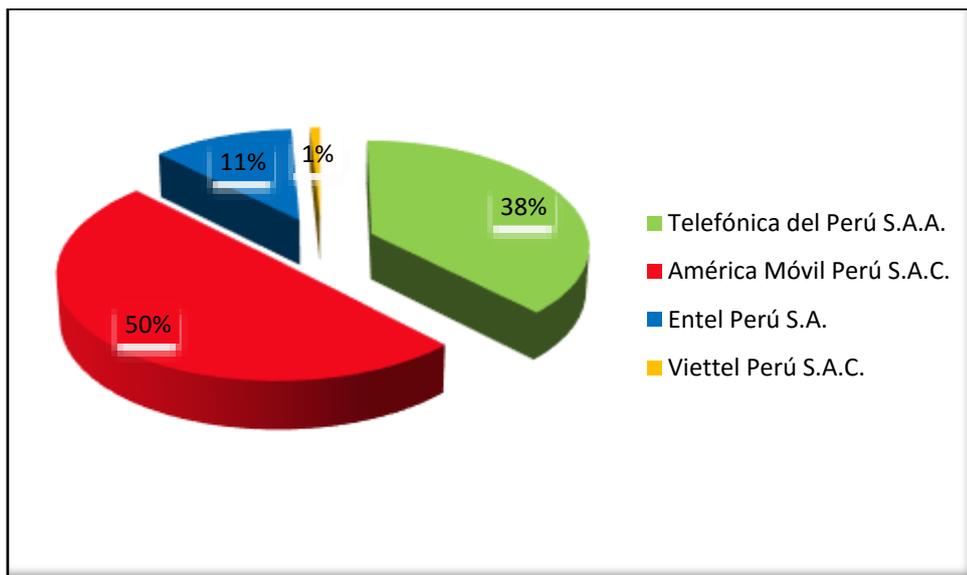


Gráfico 37. Distribución estimada del mercado de telefonía móvil en Lima  
Fuente: Elaboración propia

### Operador Móvil - Movistar

- Teniendo en cuenta que Movistar posee el 38 % del total de usuarios móviles en el departamento de Lima y guardando una relación con la cantidad de usuarios en la estación central del metropolitano, podemos decir que 9806 usuarios que concurren en promedio poseerían línea Movistar.
- Se sabe que el 61.7% de líneas móviles Movistar son prepago, podemos decir que 6050 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas prepago. (véase gráfico 38)
- Se sabe que el 38.3% de líneas móviles Movistar son post-pago, podemos decir que 3756 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas post-pago.
- Se asume un 25% de llamadas telefónicas realizadas del total de usuarios prepago y post-pago.
- Se asume un 25% de usuarios prepago navegan en internet y consumen sus datos comprados.
- Se asume un 50% de usuarios post-pago navegan en internet y consumen sus datos adquiridos.

- Se asume un tiempo promedio de duración de llamada de 90 segundos.
- Se asume un consumo de datos de los usuarios prepago de 0.3Mb, suponiendo que estos solo utilicen aplicativos de mensajería como *ChatFacebook*, *Whatsapp* y visualización de estados en redes sociales.
- Se asume un consumo de datos de los usuarios postpago de 3 Mb, suponiendo estos utilicen sus redes sociales enviando o descargando imágenes y aplicativos de mensajería.

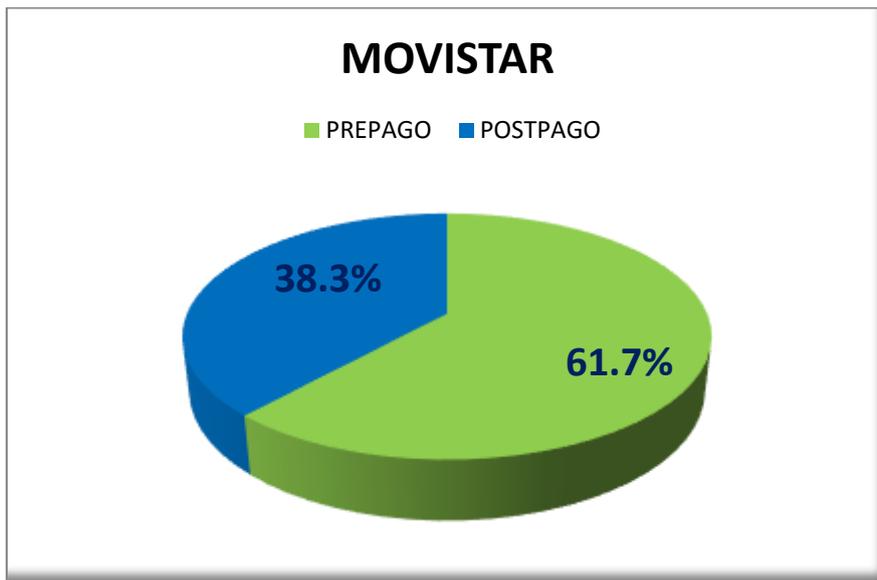


Grafico 38. Distribución de líneas prepago y por contrato de Movistar en Lima  
Fuente: Elaboración propia

## Llamadas Telefónicas

Margen Asumido	25%
----------------	-----

	Precio	Margen
Precio por minuto Pregago	S/.0.49	S/.0.123
Precio por minuto Post-Pago	S/.0.49	S/.0.123

	Precio	Margen
Precio por Erlang Prepago	S/./29.4	S/./7.35
Precio por Erlang Post-pago	S/./29.4	S/./7.35

Trafico diario por usuario	25	mE
----------------------------	----	----

Tabla 12. Márgenes de Ganancia por llamada Telefónica  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, mostrada anteriormente, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que nos deja una ganancia neta de S/. 0.123 por minutos para líneas prepago y post-pago. Con estos datos se puede estimar el precio por *Erlang* cursado ya que este valor toma la medida de la llamada por llamada y ya no por minuto. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario es de 25 mE (0.025 *Erlang*).

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada (véase tabla 13). Para ello primero se consideró la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Movistar podrían generar.

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (25%)	2452
Trafico promedio por Día	61300 mE
	61.3 E
% de Usuarios Prepago	61.7%
% de Usuarios PostPago	38.3%
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.450.56
Margen de Ganancia anual en la Estación Central del Metropolitano	S/ .164,454.4
	\$50,601.35

Tabla 13. Ganancias Anuales  
Fuente: Elaboración propia

## Servicio de Datos

Margen Asumido	25%	
	Precio	
Precio por 10 Mb	S/.1	
	Precio	Margen
Precio por Mb Prepago	S/.0.1	S/.0.025
Precio pos Mb Post-pago	S/.0.05	S/.0.025
	Datos	
Tráfico Diario por usuario Prepago	0.3 Mb	
Tráfico Diario por usuario Post pago	3 Mb	

Tabla 14. Márgenes de Ganancias por Megabyte

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que se obtendría de ganancia neta S/. 0.025 por Megabyte consumido para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Megabyte cursado. Además de considerar un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario varía entre 0.3 Mb y 3 Mb asumidos.

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (25% y 50%)	3391
% de Usuarios Prepago	25%
% de Usuarios PostPago	50%
Trafico promedio de usuarios Prepago	453.9 Mb
Trafico promedio de usuarios Post-pago	5,634 Mb
Trafico Total de Usuarios Móviles	6,087.9 Mb
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.152.19
Margen de Ganancia Anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.55,549.35
	\$17,092.11

Tabla 15. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos

Fuente: Elaboración propia

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada (véase tabla 15). Para ello primero se consideró la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Movistar podrían generar.

En la información mostrada anteriormente se puede observar el cálculo de la ganancia anual que la red *indoor* generaría solo mediante la demanda de llamadas telefónicas y consumo de paquete de datos. Para alcanzar el valor final de \$ 67.693,46 (véase tabla 16). Se calculó el tráfico que en promedio se cursaría en la estación central del Metropolitano considerando la cantidad de personas que en promedio concurren y el promedio diario de tráfico que un individuo genera. Teniendo el tráfico que cursa la estación central a diario se cuantifica este tráfico en dinero utilizando el dato de costo por *Erlang* y costo por Megabyte, tanto en las líneas prepago como post-pago existentes. Considerando el tráfico cursado y cuanto se ganaría, se calculó la ganancia diaria de la red diseñada, dando a conocer la ganancia a diario se calcula la ganancia anual teniendo en cuenta que se trata de un servicio público, este trabaja todos los días de la semana sin tomar en cuenta las fechas festivas. Finalmente teniendo la información necesaria y la ganancia anual se puede elaborar un flujo de caja para determinar la rentabilidad de la red.

Egreso Mensual	1700
----------------	------

Ingreso Anual Llamadas + Datos	67,693.46
--------------------------------	-----------

Tasa Asumida	17%
--------------	-----

Año	Ingreso (\$)	Egreso (\$)	Total (\$)
0	0	55,640	-55,640
1	67,693.46	1,700	65.993,50
2	67,693.46	1,700	65.993,50
3	67,693.46	1,700	65.993,50

Tabla 16. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Movistar  
Fuente: Elaboración propia

TIR	104,80%
VAN	90.178,25

Tabla 17. Calculo VAN – TIR  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17, se observa el flujo de caja con los datos hallados en líneas anteriores pero incluyendo los egresos anuales aproximados que se deben al costo de energía de operación de los equipos, alquiler de espacio de los equipos al interior de la estación del metropolitano y gastos de operación además del mantenimiento durante un año. Con todos estos resultados, para una proyección de 4 años y una tasa anual de mercado asumida de 17%, los datos obtenidos generaron un valor positivo del VAN, lo que indica que se permitirían obtener ganancias, según lo indicado se estima obtener ganancias a partir del segundo año. Esto permite determinar si el proyecto es rentable, en donde sí se analizara para una cantidad de años más extensa estos valores serían más elevados.

### **OPERADOR MOVIL CLARO**

- Teniendo en cuenta que Claro posee el 50 % del total de usuarios móviles a nivel nacional y guardando una relación con la cantidad de usuarios en la estación central del metropolitano, podemos decir que 12903 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas Claro.
- Se sabe que el 63.8% de líneas móviles Claro son prepago, podemos decir que 8232 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas prepago. (véase gráfico 39)
- Se sabe que el 36.2% de líneas móviles Claro son post-pago, podemos decir que 4671 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas post-pago.
- Se asume un 25% de llamadas telefónicas realizadas del total de usuarios prepago y post-pago.
- Se asume un 25% de usuarios prepago navegan en internet y consumen sus datos comprados.
- Se asume un 50% de usuarios post-pago navegan en internet y consumen sus datos adquiridos.
- Se asume un flujo de 10 llamadas establecidas por minuto.
- Se asume un tiempo promedio de duración de llamada de 90 segundos.

- Se asume un consumo de datos de los usuarios prepago de 0.3Mb, suponiendo que estos solo utilicen aplicativos de mensajería como *ChatFacebook*, *Whatsapp* y visualización de estados en redes sociales.
- Se asume un consumo de datos de los usuarios postpago de 3 Mb, suponiendo estos utilicen sus redes sociales enviando o descargando imágenes y aplicativos de mensajería.



Gráfico 39. Distribución de líneas prepago y por contrato de Claro en Lima  
Fuente: Elaboración propia

## Llamadas Telefónicas

Margen Asumido	25%
----------------	-----

	Precio	Margen
Precio por minuto Pregago	S/.0.20	S/.0.05
Precio por minuto Post-Pago	S/.0.20	S/.0.05

	Precio	Margen
Precio por Erlang Prepago	S/.12	S/.3
Precio por Erlang Post-pago	S/.12	S/.3

Trafico diario por usuario	25	mE
----------------------------	----	----

Tabla 18. Márgenes de Ganancia por llamada Telefónica – Claro  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que nos deja una ganancia neta de S/. 0.05 por minutos para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Erlang cursado ya que este valor toma la medida de la llamada por llamada y ya no por minuto. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario es de 25 mE (0.025 Erlang).

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (25%)	2723
Trafico promedio por Día	80650 mE
	80,65 E
% de Usuarios Prepago	63.8%
% de Usuarios PostPago	36.2%
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.241,95
Margen de Ganancia anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.88,311.75
	\$27,172.8

Tabla 19. Ganancias Anuales – Claro  
Fuente: Elaboración propia

## Servicio de Datos

Margen Asumido	25%
----------------	-----

	Precio
Precio por 10 Mb	S/.1

	Precio	Margen
Precio por Mb Prepago	S/.0.1	S/.0.025
Precio pos Mb Post-pago	S/.0.1	S/.0.025

	Datos
Tráfico Diario por usuario Prepago	0.3 Mb
Tráfico Diario por usuario Post pago	3 Mb

Tabla 20. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Claro  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 y tabla 20, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que nos deja un margen de ganancia neta de S/. 0.025 por Megabyte consumido para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Megabyte cursado. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario varía entre 0.3 Mb y 3 Mb asumidos.

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (25% y 50%)	4394
% de Usuarios Prepago	25%
% de Usiarios PostPago	50%
Trafico promedio de usuarios Prepago	617.4 Mb
Trafico promedio de usuarios Post-pago	7008 Mb
Trafico Total de Usuarios Móviles	7625.4 Mb
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.190.635
Margen de Ganancia Anual en la Estación Central del Metropolitano	S/ .69,581.78
	\$21,409.79

Tabla 21. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Claro  
Fuente: Elaboración propia

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada. Para ello primero se consideró la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Claro podrían generar.

En las tabla 21, se puede observar el cálculo de la ganancia anual que la red indoor generaría solo mediante la demanda de llamadas telefónicas y consumo de paquete de datos. Para alcanzar el valor final de \$ 48,582.59 (véase tabla 22), se calculó el tráfico que en promedio se cursaría en la estación central del metropolitano considerando la cantidad de personas que en promedio concurren y el promedio diario de tráfico que un individuo genera. Teniendo el tráfico diario que cursa la estación central a diario se cuantifico este tráfico en dinero utilizando el dato de costo por Erlang y costo por Megabyte, tanto en las líneas prepago como postpago existentes. Teniendo el tráfico cursado y cuanto se ganaría, se calculó la ganancia diaria de la red diseñada, conociendo la ganancia a diario se calculó la ganancia anual considerando que como se trata de un servicio público, este trabaja todos los días de la semana sin tomar en cuenta las fechas festivas. Finalmente teniendo la información necesaria y la ganancia anual se puede elaborar un flujo para determinar la rentabilidad de la red.

Egreso Mensual	\$ 1700
----------------	---------

Ingreso Anual Llamadas + Datos	\$ 48,582.59
Tasa Asumida	17%

Año	Ingreso (\$)	Egreso (\$)	Total (\$)
0	0	55,640	-55,640
1	48,582.59	1,700	46,882.59
2	48,582.59	1,700	46,882.59
3	48,582.59	1,700	46,882.59

Tabla 22. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Claro  
Fuente: Elaboración propia

TIR	65,76%
VAN	\$47.951,09

Tabla 23. Calculo VAN – TIR  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23, se observa el flujo de caja con los datos hallados en líneas anteriores pero incluyendo los egresos anuales aproximados que se deben al costo de energía de operación de los equipos, alquiler de espacio de los equipos al interior de la estación del metropolitano y gastos de operación y mantenimiento durante un año. Con todos estos resultados, para una proyección de 4 años y una tasa anual de mercado asumida de 17%, los datos obtenidos generaron valores positivos del VAN, quiere decir que permitieron obtener ganancias, las cuales mostraron obtener ganancias a partir del segundo año. Esto permite determinar que es una red altamente rentable en donde sí se analizará para una cantidad de años más extensa estos valores serían más elevados.

### **OPERADOR MOVIL ENTEL**

- Teniendo en cuenta que Claro posee el 11 % del total de usuarios móviles en el departamento de Lima y guardando una relación con la cantidad de usuarios en la estación central del metropolitano, podemos decir que 2839 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas Claro.
- Se sabe que el 43,2% de líneas móviles Entel son prepago, podemos decir que 1226 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas prepago. (véase grafico 40)
- Se sabe que el 56,8% de líneas móviles Entel son post-pago, podemos decir que 1612 usuarios que concurren en promedio poseerían líneas post-pago.
- Se asume un 30% de llamadas telefónicas realizadas del total de usuarios prepago y post-pago.
- Se asume un 50% de usuarios prepago navegan en internet y consumen sus datos comprados.

- Se asume un 80% de usuarios post-pago navegan en internet y consumen sus datos adquiridos.
- Se asume un tiempo promedio de duración de llamada de 90 segundos.
- Se asume un consumo de datos de los usuarios prepago de 0.3Mb, suponiendo que estos solo utilicen aplicativos de mensajería como *ChatFacebook, Whatsapp* y visualización de estados en redes sociales.
- Se asume un consumo de datos de los usuarios postpago de 3 Mb, suponiendo estos utilicen sus redes sociales enviando o descargando imágenes y aplicativos de mensajería.

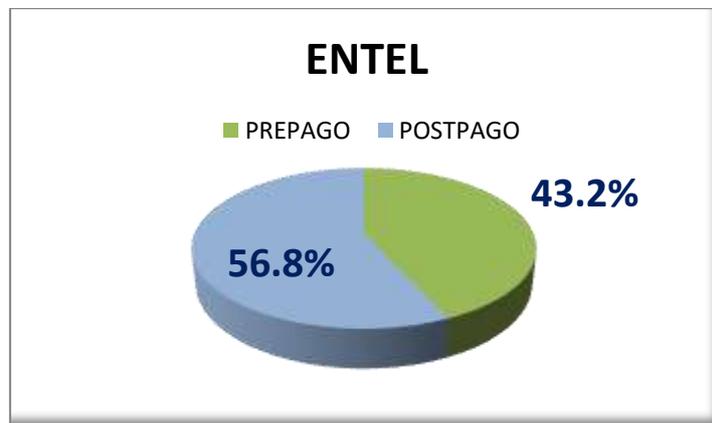


Grafico 40. Distribución de líneas prepago y por contrato de Entel en Lima  
Fuente: Elaboración propia

### Llamadas Telefónicas

Margen Asumido	50%
----------------	-----

	Precio	Margen
Precio por minuto Pregago	S/.0.20	S/.0.10
Precio por minuto Post-Pago	S/.0.20	S/.0.10

	Precio	Margen
Precio por Erlang Prepago	S/.12	S/.6
Precio por Erlang Post-pago	S/.12	S/.6

Trafico diario por usuario	25	mE
----------------------------	----	----

Tabla 24. Márgenes de Ganancia por llamada – Entel  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24, observamos que el margen de ganancia estimado es de 50% con lo que nos deja una ganancia neta de S/. 0.10 por minutos para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Erlang cursado ya que este valor toma la medida de la llamada por llamada y ya no por minuto. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario es de 25 mE (0.025 Erlang).

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (30%)	851
Trafico promedio por Día	21275 mE 21,275 E
% de Usuarios Prepago	43.20%
% de Usiarios PostPago	56.80%
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/ .127,7
Margen de Ganancia anual en la Estación Central del Metropolitano	S/ .46,610.5 \$14,341.70

Tabla 25. Ganancias Anuales – Entel  
Fuente: Elaboración propia

## Servicio de Datos

Margen Asumido	50%
----------------	-----

	Precio
Precio por 50 Mb	S/.3

	Precio	Margen
Precio por Mb Prepago	S/.0.06	S/.0.03
Precio pos Mb Post-pago	S/.0.06	S/.0.03

	Datos
Tráfico Diario por usuario Prepago	0.3 Mb
Tráfico Diario por usuario Post pago	3 Mb

Tabla 26. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Entel  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25 y tabla 26, observamos que el margen de ganancia estimado es de 50% con lo que nos deja un margen de ganancia neta de S/. 0.03 por Megabyte consumido para líneas prepago y postpago. Con estos datos se

puede estimar el precio por Megabyte cursado. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario varía entre 0.3 Mb y 3 Mb asumidos.

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (50% y 80%)	1903	
% de Usuarios Prepago	50%	
% de Usiarios PostPago	80%	
Trafico promedio de usuarios Prepago	183.9	Mb
Trafico promedio de usuarios Post-pago	3,868.8	Mb
Tráfico Total de Usuarios Móviles	4,052.7	Mb
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.121.581	
Margen de Ganancia Anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.44,377.07	
	\$13,654.48	

Tabla 27. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Entel  
Fuente: Elaboración propia

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada (véase tabla 27). Para ello primero se considera la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Entel podrían generar.

En la tabla 28, se puede observar el cálculo de la ganancia anual que la red indoor generaría solo mediante la demanda de llamadas telefónicas y consumo de paquete de datos. Para alcanzar el valor final de \$ 27,996.18. Se calculó el tráfico que en promedio se cursaría en la estación central del metropolitano considerando la cantidad de personas que en promedio concurren y el promedio diario de tráfico que un individuo genera. Teniendo el tráfico diario que cursa la estación central a diario se cuantifico este

tráfico en dinero utilizando el dato de costo por Erlang y costo por Megabyte, tanto en las líneas prepago como postpago existentes. Teniendo el tráfico cursado y cuanto se ganaría, se calculó la ganancia diaria de la red diseñada, conociendo la ganancia a diario se calculó la ganancia anual considerando que como se trata de un servicio público, este trabaja todos los días de la semana sin tomar en cuenta las fechas festivas. Finalmente teniendo la información necesaria y la ganancia anual se puede elaborar un flujo para determinar la rentabilidad de la red.

Egreso Mensual	\$ 1700
----------------	---------

Ingreso Anual Llamadas + Datos	\$ 27,996.18
Tasa Asumida	17%

Año	Ingreso (\$)	Egreso (\$)	Total (\$)
0	0	55,640	-55,640
1	27,996.18	1,700	23,915.28
2	27,996.18	1,700	23,915.28
3	27,996.18	1,700	23,915.28

Tabla 28. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Entel  
Fuente: Elaboración propia

TIR	19.72%
VAN	2,463.69

Tabla 29. Calculo VAN – TIR  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29, se observa el flujo de caja con los datos hallados en líneas anteriores pero incluyendo los egresos anuales aproximados que se deben al costo de energía de operación de los equipos, alquiler de espacio de los equipos al interior de la estación del metropolitano y gastos de operación y mantenimiento durante un año. Con todos estos resultados, para una proyección de 4 años y una tasa anual de mercado asumida de 17%, los datos obtenidos generaron valores positivos del VAN, quiere decir que permitieron obtener ganancias, las cuales mostraron obtener ganancias a

partir del cuarto año. Esto permite determinar que no es una red rentable para Entel, pero si se analizara para una cantidad de años más extensa y un aumento de clientes estos valores mejorarían periódicamente dependiendo del aumento de la demanda del servicio móvil.

## Segunda Propuesta de Diseño

En este diseño se asumen las mismas condiciones descritas en el primer diseño, pero estos no poseen los mismos valores de CAPEX (véase tabla 30) puesto que este diseño utiliza más materiales, si bien realiza la misma función sin embargo no ofrece los mismos resultados de ingeniería y costos (véase tabla 31).

<b>Tasa de Cambio</b>	S/. 3.25
-----------------------	----------

<b>EQUIPAMIENTO</b>	<b>Costo Unitario USD</b>	<b>Costo Total USD</b>	<b>Costo Total PEN</b>
Antenas ( x 16)	80	1280	4160
BBU 3900 HUAWEI (x3)	8000	24000	78000
RRU 3900 HUAWE (x2)	4000	8000	26,000
<b>TOTAL</b>	<b>12,080</b>	<b>33,280</b>	<b>108,160</b>

	<b>Costo Total USD</b>	<b>Costo Total PEN</b>
Estudios de Ingeniería	12000	39000
Materiales de Instalación	9000	29250
Servicio de Instalación	5000	16250
<b>TOTAL</b>	<b>26000</b>	<b>84500</b>

Tabla 30. CAPEX - Segundo diseño

Fuente: Elaboración propia

## Gastos Operativos

	<b>Costo Total USD</b>	<b>Costo Total PEN</b>
Gastos de Energía	800	2600
Gastos de Alquiler	700	2275
Gastos de Operación y Mantenimiento	200	650
<b>TOTAL</b>	<b>1700</b>	<b>5,525</b>

Tabla 31. OPEX Segundo diseño

Fuente: Elaboración propia

## Operador Movistar

### Llamadas Telefónicas

Margen Asumido	25%
----------------	-----

	Precio	Margen
Precio por minuto Pregago	S/.0.49	S/.0.123
Precio por minuto Post-Pago	S/.0.49	S/.0.123

	Precio	Margen
Precio por Erlang Prepago	S/.29.4	S/.7.35
Precio por Erlang Post-pago	S/.29.4	S/.7.35

Trafico diario por usuario	25	mE
----------------------------	----	----

Tabla 32. Márgenes de Ganancia por Llamada Telefónica  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que nos deja una ganancia neta de S/. 0.245 por minutos para líneas prepago y post-pago. Con estos datos se puede estimar el precio por *Erlang* cursado ya que este valor toma la medida de la llamada por llamada y ya no por minuto. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario es de 25 mE (0.025 *Erlang*).

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada. Para ello primero se consideró la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Movistar podrían generar (véase tabla 33).

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (30%)	2452
Trafico promedio por Día	61300 mE
	61.3 E
% de Usuarios Prepago	69.00%
% de Usiarios PostPago	31.00%
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.450.56
Margen de Ganancia anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.164,454.4
	\$50,601.35

Tabla 33. Ganancias Anuales  
Fuente: Elaboración propia

## Servicio de Datos

Margen Asumido	25%
----------------	-----

	Precio
Precio por 10 Mb	S/.1

	Precio	Margen
Precio por Mb Prepago	S/.0.1	S/.0.025
Precio pos Mb Post-pago	S/.0.05	S/.0.025

	Datos
Tráfico Diario por usuario Prepago	0.3 Mb
Tráfico Diario por usuario Post pago	3 Mb

Tabla 34. Márgenes de Ganancias por Megabyte  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 34, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que se obtendría de ganancia neta S/. 0.0.25 por Megabyte consumido para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Megabyte cursado. Además de considerar un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario varía entre 0.3 Mb y 3 Mb asumidos.

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (25% y 50%)	3391
% de Usuarios Prepago	25%
% de Usiarios PostPago	50%

Tráfico promedio de usuarios Prepago	453.9	Mb
Tráfico promedio de usuarios Post-pago	5,634	Mb
Tráfico Total de Usuarios Móviles	6,087.9	Mb

Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.152.19
--	-----------

Margen de Ganancia Anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.55,549.35
	\$17,092.11

Tabla 35. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos  
Fuente: Elaboración propia

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada (véase tabla 35). Para ello primero se consideró la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Movistar podrían generar.

En la información mostrada anteriormente se puede observar el cálculo de la ganancia anual que la red *indoor* generaría solo mediante la demanda de llamadas telefónicas y consumo de paquete de datos. Para alcanzar el valor final de \$ 67.693,46 (véase tabla 36), se calculó el tráfico que en promedio se cursaría en la estación central del Metropolitano considerando la cantidad de personas que en promedio concurren y el promedio diario de tráfico que un individuo genera. Teniendo el tráfico que cursa la estación central a diario se cuantifica este tráfico en dinero utilizando el dato de costo por *Erlang* y costo por Megabyte, tanto en las líneas prepago como post-pago existentes. Considerando el tráfico cursado y cuanto se obtendría, se calculó la ganancia diaria de la red diseñada, dando a conocer esta ganancia a diario se calcula el beneficio anual teniendo en cuenta que se trata de un servicio público, este trabaja todos los días de la semana sin tomar en cuenta las fechas festivas. Finalmente teniendo la información necesaria y la ganancia anual se puede elaborar un flujo de caja para determinar la rentabilidad de la red (véase tabla 37).

Egreso Mensual	1700
----------------	------

Ingreso Anual Llamadas + Datos	67,693.46
--------------------------------	-----------

Tasa Asumida	17%
--------------	-----

Año	Ingreso (\$)	Egreso (\$)	Total (\$)
0	0	59,280	-59,280
1	67,693.46	1,700	65.993,50
2	67,693.46	1,700	65.993,50
3	67,693.46	1,700	65.993,50

Tabla 36. Flujo de Caja - Segundo diseño - Operador Movistar  
Fuente: Elaboración propia

TIR	96,70%
VAN	\$ 86.538,25

Tabla 37. Calculo VAN – TIR – Movistar  
Fuente: Elaboración propia

## OPERADOR CLARO

### Llamadas Telefónicas

Margen Asumido	25%
----------------	-----

	Precio	Margen
Precio por minuto Pregago	S/.0.20	S/.0.05
Precio por minuto Post-Pago	S/.0.20	S/.0.05

	Precio	Margen
Precio por Erlang Prepago	S/.12	S/.3
Precio por Erlang Post-pago	S/.12	S/.3

Trafico diario por usuario	25	mE
----------------------------	----	----

Tabla 38. Márgenes de Ganancia por llamada – Claro  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que nos deja una ganancia neta de S/. 0.05 por minutos para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Erlang cursado ya que este valor toma la medida de la llamada por llamada y ya no por minuto. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario es de 25 mE (0.025 Erlang).

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago(25%)	2723
--	------

Trafico promedio por Dia	80650	mE
	80,65	E

% de Usuarios Prepago	69%
% de Usiarios PostPago	31%

Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/ .241,95
--	------------

Margen de Ganancia anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.88,311.75
	\$27,172.8

Tabla 39. Ganancias Anuales – Claro  
Fuente: Elaboración propia

## Servicio de Datos

Margen Asumido	25%
----------------	-----

	Precio
Precio por 10 Mb	S/.1

	Precio	Margen
Precio por Mb Prepago	S/.0.1	S/.0.025
Precio pos Mb Post-pago	S/.0.1	S/.0.025

	Datos
Tráfico Diario por usuario Prepago	0.3 Mb
Tráfico Diario por usuario Post pago	3 Mb

Tabla 40. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Claro  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 39, observamos que el margen de ganancia estimado es de 25% con lo que nos deja un margen de ganancia neta de S/. 0.025 por Megabyte consumido para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Megabyte cursado. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario varía entre 0.3 Mb y 3 Mb asumidos (véase tabla 40).

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (25% y 50%)	4394	
% de Usuarios Prepago	25%	
% de Usuarios PostPago	50%	
Trafico promedio de usuarios Prepago	617.4	Mb
Trafico promedio de usuarios Post-pago	7,008	Mb
Tráfico Total de Usuarios Móviles	7,625.4	Mb
Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.190.635	
Margen de Ganancia Anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.69,581.78	
	\$21,409.79	

Tabla 41. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Claro  
Fuente: Elaboración propia

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada (véase tabla 41). Para ello primero se considera la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Movistar podrían generar.

En la tabla 42, se puede observar el cálculo de la ganancia anual que la red indoor generaría solo mediante la demanda de llamadas telefónicas y consumo de paquete de datos. Para alcanzar el valor final de \$ 48.582,59, se calculó el tráfico que en promedio se cursaría en la estación central del

metropolitano considerando la cantidad de personas que en promedio concurren y el promedio diario de tráfico que un individuo genera. Teniendo el tráfico diario que cursa la estación central a diario se cuantifico este tráfico en dinero utilizando el dato de costo por Erlang y costo por Megabyte, tanto en las líneas prepago como postpago existentes. Teniendo el tráfico cursado y cuanto se ganaría, se calculó la ganancia diaria de la red diseñada, conociendo la ganancia a diario se calculó la ganancia anual considerando que como se trata de un servicio público, este trabaja todos los días de la semana sin tomar en cuenta las fechas festivas. Finalmente teniendo la información necesaria y la ganancia anual se puede elaborar un flujo para determinar la rentabilidad de la red.

Egreso Mensual	\$ 1700
----------------	---------

Ingreso Anual Llamadas + Datos	\$ 48,582.59
--------------------------------	--------------

Tasa Asumida	17%
--------------	-----

Año	Ingreso (\$)	Egreso (\$)	Total (\$)
0	0	59,280	-59,280
1	48,582.59	1,700	46,882.59
2	48,582.59	1,700	46,882.59
3	48,582.59	1,700	46,882.59

Tabla 42. Flujo de Caja - Segundo diseño - Operador Claro  
Fuente: Elaboración propia

TIR	59,65%
VAN	\$44.311,09

Tabla 43. Calculo VAN – TIR  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 43, se observa el flujo de caja con los datos hallados en líneas anteriores pero incluyendo los egresos anuales aproximados que se deben al costo de energía de operación de los equipos, alquiler de espacio de los equipos al interior de la estación del metropolitano y gastos de operación y mantenimiento durante un año. Con todos estos resultados, para una

proyección de 4 años y una tasa anual de mercado asumida de 17%, los datos obtenidos generaron valores positivos del VAN, quiere decir que permitieron obtener ganancias, las cuales mostraron obtener ganancias a partir del segundo año. Esto permite determinar que es una red altamente rentable en donde sí se analizara para una cantidad de años más extensa estos valores serían más elevados.

## OPERADOR ENTEL

### Llamadas Telefónicas

Margen Asumido	50%
----------------	-----

	Precio	Margen
Precio por minuto Pregago	S/.0.20	S/.0.10
Precio por minuto Post-Pago	S/.0.20	S/.0.10

	Precio	Margen
Precio por Erlang Prepago	S/.12	S/.6
Precio por Erlang Post-pago	S/.12	S/.6

Trafico diario por usuario	25	mE
----------------------------	----	----

Tabla 44. Márgenes de Ganancia por Llamada Telefónica – Entel  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 44, observamos que el margen de ganancia estimado es de 50% con lo que nos deja una ganancia neta de S/. 0.10 por minutos para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Erlang cursado ya que este valor toma la medida de la llamada por llamada y ya no por minuto. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario es de 25 mE (0.025 Erlang).

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (30%)	851
---	-----

Trafico promedio por Día	21275	mE
	21,275	E

% de Usuarios Prepago	43.2%
% de Usuarios PostPago	56.8%

Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.127,7
--	----------

Margen de Ganancia anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.46,610.5
	\$14,341.7

Tabla 45. Ganancias Anuales – Entel  
Fuente: Elaboración propia

## Servicio de Datos

Margen Asumido	50%
----------------	-----

	Precio
Precio por 50 Mb	S/3

	Precio	Margen
Precio por Mb Prepago	S/.0.06	S/.0.03
Precio pos Mb Post-pago	S/.0.06	S/.0.03

	Datos
Tráfico Diario por usuario Prepago	0.3 Mb
Tráfico Diario por usuario Post pago	3 Mb

Tabla 46. Márgenes de Ganancias por Megabyte – Entel  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 45, observamos que el margen de ganancia estimado es de 50% con lo que nos deja un margen de ganancia neta de S/. 0.03 por Megabyte consumido para líneas prepago y postpago. Con estos datos se puede estimar el precio por Megabyte cursado. Por último un dato importante que será útil para los siguientes análisis es que el promedio de tráfico por usuario varía entre 0.3 Mb y 3 Mb asumidos (véase tabla 46).

Cantidad de Usuarios Prepago y Postpago (50% y 80%)	1903
--	------

% de Usuarios Prepago	50%
% de Usuarios PostPago	80%

Trafico promedio de usuarios Prepago	183.9	Mb
Trafico promedio de usuarios Post-pago	3,868.8	Mb
Tráfico Total de Usuarios Móviles	4,052.7	Mb

Margen de Ganancia Diario en la Estación Central del Metropolitano	S/.121.581
--	------------

Margen de Ganancia Anual en la Estación Central del Metropolitano	S/.44,377.07
	\$13,654.48

Tabla 47. Ganancias Anuales de Tráfico de Datos – Entel  
Fuente: Elaboración propia

Ahora con los valores ya obtenidos se puede calcular la posible ganancia anual de la red diseñada (véase tabla 47). Para ello primero se considera la cantidad promedio de personas que a diario concurren a la estación central del metropolitano. Sabiendo esto se puede hacer un estimado de las ganancias que estos usuarios de la red móvil Entel podrían generar.

En la tabla 48, se puede observar el cálculo de la ganancia anual que la red indoor generaría solo mediante la demanda de llamadas telefónicas y consumo de paquete de datos. Para alcanzar el valor final de \$ 27,996.18,

se calculó el tráfico que en promedio se cursaría en la estación central del metropolitano considerando la cantidad de personas que en promedio concurren y el promedio diario de tráfico que un individuo genera. Teniendo el tráfico diario que cursa la estación central a diario se cuantifico este tráfico en dinero utilizando el dato de costo por Erlang y costo por Megabyte, tanto en las líneas prepago como postpago existentes. Teniendo el tráfico cursado y cuanto se ganaría, se calculó la ganancia diaria de la red diseñada, conociendo la ganancia a diario se calculó la ganancia anual considerando que como se trata de un servicio público, este trabaja todos los días de la semana sin tomar en cuenta las fechas festivas. Finalmente teniendo la información necesaria y la ganancia anual se puede elaborar un flujo para determinar la rentabilidad de la red.

Egreso Mensual	\$ 1700
----------------	---------

Ingreso Anual Llamadas + Datos	\$ 27,996.18
Tasa Asumida	17%

Año	Ingreso (\$)	Egreso (\$)	Total (\$)
0	0	59,280	-59,280
1	27,996.18	1,700	23,915.28
2	27,996.18	1,700	23,915.28
3	27,996.18	1,700	23,915.28

Tabla 48. Flujo de Caja - Primer diseño - Operador Entel  
Fuente: Elaboración propia

TIR	15,77%
VAN	\$ -1,176.31

Tabla 49. Calculo VAN – TIR  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 49, se observa el flujo de caja con los datos hallados en líneas anteriores pero incluyendo los egresos anuales aproximados que se deben al costo de energía de operación de los equipos, alquiler de espacio de los

equipos al interior de la estación del metropolitano y gastos de operación y mantenimiento durante un año. Con todos estos resultados, para una proyección de 4 años y una tasa anual de mercado asumida de 17%, los datos obtenidos generaron un valor negativo del VAN, quiere decir que no permitieron obtener ganancias, las cómo se muestra a partir del cuarto año no se logra recuperar la inversión inicial. Esto permite determinar que no es una red rentable para Entel en el periodo propuesto, pero si se analizará para una cantidad de años más extensa y un aumento de clientes estos valores mejorarían periódicamente dependiendo del aumento de la demanda del servicio móvil.

#### 4.9.- Cronograma de Implementación

A continuación se presenta un cronograma estimado para la implementación de la solución propuesta (véase gráfico 41).

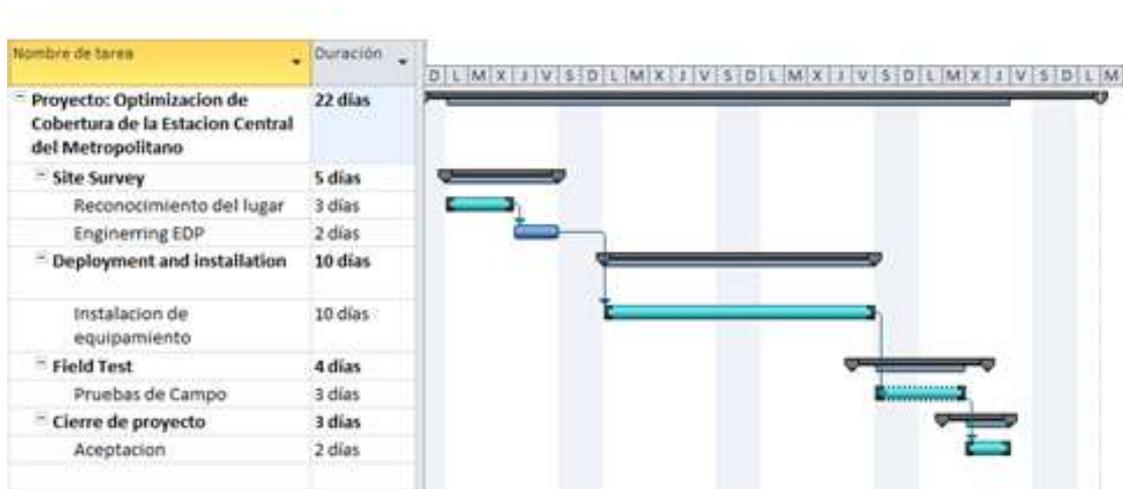


Grafico 41. Cronograma de Implementación  
Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION**

En este capítulo se presentarán las mediciones obtenidas, asimismo se dará una interpretación de estas, se dará énfasis a aquellas mediciones que verdaderamente demuestren que existe lugares que requieren una optimización.

### **5.1.- Presentación, análisis e interpretación de datos adquiridos**

Las mediciones *indoor* se tomaron recorriendo los pasadizos laterales y el pasadizo central de la estación del metropolitano, no se midió en los espacios de acceso restringido por disposición de la administración de la estación. Tuvimos acceso a los ambientes de concurrencia al público en su totalidad.

El método de medición elegido fue el *walktest* utilizando el equipamiento ya mencionado.

A continuación, los resultados de la medición realizada en la estación central del Metropolitano, para el operador Claro a nivel 2G.

**Prueba de RxLev:** La cual permite medir el nivel de potencia de la estación base transceptora (BTS).

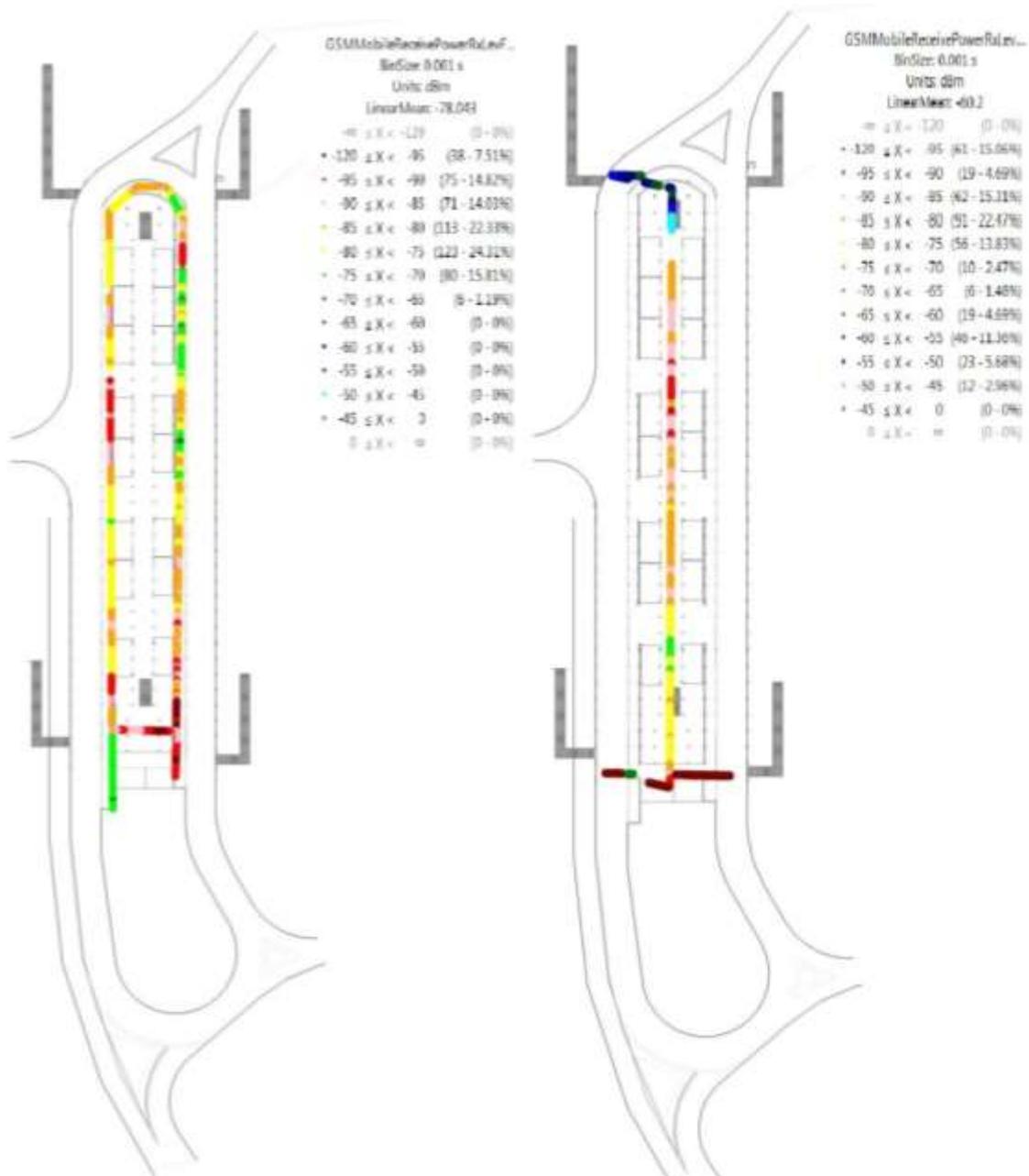


Grafico 42. Prueba RxLev – Claro – 2G  
Fuente: Elaboración propia

Las mediciones indican que más del 50% de las muestras, tanto en los pasadizos laterales y el pasadizo central, están por debajo de los -75dBm lo cual no es un valor óptimo. El 11% aproximadamente de las muestras está por debajo de los -95dBm, lo cual es un valor que no permite establecer alguna comunicación (véase gráfico 42).

**BCCH (Broadcast Control Channel):** El BCCH lleva un patrón de repetición de los mensajes de información del sistema que describen la identidad, la configuración y características disponibles de la estación transceptora base (BTS)



Grafico 43. Prueba celda dominante - Claro - 2G  
Fuente: Elaboración propia

La celda dominante que se presenta en las mediciones es la de ID 740 y tienen predominancia en los pasadizos laterales y en el pasadizo central (véase gráfico 43).

**Mediciones del operador Claro para 3G:  
Prueba para niveles de RSCP:**

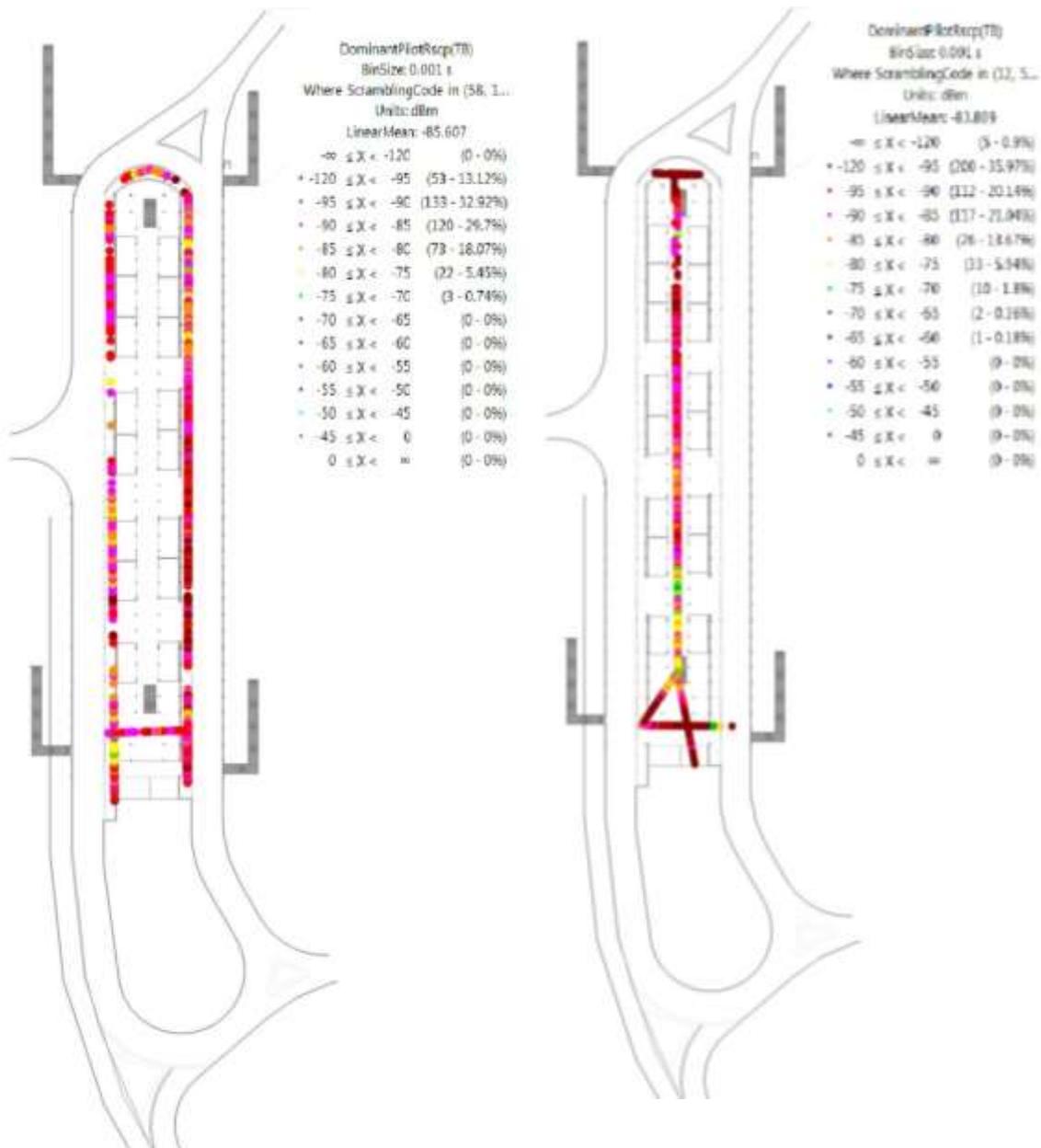


Grafico 44. Pruebas RSCP - Claro - 3G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones podemos mencionar que más del 75% de las muestras tomadas indican que los niveles están por debajo de los -85dBm lo cual no es un valor óptimo que permita la continuidad de alguna comunicación. Asimismo tenemos lugares con -95 dBm, lo cual no permite establecer alguna comunicación (véase grafico 44).

**Prueba para niveles Ec/No:**

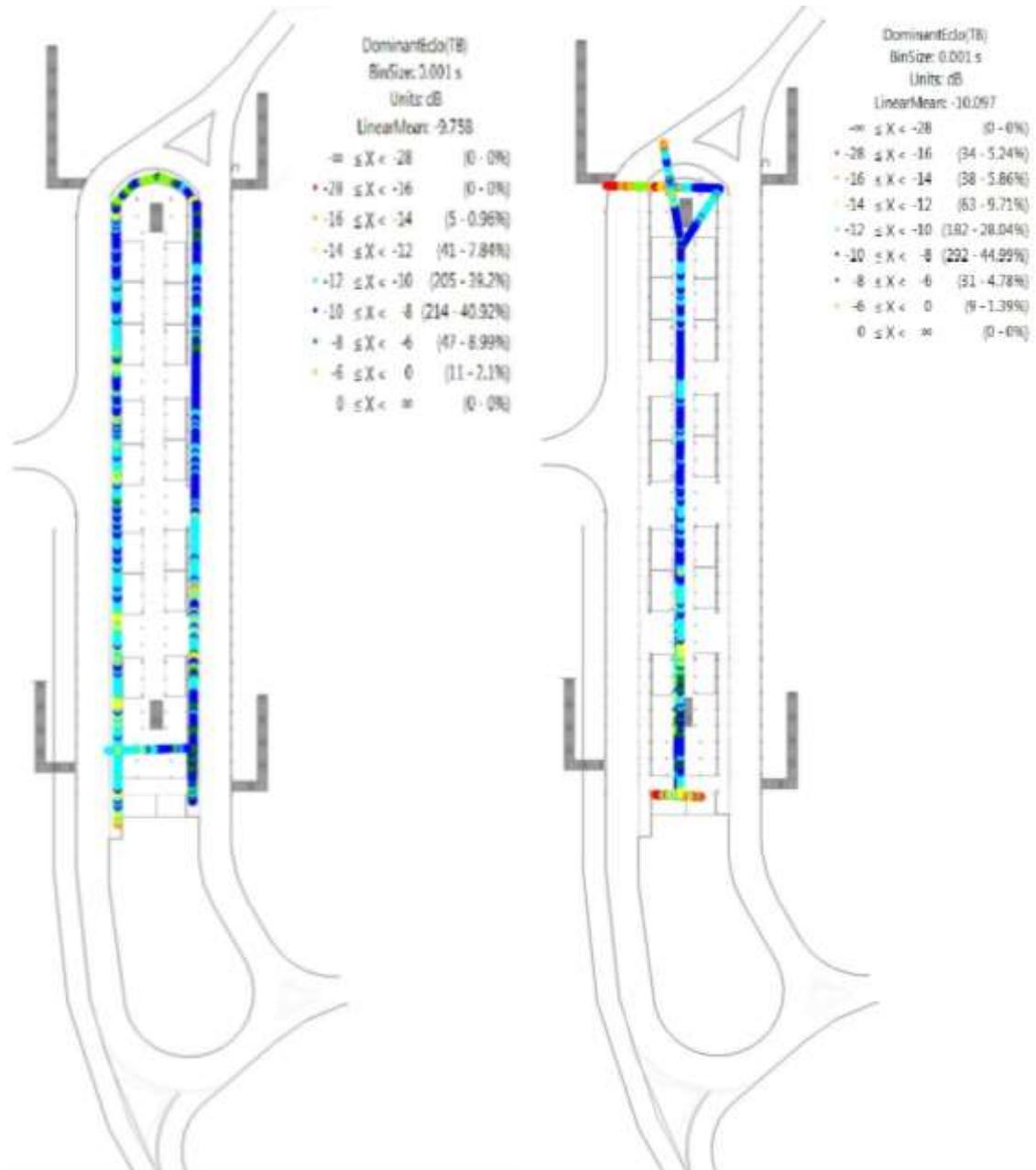


Grafico 45. Prueba Ec/No - Claro - 3G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones podemos indicar que cerca del 50% de las muestras están por debajo de los -10dB, lo cual es una cantidad considerable de muestras que tienen un nivel de ruido elevado lo cual afecta a la calidad de la comunicación (véase gráfico 45).

**Prueba de *Dominant Cell ID*:** Medición que nos permite identificar que celdas tienen presencia en la zona además del ID de la celda que tienen dominancia.

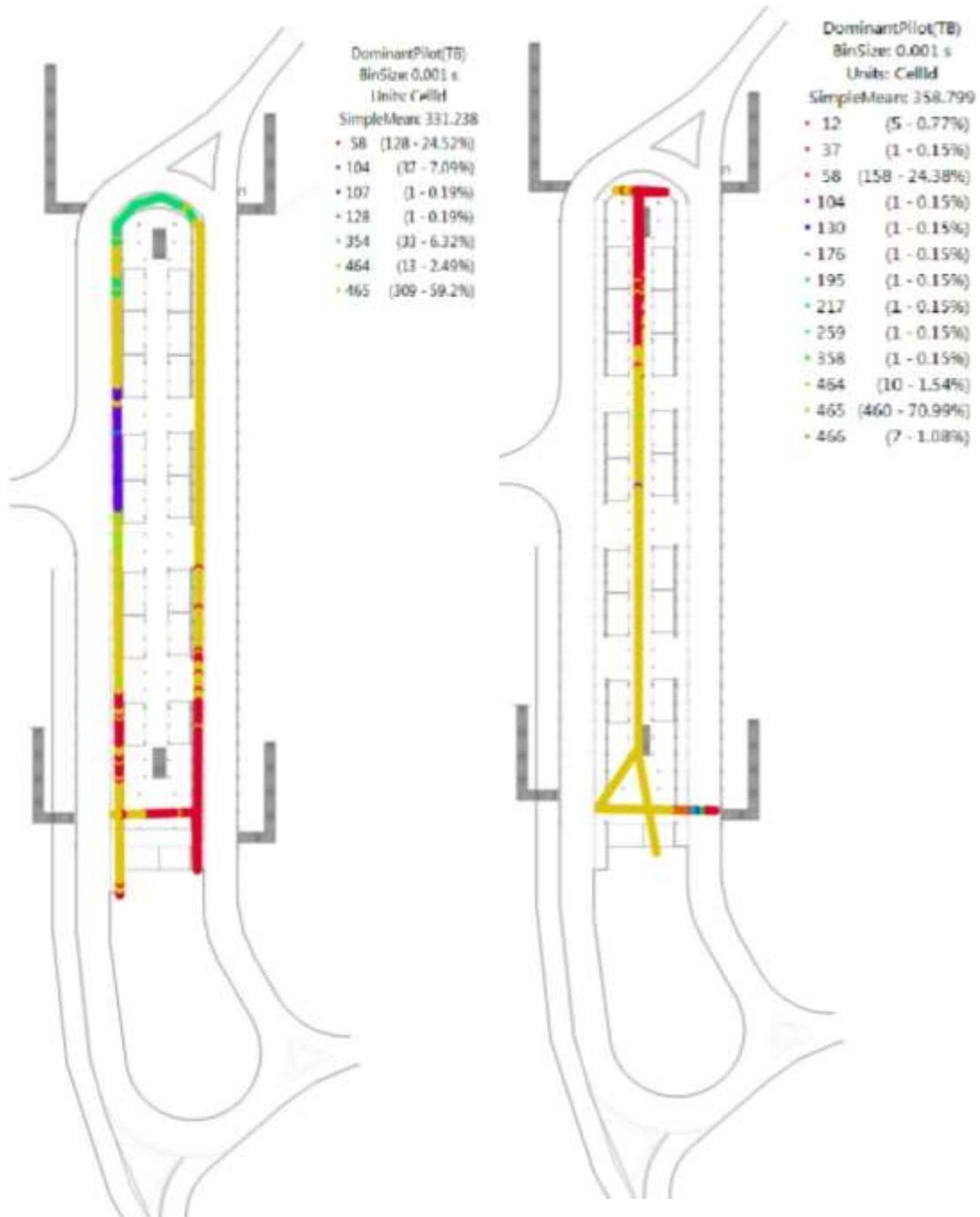


Grafico 46. Prueba celda dominante - Claro - 3G  
Fuente: Elaboración propia

Según el grafico 46, se observa que la celda que tiene predominancia es la 465 con un 65% de las muestras aproximadamente en toda la estación. Por otra parte se puede indicar que se presentaran *handovers* cada vez que se cambie de celda lo cual puede influir al corte de una comunicación.

**Prueba de Rx Power:**

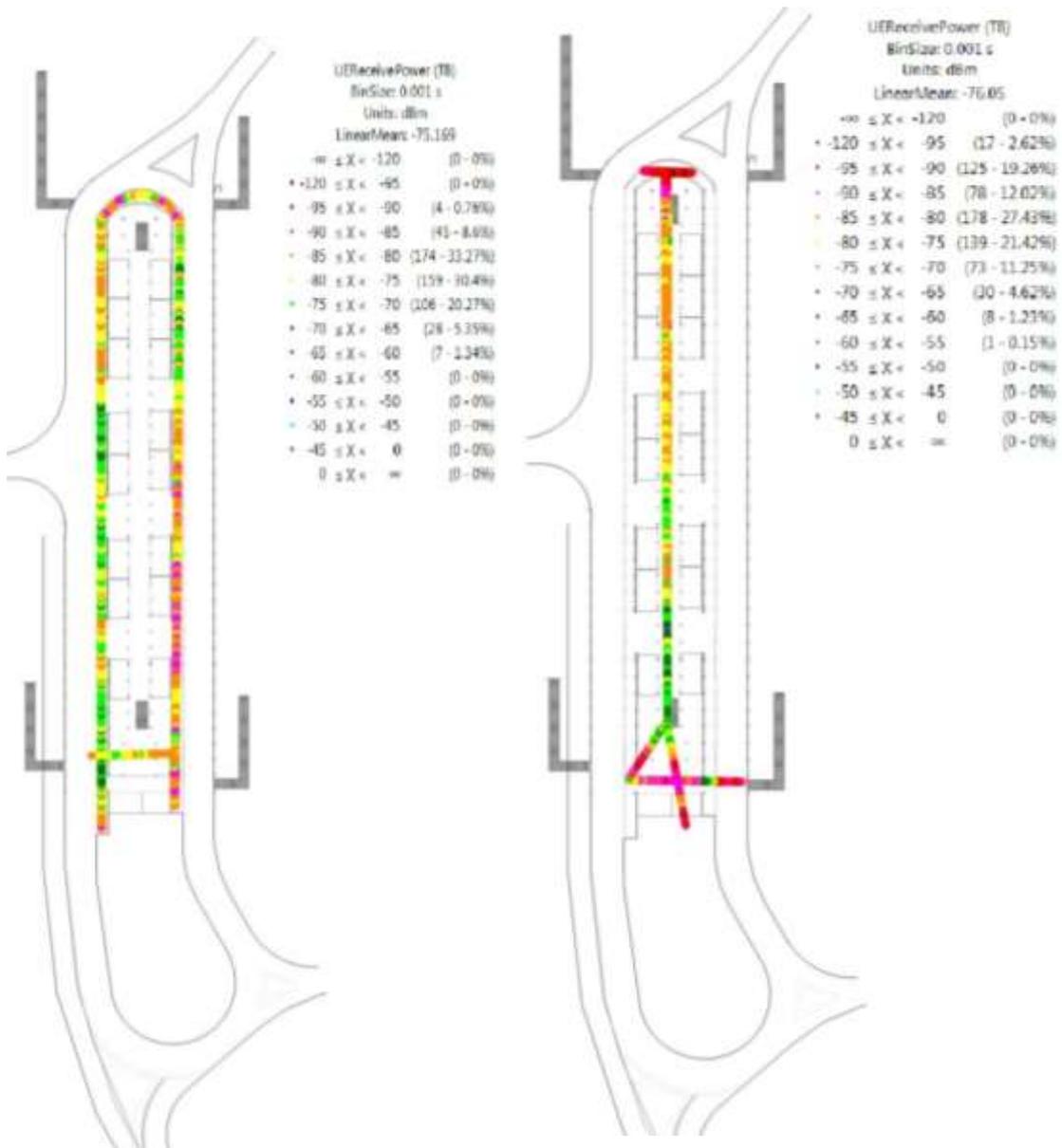


Grafico 47. Prueba RxPower - Claro - 3G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones podemos mencionar que más del 60% de las muestras tomadas indican que los niveles están por debajo de los -75dBm lo cual no es un valor óptimo (véase grafico 47).

## Mediciones del operador Claro para 4G:

### Prueba de RSRP:

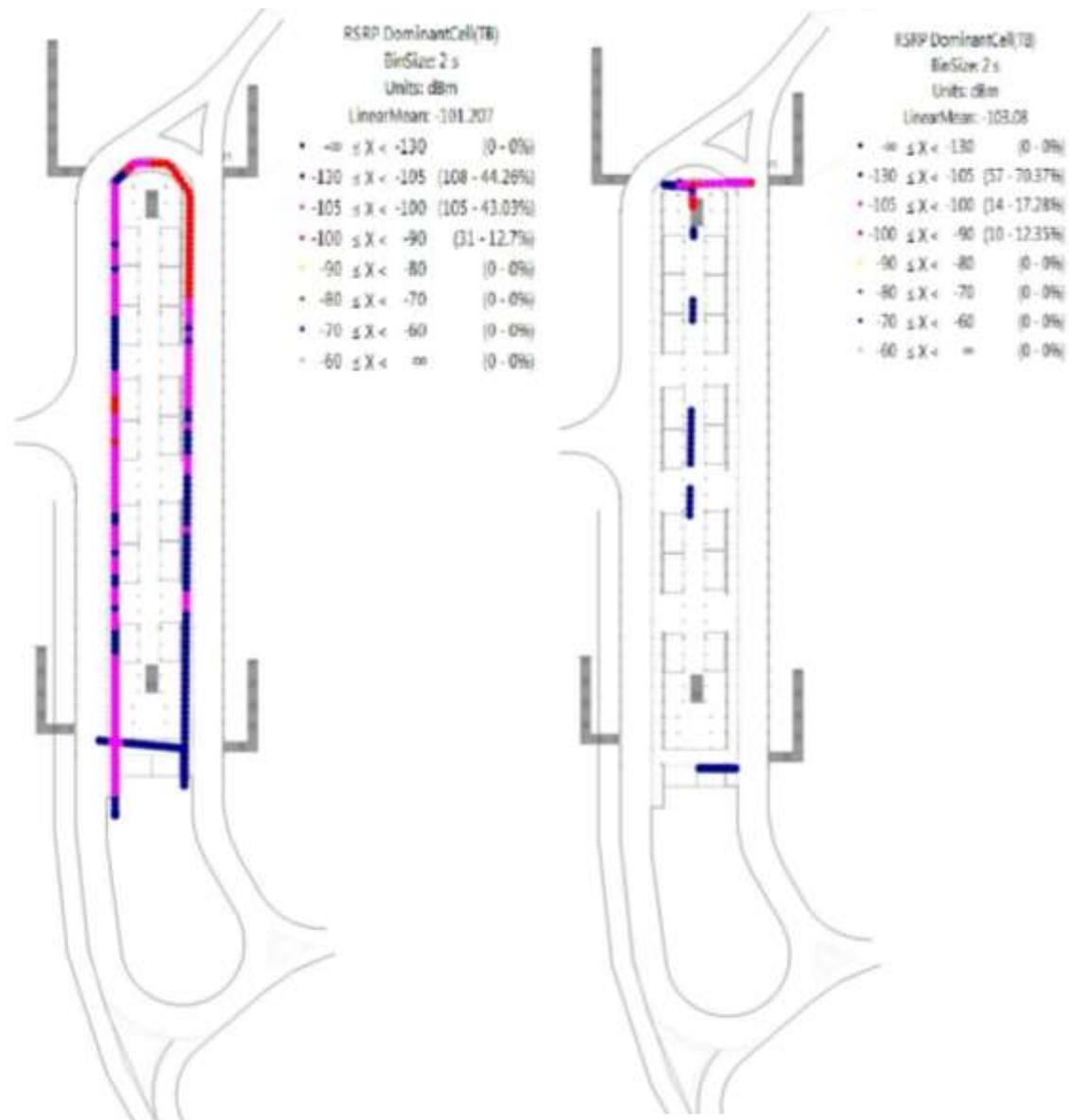


Grafico 48. Prueba RSRP - Claro - 4G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones realizadas podemos indicar que más del 80% de las muestras que se tomaron tienen un valor inferior a -100dBm, lo cual es un valor no óptimo (véase grafico 48).

## Prueba de RSRQ:

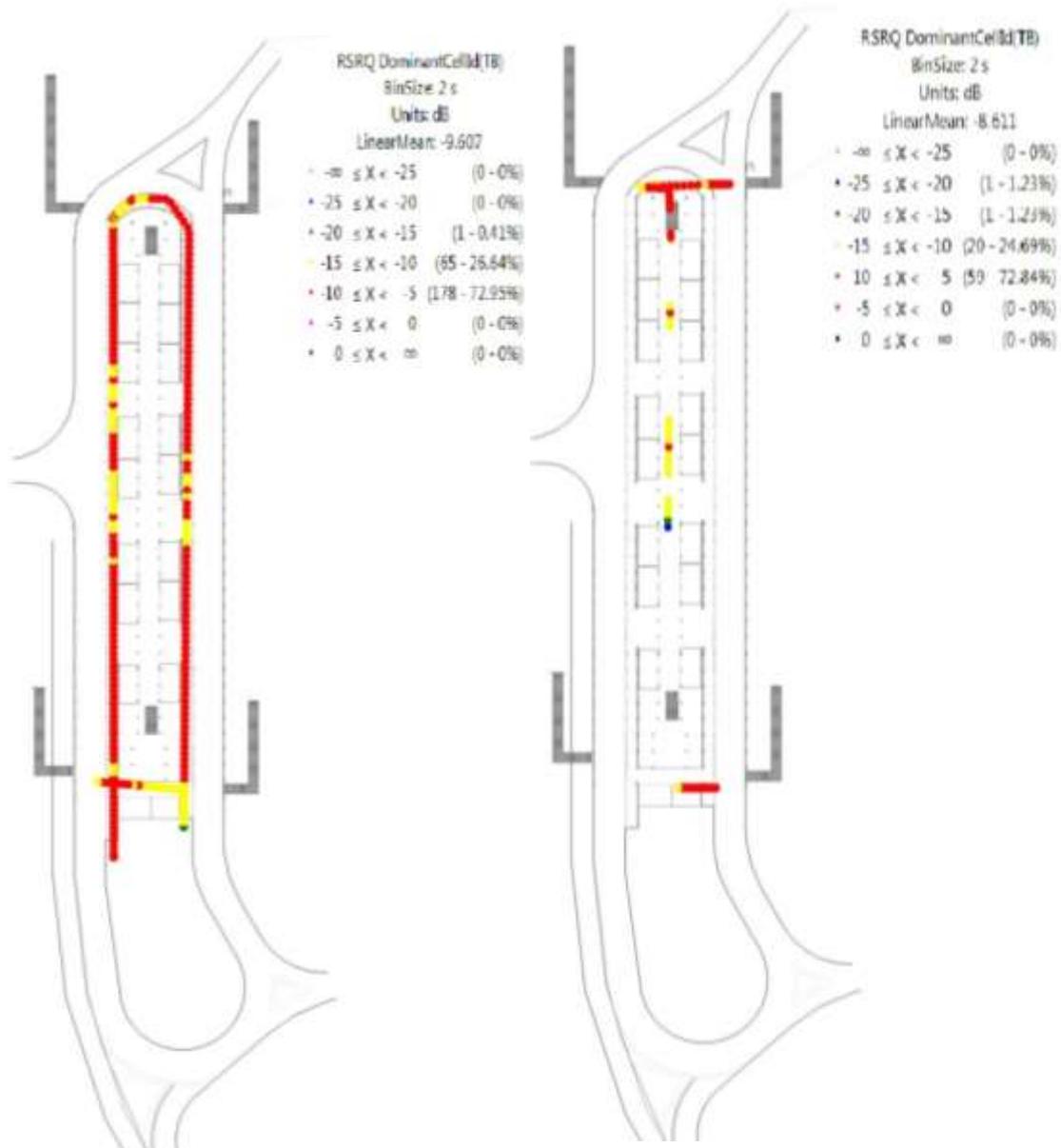


Grafico 49. Prueba RSRQ - Claro - 4G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones realizadas podemos indicar que más del 70% de las muestras que se tomaron tienen un valor inferior a -5dB, lo cual es un valor no óptimo (véase grafico 49).

Prueba de *Dominant Cell ID*:

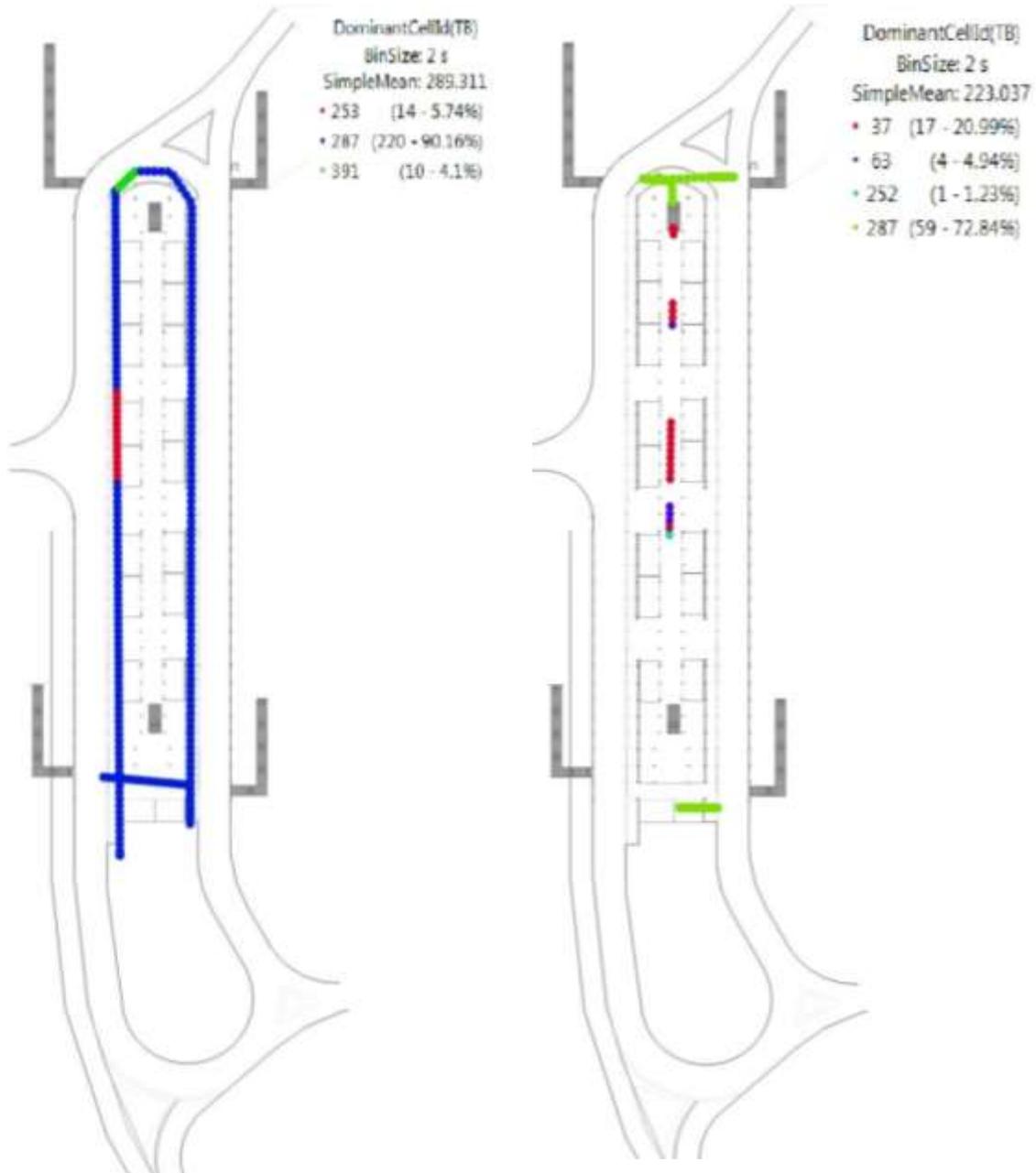


Grafico 50. Prueba celda dominante - Claro - 4G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones se observa que la celda que tiene predominancia es la de ID 287 con un 80% de las muestras aproximadamente en toda la estación. (véase grafico 50)

Por otra parte se realizaron las mediciones outdoor (Drive-test) y los resultados para el operador Claro se presentan a continuación.

A nivel GSM:

-Rx Lev:

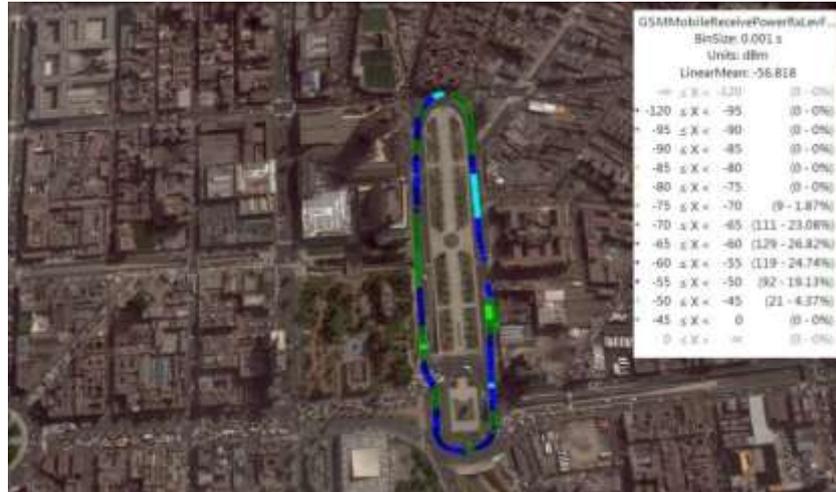


Grafico 51. Prueba RxLev outdoor- Claro - 2G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 51 muestra que la medición arroja que la mayoría de muestras tomadas tienen un valor mayor a -75dBm, lo cual es un valor aceptable.

-BCCH:

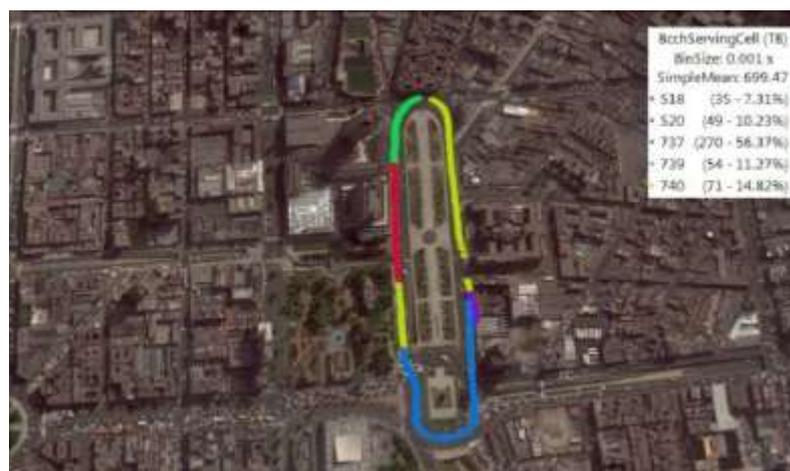


Grafico 52. Prueba Best Server outdoor - Claro - 2G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 52 muestra la celda dominante de ID 737.

A nivel 3G:

-RSCP:

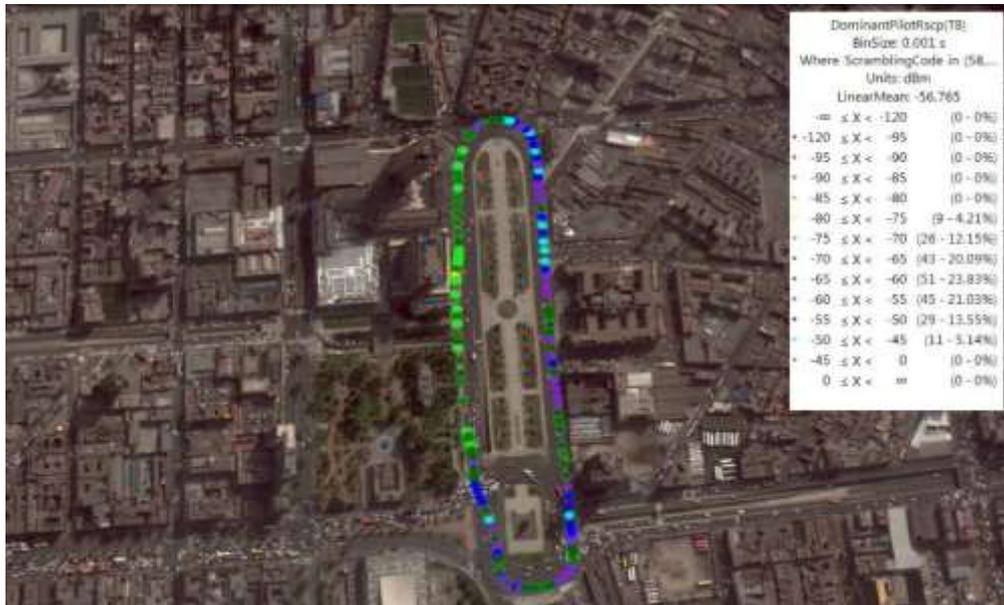


Grafico 53. Prueba RSCP outdoor - Claro - 3G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 53 muestra que la mayoría de muestras tomadas tienen un valor mayor a -75dBm, lo cual es un valor aceptable.

-Scrambling Code:

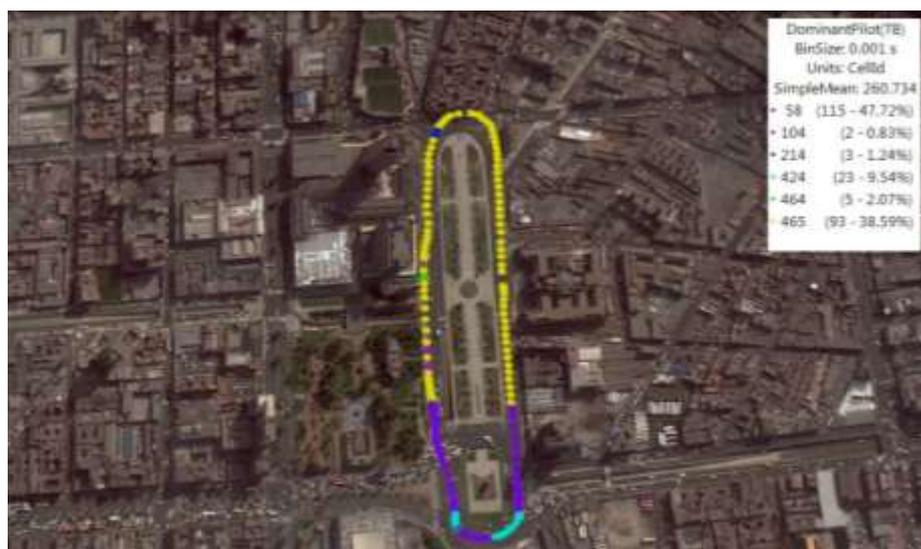


Grafico 54. Prueba Scrambling Code outdoor - Claro - 3G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 54 muestra la celda dominante de ID 58.

-Ec/No:

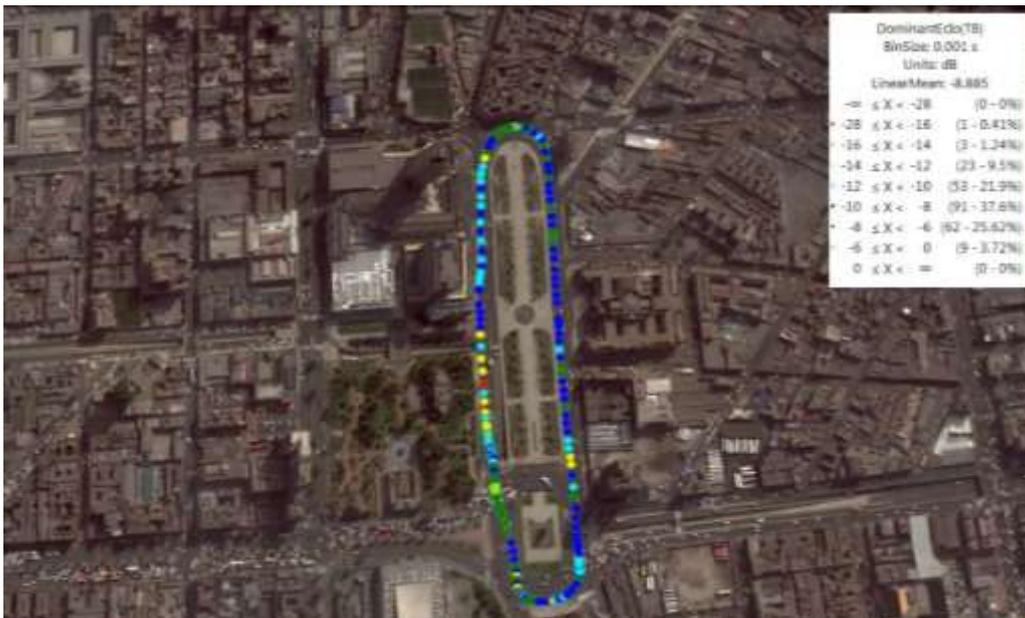


Grafico 55. Prueba Ec/No outdoor - Claro - 3G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 55 indica que más del 65% de las muestras tomadas tienen un valor mayor a -10dB, lo cual es un valor aceptable.

A nivel 4G:

-RSRP:

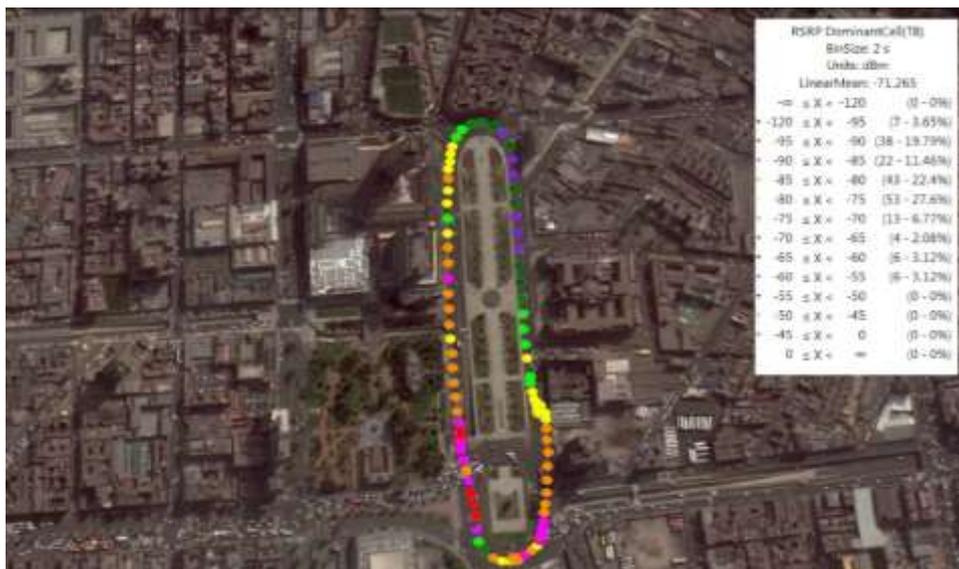


Grafico 56. Prueba RSRP outdoor - Claro - 4G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 56 indica que el 85% de muestras esta por debajo de los -75dBm.

-Dominant Cell ID:

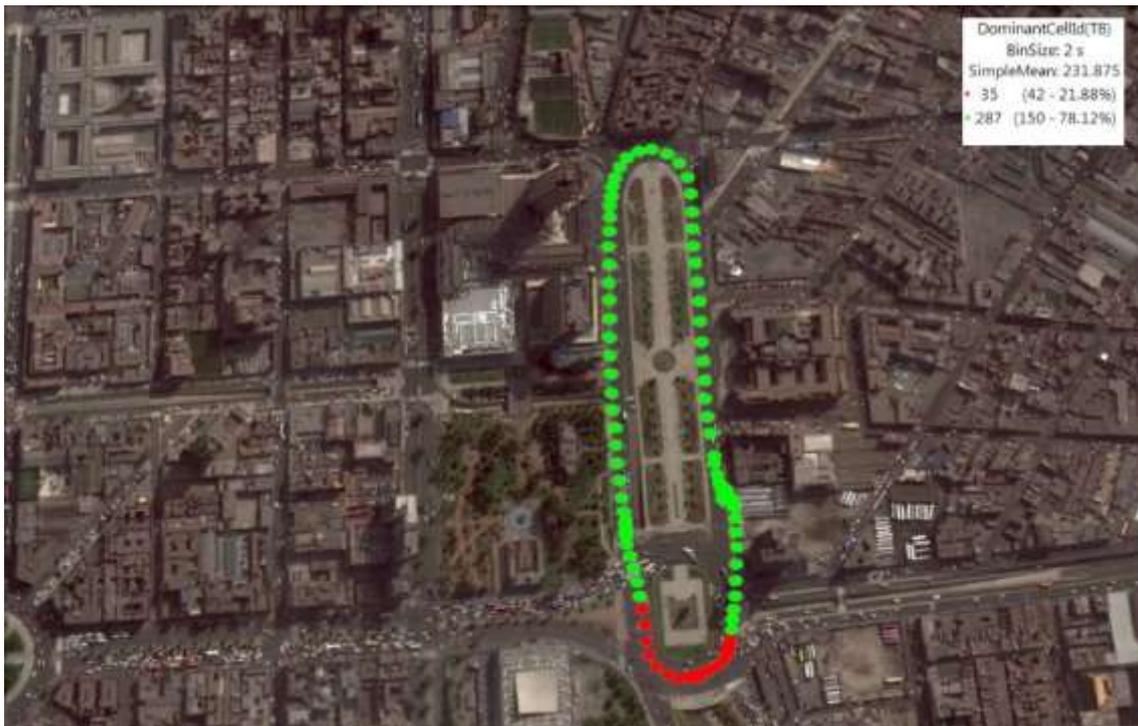


Grafico 57. Prueba celda dominante outdoor - Claro - 4G  
Fuente: Elaboración propia

La celda dominante que se presenta en las mediciones es la de ID 287 (véase grafico 57).

A continuación, los resultados de la medición realizada en la estación central del Metropolitano, para el operador Movistar a nivel 2G.

**Prueba de RxLev:**

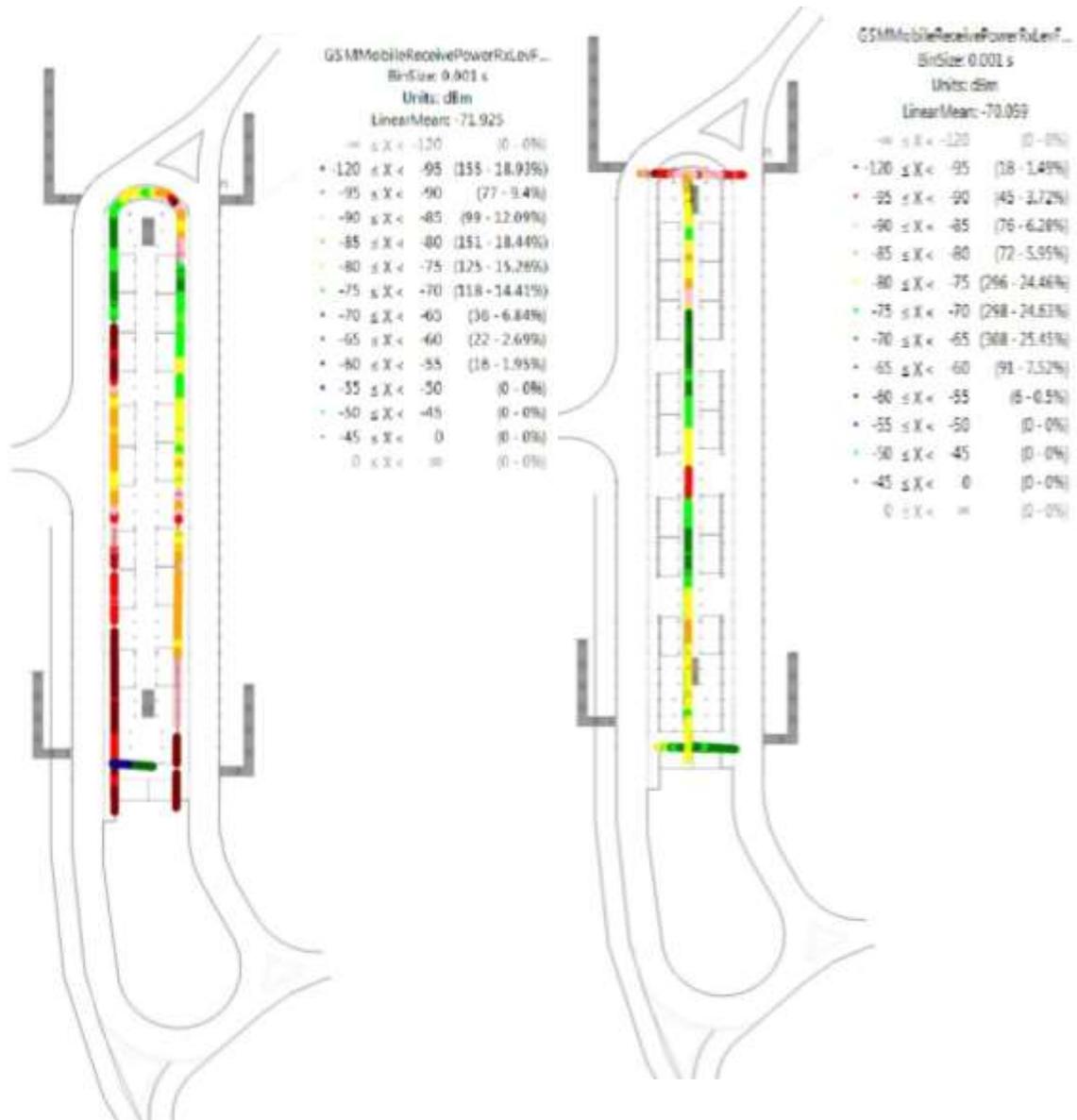


Grafico 58. Prueba RxLev - Movistar - 2G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 58 indica que más del 50% de las muestras, tanto en los pasadizos laterales y el pasadizo central, están por debajo de los -75dBm lo cual no es un valor óptimo. El 19% aproximadamente de las muestras está por debajo de los -95dBm, lo cual es un valor que no permite establecer alguna comunicación.

## Pruebas Best Server - BCCH:

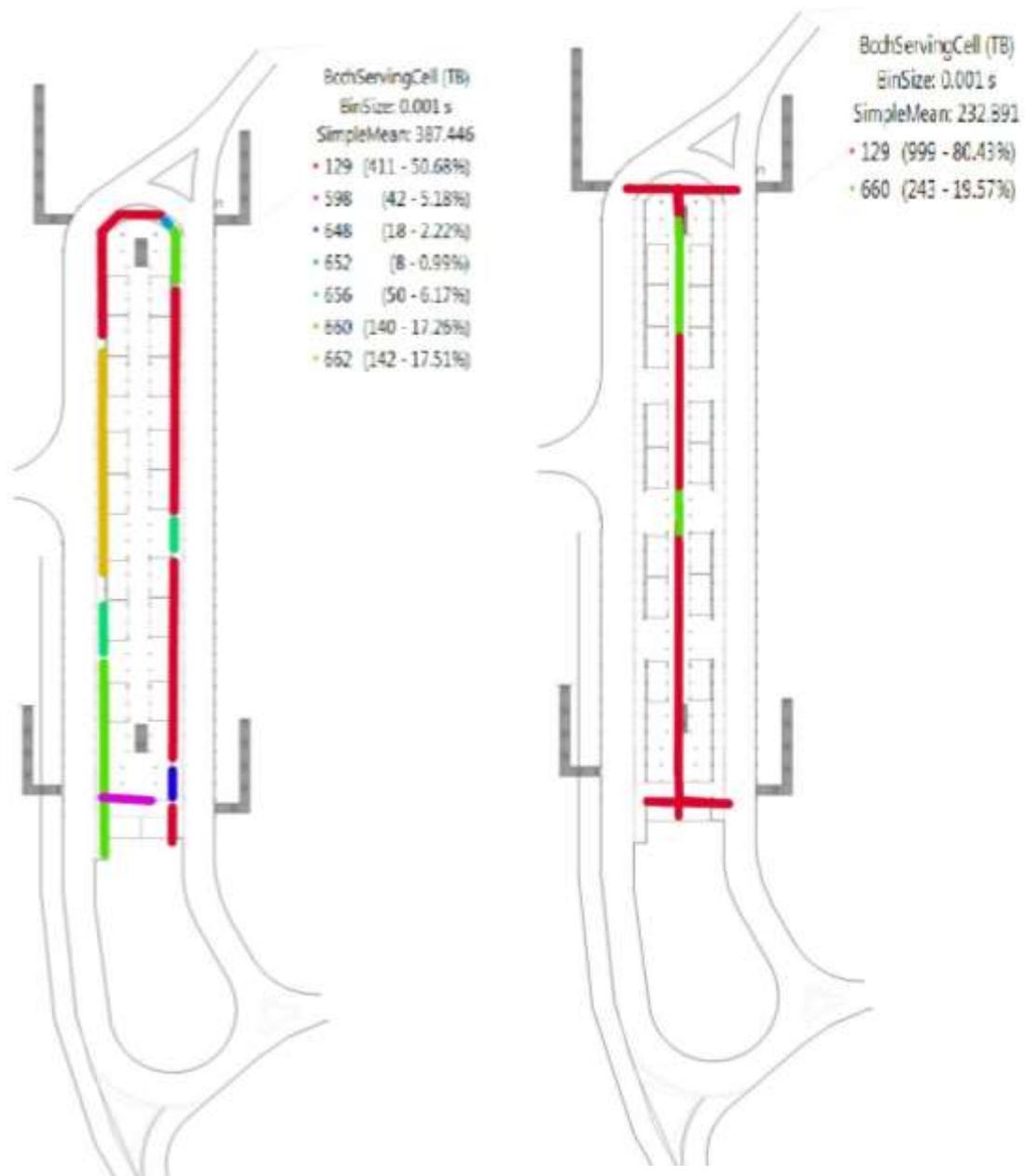


Gráfico 59. Prueba Best Server - Movistar - 2G  
Fuente: Elaboración propia

La celda dominante que se presenta en las mediciones es la de ID 129 y tienen predominancia en los pasadizos laterales y en el pasadizo central (véase gráfico 59).

## Mediciones del operador Movistar para 3G:

### Prueba de niveles RSCP:

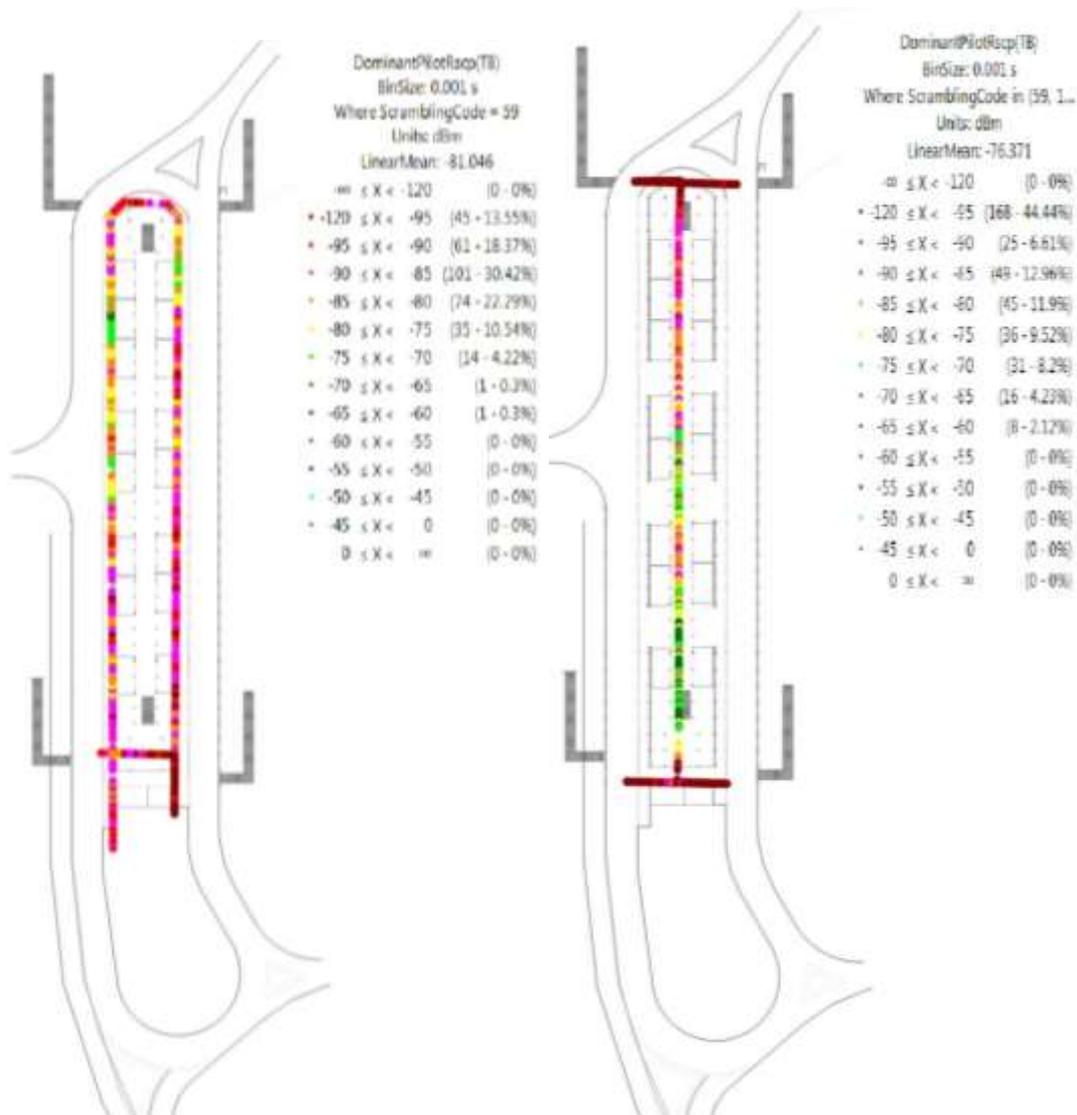


Grafico 60. Prueba RSCP - Movistar - 3G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones podemos mencionar que más del 50% de las muestras tomadas indican que los niveles están por debajo de los -85dBm lo cual no es un valor óptimo que permita la continuidad de alguna comunicación. Asimismo tenemos lugares con -95 dBm, lo cual no permite establecer alguna comunicación (véase grafico 60).

## Prueba de niveles Ec/No:

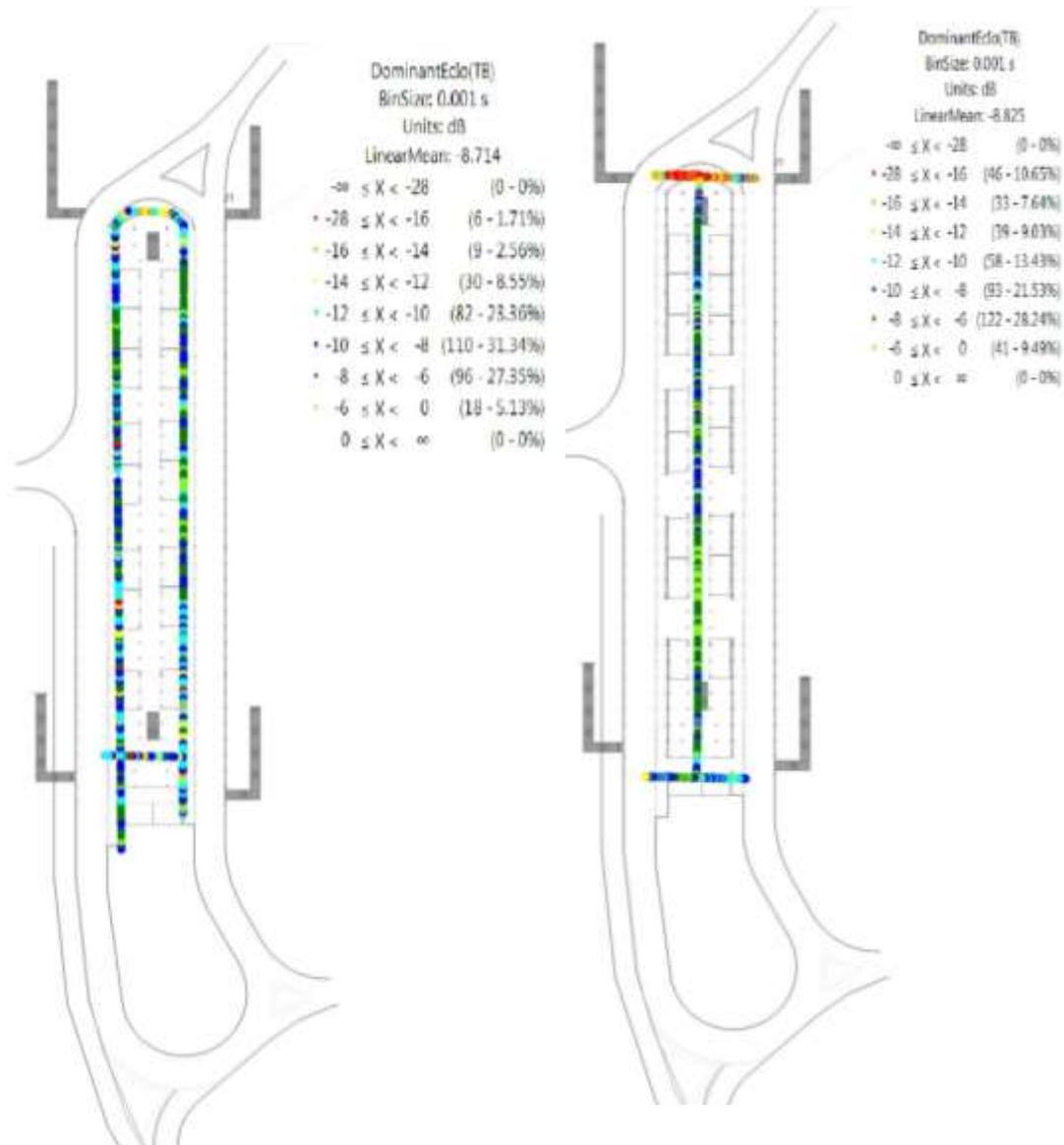


Grafico 61. Prueba Ec/No - Movistar - 3G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones podemos indicar que más del 30% de las muestras están por debajo de los -10dB, lo cual es una cantidad considerable de muestras que tienen un nivel de ruido elevado lo cual afecta a la calidad de la comunicación (véase grafico 61).

## Prueba de niveles RxPower:

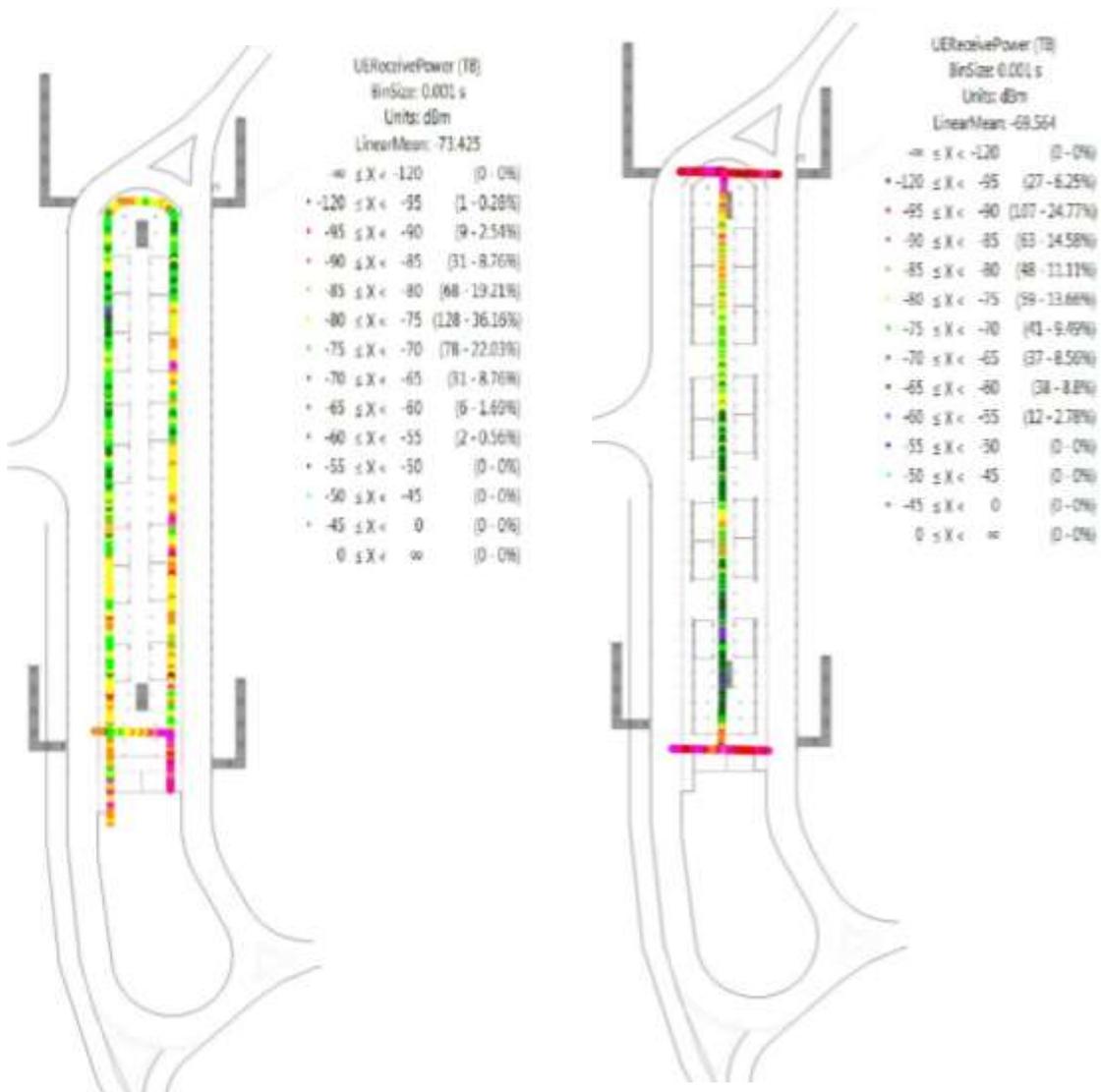


Grafico 62. Prueba RxPower - Movistar - 3G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones podemos mencionar que más del 60% de las muestras tomadas indican que los niveles están por debajo de los -75dBm lo cual no es un valor óptimo (véase grafico 62).

### Prueba de SCODE:

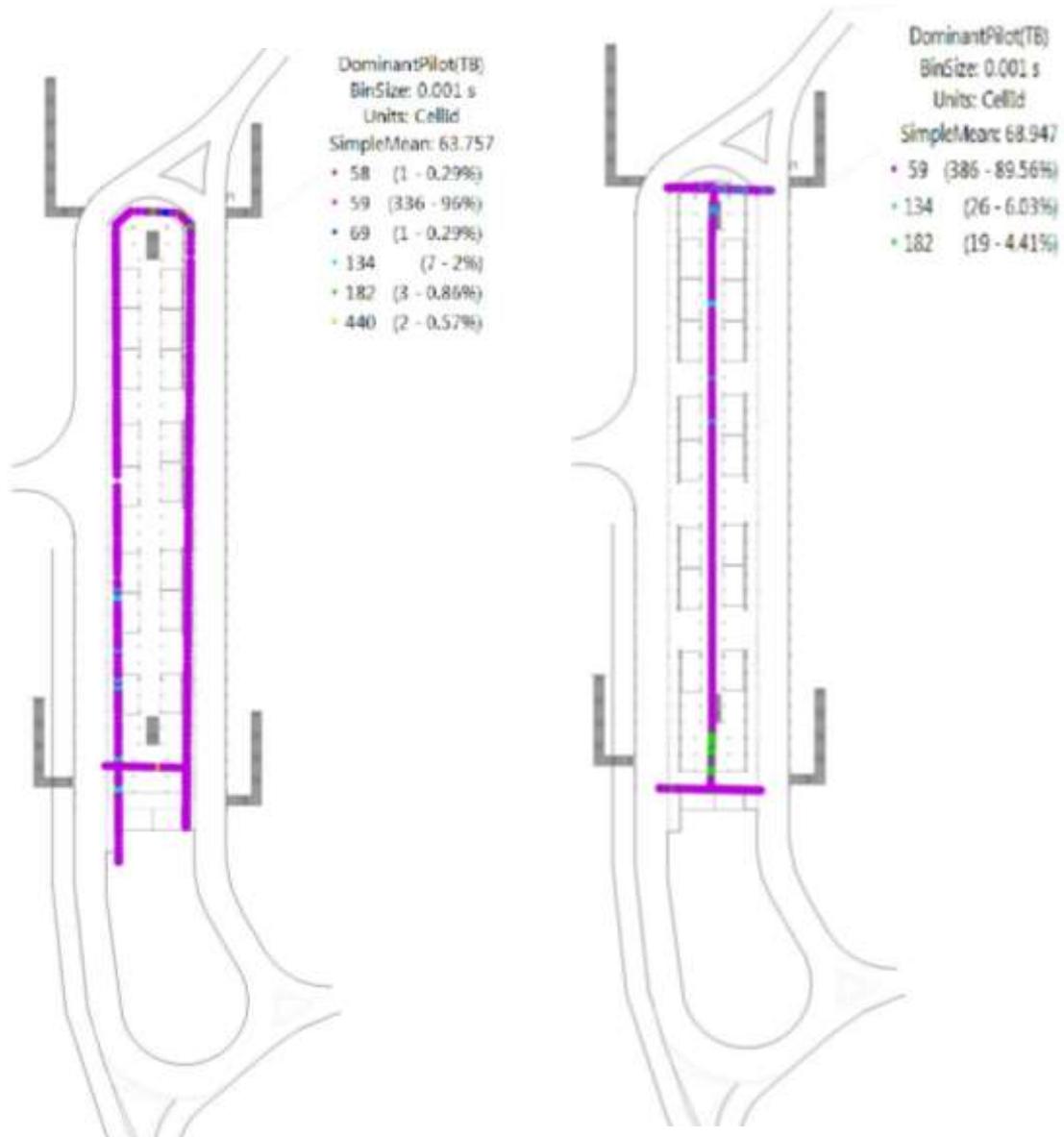


Grafico 63. Prueba Scode - Movistar - 3G  
Fuente: Elaboración propia

La celda dominante que se presenta en las mediciones es la de ID 59 y tienen predominancia en los pasadizos laterales y en el pasadizo central (véase gráfico 63).



## Prueba de niveles RSRQ:

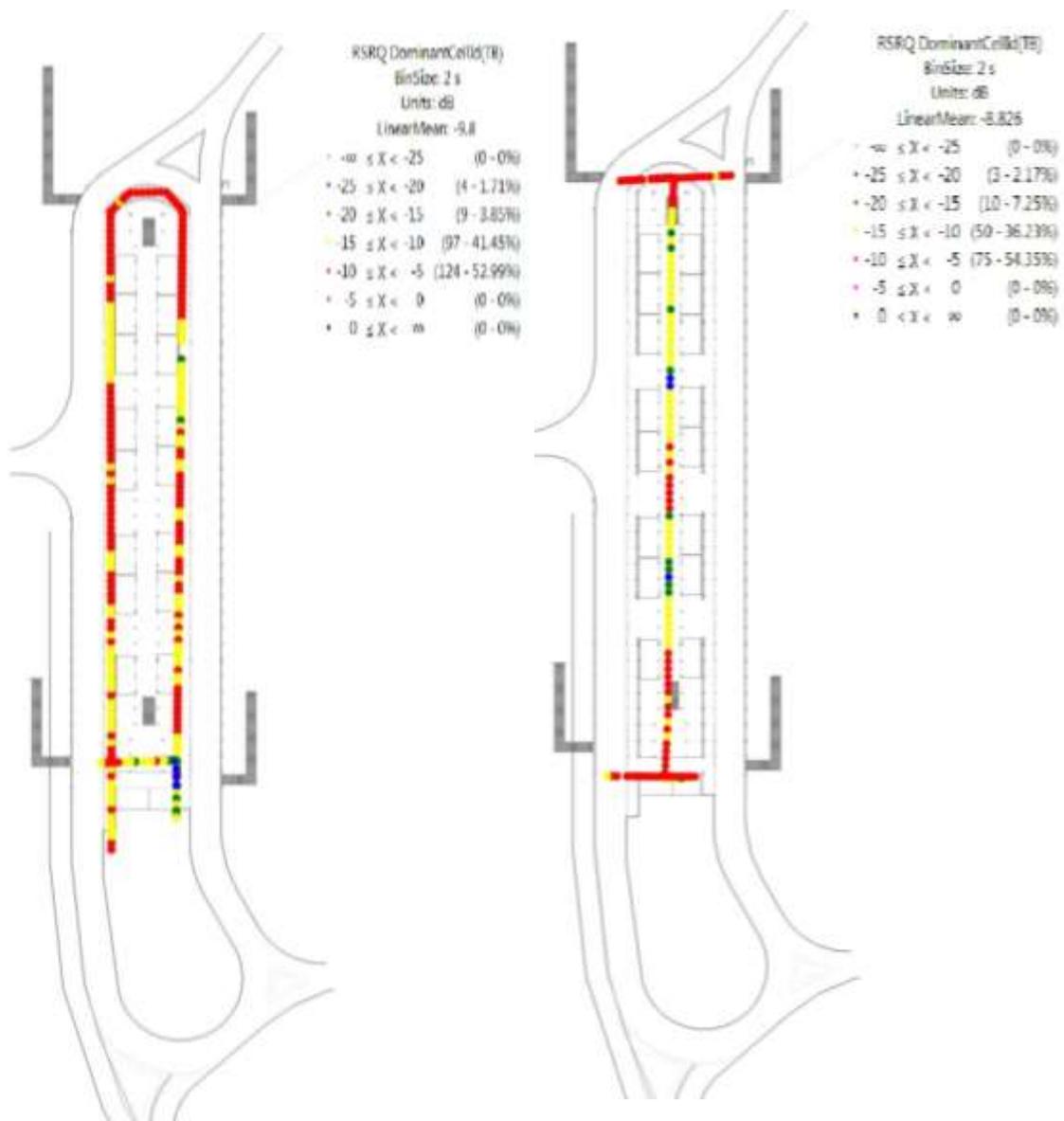


Grafico 65. Prueba RSRQ - Movistar - 4G  
Fuente: Elaboración propia

Según las mediciones realizadas podemos indicar que más del 70% de las muestras que se tomaron tienen un valor inferior a -5dB, lo cual es un valor no óptimo (véase gráfico 65).

## Prueba de Dominant Cell ID:

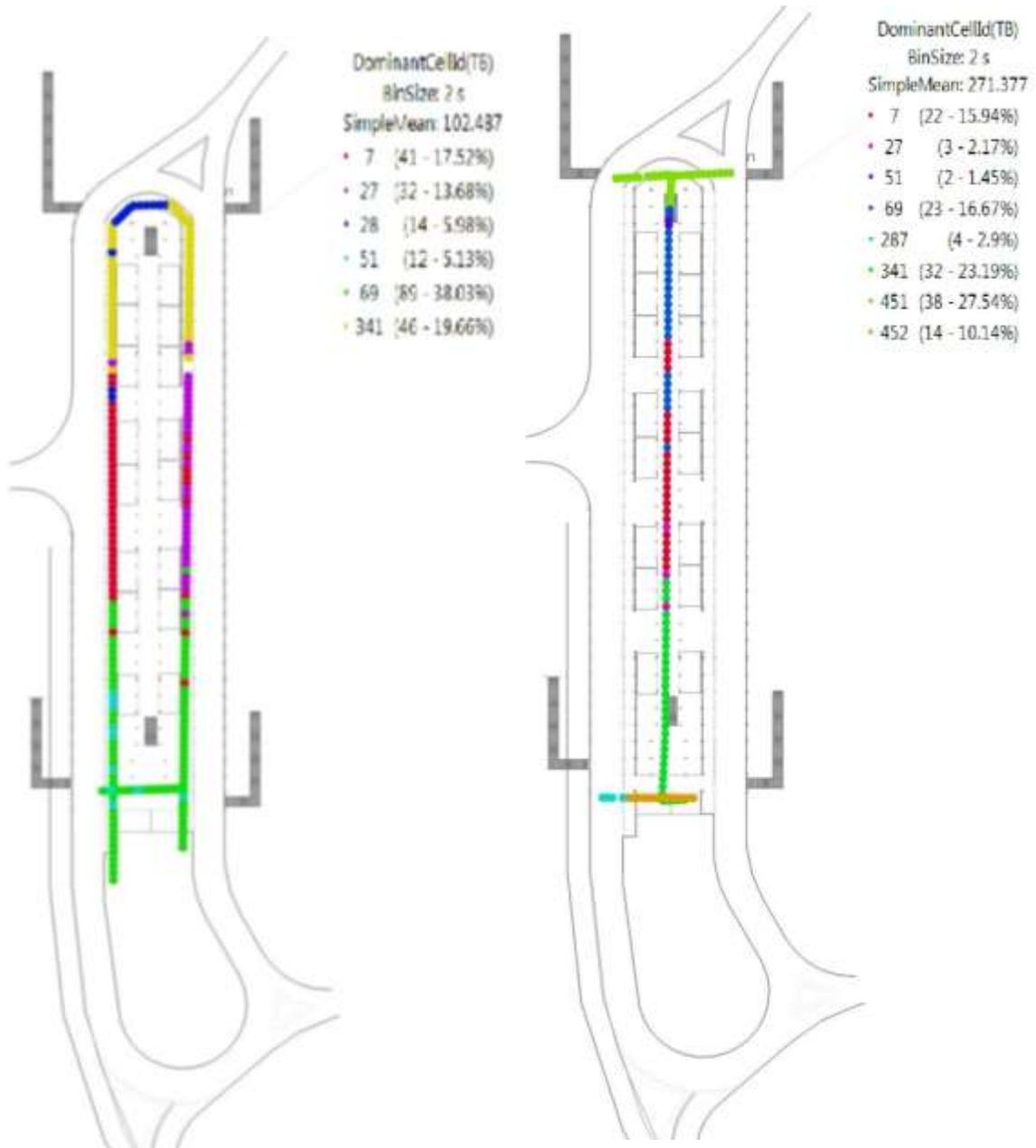


Grafico 66. Pruebas celda dominante - Movistar - 4G  
Fuente: Elaboración propia

La celda dominante que se presenta en las mediciones es la de ID 69 y tienen predominancia en los pasadizos laterales mientras que en el pasadizo central la celda de ID 451 es la que tiene predominancia (véase gráfico 66).

Por otra parte se realizaron las mediciones *outdoor* (*Drive-test*) y los resultados para el operador Movistar se presentan a continuación.

A nivel GSM:

**-Rx Lev:**



Gráfico 67. Prueba RxLev outdoor - Movistar - 2G  
Fuente: Elaboración propia

Las mediciones indican que solamente el 16% de las muestras tomadas tienen un valor inferior a -75dBm (véase gráfico 67).

**-BCCH:**

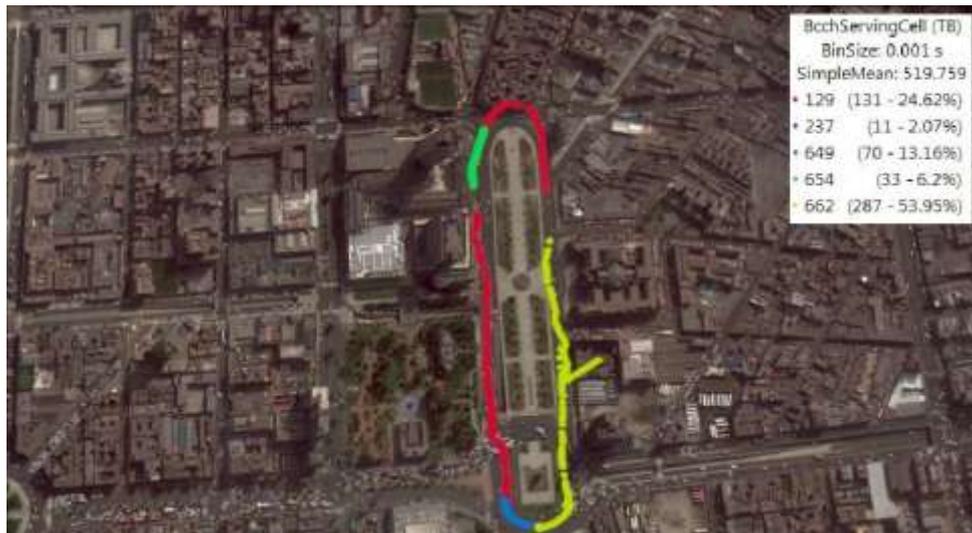


Grafico 68. Prueba Best server outdoor - Movistar - 2G

Fuente: Elaboración propia

La celda dominante que se presenta en las mediciones es la de ID 662 (véase gráfico 68).

A nivel 3G:

**-RSCP:**

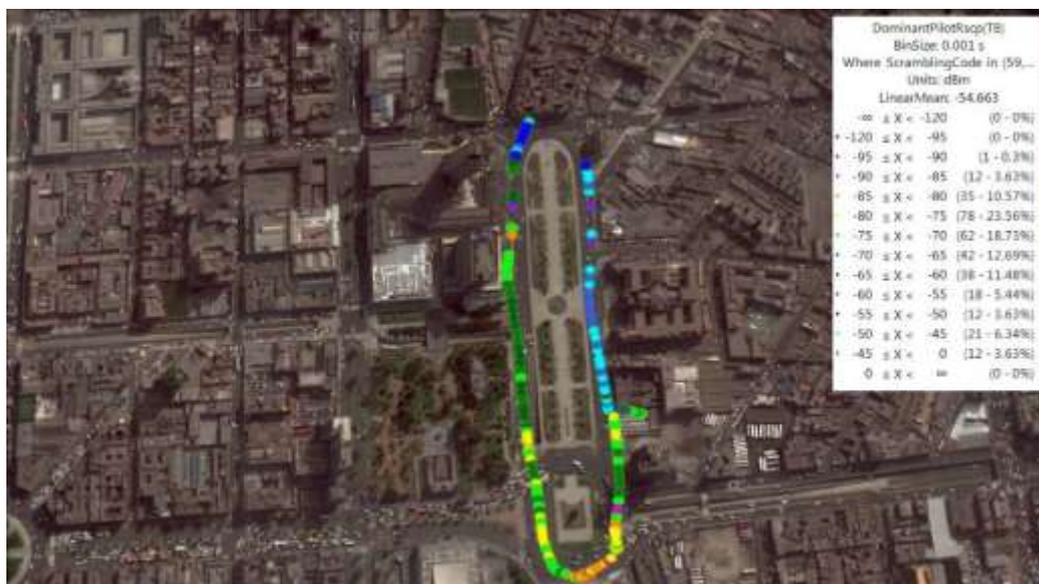


Grafico 69. Prueba RSCP outdoor - Movistar - 3G

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones indican que solamente el 13% de las muestras tomadas tienen un valor inferior a -75dBm (véase gráfico 69).

**-Ec/No:**

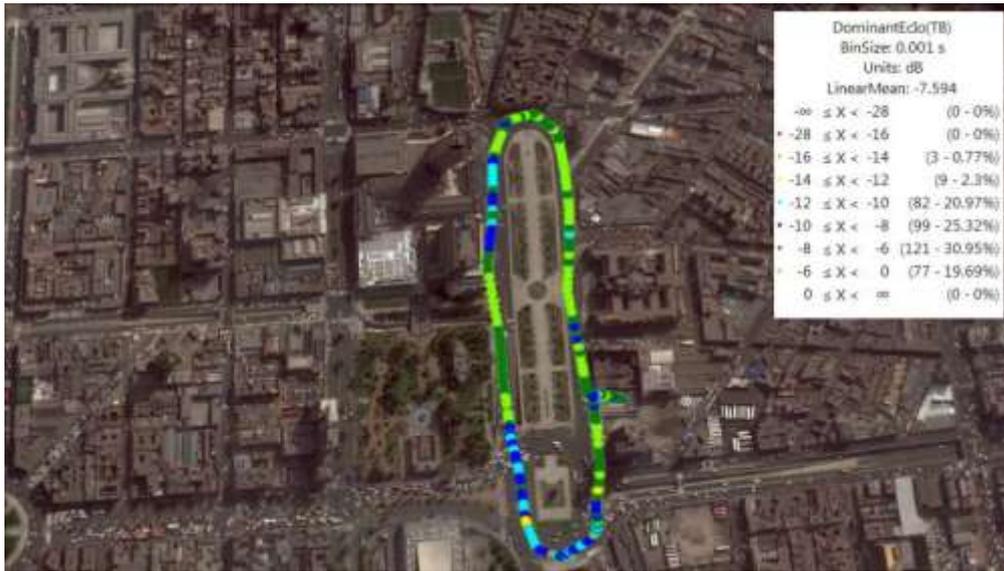


Grafico 70. Prueba Ec/No outdoor - Movistar - 3G  
Fuente: Elaboración propia

El grafico 70 indica que más del 95% de las muestras tomadas tienen un valor mayor a -10dB, lo cual es un valor aceptable

**-Scrambling Code:**

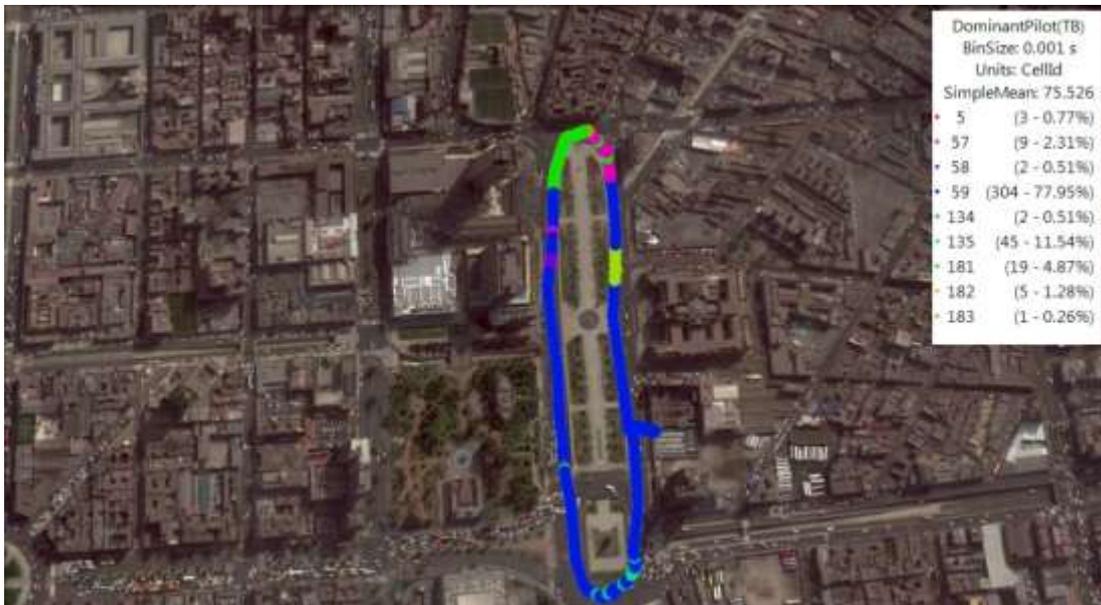


Grafico 71. Prueba Scrambling code outdoor - Movistar - 3G  
Fuente: Elaboración propia

La celda que tiene dominancia según las mediciones es la de ID 59 (véase gráfico 71).

A nivel 4G:

**-RSRP:**

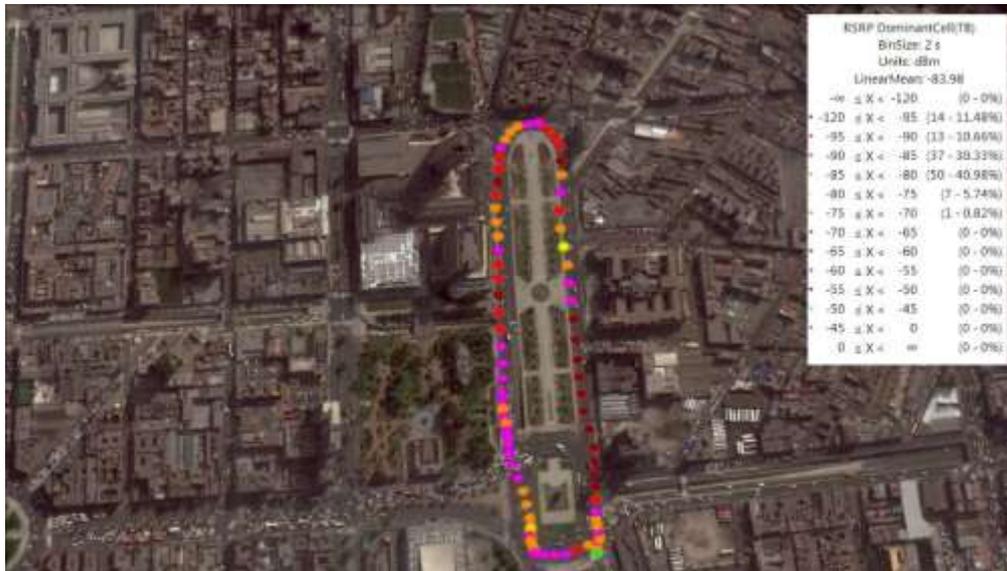


Grafico 72. Prueba RSRP outdoor - Movistar - 4G

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones indican que más del 50% de las muestras tomadas tienen un valor inferior a -85dBm (véase gráfico 72).

**-Dominant Cell ID:**

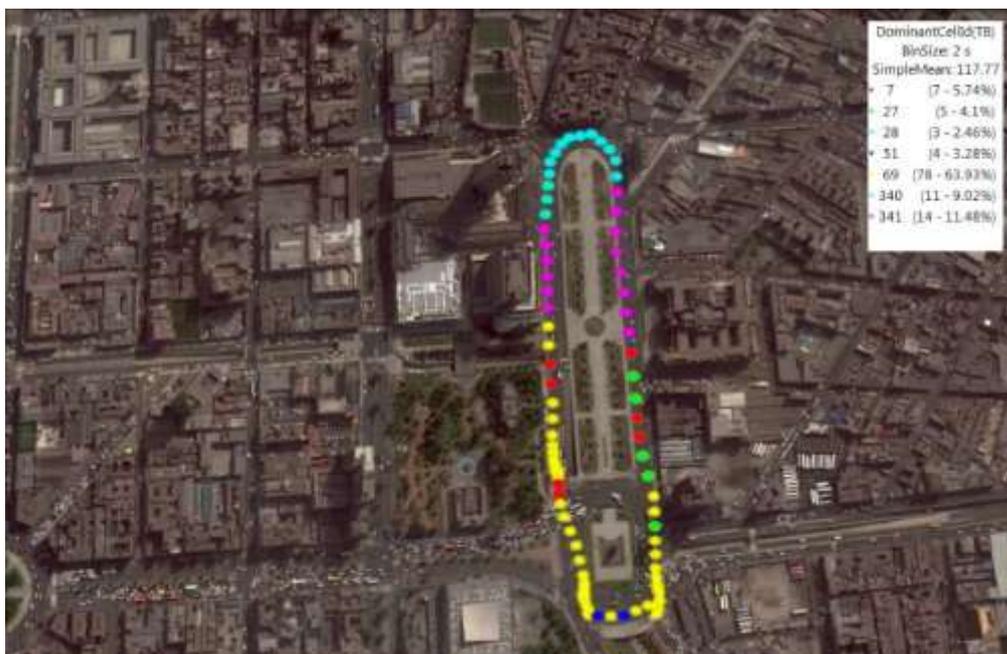


Grafico 73. Prueba celda dominante outdoor - Movistar - 4G

Fuente: Elaboración propia

La celda que tiene dominancia según las mediciones es la de ID 69 (véase gráfico 73).

Por otra parte, se encontraron los valores de desempeño actuales de la estación central del metropolitano (KPI).

## **5.2.- Análisis y discusión de los resultados.**

El objetivo que se maneja es el de proponer un diseño en base al sistema distribuido de antenas el cual parte de la situación actual de los parámetros de medición que se tienen en la estación central del Metropolitano a fin de brindar una optimización en la cobertura móvil.

Partiendo de esta premisa podremos evaluar si verdaderamente la estación central del metropolitano requiere una mejora en la cobertura móvil. Asimismo ayudará a establecer conclusiones y observaciones en base al trabajo realizado.

Como punto de partida se deberá tabular los datos obtenidos en las mediciones teniendo en consideración lo siguiente.

Los parámetros de cobertura como *RSCP* y *RxLev* deben estar dentro del rango de potencias que permita asegurar un buen nivel de cobertura a fin de que las llamadas siempre puedan ser realizadas (-75dBm) en un 95% del total de muestras tomadas.

Para el caso de los parámetros de interferencia como *Ec/No* y *C/I* se deben buscar niveles de interferencia bajos que aseguren que no exista el corte de una llamada establecida. En 3G se maneja el parámetro *TxPower*, el cual no debe superar los -20dBm a fin de que no agrave el tema de ahorro de energía de los *UE*.

Habiendo mencionado esto podemos presentar los cuadros de desempeño actuales en base a las mediciones que se realizaron en la estación central del Metropolitano.

## Tablas de KPIs – Operador Claro.

Rx Level Indoor - Claro							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
Rango	# Muestras	Porcentaje	KPI	Rango	# Muestras	Porcentaje	KPI
-45 to 0	0	0,00%	17,00%	-45 to 0	0	0,00%	28,64%
-50 to -45	0	0,00%		-50 to -45	12	2,96%	
-55 to -50	0	0,00%		-55 to -50	23	5,68%	
-60 to -55	0	0,00%		-60 to -55	46	11,36%	
-65 to -60	0	0,00%		-65 to -60	19	4,69%	
-70 to -65	6	1,19%		-70 to -65	6	1,48%	
-75 to -70	80	15,81%		-75 to -70	10	2,47%	
-80 to -75	123	24,31%	83,00%	-80 to -75	56	13,83%	71,36%
-85 to -80	113	22,33%		-85 to -80	91	22,47%	
-90 to -85	71	14,03%		-90 to -85	62	15,31%	
-95 to -90	75	14,82%		-95 to -90	19	4,69%	
-120 to -95	38	7,51%		-120 to -95	61	15,06%	

Tabla 50. Cuadro KPI actuales - Claro - RxLev indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 50 que más del 70% de las muestras están por debajo de los -75dBm, por lo tanto tiene un KPI desaprobatorio.

BEST SERVER - Claro							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
BCCH	# Muestras	Porcentaje	KPI	BCCH	# Muestras	Porcentaje	KPI
740	290	59,79%	59,79%	740	240	50,63%	50,63%
Otros	195	40,21%	40,21%	Otros	234	49,37%	49,37%

Tabla 51. Cuadro KPI actuales - Claro - Best Server indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 51 que existen otras celdas lo cual influirá en los *handovers* que se tendrán en la estación.

RSCP Indoor - Claro							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
RSCP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI	RSCP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-45 to 0	0	0,00%	0,74%	-45 to 0	0	0,00%	2,36%
-50 to -45	0	0,00%		-50 to -45	0	0,00%	
-55 to -50	0	0,00%		-55 to -50	0	0,00%	
-60 to -55	0	0,00%		-60 to -55	0	0,00%	
-65 to -60	0	0,00%		-65 to -60	1	0,18%	
-70 to -65	0	0,00%		-70 to -65	2	0,36%	
-75 to -70	3	0,74%		-75 to -70	10	1,81%	
-80 to -75	22	5,45%	99,26%	-80 to -75	33	5,99%	97,64%
-85 to -80	73	18,07%		-85 to -80	76	13,79%	
-90 to -85	120	29,70%		-90 to -85	117	21,23%	
-95 to -90	133	32,92%		-95 to -90	112	20,33%	
-120 to -95	53	13,12%		-120 to -95	200	36,30%	

Tabla 52. Cuadro KPI actuales - Claro - RSCP indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 52 que más del 90% de las muestras están por debajo de los -75dBm, por lo tanto tiene un KPI desaprobatorio.

EcNo - Claro							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
EcNo (dB)	# Muestras	Porcentaje	KPI	EcNo (dB)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-6 to 0	11	2,10%	2,10%	-6 to 0	9	1,39%	1,39%
-8 to -6	47	8,99%		-8 to -6	31	4,78%	
-10 to -8	214	40,92%		-10 to -8	292	44,99%	
-12 to -10	205	39,20%		-12 to -10	182	28,04%	
-14 to -12	41	7,84%		-14 to -12	63	9,71%	
-16 to -14	5	0,96%		-16 to -14	38	5,86%	
-28 to -16	0	0,00%		-28 to -16	34	5,24%	

Tabla 53. Cuadro KPI actuales - Claro - Ec/No indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 53 que más del 90% de las muestras están por debajo de los -6dB, por lo tanto tiene un KPI desaprobatorio.

Dominant Cell ID - Claro							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
Dominant Cell ID	# Muestras	Porcentaje	KPI	Dominant Cell ID	# Muestras	Porcentaje	KPI
465	309	59,20%	59,20%	465	460	70,99%	70,99%
Otros	213	40,80%	40,80%	Otros	188	29,01%	29,01%

Tabla 54. Cuadro KPI actuales - Claro - Celda Dominante indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 54 que existen otras celdas lo cual influirá en los *handovers* que se tendrán en la estación.

### Tablas de KPIs – Operador Movistar.

Rx Level Indoor - Movistar							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
Rango	# Muestras	Porcentaje	KPI	Rango	# Muestras	Porcentaje	KPI
-45 to 0	0	0,00%	25,89%	-45 to 0	0	0,00%	58,10%
-50 to -45	0	0,00%		-50 to -45	0	0,00%	
-55 to -50	0	0,00%		-55 to -50	0	0,00%	
-60 to -55	16	1,95%		-60 to -55	6	0,50%	
-65 to -60	22	2,69%		-65 to -60	91	7,52%	
-70 to -65	56	6,84%		-70 to -65	308	25,45%	
-75 to -70	118	14,41%		-75 to -70	298	24,63%	
-80 to -75	125	15,26%	74,11%	-80 to -75	296	24,46%	41,90%
-85 to -80	151	18,44%		-85 to -80	72	5,95%	
-90 to -85	99	12,09%		-90 to -85	76	6,28%	
-95 to -90	77	9,40%		-95 to -90	45	3,72%	
-120 to -95	155	18,93%		-120 to -95	18	1,49%	

Tabla 55. Cuadro KPI actuales - Movistar - RxLev indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 55 que más del 70% de las muestras en los pasadizos laterales están por debajo de los -75dBm, por lo tanto tiene un KPI desaprobatorio. Por otra parte, en el pasadizo central se tiene más del 40% de las muestras con un valor menor a -75dBm.

BEST SERVER - Movistar							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
BCCH	# Muestras	Porcentaje	KPI	BCCH	# Muestras	Porcentaje	KPI
129	411	50,68%	50,68%	129	999	80,43%	<b>80,43%</b>
Otros	400	49,32%	49,32%	Otros	243	19,57%	19,57%

Tabla 56. Cuadro KPI actuales - Movistar - Best Server indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 56 que existen otras celdas lo cual influirá en los *handovers* que se tendrán en la estación.

RSCP Indoor - Movistar							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
RSCP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI	RSCP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-45 to 0	0	0,00%	<b>4,82%</b>	-45 to 0	0	0,00%	<b>14,55%</b>
-50 to -45	0	0,00%		-50 to -45	0	0,00%	
-55 to -50	0	0,00%		-55 to -50	0	0,00%	
-60 to -55	0	0,00%		-60 to -55	0	0,00%	
-65 to -60	1	0,30%		-65 to -60	8	2,12%	
-70 to -65	1	0,30%		-70 to -65	16	4,23%	
-75 to -70	14	4,22%	-75 to -70	31	8,20%		
-80 to -75	35	10,54%	95,18%	-80 to -75	36	9,52%	85,45%
-85 to -80	74	22,29%		-85 to -80	45	11,90%	
-90 to -85	101	30,42%		-90 to -85	49	12,96%	
-95 to -90	61	18,37%		-95 to -90	25	6,61%	
-120 to -95	45	13,55%		-120 to -95	168	44,44%	

Tabla 57. Cuadro KPI actuales - Movistar - RSCP indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 57 que más del 90% de las muestras en los pasadizos laterales están por debajo de los -75dBm, por lo tanto tiene un KPI desaprobatorio. Por otra parte en el pasadizo central se tiene más del 80% de las muestras por debajo de los -75dBm.

EcNo - Movistar							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
EcNo (dB)	# Muestras	Porcentaje	KPI	EcNo (dB)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-6 to 0	18	5,13%	<b>5,13%</b>	-6 to 0	41	9,49%	<b>9,49%</b>
-8 to -6	96	27,35%	94,87%	-8 to -6	122	28,24%	90,51%
-10 to -8	110	31,34%		-10 to -8	93	21,53%	
-12 to -10	82	23,36%		-12 to -10	58	13,43%	
-14 to -12	30	8,55%		-14 to -12	39	9,03%	
-16 to -14	9	2,56%		-16 to -14	33	7,64%	
-28 to -16	6	1,71%		-28 to -16	46	10,65%	

Tabla 58. Cuadro KPI actuales - Movistar - Ec/No indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 58 que más del 90% de las muestras están por debajo de los -6dB, por lo tanto tiene un KPI desaprobatorio.

Dominant Cell ID - Movistar							
Pasadizos Laterales				Pasadizo Central			
Dominant Cell ID	# Muestras	Porcentaje	KPI	Dominant Cell ID	# Muestras	Porcentaje	KPI
59	336	96,00%	<b>96,00%</b>	59	386	89,56%	<b>89,56%</b>
Otros	14	4,00%	<b>4,00%</b>	Otros	45	10,44%	<b>10,44%</b>

Tabla 59. Cuadro KPI actuales - Movistar - Celda dominante indoor

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la tabla 59 que existen otras celdas lo cual influirá en los *handovers* que se tendrán en la estación.

### 5.3.- Prueba de Hipótesis

No se pudo obtener esta prueba dado que este proyecto de investigación tenía como objetivo la mejora de cobertura de servicios móviles mediante un diseño de antenas distribuidas más no la implementación de dicho diseño, la cual no permitió realizar pruebas experimentales de los diseños propuestos en el desarrollo de la tesis.

## CONCLUSIONES

1. Se tomó mediciones de los parámetros de cobertura *indoor* en la estación central del metropolitano las cuales fueron analizadas, tanto a nivel 2G – 3G – 4G, donde se encontraron valores deficientes y que influyen en el desempeño de los servicios móviles. Habiendo dicho esto, se puede concluir que existe cabida para el planteamiento de un diseño a fin de optimizar estos parámetros ya mencionados.
2. Se plantean 2 diseños a fin de optimizar la cobertura existente en la estación central del metropolitano, teniendo en consideración las visitas técnicas que se hicieron a la estación.
3. Se concluyó que existe gran afectación de los servicios móviles debido a los parámetros actuales que se tiene en la estación central del metropolitano, técnicamente los indicadores  $RxLev$  –  $RSCP$  –  $RSRP$  muy por debajo de los -75dBm según se muestra en el capítulo V.
4. Ambos diseños propuestos poseen diferencias en aspectos de ingeniería, aspectos técnicos, aspectos económicos según se muestra en el capítulo IV. Con ambos diseños se puede conseguir optimizar la cobertura móvil *indoor* con lo que se concluye que una implementación de este tipo es viable según lo desarrollado a lo largo de este trabajo.

## RECOMENDACIONES

1. Para trabajos de medición de los parámetros de cobertura celular se recomienda la utilización de la herramienta *RanAdvisor* de JDSU debido a su flexibilidad en el manejo, versatilidad y utilidad en el análisis de las muestras que se recopilan en las mismas pruebas.
2. Se recomienda realizar visitas previas para definir las rutas que se seguirán en los *walktest* asimismo se da como recomendación ejecutar la medición en momentos de baja concurrencia a fin de facilitar las mediciones a realizar.
3. Se da como recomendación, el especial cuidado al momento de elegir la solución según el área a implementar, sería contraproducente la implementación de una solución DAS a fin de dar cobertura a entornos pequeños (viviendas u oficinas).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Rey, E. (2003). Telecomunicaciones Mviles. Barcelona: Marcombo.
- [2] ETSI MCC department, "Overview of 3GPP Release 1999 V0.1.1", Febrero 2010
- [3] Alberto Montilla, "Arquitectura de Red de Acceso Móvil de Cuarta Generación: Mobil-IP RAN", Universidad Carlos III de Madrid, Leganes, Julio 2009.
- [4] Jeanette Wannstrom, High Speed Packet Access [Online], disponible en <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/99-hspa>
- [5] Jeanne Fightmaster, "Test wireless devices for 3GPP Release 6 HSUPA compatibility", Learning Products Engineer
- [6] 4G AMERICAS, "3GPP Release 11: Understanding The Standards for HSPA+ and LTE-Advanced Enhancements", Agosto 2013, pp. 7 – 10
- [7] Ramón Agustí Comes, Francisco Bernardo Álvarez, "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles", Editorial: Fundación Vodafone, España, 2010.
- [8] Amitabha ghosh, Rapeepat Ratasuk, "LTE and LTE-A", Editorial: Cambridge, UK, 2011.
- [9] Jeanne Wannstrom, Long Term Evolution – Advanced [Online], Junio 2013, disponible en <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
- [10] Wan Choi and Jeffrey G., "Downlink Performance and Capacity of Distributed Antenna System in a Multicell Environment", pp. 2- 6
- [11] NGMN Alliance, "Small Cell Backhaul Requirements", Editor: Julius Robson, 4 June, 2012, pp. 8-10
- [12] Morten Tolstrup , "*Indoor Radio Planning*", Editorial John Wiley & Sons, segunda edición 2011, pp. 141-150
- [13] "Indoor RF Design & Planning: Optimizing the Idea Network, Atlanta, Abril 2012.

## ANEXOS

### Anexo 01: Equipos RF

#### a) Band Base Unit 3900 – Especificaciones Técnicas

##### Capacidad:

Item	Specifications
Maximum number of cells	4T4R beamforming: 18 cells with a bandwidth of 10 MHz or 20 MHz for each cell 4 x 2 MIMO: 18 cells with a bandwidth of 5 MHz or 10 MHz or 20 MHz for each cell 2 x 2 MIMO: 18 cells with a bandwidth of 5 MHz or 10 MHz or 20 MHz for each cell

##### Energía:

Item	Specifications
Input power	-48 V DC (voltage range: -38.4V DC to -57V DC)

##### Dimensiones Físicas:

Item	Specifications
Dimensions (height x width x depth)	86 mm x 442 mm x 310 mm (3.46 in. x 17.40 in. x 12.20 in.)
Weight	≤ 12 kg (26.46 lb) (in full configuration)

##### Especificaciones Ambientales:

Item	Specifications
Working temperature	-20°C to +50°C (-4°F to +122°F) (long term) +50°C to +55°C (122°F to 131°F) (short term)
Relative humidity	5% RH to 95% RH
Ingress Protection (IP) rating	IP20

b) Remote Radio Unit 3908 – Especificaciones Técnicas

**Bandas de Frecuencia:**

Item	Specification		
Band	Frequency band	RX band (MHz)	TX band (MHz)
	2100 MHz	1920 to 1980	2110 to 2170
	1900 MHz	1850 to 1910	1930 to 1990
	850 MHz	824 to 849	869 to 894
	AWS	1710 to 1755	2110 to 2155

**Sensibilidad de Recepción:**

Receiver sensitivity	Frequency band	1-way receiver sensitivity (dBm)	2-way receiver sensitivity (dBm)	4-way receiver sensitivity (dBm)
	2100 MHz/ AWS	-125.8*	-128.6*	-131.3*
		-126.5**	-129.3**	-132.0**
	1900 MHz	-125.3*	-128.1*	-130.8*
		-126.0**	-128.8**	-131.5**
	850 MHz***	-125.6*	-128.4*	-131.1*
		-126.3**	-129.1**	-131.8**

**Energía:**

Input voltage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -48 V DC, voltage range: -38.4 V DC to -57 V DC</li> <li>• 200 V AC to 240 V AC single phase, voltage range: 176 V AC to 290 V AC</li> <li>• 100/200 V AC to 120/240 V AC dual-live-wire power cable; voltage range: 90/180 V AC to 135/270 V AC</li> </ul>
---------------	--

c) Antena Indoor Omnidireccional I-ATO1-698/2700



Technical Specifications	
Product Type	Omnidirectional Antenna
Application	Indoor
Frequency Range, MHz	698-960 / 1710-2700
Number of Input Ports	1
Connectors	N female
Impedance, Ohm	50
max. VSWR	2.0 @ 698-960MHz 1.5 @ 805-960 and 1710-2700MHz
Total Input Power, W	max. 100
Gain, dBi	2.0 @ 698 - 960MHz 5.0 @ 1700 - 2700MHz
Polarization	Vertical
Horizontal Beamwidth, deg	360
Connector Cable, mm (in)	200 (7.87)
Radome Material	ABS
Radome Color	White
Mounting Hardware included	Ceiling mount, fixed with nut
Temperature Range, °C (°F)	-40 to +60 (-40 to 140)
Height, mm (in)	73 (2.82)
Width, mm (in)	Ø 170 (6.69)
Weight, kg (lb)	0.4 (0.89)
Environmental Class	Indoor

d) Antena Indoor Panel I-ATP1-698/2700



Technical Specifications	
Product Type	Panel Antenna
Application	Indoor
Frequency Range, MHz	698-960 / 1710-2700
Number of Input Ports	1
Connectors	N female
Impedance, Ohm	50
max. VSWR	2.0 @ 698-960MHz 1.5 @ 1710-2700MHz
Total Input Power, W	max. 50
Gain, dBi	7.0 @ 698 - 960MHz 10.0 @ 1710 - 2700MHz
Front-to-Back Ratio, dB	7.0 @ 698-960MHz 10.0 @ 1710-2700MHz
Polarization	Vertical
Horizontal Beamwidth, deg	70 @ 698-960MHz 60 @ 1710-2700MHz
Vertical Beamwidth, deg	55 @ 698-960MHz 45 @ 1710-2700MHz
Connector Cable, mm (in)	150 (5.90)
Radome Material	ABS
Radome Color	White
Mounting Hardware included	Wall bracket, screws
Temperature Range, °C (°F)	-40 to +60 (-40 to 140)
Height, mm (in)	44 (1.73)
Width, mm (in)	180 (7.09)
Length, mm (in)	210 (8.27)
Weight, kg (lb)	0.4 (0.89)
Environmental Class	Indoor

e) Modulo Rectificador – 48V/800W



AC Input	
Voltage	85-300 VAC (Nominal 185 – 276 VAC) Linear derating below 185VAC
Frequency	44 to 66Hz
Maximum Current	Input: 4.9 Arms maximum at nominal input and full load Earth leakage: 1.7mA at 250Vac/50Hz
Power Factor	0.98 at 30% load or more
THD	3.1% (230Vac) 2.1% (115Vac)
Input Protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Transient protection</li> <li>o Mains fuse in both lines</li> </ul>

DC Output	
Voltage	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Nominal output: 53.5 VDC</li> <li>o Float/Boost range: 48 – 57.6Vdc</li> <li>o Standby test range: 43.5 – 48Vdc</li> </ul>
Output Power	800 W at nominal input / 350W at 85VAC
Maximum Current	16.7 Amps at 48 VDC and nominal input
Current Sharing	±5% of maximum current from 10% to 100% load
Static voltage regulation	±1.0% from 5% to 100% load
Dynamic voltage regulation	±5.0% for 25-100% or 100-25% load variation, regulation time < 10ms
Hold up time	> 20ms; output voltage > 43.5 VDC at 80% load
Ripple and Noise	< 100 mV peak to peak, 20 MHz bandwidth < 2 mV <sub>rms</sub> psophometric
Output Protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Overvoltage shutdown</li> <li>o Blocking diode</li> <li>o Short circuit proof</li> <li>o High temperature protection</li> </ul>

Other Specifications	
Efficiency	Typ. 91% at 60-100% load
Isolation	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 3.0 KVAC – input and output</li> <li>o 1.5 KVAC – input earth</li> <li>o 0.5 KVDC – output earth</li> </ul>
Alarms	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Low mains shutdown (&lt;85VAC)</li> <li>o High temperature shutdown</li> <li>o Rectifier Failure</li> <li>o Overvoltage shutdown on output</li> <li>o Low voltage alarm at 43.0V</li> <li>o CAN bus failure</li> </ul>
Warnings	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Rectifier in power derate mode</li> <li>o Remote battery current limit activated</li> <li>o Input voltage out of range, flashing at overvoltage</li> <li>o Loss of CAN communication with control unit, stand alone mode</li> </ul>
Visual indications	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Green LED: ON, no faults</li> <li>o Red LED: rectifier failure</li> <li>o Yellow LED : rectifier warning</li> </ul>
Operating temp	-40 to +75°C (-40 to +167°F) Derating above +55°C linear to 450W at +65°C
Storage temp	-40 to +80°C (-40 to +176°F)
Cooling	1 fan (front to back airflow)
Fan Speed	Temperature and current regulated
MTBF	> 400, 000 hours Telcordia SR-332 Issue I, method III (a) (Tambient : 25°C)
Acoustic Noise	< 48dBA at nominal input and full load, T <sub>ambient</sub> < 30°C
Humidity	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Operating: 5% to 95% RH non-condensing</li> <li>o Storage: 0% to 99% RH non-condensing</li> </ul>
Dimensions	42.5 x 88.9 x 250mm (1.67 x 3.5 x 9.84") (wxhxd)
Weight	1.08 kg (2.38lbs)

## Anexo 02: Tarifas de Operadores Móviles

Movistar:

**Tarifa Única Prepago**

Tarifas de Voz (por minuto)	En Soles	En Dólares
De Movistar a Movistar a nivel nacional	S/ 0.48	\$0.183
De Movistar a teléfonos fijos a nivel nacional	S/ 0.48	\$0.183
De Movistar a otros móviles a nivel nacional	S/ 0.48	\$0.183

Tarifas SMS MMS y Datos (MB)	En Soles	En Dólares
Preenvío de SMS	S/ 0.10	\$0.037
Preenvío de SMS internacional	S/ 0.25	\$0.093
Tarifa MMS	S/ 0.25	\$0.093
Tarifa Datos (10MB)	S/ 1.00	\$0.372

Claro:

Ahora con **S/ 1.00** navegas:



Antes con **S/ 1.00** navegabas:





**Llama nomás**

(Llama a quien quieras por solo S/ 0.20 !)

(Prepárate para hablar sin pagar a una súper tarifa! Adquiere este beneficio enviando un SMS al 779 y llama a móviles de cualquier operador en todo el Perú.)

[Ver más >](#)

Entel:

entel

Telefonía Móvil | Internet Móvil | Equipos | Promociones | Servicios | **Me Entel**

Inicio / Clases Postpago / Promociones / Habla a solo S/. 0.20 el minuto con cualquiera de nuestras súperbolsas

**desenrédate con entel:) prepago**

Habla a cualquier operador a **S/. 0.20** el minuto comprando cualquiera de nuestras **super bolsas** ¡Elige la tuya! :)

Habla a solo S/.0.20 el minuto con cualquiera de nuestras súperbolsas

Si quieres cambiar a un plan Postpago recomendamos

Para Prepago		Para planes Control	
Recarga	Datos	S/. Precio	Vigencia
Súperbolsas de S/. 3	50 MB	S/. 3	7 días
Súperbolsas de S/. 5	100 MB	S/. 5	7 días
Súperbolsas de S/. 10	300 MB	S/. 10	7 días
Súperbolsas de S/. 20	750 MB	S/. 20	7 días

Debes saber

Chat Online

### Anexo 03: Registro de concurrencia de usuarios del servicio Metropolitano (31/07/2015)

Nro.Estacion	Estacion	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total
11	Matellini					8	336	2,361	5,715	4,927	2,141	1,384	1,088	948	1,112	1,061	1,190	1,486	2,079	2,466	1,866	941	547	418	46	32120
12	Rosario de Villa					4	56	230	411	313	189	174	161	175	194	221	190	281	348	471	335	200	189	193	22	4357
13	Terán						55	229	510	430	219	162	143	121	150	225	120	134	231	229	154	106	74	42	10	3344
14	Escuela Militar						6	38	118	69	77	86	89	93	95	107	179	112	163	126	76	53	45	69	3	1604
15	Union						44	192	370	289	197	157	112	117	163	126	172	243	324	274	136	89	58	47	14	3124
16	Bulevar						19	184	328	271	200	182	166	166	200	187	225	322	453	397	295	213	155	123	33	4119
17	Balta						46	202	383	277	315	306	275	254	358	338	396	476	696	794	496	309	307	159	43	6430
18	Plaza de Flores						34	318	1,473	1,923	728	310	249	184	239	243	268	425	814	867	513	280	207	87	14	9176
19	28 de Julio						5	63	195	272	199	170	195	197	209	228	295	394	849	916	582	375	215	198	77	5634
20	Benavides	2				1	26	178	767	1,020	575	474	547	540	576	553	609	781	1,769	2,218	1,784	1,254	772	546	127	15119
21	Ricardo Palma						23	102	382	420	331	396	452	485	510	569	619	802	1,221	1,456	1,178	868	556	387	98	10855
22	Angamos				1		38	353	1,329	1,554	924	852	796	905	910	874	992	1,296	2,735	3,855	3,197	1,885	1,260	579	95	24430
23	Domingo Orué						10	75	268	251	157	155	147	150	201	36	246	198	396	598	387	216	156	78	26	3751
24	Aramburu						7	63	252	288	332	358	359	388	450	481	513	603	1,081	1,775	1,213	873	586	286	52	9960
25	Canaval y Moreyra						19	97	379	353	416	567	726	937	908	773	1,169	1,390	3,261	5,600	4,196	2,149	1,164	504	117	24725
26	Javier Prado						34	189	622	656	491	559	661	779	813	705	744	989	1,982	3,186	2,499	1,614	921	657	67	18168
27	Canadá	2	1	1			21	282	902	953	623	548	559	598	673	686	767	708	1,469	1,963	1,800	1,137	809	499	88	15089
28	México						17	149	474	543	272	224	238	309	314	331	338	379	683	971	718	432	252	151	22	6817
29	Estacion Nacional	1		2			15	83	235	265	226	252	305	411	524	387	358	446	665	915	768	677	424	511	77	7547
30	Estacion Central						24	191	749	963	667	659	953	1,045	1,377	1,395	1,309	1,650	2,285	3,175	3,209	2,707	1,900	1,448	100	25806
31	España	5					57	359	1,467	1,524	793	673	664	781	1,179	923	867	904	1,289	1,686	1,729	1,345	994	558	95	17892
32	Quilca	1					14	109	495	496	263	222	238	320	336	338	246	274	454	586	508	352	272	196	40	5760
33	2 de Mayo	2					32	165	507	511	253	232	250	280	351	290	306	311	675	1,071	915	526	366	152	18	7213
34	Colmena						21	105	302	436	319	345	412	528	548	578	619	762	1,084	1,021	955	872	647	318	8	9880
35	Jiron de la Union						18	55	198	290	254	386	502	629	630	743	882	1,038	1,770	2,006	1,669	1,246	957	423	7	13703
36	Tacna						30	124	375	435	230	246	283	310	399	360	375	415	562	648	517	465	270	210		6254
37	Ramon Castilla						110	396	1,121	1,101	440	321	312	308	377	382	375	407	474	588	519	283	178	89	4	7785
38	Caqueta						113	407	888	659	377	284	209	200	178	167	200	208	279	358	267	123	61	24	2	5004
39	Parque del Trabajo						33	102	241	213	132	136	128	109	125	156	123	131	181	195	120	55	30	7	7	2224
40	Uni					6	126	810	2,300	1,704	771	547	454	420	469	477	550	542	693	833	591	482	351	227	16	12369
41	Honorio Delgado	4					31	191	344	278	207	171	163	192	221	232	245	274	296	315	255	212	149	99	3	3882
42	El Milagro						65	322	647	357	252	167	100	96	104	128	98	115	143	135	93	51	49	24	8	2954
43	Tomas Valle					4	207	1,391	2,971	1,870	1,068	808	719	489	581	531	530	559	709	733	570	402	281	145	7	14575
44	Los Jazmines				1		62	280	470	277	160	112	73	57	62	80	66	78	103	84	45	30	28	14		2082
45	Independencia				7		159	685	1,144	692	421	285	217	197	219	198	166	178	232	205	94	54	42	34	2	5231
46	Pacifico						38	165	332	207	116	100	71	91	79	85	92	106	134	113	65	48	46	36	4	1928
47	Izaguirre					8	260	1,569	3,361	2,086	823	594	523	527	501	451	455	484	610	646	380	209	172	127	14	13800
48	Naranjal	1				104	2,739	13,002	20,095	13,490	7,320	4,499	3,038	2,875	2,837	2,647	2,425	2,237	3,114	3,199	1,762	967	629	271	17	87268
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>143</b>	<b>4950</b>	<b>25816</b>	<b>53120</b>	<b>42663</b>	<b>23478</b>	<b>18103</b>	<b>16577</b>	<b>17211</b>	<b>19172</b>	<b>18292</b>	<b>19319</b>	<b>22138</b>	<b>36306</b>	<b>46674</b>	<b>36456</b>	<b>24100</b>	<b>16119</b>	<b>9936</b>	<b>1383</b>	<b>451979</b>

## Anexo 04: Número de líneas móviles prepago y postpago

Número de Líneas Prepago de Telefonía Móvil en Servicio por Empresa y Región

Región	Octubre 2014					Noviembre 2014					Diciembre 2014				
	Telefónica del Perú	América Móvil Perú	Entel Perú	Viettel Perú	Total	Telefónica del Perú	América Móvil Perú	Entel Perú	Viettel Perú	Total	Telefónica del Perú	América Móvil Perú	Entel Perú	Viettel Perú	Total
	S.A.A.	S.A.C.	S.A.	S.A.C.		S.A.A.	S.A.C.	S.A.	S.A.C.		S.A.A.	S.A.C.	S.A.	S.A.C.	
Amazonas	116 750	48 233	101	2 126	167 210	116 485	47 569	167	2 745	166 966	118 319	48 960	243	3 414	170 936
Ancash	426 899	168 391	80 997	3 227	679 514	424 065	165 252	82 771	4 670	676 758	423 356	166 841	84 731	6 707	681 635
Apurímac	104 158	146 765	106	729	251 758	102 861	144 883	172	1 024	248 940	100 706	143 064	227	1 406	245 403
Arequipa	463 866	424 986	9 546	5 380	903 778	465 668	424 271	11 808	7 166	908 913	462 457	426 793	16 158	9 389	914 797
Ayacucho	247 914	125 070	87	3 986	377 057	249 258	121 962	137	5 693	377 050	245 810	120 515	183	7 390	373 898
Cajamarca	508 205	209 736	901	2 917	721 759	504 527	205 482	1 391	4 442	715 842	498 819	205 704	2 628	6 425	713 576
Cusco	259 654	526 473	1 784	2 405	790 316	254 342	514 385	2 448	3 621	774 796	253 926	526 596	3 321	5 148	788 991
Huancavelica	82 744	124 672	102	1 176	208 694	81 115	119 278	487	1 561	202 441	80 234	115 174	1 658	1 973	199 039
Huánuco	187 126	214 029	178	2 367	403 700	185 772	209 749	253	3 791	399 565	185 721	213 354	314	5 332	404 721
Ica	343 267	132 971	34 485	2 728	513 451	340 950	132 647	35 502	3 770	512 869	347 936	140 510	38 832	5 210	532 488
Junín	438 049	266 104	5 191	3 515	712 859	432 505	259 373	6 200	4 650	702 728	442 438	269 971	8 901	6 291	727 601
La Libertad	567 819	380 147	22 249	4 600	974 815	568 984	378 248	25 212	6 428	978 872	579 866	386 824	29 072	8 766	1 004 528
Lambayeque	458 684	112 712	11 718	2 623	585 737	456 118	111 082	13 463	3 525	584 188	470 227	117 361	16 838	4 727	609 153
<b>Lima y Callao</b>	<b>2 653 193</b>	<b>3 524 097</b>	<b>490 230</b>	<b>25 885</b>	<b>6 693 405</b>	<b>2 659 266</b>	<b>3 518 205</b>	<b>507 343</b>	<b>37 101</b>	<b>6 721 915</b>	<b>2 636 650</b>	<b>3 594 442</b>	<b>567 761</b>	<b>51 683</b>	<b>6 850 536</b>
Loreto	215 199	59 315	236	603	275 353	217 585	56 984	294	2 354	277 217	220 113	58 503	398	4 556	283 570
Madre de Dios	13 655	108 335	19	973	122 982	13 940	109 379	30	1 320	124 669	13 291	107 595	28	1 785	122 699
Moquegua	70 751	30 521	1 661	1 179	104 112	70 980	30 258	1 817	1 704	104 759	71 750	30 671	2 250	2 337	107 008
Pasco	100 227	47 269	57	684	148 237	100 420	46 201	90	959	147 670	99 686	45 976	110	1 268	147 040
Piura	655 411	179 620	28 032	2 736	865 799	649 023	174 295	30 301	3 627	857 246	657 741	181 021	34 288	5 096	878 146
Puno	500 314	367 729	2 188	9 626	879 857	486 492	358 373	2 605	13 072	860 542	491 521	365 257	3 767	17 126	877 671
San Martín	288 589	73 924	136	2 475	365 124	289 283	72 662	280	3 352	365 577	292 584	74 615	514	4 869	372 582
Tacna	162 334	34 066	2 070	1 771	200 241	165 067	34 132	2 477	2 316	203 992	164 958	34 823	3 213	3 002	205 996
Tumbes	85 278	16 444	1 811	646	104 179	84 911	16 107	1 861	884	103 763	85 979	17 524	2 062	1 239	106 804
Ucayali	168 301	40 737	79	1 103	210 220	167 163	38 830	159	1 706	207 858	169 186	39 518	314	2 384	211 402
Sin LAC	3 333 858	1 172 693	-	-	4 506 551	3 386 627	1 192 087	-	-	4 578 714	3 450 657	1 154 717	-	-	4 605 374
<b>Nivel Nacional</b>	<b>12 452 245</b>	<b>8 535 039</b>	<b>693 964</b>	<b>85 460</b>	<b>21 766 708</b>	<b>12 473 407</b>	<b>8 481 694</b>	<b>727 268</b>	<b>121 481</b>	<b>21 803 850</b>	<b>12 563 931</b>	<b>8 586 329</b>	<b>817 811</b>	<b>167 523</b>	<b>22 135 594</b>

Nota: El indicador Sin LAC (Localization Area Code) captura la cantidad de dispositivos móviles a las que no se les haya podido asignar un Código de Área de Localización por razones tales como falta de cobertura geográfica del servicio, terminales móviles apagados, desactivados u otras causas similares.

Fuente: Empresas Operadoras.

Elaboración: DGRAIC-MTC.

**Número de Líneas de Contrato de Telefonía Móvil en Servicio por Empresa y Región**

Región	Octubre 2014					Noviembre 2014					Diciembre 2014				
	Telefónica del Perú S.A.A.	América Móvil Perú S.A.C.	Entel Perú S.A.	Viettel Perú S.A.C.	Total	Telefónica del Perú S.A.A.	América Móvil Perú S.A.C.	Entel Perú S.A.	Viettel Perú S.A.C.	Total	Telefónica del Perú S.A.A.	América Móvil Perú S.A.C.	Entel Perú S.A.	Viettel Perú S.A.C.	Total
	Amazonas	48 308	6 931	16	694	<b>55 949</b>	48 624	6 648	24	1 027	<b>56 323</b>	50 025	7 734	26	1 594
Ancash	157 657	47 714	42 618	5 146	<b>253 135</b>	157 876	47 638	42 810	10 603	<b>258 927</b>	160 415	53 218	42 525	16 628	<b>272 786</b>
Apurímac	31 336	33 747	47	221	<b>65 351</b>	31 427	34 180	50	411	<b>66 068</b>	31 122	32 784	55	731	<b>64 692</b>
Arequipa	236 015	265 803	11 599	3 429	<b>516 846</b>	236 825	270 232	14 466	5 473	<b>526 996</b>	236 630	272 281	16 632	8 316	<b>533 859</b>
Ayacucho	99 635	21 504	32	3 200	<b>124 371</b>	100 374	20 913	39	4 793	<b>126 119</b>	99 119	20 536	49	6 343	<b>126 047</b>
Cajamarca	181 501	63 173	454	1 673	<b>246 801</b>	180 256	62 500	849	3 003	<b>246 608</b>	179 228	61 464	1 463	4 980	<b>247 135</b>
Cusco	84 190	154 430	3 838	1 633	<b>244 091</b>	81 944	153 761	4 583	2 474	<b>242 762</b>	81 419	161 466	5 101	3 522	<b>251 508</b>
Huancavelica	23 069	12 340	65	584	<b>36 058</b>	23 786	11 930	93	845	<b>36 654</b>	21 759	11 334	103	1 262	<b>34 458</b>
Huánuco	80 552	33 574	52	1 310	<b>115 488</b>	80 321	33 544	62	2 004	<b>115 931</b>	82 028	36 029	71	3 084	<b>121 212</b>
Ica	129 143	67 596	22 849	1 893	<b>221 481</b>	128 151	66 285	24 936	3 356	<b>222 728</b>	137 535	79 273	26 788	5 166	<b>248 762</b>
Junín	186 376	73 392	5 434	1 685	<b>266 887</b>	183 348	72 016	6 421	2 594	<b>264 379</b>	193 294	79 044	7 437	3 929	<b>283 704</b>
La Libertad	302 954	173 673	18 482	2 459	<b>497 568</b>	304 442	178 187	21 043	6 282	<b>509 954</b>	312 239	185 665	22 270	10 602	<b>530 776</b>
Lambayeque	258 580	61 602	9 937	1 360	<b>331 479</b>	257 156	62 407	11 216	2 920	<b>333 699</b>	271 267	69 289	11 977	5 760	<b>358 293</b>
<b>Lima y Callao</b>	<b>1 657 033</b>	<b>2 066 744</b>	<b>691 071</b>	<b>10 782</b>	<b>4 425 630</b>	<b>1 697 629</b>	<b>2 090 117</b>	<b>728 855</b>	<b>22 459</b>	<b>4 539 060</b>	<b>1 635 476</b>	<b>2 042 930</b>	<b>746 758</b>	<b>40 071</b>	<b>4 465 235</b>
Loreto	102 964	17 369	56	604	<b>120 993</b>	104 036	17 247	76	1 540	<b>122 899</b>	104 733	18 093	77	3 748	<b>126 651</b>
Madre de Dios	6 495	23 832	14	552	<b>30 893</b>	6 513	24 809	21	1 104	<b>32 447</b>	5 766	24 764	22	2 036	<b>32 588</b>
Moquegua	47 382	20 870	1 072	2 378	<b>71 702</b>	47 627	20 480	1 287	3 252	<b>72 646</b>	48 304	23 343	1 505	4 314	<b>77 466</b>
Pasco	37 325	12 047	36	692	<b>50 100</b>	38 323	11 763	46	876	<b>51 008</b>	36 612	12 377	49	1 172	<b>50 210</b>
Piura	287 895	71 280	25 795	2 469	<b>387 439</b>	285 441	70 077	27 939	5 278	<b>388 735</b>	294 731	79 892	29 106	8 704	<b>412 433</b>
Puno	98 335	66 503	2 755	5 022	<b>172 615</b>	96 597	66 302	3 524	7 424	<b>173 847</b>	96 864	68 548	4 157	10 437	<b>180 006</b>
San Martín	135 224	17 970	69	1 431	<b>154 694</b>	135 742	17 389	80	2 592	<b>155 803</b>	139 395	20 023	88	4 788	<b>164 294</b>
Tacna	86 843	28 224	3 231	1 477	<b>119 775</b>	87 947	29 525	3 818	2 317	<b>123 607</b>	86 489	31 618	4 072	3 426	<b>125 605</b>
Tumbes	55 364	10 564	1 722	657	<b>68 307</b>	55 965	10 270	1 938	1 242	<b>69 415</b>	59 345	14 114	1 976	2 161	<b>77 596</b>
Ucayali	87 326	14 054	43	412	<b>101 835</b>	87 544	13 177	50	1 221	<b>101 992</b>	88 368	13 347	51	2 526	<b>104 292</b>
Sin LAC	319 947	467 523	-	-	<b>787 470</b>	306 504	479 955	-	-	<b>786 459</b>	302 704	492 755	-	3	<b>795 462</b>
<b>Nivel Nacional</b>	<b>4 741 449</b>	<b>3 832 459</b>	<b>841 287</b>	<b>51 763</b>	<b>9 466 958</b>	<b>4 764 398</b>	<b>3 871 352</b>	<b>894 226</b>	<b>95 090</b>	<b>9 625 066</b>	<b>4 754 867</b>	<b>3 911 921</b>	<b>922 358</b>	<b>155 303</b>	<b>9 744 449</b>

Nota: El indicador Sin LAC (Localization Area Code) captura la cantidad de dispositivos móviles a las que no se les haya podido asignar un Código de Área de Localización por razones tales como falta de cobertura geográfica del servicio, terminales móviles apagados, desactivados u otras causas similares.

Fuente: Empresas Operadoras.

Elaboración: DGRAIC-MTC.

Número de Líneas de Telefonía Móvil en Servicio por Modalidad Contractual y Región

Región	Octubre 2014			Noviembre 2014			Diciembre 2014			Participación de Modalidad Contractual por Región, Diciembre 2014 (%)		
	Prepago	Contrato	Total	Prepago	Contrato	Total	Prepago	Contrato	Total	Prepago	Contrato	Total
Amazonas	167 210	55 949	<b>223 159</b>	166 966	56 323	<b>223 289</b>	170 936	59 379	<b>230 315</b>	74.2	25.8	<b>100</b>
Ancash	679 514	253 135	<b>932 649</b>	676 758	258 927	<b>935 685</b>	681 635	272 786	<b>954 421</b>	71.4	28.6	<b>100</b>
Apurímac	251 758	65 351	<b>317 109</b>	248 940	66 068	<b>315 008</b>	245 403	64 692	<b>310 095</b>	79.1	20.9	<b>100</b>
Arequipa	903 778	516 846	<b>1 420 624</b>	908 913	526 996	<b>1 435 909</b>	914 797	533 859	<b>1 448 656</b>	63.1	36.9	<b>100</b>
Ayacucho	377 057	124 371	<b>501 428</b>	377 050	126 119	<b>503 169</b>	373 898	126 047	<b>499 945</b>	74.8	25.2	<b>100</b>
Cajamarca	721 759	246 801	<b>968 560</b>	715 842	246 608	<b>962 450</b>	713 576	247 135	<b>960 711</b>	74.3	25.7	<b>100</b>
Cusco	790 316	244 091	<b>1 034 407</b>	774 796	242 762	<b>1 017 558</b>	788 991	251 508	<b>1 040 499</b>	75.8	24.2	<b>100</b>
Huancavelica	208 694	36 058	<b>244 752</b>	202 441	36 654	<b>239 095</b>	199 039	34 458	<b>233 497</b>	85.2	14.8	<b>100</b>
Huánuco	403 700	115 488	<b>519 188</b>	399 565	115 931	<b>515 496</b>	404 721	121 212	<b>525 933</b>	77.0	23.0	<b>100</b>
Ica	513 451	221 481	<b>734 932</b>	512 869	222 728	<b>735 597</b>	532 488	248 762	<b>781 250</b>	68.2	31.8	<b>100</b>
Junín	712 859	266 887	<b>979 746</b>	702 728	264 379	<b>967 107</b>	727 601	283 704	<b>1 011 305</b>	71.9	28.1	<b>100</b>
La Libertad	974 815	497 568	<b>1 472 383</b>	978 872	509 954	<b>1 488 826</b>	1 004 528	530 776	<b>1 535 304</b>	65.4	34.6	<b>100</b>
Lambayeque	585 737	331 479	<b>917 216</b>	584 188	333 699	<b>917 887</b>	609 153	358 293	<b>967 446</b>	63.0	37.0	<b>100</b>
<b>Lima y Callao</b>	<b>6 693 405</b>	<b>4 425 630</b>	<b>11 119 035</b>	<b>6 721 915</b>	<b>4 539 060</b>	<b>11 260 975</b>	<b>6 850 536</b>	<b>4 465 235</b>	<b>11 315 771</b>	<b>60.5</b>	<b>39.5</b>	<b>100</b>
Loreto	275 353	120 993	<b>396 346</b>	277 217	122 899	<b>400 116</b>	283 570	126 651	<b>410 221</b>	69.1	30.9	<b>100</b>
Madre de Dios	122 982	30 893	<b>153 875</b>	124 669	32 447	<b>157 116</b>	122 699	32 588	<b>155 287</b>	79.0	21.0	<b>100</b>
Moquegua	104 112	71 702	<b>175 814</b>	104 759	72 646	<b>177 405</b>	107 008	77 466	<b>184 474</b>	58.0	42.0	<b>100</b>
Pasco	148 237	50 100	<b>198 337</b>	147 670	51 008	<b>198 678</b>	147 040	50 210	<b>197 250</b>	74.5	25.5	<b>100</b>
Piura	865 799	387 439	<b>1 253 238</b>	857 246	388 735	<b>1 245 981</b>	878 146	412 433	<b>1 290 579</b>	68.0	32.0	<b>100</b>
Puno	879 857	172 615	<b>1 052 472</b>	860 542	173 847	<b>1 034 389</b>	877 671	180 006	<b>1 057 677</b>	83.0	17.0	<b>100</b>
San Martín	365 124	154 694	<b>519 818</b>	365 577	155 803	<b>521 380</b>	372 582	164 294	<b>536 876</b>	69.4	30.6	<b>100</b>
Tacna	200 241	119 775	<b>320 016</b>	203 992	123 607	<b>327 599</b>	205 996	125 605	<b>331 601</b>	62.1	37.9	<b>100</b>
Tumbes	104 179	68 307	<b>172 486</b>	103 763	69 415	<b>173 178</b>	106 804	77 596	<b>184 400</b>	57.9	42.1	<b>100</b>
Ucayali	210 220	101 835	<b>312 055</b>	207 858	101 992	<b>309 850</b>	211 402	104 292	<b>315 694</b>	67.0	33.0	<b>100</b>
Sin LAC	4 506 551	787 470	<b>5 294 021</b>	4 578 714	786 459	<b>5 365 173</b>	4 605 374	795 462	<b>5 400 836</b>	85.3	14.7	<b>100</b>
<b>Nivel Nacional</b>	<b>21 766 708</b>	<b>9 466 958</b>	<b>31 233 666</b>	<b>21 803 850</b>	<b>9 625 066</b>	<b>31 428 916</b>	<b>22 135 594</b>	<b>9 744 449</b>	<b>31 880 043</b>	<b>69.4</b>	<b>30.6</b>	<b>100</b>

Nota: El indicador Sin LAC (Localization Area Code) captura la cantidad de dispositivos móviles a las que no se les haya podido asignar un Código de Área de Localización por razones tales como falta de cobertura geográfica del servicio, terminales móviles apagados, desactivados u otras causas similares.

Fuente: Empresas Operadoras.

Elaboración: DGRAIC-MTC.