



Universidad Inca Garcilaso de la Vega

Nuevos Tiempos. Nuevas Ideas

Facultad de Ingeniería de Sistemas, Cómputo y Telecomunicaciones

Implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR para la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro

Tesis para optar el Título de Ingeniero de Sistemas y Cómputo

Bach. Carol Milagros Princess Reyes Campos

Asesor

MSc. Raúl Díaz Rojas

Lima – Perú

Diciembre de 2017

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis padres
y hermanas, gracias por el apoyo
que me brindaron en toda mi
etapa universitaria



ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 Situación Problemática.....	15
1.2 Problema de la investigación.....	18
1.3 Objetivos.....	18
1.4 Justificación.....	19
1.5 Alcance.....	19
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes de la investigación.....	20
2.2 Bases teóricas.....	22
2.2.1 Sistema distribuido de antenas (DAS).....	22
2.2.2 Tercera Generación 3G/WCDMA.....	28
2.2.3 Cuarta Generación 4G /LTE.....	30
2.2.4 Bandas y frecuencias WDCMA / LTE usadas en Perú.....	31
2.2.5 SISO (Salida única de entrada única).....	32
2.2.6 MIMO (Técnica multi antenna).....	32
2.2.7 Metodología TOP-DOWN NETWORK.....	34
2.3 Glosario de términos.....	36
CAPÍTULO 3: VARIABLES E HIPÓTESIS.....	38
3.1 Variables e Indicadores.....	38

3.2	Hipótesis	39
3.3	Matriz de coherencia interna.....	39
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE DESARROLLO		40
4.1	Fase de Análisis.....	42
4.1.1	Análisis de los objetivos y limitaciones de negocio.....	42
4.1.2	Análisis de objetivos técnicos y sus limitaciones.....	43
4.1.3	Caracterización de la red existente.....	43
4.1.4	Caracterización del tráfico de la red.....	44
4.2	Fase de diseño.....	45
4.2.1	Construcción del área de cobertura	45
4.2.2	Construcción del diseño	46
4.3	Fase de Pruebas, optimización y documentación del diseño de red.....	46
4.3.1	Probando el diseño de red	46
4.3.2	Optimización del diseño de red.....	47
4.4	Fase de Implementación	48
CAPÍTULO 5: SOLUCIÓN TECNOLÓGICA.....		49
5.1	Fase de Análisis.....	49
5.1.1	Análisis de los objetivos y limitaciones de negocio.....	49
5.1.2	Análisis de objetivos y sus limitaciones.....	51
5.1.3	Características de la red existente	52
5.1.4	Caracterización del tráfico de la red.....	53
5.2	Fase de diseño.....	66
5.2.1	Construcción del área de cobertura	66
5.2.2	Construcción del diseño	69
5.3	Fase de Pruebas, optimización y documentación del diseño de red.....	82
5.3.1	Probando diseño de red.....	82
5.3.2	Optimización del diseño de red.....	92
5.4	Fase de Implementación	95
CAPÍTULO 6: RESULTADOS		96
CONCLUSIONES.....		101

RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXO 1: DATASHEET DE EQUIPOS.....	105
ANEXO 2: MATRIZ DE COHERENCIA INTERNA.....	115
ANEXO 3: CUADRO DE POTENCIAS.....	117
ANEXO 4: INSTALACIÓN DE EQUIPOS.....	119
ANEXO 5: CUMPLIMIENTO DE KPI PARA 3G Y 4G DE PISOS INSTALADOS.....	122



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de líneas móviles en servicio.....	13
Figura 2: Cantidad mensual de líneas móviles portadas en Perú	15
Figura 3: Total de líneas móviles que accedieron a Internet.....	16
Figura 4: Señal en San Isidro	17
Figura 5: Esquema general del sistema	22
Figura 6: Arquitectura típica de distribución DAS activo.....	23
Figura 7: Arquitectura típica de distribución DAS pasivo.....	24
Figura 8: Carga o Terminador.....	27
Figura 9: Un combinador de 4 puertos usando solo 2 puertos	27
Figura 10: Un despliegue de antenas combinando 2 tecnologías (TRX1 y TRX2).....	28
Figura 11: Evolución de tecnología hasta 3G	29
Figura 12: Próxima evolución de 4G	30
Figura 13: Canal estándar de uso de técnica SISO.....	32
Figura 14: Comportamiento de señal MIMO en un ambiente típico	33
Figura 15: Fases de la metodología TOP DOWN.....	34
Figura 16: Ejemplo de documento de TSS.....	42
Figura 17: Equipo JDSU (SAMSUNG5S) y LOGS generados	43
Figura 18: Estaciones vecinas que impactan al edificio X.....	44
Figura 19: Ejemplo de PLOT	45
Figura 20: Plano del edificio X con área de cobertura definida.....	45
Figura 21: Software a utilizar-IBwave	46
Figura 22: Predicción RSRP en el edificio X.....	47
Figura 23: Ejemplo de patrón de radiación de una antena omnidireccional	47
Figura 24: Antena Panel instalada en el edificio X con su respectiva etiqueta.....	48
Figura 25: TSS Realizado en el piso 07	50

Figura 26: TSS Realizado en el sótano 02	51
Figura 27: Entregable del Walk-Test de todos los pisos	52
Figura 28: Estaciones vecinas que impactan al edificio Begonias.....	53
Figura 29: Plot de RSCP del piso 07	55
Figura 30: Grafico de Niveles de RSCP en piso 07	56
Figura 31: Plot EC/NO del piso 07	57
Figura 32: Grafico de Niveles de ECNO en piso 07	58
Figura 33: Plot Scrambling Code (PSC) del piso 07.....	59
Figura 34: Plot de RSRP del piso 07.....	59
Figura 35: Grafico de Niveles de RSRP en piso 07	60
Figura 36: Plot de RSCP del sótano 02	61
Figura 37: Grafico de Niveles de RSCP en sótano 02	62
Figura 38: Plot EC/NO del sótano 02.....	62
Figura 39: Grafico de Niveles de ECNO del sótano 02	63
Figura 40: Plot Scrambling Code (PSC) del sótano 02.....	64
Figura 41: Plot de cobertura RSRP del sótano 02.....	64
Figura 42: Grafico de Niveles de RSRP en sótano 02	65
Figura 43: Planos del Piso 3 hasta el piso 26	66
Figura 44: Planos del Sótano 3 hasta el sótano 7	67
Figura 45: Planos del piso 02	67
Figura 46: Planos del piso 01	68
Figura 47: Configuración de la base de datos del software.....	69
Figura 48: Creación del proyecto	69
Figura 49: Configuración de planos en IBwave	70
Figura 50: Configuración de punto de referencia.....	70
Figura 51: Diseño del edificio en 3D	71
Figura 52: Estructura de etiquetado de elementos	72

Figura 53: Distribución de antenas piso 07	74
Figura 54: Distribución de antenas sótano 02	75
Figura 55: Ubicación de equipos de transmisión en piso 7	76
Figura 56: Ubicación de equipos de transmisión en sótano 2	77
Figura 57: Unilineal de sótanos.....	78
Figura 58: Unilineal de pisos 7,8 y 9	79
Figura 59: Predicciones de RSCP	82
Figura 60: Predicciones de EC/NO	83
Figura 61: Predicciones de PSC	84
Figura 62: Predicciones de RSRP	85
Figura 63: Predicciones de DataRate	86
Figura 64: Predicciones de RSCP en sótano 02	87
Figura 65: Predicciones de ECNO en sótano 02	88
Figura 66: Predicciones de PSC en sótano 02.....	89
Figura 67: Predicciones de RSRP en sótano 02	90
Figura 68: Predicciones de DataRate en sótano 02	91
Figura 69: Patrón de radiación de antenas en piso 7	93
Figura 70: Patrón de radiación de antenas en sótano 02	94
Figura 71: Pruebas de Llamadas	96
Figura 72: Resultados de señal de post-instalación de RSCP	97
Figura 73: Resultados de señal de post-instalación de EC/NO.....	98
Figura 74: Resultados de señal de post-instalación de PSC.....	98
Figura 75: Resultados de señal de post-instalación de RSRP	99
Figura 76: Resultados de señal de post-instalación de DataRate	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cable súper-flexible (SFC12-50)	25
Tabla 2: Cable flexible de media (LCF12-50J).....	25
Tabla 3: Cable rígido 7/8 (LCF78-50J).....	25
Tabla 4: Tipos de Splitter RFS y sus características generales	26
Tabla 5: Características Generales de Coupler RFS	27
Tabla 6: Frecuencias establecidas por el Ministerio de transporte y comunicaciones.....	31
Tabla 7: Bandas y frecuencias asignadas por operador en el Perú.....	32
Tabla 8: Objetivos técnicos de la Metodología TOP-DOWN.....	35
Tabla 9: Adaptación de metodología TOP DOWN NETWORK DESIGN.....	41
Tabla 10: Empresas ubicadas dentro del edificio.....	49
Tabla 11: Porcentaje de cumplimiento de señal por piso.....	54
Tabla 12: Interpretación de Cobertura RSCP en piso 7	56
Tabla 13: Interpretación de Cobertura EC/NO en piso 7	58
Tabla 14: Interpretación de Cobertura RSRP en piso 7	60
Tabla 15: Interpretación de Cobertura RSCP del sótano 02	61
Tabla 16: Interpretación de Cobertura EC/NO del sótano 02	63
Tabla 17: Interpretación de Cobertura RSRP en sótano 02	65
Tabla 18: Descripción de Equipos de carga	71
Tabla 19: Elementos pasivos para el diseño.....	72
Tabla 20: Distribución de sectores	73
Tabla 21: Tabla de distribución de RRH y RRU	76
Tabla 22: Lista de Materiales de todos los pisos.....	81
Tabla 23: Tabla de reporte de cálculo de potencias	93
Tabla 24: Tabla de elementos pasivos.....	95



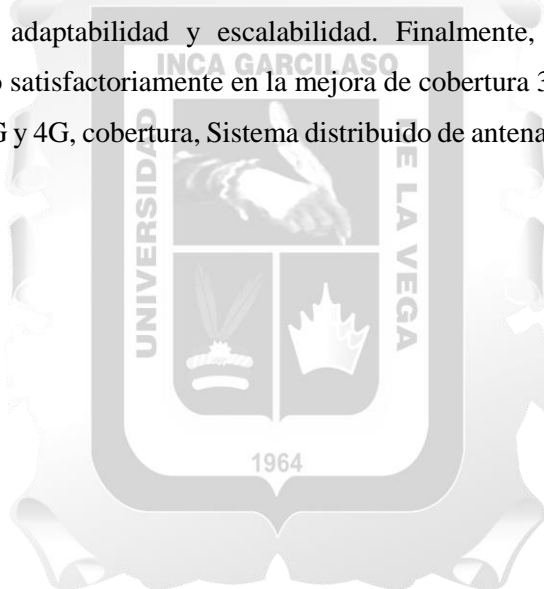
RESUMEN

Las comunicaciones móviles se convirtieron en una necesidad para personas, organizaciones y ciudades, ya que permiten generar conexiones entre ellas. En algunos lugares, como edificios, tiendas y casas, dependiendo de su estructura, materiales y ubicaciones dificultarán la óptima propagación de señal de las redes outdoor.

La presente investigación se centra en proponer un sistema distribuido de antenas para el edificio Begonias, el cual no cuenta con un óptimo nivel de cobertura 3G y 4G, los trabajadores en las diferentes empresas ubicadas dentro del edificio no pueden realizar llamadas satisfactoriamente y su conectividad de internet no es la óptima.

El propósito es implementar un diseño distribuido de antenas para la mejora de cobertura 3G y 4G. Para el desarrollo de esa solución se adaptó la metodología Top Down Network Design. Los resultados obtenidos en las pruebas de post-proceso y las predicciones de diseños elaborada en este trabajo de investigación indicaron que el diseño y la implementación del sistema distribuido de antenas cumple los indicadores de disponibilidad, rendimiento, adaptabilidad y escalabilidad. Finalmente, se concluye que el sistema distribuido de antenas influyó satisfactoriamente en la mejora de cobertura 3G y 4G.

Palabras clave: Tecnología 3G y 4G, cobertura, Sistema distribuido de antenas, Top Down Network Design.



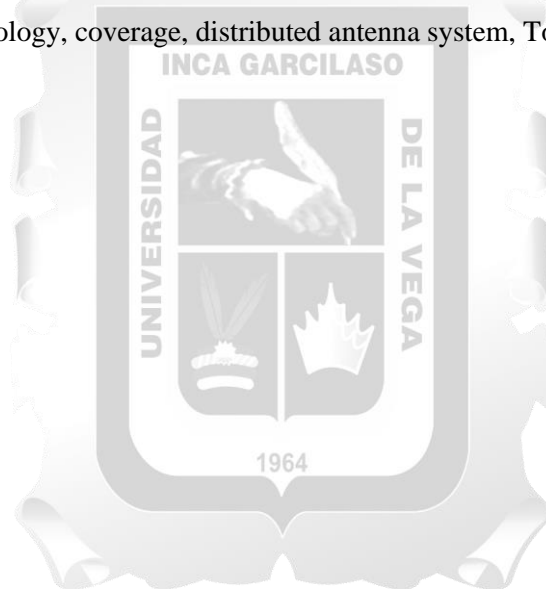
ABSTRACT

Mobile communications became a necessity for people, organizations and cities, since they allow to generate connections between them. In some places, such as buildings, shops and houses, depending on their structure, materials and locations will hinder the optimal signal propagation of outdoor networks.

The present investigation focuses on proposing a distributed system of antennas for the Begonias building, which does not have a 3G and 4G coverage level, the workers in the different companies located inside the building can't make calls satisfactorily and their connectivity Internet is not optimal.

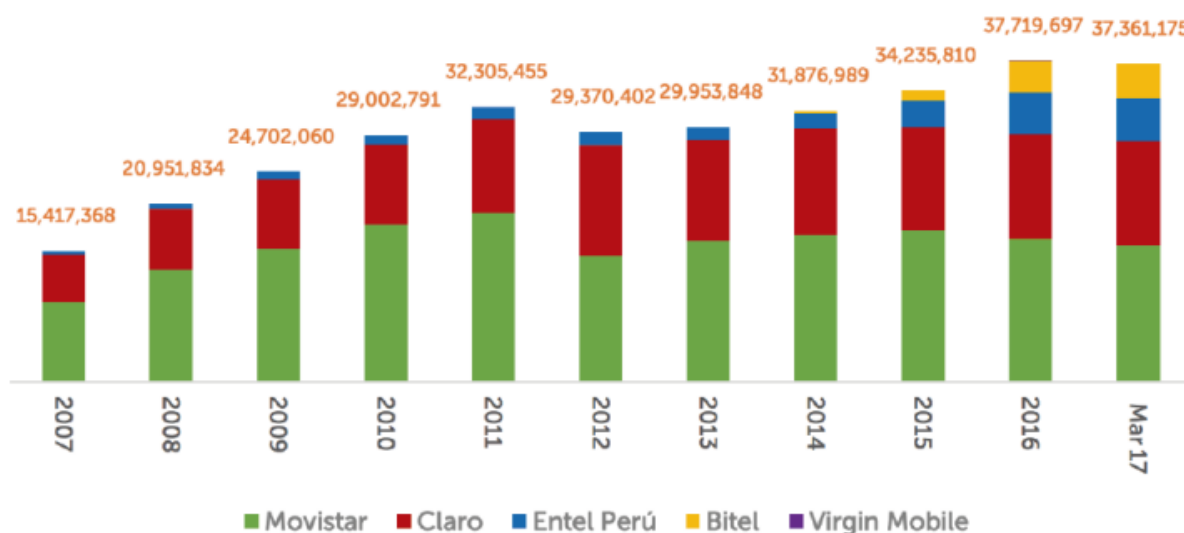
The purpose is to implement a distributed antenna design for the improvement of 3G and 4G coverage. For the development of this solution, it was adapted to the Top Down Network Design methodology. The results obtained in the post-process tests and the predictions of designs elaborated in this research work indicated that the design and implementation of the distributed antenna system meet the indicators of availability, performance, adaptability and scalability. Finally, it is concluded that the distributed antenna system successfully influenced the improvement of 3G and 4G coverage.

Keywords: 3G and 4G technology, coverage, distributed antenna system, Top down Network Design.



INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil ha crecido exponencialmente debido a la demanda de usuarios y servicios que esta tiene, también por la constante evolución de las tecnologías. En la figura 1 se muestra el diagrama de la evolución de líneas móviles en servicio desde el 2007 al 2017 realizado por el Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTTEL) en donde se evidencia un crecimiento constante con el paso del tiempo.



*Figura 1: Evolución de líneas móviles en servicio
Fuente: (OSIPTTEL, 2017)*

La telefonía móvil pasó a ser una necesidad vital por diferentes factores por ejemplo al establecer un negocio, siempre debes estar conectado con el cliente. En el 2017 se puede decir que todas las actividades humanas están regidas por la necesidad de estar siempre conectados y comunicados. Por ello resulta necesario que la cobertura móvil esté disponible en todo momento. Sin embargo, esto no ocurre siempre, siendo muy común quedar sin señal dentro de una edificación. En las edificaciones empresariales es inaceptable que el servicio móvil no sea el óptimo y no satisfaga al usuario, ya que la comunicación es vital para los negocios, para poder establecer contacto con los clientes y general contactos alrededor del mundo, y establecer negocios.

La presente tesis se estructura en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Desarrollo del planteamiento del problema, en el que describe la situación problemática, el problema de la investigación (generales, específicos) y objetivos (generales, específicos).
- Capítulo 2: Desarrollo del Marco Teórico, en el que describe los antecedentes de la investigación, bases teóricas y glosarios.
- Capítulo 3: Desarrollo de las Variables e Hipótesis, en el que describe las variables, indicadores e hipótesis del trabajo de investigación.

- Capítulo 4: Metodología de desarrollo en él se describe los pasos a seguir para la adecuación de la metodología al presente trabajo de investigación.
- Capítulo 5: Solución Tecnológica se desarrolla de acuerdo a los pasos de la metodología en la descrita paso a paso en el capítulo 4.
- Capítulo 6: Se describen los resultados obtenidos en base a las variables del capítulo 3.

Finalizando con las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.



Capítulo 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se muestra la situación problemática sobre la cual se desarrolló la tesis, además, los problemas y los objetivos tanto generales como específicos; concluyendo con la justificación y alcance del trabajo de investigación en relación con la problemática planteada.

1.1 Situación Problemática

Con el transcurso de los años las tecnologías de la comunicación han evolucionado hasta el punto de llegar a convertirse en una necesidad vital para las personas, uno de los principales motivos fue permitir una comunicación desde cualquier parte del mundo, con este motivo uno de los beneficios es la capacidad de gestionar negocios desde cualquier parte con solo una llamada. En el 2017 se puede decir que todas las actividades humanas están regidas por la necesidad de estar siempre conectados y comunicados. Por ello resulta necesario que la cobertura móvil sea óptima y esté disponible en todo momento.

La necesidad del usuario no queda solamente en comunicaciones de voz, con el transcurrir del tiempo se hizo necesario el acceso a otras tecnologías de comunicaciones; entre la más evolutiva esta la conexión a internet, cuya evolución inicia desde las tecnologías de código de división de acceso múltiple (CDMA), segunda generación (2G) hacia las tecnológicas tercera generación (3G) y cuarta generación (4G).

En Perú el servicio de conectividad ha crecido de forma exponencial según muestra el cuadro realizado por OSIPTEL, en el 2017 contamos con 269,172 líneas portadas que van en aumento como se muestra en la figura 2 donde las estadísticas de la cantidad mensual de líneas móviles se incrementan desde junio de 2014 hasta julio de 2017.

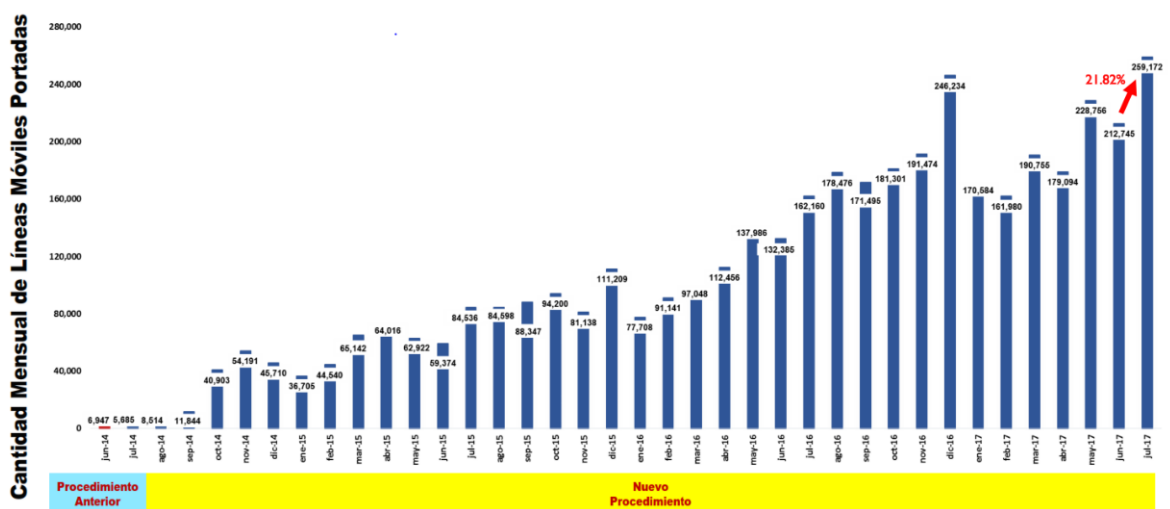


Figura 2: Cantidad mensual de líneas móviles portadas en Perú

Fuente: (OSIPTEL, 2017)

Por otro lado, también creció de forma vertical la conectividad de internet, tal es así que se registró de acuerdo a las estadísticas de accesibilidad de internet generadas por OSIPTEL donde se muestra que el total de líneas móviles que accedieron a Internet en Perú ha incrementado en un 61% desde comienzos de 2014 hasta fines de 2016 y además que de un total de 179000 personas que se conectaron a internet, 17700 se conectaron desde sus dispositivos móviles y el resto desde otros dispositivos, como se muestra en la figura 3

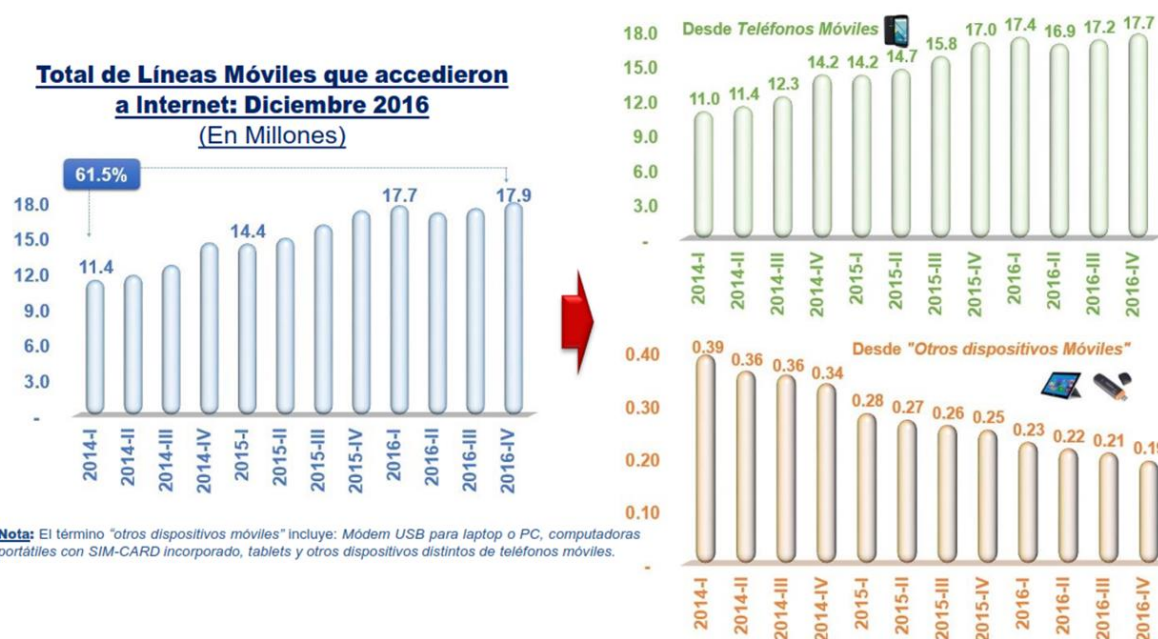


Figura 3: Total de Líneas Móviles que accedieron a Internet
Fuente: (OSIPTEL, 2016)

Los servicios desplegados para la cobertura masiva de comunicaciones por diferentes operadoras como Claro, Entel, Bitel y Movistar, logran ser implementados en distintas zonas geográficas que cuenten con las características necesarias para poder implementar un despliegue de cobertura. Sin embargo, en Lima, existen zonas sin cobertura que en su mayoría se encuentran en edificios, centros comerciales y hospitales denominados huecos de cobertura, ellos se deben a los diferentes factores que degradan la señal, tales como las características de una edificación: la planimetría, material de construcción, debido a ello existe la necesidad de realizar un estudio que permita la evaluación de una solución para la mejora de cobertura.

La solución propone mejorar la cobertura del edificio Begonias ubicado en el distrito de San Isidro, realizando una investigación de la situación actual en la figura 4 se muestra la cobertura de las distintas operadoras y tecnologías implementadas en la zona de San Isidro. Según OSIPTEL en esta zona las operadoras que cuentan con cobertura telefónica móvil son Claro, Bitel, Movistar y Entel. También muestra que Claro, Movistar, Entel cuentan con tecnologías 2G, 2.5G, 3G, 3.5G y 4G a diferencia de Bitel que solo cuenta con 3G, 3.5G y 4G.



Figura 4: Señal en San Isidro
Fuente: (OSIPTEL, 2017)



1.2 Problema de la investigación

Problema General:

¿En qué medida la implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?

Problemas Específicos:

- ¿En qué medida el nivel disponibilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?
- ¿En qué medida el nivel de adaptabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?
- ¿En qué medida el nivel de escalabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?
- ¿En qué medida el nivel de rendimiento de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?

1.3 Objetivos

Objetivo General

Determinar la influencia de la implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR para la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.

Objetivos Específicos

- Determinar el nivel de disponibilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.
- Determinar el nivel de adaptabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.
- Determinar el nivel de escalabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.
- Determinar el nivel de rendimiento de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.

1.4 Justificación

El presente trabajo de investigación, surge de la necesidad de comunicación y conectividad de las personas del edificio Begonias, al realizar el estudio se observó que la comunicación en el Edificio Begonias habitado por más de 3000 personas no es la óptima ya que cuenta con una baja cobertura celular (interferencias, cortes, ruido). Para ello, la propuesta se orienta en implementar un sistema distribuido de antenas para la mejora de cobertura 3G y 4G.

Uno de los beneficios de la implementación de un sistema distribuido de antenas es reducir la congestión de las macro celdas y facilitar la propagación de la señal alcanzando los lugares más inaccesibles como un sótano.

Según, Morten Tolstrup en el libro INDOOR Radio Planning, third Edition, menciona que un sistema distribuido de antenas en ambientes indoor ayuda en la mejora de cobertura con sus distintos componentes que se distribuyen en el plano, el uso de la técnica MIMO desempeñan un papel importante en el diseño DAS (Sistema distribuido de antenas), y son necesarios para encontrar el camino para obtener las velocidades de datos inalámbricas más altas posibles. (Tolstrup,2008)

1.5 Alcance

El desarrollo del presente trabajo considera las siguientes actividades:

- Realizar un estudio de campo (TSS) para identificar estructura del edificio y divisiones de este.
- Medición de pruebas de cobertura (LOGS) para ver sus niveles de cobertura previa.
- Procesar las pruebas de cobertura para obtener las tramas de cobertura (PLOTS) en la herramienta eDat (Programa para procesar LOGS) para obtener medidas previas.
- Diseñar un sistema distribuido mediante el uso de la herramienta IBwave (Programa para diseño) para simular la cobertura en el edificio Begonias el cual comprende todo el edificio.
- Solo se evidencia el análisis de los resultados en la presente tesis del piso 7 y sótano 02.
- Instalación del diseño propuestos en los sótanos (01 al 07) y los pisos 7, 8 y 9 de los cuales se pondrá en evidencia el análisis de los resultados en el piso 7.
- Pruebas Post Instalación para obtener los niveles de cobertura mejorada. Se realiza el walk test de los pisos instalados (piso 7, 8, 9 y sótanos 01-07) poniendo en evidencia el análisis de resultados del piso 07 y sótano 2.

Capítulo 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

- Núñez Coral, Jimmy Alexander (2013), **Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3GPP y la recomendación ITU-R M.1457**. Tesis para obtener el título de ingeniero. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. La industria de las telecomunicaciones, desde la perspectiva de actores, operadores, fabricantes y distribuidores, atraviesa por una serie de cambios relacionados con el despliegue de la banda ancha inalámbrica. Estos cambios implican desafíos, los cuales se aplican a cualquier mercado, en los cuales se encuentra establecido un operador móvil o un prestador de servicios móviles. Siendo el reto más importante migrar sus redes basadas en circuitos conmutados a redes All IP. El uso masificado de terminales móviles cada vez más sofisticadas y robustas hacen que el usuario demande más servicios. Por ello, el autor plantea la implementación de la tecnología LTE para cumplir todas las expectativas de velocidad tanto para los usuarios como para los operadores móviles. Las tecnologías NGN como LTE-A cumplen con las especificaciones de la recomendación ITU-R M. 1457 tanto en aspectos técnicos como de cobertura y servicio para redes de alta velocidad la cual se adoptó como la tecnología a usar bajo denominación 4G.
- Álvarez Paredes, Diana Carolina (2014), **Diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP**. Tesis para obtener título de ingeniero, Universidad Técnica del norte, Ibarra, Ecuador. La Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP.) tienen a su disposición la tecnología HSPA+ (High-Speed Packet Access) o más conocida como 3.9G, ofreciendo servicios convergentes entre la red fija y red móvil, servicios diferenciados de voz, valor agregado e internet de banda ancha móvil, permitiendo alcanzar velocidades de 21Mbps descarga y 5.76 Mbps subida. Sin embargo, estas prestaciones de servicio que ofrece HSPA+ no son suficientes para usuarios corporativos que día a día utilizan nuevas aplicaciones que requieren de mayor ancho de banda, es por ello que el pasado diciembre del 2012 el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) resolvió otorgar al operador estatal (CNT EP.). El autor terminando el diseño de la red LTE para el clúster 2 de la ciudad de Quito, pudo analizar el gran impacto que la nueva tecnología de cuarta generación ofrece en cuanto a prestación de servicios de banda ancha móvil, a través de los cuales se permite satisfacer las exigencias de los usuarios móviles, que cada día buscan estar a la par de la tecnología.

- Chancasana Cueto, Michael Eduardo (2015), **Diseño de una red 4G-LTE Indoor para el centro comercial Real Plaza Santa Clara**. Tesis para obtener el título de ingeniero. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Los frecuentes cambios en las comunicaciones móviles sumados al auge inmobiliario en los últimos años hacen complicado que las redes outdoor satisfagan las necesidades de cobertura y capacidad al interior de cada edificación; esto se debe a la limitante físico propio de las ciudades modernas que generan mayores retos a los diseñadores de redes celulares. Es por ello que surgen las redes indoor, como una solución para cubrir estas necesidades en lugares específicos con déficit de cobertura y alto tráfico de usuarios como: aeropuertos, centros comerciales, estadios; para así, mejorar el servicio y descongestionar la red outdoor. Con ello, el autor plantea un diseño de una red 4G-LTE Indoor para el centro comercial Real Plaza Santa Clara con los objetivos de mejorar la cobertura y aumentar la velocidad de acceso; con ello, ofrecer un mejor servicio que se traducirá en ganancias para el operador y satisfacción de los usuarios.

- Jaimes Carrero, Fabio (2016), **Propuesta de diseño e implementación de un sistema distribuido de antenas (DAS) para mejorar la red móvil del operador CLARO en el centro comercial Titán Plaza**. Tesis para obtener el título de ingeniero. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

El autor transcribe que debido al desarrollo de las telecomunicaciones móviles los operadores buscan implementar estrategias que mejoren la cobertura móvil en cuanto a intensidad y calidad. Hace un tiempo atrás el despliegue de infraestructura se realizaba por medio de estaciones base en puntos estratégicos urbanos y/o rurales. Este despliegue creció de forma exponencial, en términos normativos, no están fácil realizar la instalación de nuevas antenas en la actualidad. Por esto ha surgido una nueva solución que se implementa en espacios interiores para dar solución a los problemas de cobertura y capacidad móvil que se están presentando debido al incremento de usuarios. Es común ver como en espacios Indoor y más aun con gran afluencia de usuarios móviles se tengan problemas como caída de llamadas, ruidos en las llamadas, velocidad de datos lentos, debido a esto el objetivo de la siguiente investigación es realizar un estudio para la posible viabilidad de ejecución de un sistema distribuido de antenas en espacios interiores.

Por ello, el autor plantea la viabilidad para ejecutar el sistema DAS en el centro comercial Titán Plaza, garantizando una solución que satisfaga las necesidades del cliente en cuanto a los inconvenientes de tráfico de voz y datos móviles.

- Herrera Díaz, Francisco Paul (2017), **Análisis, Diseño e Implementación de una red de radio frecuencias con tecnologías GS y WCDMA con un sistema DAS, en el subsuelo 1 del edificio de TVCABLE para mejorar el servicio de telefonía celular.** Tesis para obtener título profesional. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Quito, Ecuador.

En autor señala que el deficiente servicio de telefonía celular dentro de las instalaciones del Grupo Tv Cable principalmente en el subsuelo 1, genera molestias entre los abonados pertenecientes a la operadora celular OTECEL S.A., ya que no es posible realizar llamadas, la navegación en internet causa molestias ya que no se cargan las páginas web, otro grave problema se tiene con el envío de mensajes SMS, o a través de redes sociales cuyos mensajes no son entregados a sus destinatarios debido a que no se tiene servicio celular adecuado. El ende el autor plantea en este trabajo como objetivo principal realizar un análisis, diseño e implementación de una red de radio frecuencia en las tecnologías GSM y WCDMA, que permita la inserción de una solución de radio frecuencia basada en un sistema de antenas distribuidas compatible con la diversidad de usuarios del subsuelo 1 del edificio de Tv Cable además del uso de aplicaciones dentro del sistema móvil avanzado.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema distribuido de antenas (DAS)

Taípe Ortiz, Mónica (2013) sostiene que un DAS es una red de antenas distribuidas, las cuales son separadas especialmente y conectadas por cable coaxial y/o fibra óptica que brinda servicios inalámbricos dentro de un edificio. Un DAS puede gestionarse directamente a través de un Nodo B o estación base y está compuesto por componentes activos o pasivos. Todo sistema distribuido de antenas celulares se compone de tres elementos básicos que son: la fuente de radio frecuencias (RF), el sistema de distribución y las antenas de cobertura. En la figura 5 se tiene el esquema general del diseño propuesto.

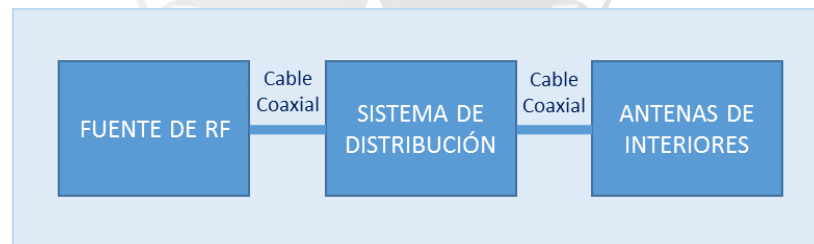
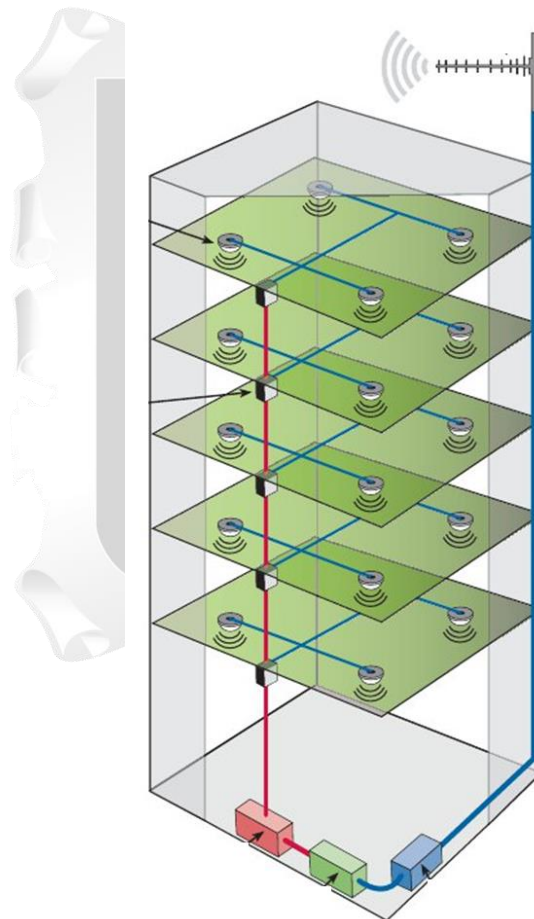


Figura 5: Esquema general del sistema
Fuente: (Taípe, 2017)

Según el autor Morten Tolstrup (2011) en su libro Indoor Radio Planning Segunda Edición define a un sistema DAS como un sistema distribuido de antenas que consiste en un método de diseño en el cual se divide y reparte la señal provista de la estación base indoor hacia las antenas requeridas; es primordial que las antenas operen a similares potencias para que sea más fácil de optimizar. La cantidad y tipo de antenas depende de los requerimientos, dimensión de diseño y tecnología móvil.

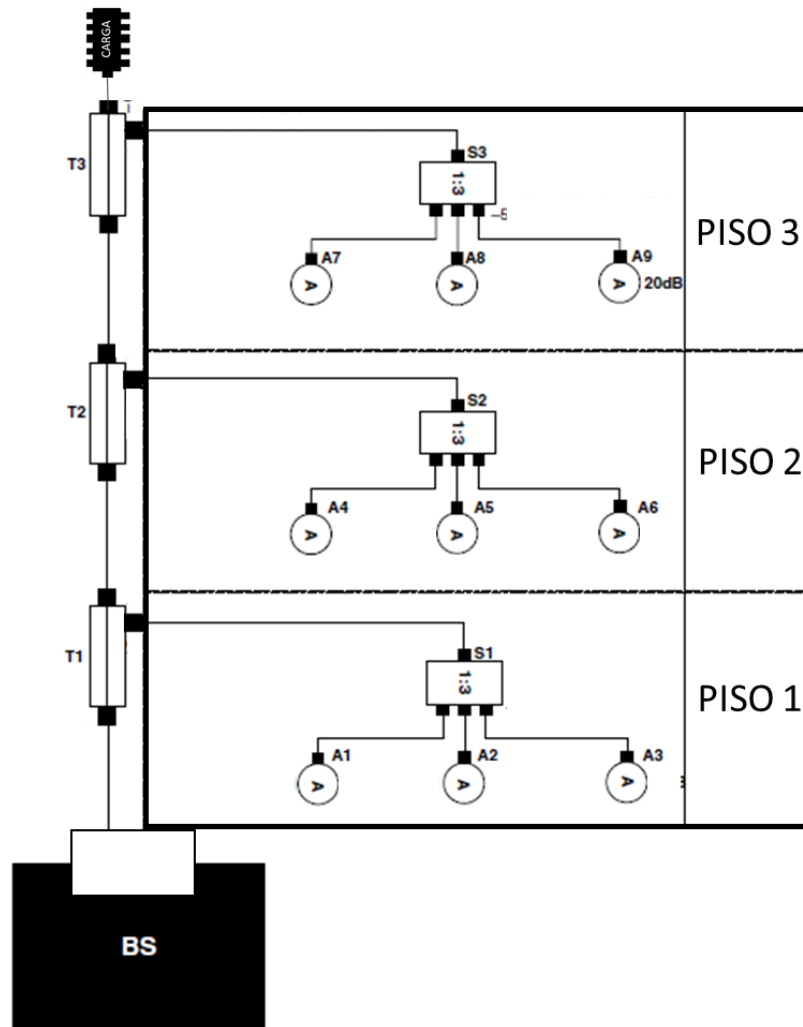
Existen 3 tipos de sistemas distribuidos de antenas (DAS) los cuales son mencionados a continuación:

- **DAS Activo:** Utiliza fibra óptica y cable coaxial para distribuir la señal y amplificadores para aumentar la señal (elementos activos). Un DAS activo consiste en un concentrador principal que convierte la señal de RF en una señal óptica, la cual se distribuye a nodos remotos mediante fibra óptica. Este DAS no se preocupa por las pérdidas de potencia debido a las largas distancias ya que se alimenta por equipos activos. Los nodos remotos convierten la señal óptica de vuelta a RF para distribuir a las antenas; alternatively, la señal puede convertirse a frecuencias intermedias y distribuirse mediante par trenzado sin blindaje (Cable UTP). Un DAS activo es escalable y puede admitir múltiples bandas o servicios). En la figura 6 se muestra la típica arquitectura de distribución DAS. (ANSI/BICSI, 2015)



*Figura 6: Arquitectura típica de distribución DAS activo
Fuente: (ANSI/BICSI, 2015)*

- **DAS Pasivo:** Utiliza los elementos pasivos, para distribuir la potencia. Para grandes edificaciones se aplica la sectorización, donde cada sector que divide el área objetivo contará con su propio equipo proveedor de potencia y señal. Todos los sistemas DAS están conectados a una estación base de transmisor receptor llamado (BTS). En la figura 7 se muestra la arquitectura típica de un DAS pasivo. (Tolstrup, 2016)



*Figura 7: Arquitectura típica de distribución DAS pasivo
Fuente: (Tolstrup, 2016)*

Morten, Tolstrup (2015) en la tercera edición menciona que un DAS pasivo cuenta con estos componentes:

- El cable coaxial:** Se utiliza ampliamente en todos los tipos de sistemas de antena distribuidos, especialmente en sistemas pasivos, Por lo tanto, es importante obtener la base correcta con respecto a los tipos de cable, y pérdidas. La fórmula para hallar la pérdida por metro es $\text{perdida} = \text{distancia (m)} \times \text{atenuación}$.

En las tablas 1, 2 y 3 se muestra la pérdida por cada 100 metros y separado por frecuencia del cable súper-flexible (SFC12-50), cable flexible (LFC12) y cable rígido

(LFC7/8) respectivamente, en el anexo 1 se observan los DATASHEETS de cada tipo de cable.


	Frecuencia [MHz]	Atenuación [dB/100 m]	Potencia [Kw]
	700	9.23	0.934
	850	10	0.706
	1700	15	0.575
	1900	15.4	0.453
	2100	16.3	0.433
	2600	18.4	0.384

Tabla 1: Cable súper-flexible (SFC12-50)
Fuente: (DataSheets RFS, 2016)


	Frecuencia [MHz]	Atenuación [dB/100 m]	Potencia [Kw]
	700	5.96	1.43
	850	6.65	1.28
	1700	9.61	0.884
	1900	10.25	0.828
	2100	10.8	0.787
	2600	12.2	0.696

Tabla 2: Cable flexible de media (LCF12-50J)
Fuente: (DataSheets RFS, 2016)


	Frecuencia [MHz]	Atenuación [dB/100 m]	Potencia [Kw]
	700	3.12	3.19
	850	3.07	2.85
	1700	5.05	1.97
	1900	5.36	1.85
	2100	5.67	1.75
	2600	6.39	1.56

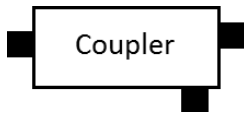
Tabla 3: Cable rígido 7/8 (LCF78-50J)
Fuente: (DataSheets RFS, 2016)

b) **Splitter:** Son los componentes pasivos más utilizados en un sistema distribuido de antena, un Splitter se utiliza para dividir un punto en dos o más puertos, y viceversa. Cuando se divide la señal, la potencia se divide entre los puertos. Si se divide en dos puertos, solo la mitad de la potencia menos la pérdida de inserción, típicamente alrededor de 0.1 dB, está disponible en los dos puertos. Es muy importante para usar todos los puertos en el Splitter; no dejes un solo puerto abierto en caso no usar un puerto colocar una carga ficticia. La fórmula para obtener la pérdida de potencia por Splitter es $\text{Pérdida} = 10 \log (\text{Numero de puertos}) \times \text{pérdida de inserción} (0.1 \text{ dB})$. En la tabla 4, se muestran las características generales según Splitter, se puede observar las frecuencias que soporta cada Splitter, la pérdida de inserción, el rango de temperatura, la impedancia y el Split de pérdida.

	CARACTERISTICAS GENERALES			
	Splitter 2	Splitter 3	Splitter 4	
	Frecuencias soportadas			
	Pérdida de inserción			
	Rango de Temperatura		Splitter 4	
	Impedancia			
Split Perdida		Splitter 4		

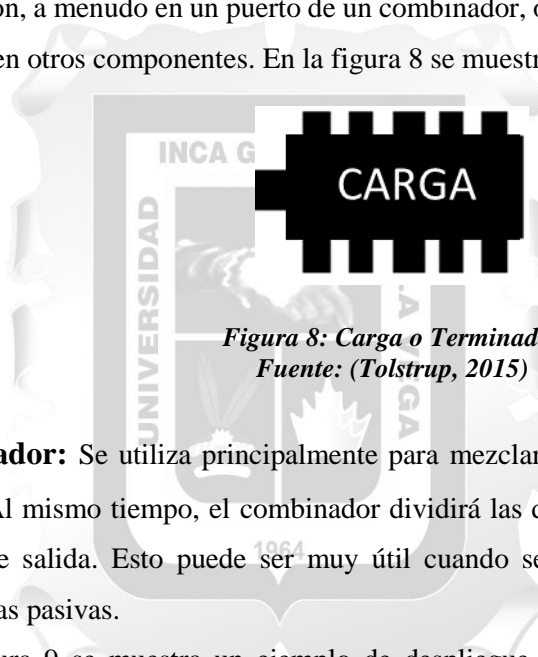
Tabla 4: Tipos de Splitter RFS y sus características generales
Fuente: (DataSheets RFS, 2016)

c) **Tapper / Coupler:** Se usan como divisores de la señal y potencia de una a dos líneas. La diferencia con el Splitter de 2, en este no se divide la energía equitativamente entre los puertos. Esto es muy útil para diseños en los que se instala un cable principal pesado a través del edificio, y luego pequeñas porciones de la energía a las antenas a lo largo del cable principal. En la tabla 5 se muestra las características generales de los diferentes tipos de coupler.

	CARACTERISTICAS GENERALES			
	Tipos	Frecuencias	Impedancia	Perdida de inserción
	Coupler 6	698<>2700	50 OHm	1.7
	Coupler 7			1.4
	Coupler 8			1.2
	Coupler 10			0.9
	Coupler 15			0.4
	Coupler 20			0.4

*Tabla 5: Características Generales de Coupler RFS
Fuente: (DataSheets RFS, 2016)*

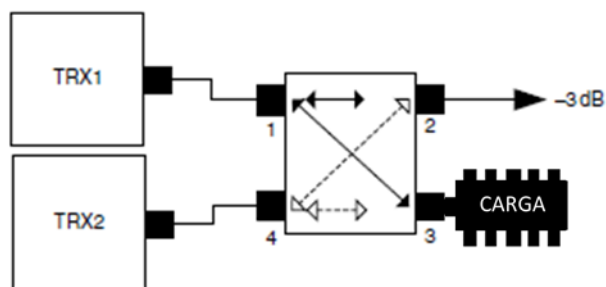
d) **Carga/Terminadores:** Se usan como cargas coincidentes en las líneas de transmisión, a menudo en un puerto de un combinador, o cualquier puerto 'abierto' o no utilizado en otros componentes. En la figura 8 se muestra un ejemplo de carga de RFS.



*Figura 8: Carga o Terminador
Fuente: (Tolstrup, 2015)*

e) **Combinador:** Se utiliza principalmente para mezclar señales de dos a más señales fuentes. Al mismo tiempo, el combinador dividirá las dos señales combinadas en dos puertos de salida. Esto puede ser muy útil cuando se diseñan sistemas de antenas distribuidas pasivas.

En la figura 9 se muestra un ejemplo de despliegue de antenas con solo 2 puertos disponibles mezclando las tecnologías de TRX1 y TRX2, del cual a uno se le coloca una carga y en el otro existe un despliegue en este caso están usando la técnica SISO, pero en un futuro podrán aplicar MIMO por el puerto disponible con carga.



*Figura 9: Un combinador de 4 puertos usando solo 2 puertos
Fuente: (Tolstrup, 2015)*

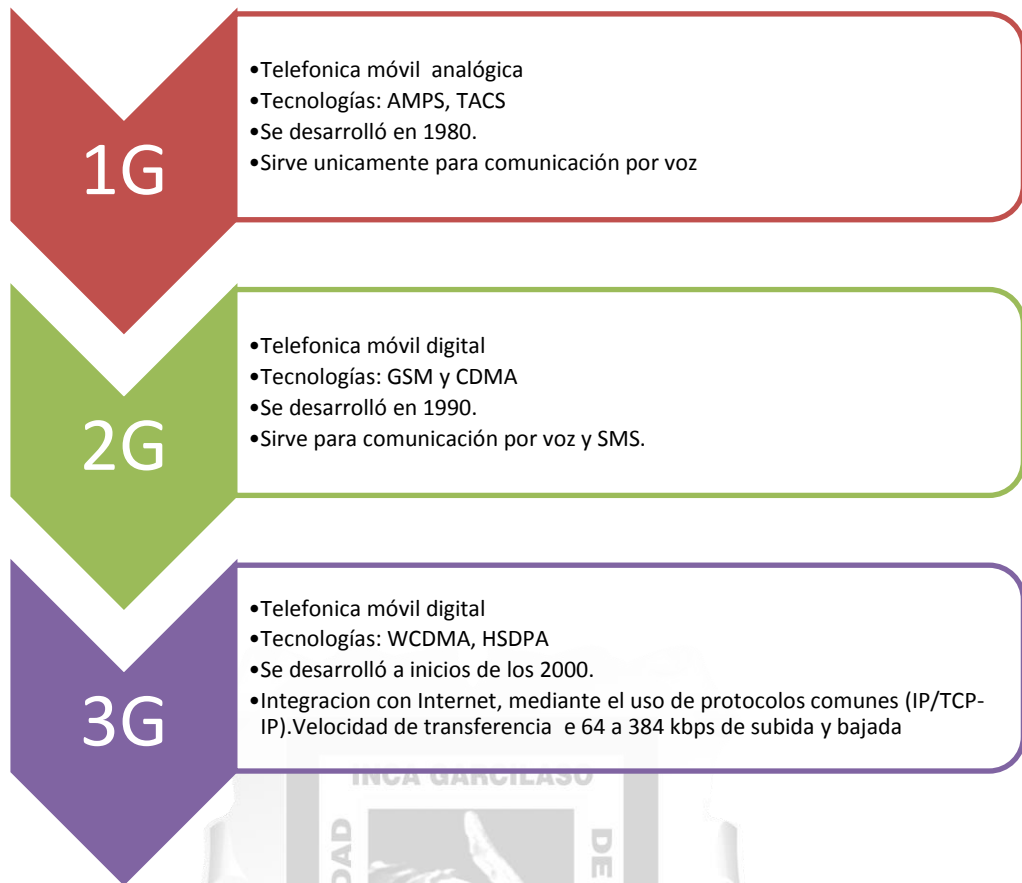


Figura 11: Evolución de tecnología hasta 3G
Fuente: Elaboración Propia

Principales parámetros de desempeño (KPI)

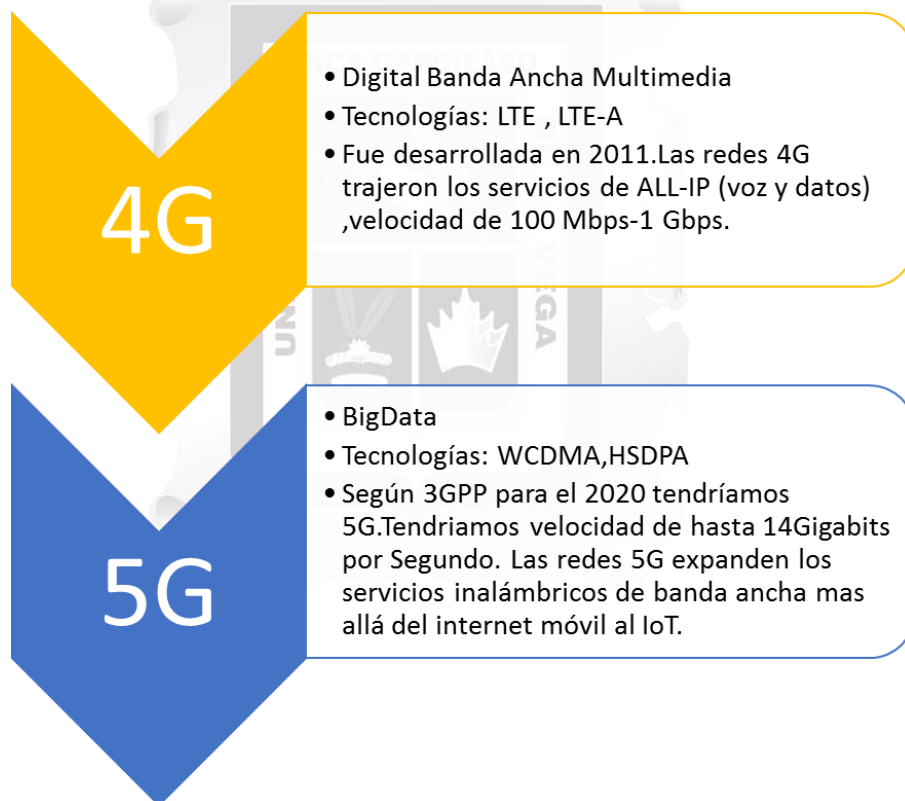
- Código de Potencia de señal recibida (RSCP):** Es la potencia de la señal recibida por código en el terminal. Indica la cobertura de señal ofrecida por la red y sirve de indicador principal de cobertura. Es el valor de energía RF que recibe el teléfono, se utiliza para medir el indicador de la intensidad de señal, calcular las pérdidas por trayectoria y criterio para juzgar la calidad de la recepción. Su valor aceptable según estudios es $RSCP \geq -75$ dBm.
- Relación de energía de chip a interferencia (Ec/No):** Es el indicador de calidad para la señal recibida. Es la relación de la energía de chip y el nivel de interferencia. Su valor aceptable según estudios es $ECNO \geq -8$ dBm.
- Tx Power:** Es el nivel de potencia que necesita transmitir el terminal para realizar una llamada. A mayor potencia, se usan más recursos y se gasta más la batería del móvil.
- Código de codificación (PSC):** Mide el código de acceso múltiple en 3G y sirve para identificar el origen de la celda de cobertura.

2.2.3 Cuarta Generación 4G /LTE

4G es conocida también como evolución a largo plazo de UMTS o Acceso de radio terrestre por UMTS. El objetivo la evolución a largo plazo (LTE) es proporcionar un acceso de radio capaz de alcanzar velocidades de tráfico de hasta 100Mbps en descarga y 50Mps en subida. Esta tecnología opera en las mismas frecuencias que UMTS con ancho de banda (BW) variables de 20Mbps. Además, ofrecerá menores tiempos de latencia lo que hace reducir los tiempos de acceso a un servicio y la respuesta de la red a cualquier solicitud. (3GPP, 2017)

En la generación de LTE ocurre un cambio en la estructura, ya que la voz al no tener un dominio propio pasa a ser un servicio de los datos usando redes multimedia IP o voz sobre LTE (VoLTE). (Velarde, 2014). Los principales requisitos para la nueva red de acceso son una alta eficiencia espectral, tasas de datos de pico altas, tiempo corto de ida y vuelta, así como flexibilidad en frecuencia y ancho de banda. (3GPP, 2017)

En la figura 12 se muestra algunas características generales que tendrá la evolución de la tecnología móvil hasta llegar a la 5G en el 2020 según la empresa Gemalto(2016).



*Figura 12: Próxima evolución de 4G
Fuente: Elaboración Propia*

Principales parámetros de desempeño (KPI)

- a) **Energía recibida de la señal de referencia (RSRP):** Es una medida de la intensidad de señal y sirve de indicador principal de cobertura. Es el promedio de potencia recibida por elemento de recurso en el terminal Su valor aceptable según estudios es $RSRP \geq -90$.
- b) **Calidad de señal recibida de referencia (RSRQ):** Es la relación entre la señal y la interferencia. Se considera la interferencia de todas las fuentes (celda servidor más celdas vecinas) y del ruido. Un valor aceptable es de -10dB .
- c) **Tasa de Datos:** Es la tasa de velocidad de acceso. Su valor aceptable según estudios es TASA DE DATOS ≥ 100 mbps Tanto para subida y descarga de datos cuando se aplica la técnica MIMO su valor aceptable cambia a 200 mbps.

2.2.4 Bandas y frecuencias WDCMA / LTE usadas en Perú

Una banda es un intervalo de frecuencia del espectro electromagnético asignados a diferentes usos, en este caso nos enfocaremos a las frecuencias usadas para WDCMA y LTE asignadas a cada operador en Perú. (Ministerio de Transporte y comunicaciones, 2015)

En la tabla 6 se muestran las frecuencias 3G (WDCMA) usadas por operador, los cuales ganaron las licitaciones mediante subastas establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones respaldada por la Conferencia Administrativa Mundial de Radio comunicaciones y telecomunicaciones del Perú.

OPERADOR	FRECUENCIA 3G
Movistar	850 Mhz
Claro	850/1900 Mhz
Entel	1900 Mhz
Bitel	1900 Mhz

Tabla 6: Frecuencias establecidas por el Ministerio de transporte y comunicaciones
Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2015)

En la tabla 7 se muestran las frecuencias 4G (LTE) y sus bandas asignadas usadas por operador. Los operadores ganaron las licitaciones mediante subastas establecidas por el Ministerio de transporte respaldada por la Conferencia Administrativa Mundial de Radio comunicaciones y telecomunicaciones del Perú.

OPERADOR	BANDA/FRECUENCIA 4G LTE
Movistar	Banda 28/ 700 MHz
	Banda 4 / 1700/2100 MHz
Claro	Banda 2/ 1900 MHz
	Banda 28/ 700 MHz
	Banda 7/ 2600 MHz
Entel	Banda 4 / 1700/2100 MHz
	Banda 28/ 700 MHz
Bitel	Banda 8/ 900 MHz
	Banda 2/ 1900 MHz

Tabla 7: Bandas y frecuencias asignadas por operador en el Perú
Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2015)

2.2.5 SISO (Salida única de entrada única)

SISO es el enlace de radio más práctico y fácil. Este es efectivamente un canal de radio estándar: este transmisor funciona con una antena al igual que el receptor. No hay diversidad y no requiere procesamiento adicional. Un canal de radio SISO, como se muestra en la figura 13 es lo que podemos considerar el canal de radio básico y la transmisión modo para la mayoría de los sistemas basados en radio. Hay una entrada y una salida en el canal de radio: Por lo tanto, 'Single Input Single Output' sirve como punto de referencia cuando evaluando la ganancia de rendimiento en términos de rendimiento al usar sistemas de antena más avanzados. (Tolstrup, 2016)



Figura 13: Canal estándar de uso de técnica SISO
Fuente: (Tolstrup, 2016)

2.2.6 MIMO (Técnica multi antenna)

Según Bernardo y otros comentan que las técnicas multi-antena (MIMO) se refieren en general a estructuras de transmisión y/o recepción que utilizan diversas antenas acompañadas de técnicas de procesamiento de señal con distintos niveles de complejidad. Las técnicas multi-antena permiten mejorar las prestaciones del sistema, bien sea aumentando la capacidad, mejorando la cobertura o mejorando la velocidad de transmisión por usuario. (Bernardo y otros, 2010)

En la figura 14 se muestra un ambiente de INDOOR MIMO típico, y la dispersión de las señales con la interacción de objetos cercanos dentro de una habitación típica, como mesas, armarios, paredes, etc.(Tolstrup, 2011)

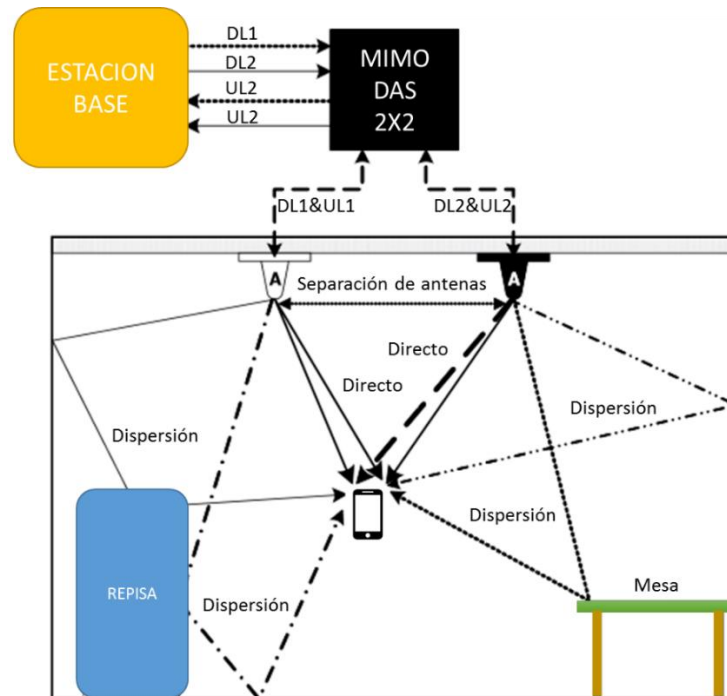


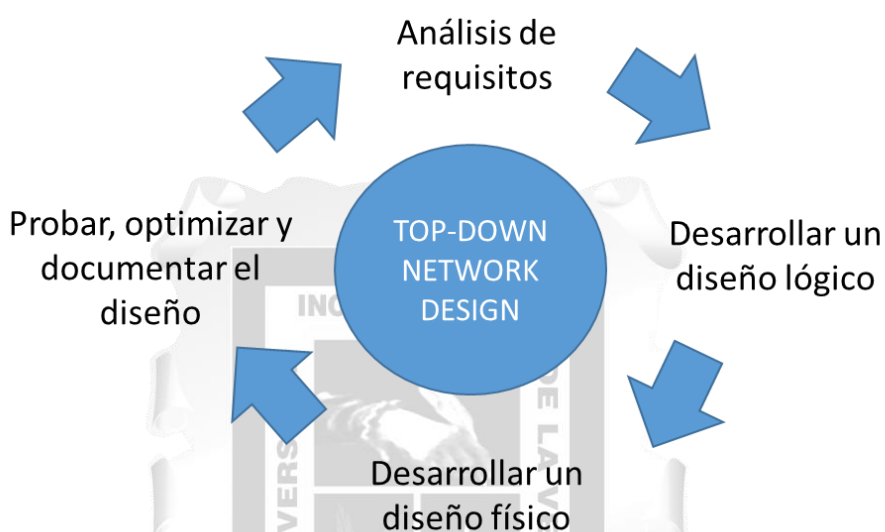
Figura 14: Comportamiento de señal MIMO en un ambiente típico
Fuente: (Tolstrup, 2016)

La técnica MIMO según Álvarez Paredes, indica que ha sido desarrollada para utilizar las características del fenómeno de propagación multi-trayectoria de un canal inalámbrico. Esto se debe principalmente a que MIMO emplea múltiples antenas tanto en el receptor como transmisor y utiliza el efecto de múltiples trayectos debido a la diversidad de caminos existentes entre las antenas, en lugar de causar interferencias. En el cual Alvarez concluye que mientras que las comunicaciones inalámbricas tradicionales SISO (Single-Input Single-Output) explotan preprocesamiento y decodificación de los datos transmitidos y recibidos, respectivamente, el uso de elementos de antena adicionales, ya sea en la estación base (eNodeB) o Equipo de Usuario (UE) (en el enlace descendente y / o enlace ascendente) permite mejorar el rendimiento del enlace en términos de una o más métricas posibles, tales como la tasa de error, velocidad de datos de comunicación, el área de cobertura y la eficiencia espectral; MIMO se ha consagrado como la principal innovación de la tecnología LTE, proporcionando la capacidad de mejorar aún más el rendimiento de datos y eficiencia espectral. (Alvarez, 2014)

2.2.7 Metodología TOP-DOWN NETWORK

Según Priscilla Oppenheimer autora del libro Top-Down Network Design menciona que la metodología Top-Down de CISCO tiene por finalidad el diseño de redes y que su característica principal es que tiene un desarrollo que inicia en las capas superiores del modelo de referencia OSI antes de pasar a las capas inferiores. La metodología se centra en las aplicaciones, las sesiones y el transporte de datos antes de la selección de enrutadores, conmutadores y medios que operan en las capas inferiores.

A continuación, se describe cada fase que la autora plasma en el libro, las cuales se encuentra mencionadas en la figura 15:



*Figura 15: Fases de la metodología TOP DOWN
Fuente: (Oppenheimer-Cisco, 2016)*

a) Fase de Análisis (Análisis de requerimientos)

En el libro de Oppenheimer indica que, en esta fase, el analista de la red entrevista a los usuarios y al personal técnico para obtener una comprensión de los objetivos comerciales y técnicos de un sistema nuevo o mejorado.

b) Fase de diseño lógico (Desarrollar un diseño lógico)

Esta fase se desarrolla una topología lógica para la red nueva o mejorada, el direccionamiento de la capa de red, el nombre y los protocolos de conmutación y enrutamiento.

c) Fase de diseño físico (Desarrollar un diseño físico)

Durante la fase de diseño físico, se seleccionan tecnologías y productos específicos. Además, la investigación sobre los proveedores de servicios, que comenzó durante la fase de diseño lógico, debe completarse durante esta fase.

d) Fase de Pruebas, optimización y documentación del diseño de red (Probar, optimizar y documentar el diseño)

Los pasos finales en el diseño de la red de TOP-DOWN son escribir e implementar un plan de prueba, construir un prototipo o piloto, optimizar el diseño de la red y documentar su trabajo con una propuesta de diseño de red.

En la tabla 8 se muestra los objetivos técnicos que nombra la metodología, según la autora Priscilla Oppenheimer

Objetivos técnicos	Definición
Escalabilidad	Se refiere a la cantidad de crecimiento que un diseño de red puede soportar. Además, que el mismo de poder adaptarse a lo ya existente y ser apto para incrementar en un periodo de tiempo.
Disponibilidad	Se refiere a la cantidad de tiempo que una red debe estar disponible, se representa con un porcentaje. Suele confundirse con fiabilidad, más este último posee relación con algunos temas como precisión, tasa de error, estabilidad.
Desempeño de la red (Rendimiento)	Este objetivo técnico tiene que ver con varios criterios de aceptación de rendimiento como son: retardo, rendimiento, tiempo de respuesta, entre otros. Es la medida de calidad del diseño.
Seguridad	Se trata de uno de los objetivos que debe llevar más énfasis dentro del diseño de red y tiene como objetivo principal el no interferir con la capacidad de la empresa para realizar negocios.
Manejabilidad	Es fundamental el identificar objetivos en cuanto a la capacidad de administración de una red, suele para algunas empresas ser importante el uso de SNMP para poder monitorear sus equipos, más para otras puede no serlo.
Usabilidad (Facilidad de uso)	Se refiere a la facilidad de uso para que un usuario final de la red pueda acceder a la red u a sus servicios. Al definir este parámetro debe considerarse y acoplarse por ejemplo con las políticas de seguridad, puesto que las mismas podrían causar impacto en este objetivo
Adaptabilidad	Debe garantizarse la adaptación a nuevas tecnologías y cambios, solo de esta forma se puede garantizar a su vez una buena disponibilidad

Tabla 8: Objetivos técnicos de la Metodología TOP-DOWN
Fuente: (Oppenheimer-Cisco, 2016)

2.3 Glosario de términos

- **Acceso de Paquetes a Alta Velocidad(HSPA):** Es una fusión de los protocolos de HSDPA y HSUPA que permite mejorar el rendimiento de la tecnología 3G. (Yifei, 2013)
- **Acceso de Paquetes en Bajada a Alta Velocidad (HSDPA):** Es la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, pudiendo alcanzar velocidades de bajada de hasta 14 Mbps en teoría en condiciones óptimas. (Yifei, 2013)
- **Acceso de Paquetes en Subida a Alta Velocidad (HSUPA):** Es un protocolo de acceso de datos con una amplia tasa de transferencia en subida de datos. (Garcia,2007)
- **Acceso Múltiple por División de Código en Banda Ancha (WCDMA).** Es la tecnología de acceso móvil en la que se basan varios estándares de telefonía móvil de tercera generación (3G), entre ellos el estándar UMTS. Es una técnica de modulación de espectro ensanchado; Uno que utiliza canales cuyo ancho de banda es mucho mayor que el de los datos a transferir. (Fierro Morineaud, 2008)
- **CABLE COAXIAL** Cable formado por dos conductores metálicos concéntricos separados por un material aislante. Este tipo de cable es muy usado en redes de acceso. (OSIPTEL,2015)
- **EDat:** Software para realizar pruebas y poder procesar las mediciones dependiendo a la tecnología seleccionada.
- **Entrada Única Salida Única (SISO):** Es el enlace de radio más práctico y fácil. Este es efectivamente un canal de radio estándar: este transmisor funciona con una antena al igual que el receptor. (Tolstrup, 2016)
- **Evolución a largo Plazo (LTE).** Es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos. Es un protocolo de la norma 3GPP definida por unos como una evolución de la norma 3GPP UMTS (3G), y por otros como un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G). (Garcia Fernandez, 2006)
- **FIBRA OPTICA:** Hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, utilizado como medio físico para transmitir grandes cantidades de información a grandes distancias haciendo uso de pulsos de luz como portadora óptica. (OSIPTEL,2015)

- **GPRS/ Servicio General de Paquetes vía Radio:** Es una mejora del GSM. Permite la mensajería instantánea, los servicios de mensajes cortos, de correo electrónico y que estemos "siempre conectados", entre otras cosas. (Fierro Morineaud, 2008)
- **HOTSPOTS:** Se refiere a establecimientos con gran afluencia de personas. (OSIPTTEL, 2015)
- **IBwave:** Es un software de planificación de radio de telecomunicaciones que desarrolla soluciones para la industria inalámbrica dentro edificaciones. (Ibwave,2017)
- **NODE B:** Es el nodo de telecomunicaciones que proporciona la conexión entre teléfonos móviles y la red de telefonía amplia. (Yifei, 2013)
- **Operado:** Es el titular de una concesión para prestar servicios públicos de telecomunicaciones. (OSIPTTEL,2015)
- **Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP):** Es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, donde especifican el desarrollo del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) Especificaciones Técnicas e Informes Técnicos incluyendo tecnologías de acceso de radio evolucionadas. (3GPP, 2017)
- **Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UTMS):** Es una la tecnología usada en la tercera generación, permite ingresar más usuarios a la red e incrementar la señal a 2Mbps por usuario móvil. (Fierro Morineaud, 2008)
- **Tasa de datos (TASA RATE):** Velocidad de acceso a internet y la cantidad de transferencia (Sesia y Otros, 2011)

Capítulo 3: VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables e Indicadores

a) Identificación de Variables

- Variable Independiente: Implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR.
- Variable Dependiente: Mejora de cobertura 3G y 4G

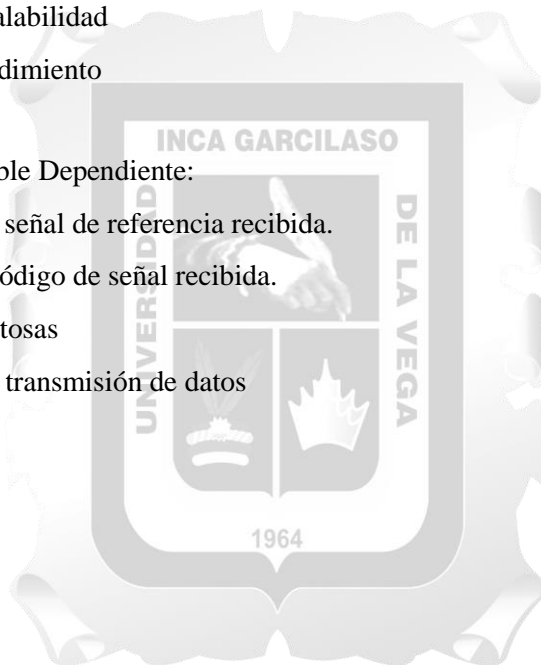
b) Operacionalización de Variables

Indicadores Variable Independiente:

- Nivel de Disponibilidad
- Nivel de Adaptabilidad
- Nivel de Escalabilidad
- Nivel de Rendimiento

Indicadores Variable Dependiente:

- Calidad de la señal de referencia recibida.
- Potencia de código de señal recibida.
- Llamadas exitosas
- Velocidad de transmisión de datos



3.2 Hipótesis

Hipótesis General

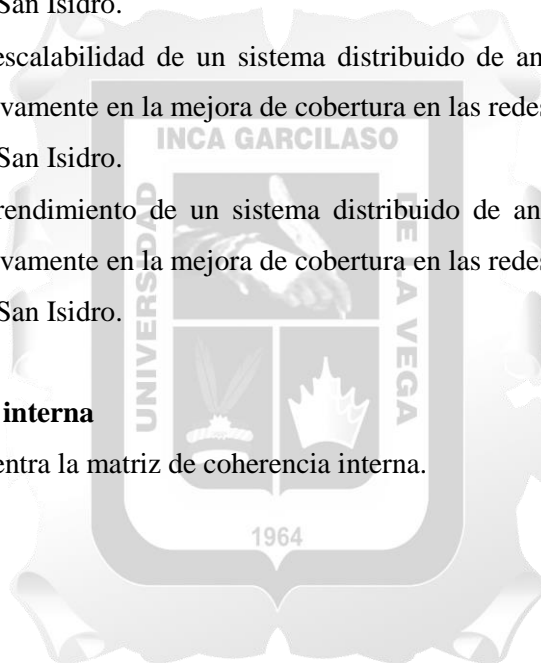
Implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de la cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.

Hipótesis Específicas

- El nivel de disponibilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.
- El nivel de adaptabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.
- El nivel de escalabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.
- El nivel de rendimiento de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.

3.3 Matriz de coherencia interna

En el Anexo 2 se encuentra la matriz de coherencia interna.



Capítulo 4: METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La metodología seleccionada para el presente trabajo de investigación es Top-Down Network Design, la cual se describe en el presente capítulo, permitiendo con ello realizar una adaptación que facilite su implementación.

La metodología comprende las siguientes fases:

- Fase de Análisis
- Fase de Diseño Lógico
- Fase de Diseño Físico.
- Fase de Pruebas, optimización y documentación del diseño

La metodología solo se enfoca en la parte del diseño.

Razones de elección de metodología:

- ❖ La metodología Top Down Network Design considera el análisis de la situación actual del negocio como primera fase.
- ❖ Se centra en los requerimientos del negocio
- ❖ Permite ver el enfoque de un diseño desde cero (Sin un diseño predio)
- ❖ Provee al diseñador y al negocio tener una idea clara del diseño de red a ser implementada

La metodología Top Down Network Design no contempla una fase que permita aplicar al caso de estudio en ese sentido para un mejor desarrollo del mismo se ha adaptado la fase de implementación. Las razones por la cual se implementa esta fase son:

- ❖ Permite realizar la evaluación final de los plots post-instalación y se compara con los plots de la fase de análisis para el capítulo de resultados para observar el cumplimiento de la solución.
- ❖ Ayudaría implementar el diseño propuesto en las instalaciones del edificio.

Para un mejor entendimiento de la adaptación de la metodología se describe en la tabla 9, las fases que presenta la metodología TOP DOWN DESIGN:

FASES	Metodología "Top Down Network Design"	Adaptación de la Metodología
FASE 1	Fase de análisis	Fase de análisis
Capítulo 1	Análisis de los objetivos y limitaciones comerciales	Análisis de los objetivos y limitaciones comerciales
Capítulo 2	Análisis de objetivos técnicos y compensaciones	Análisis de objetivos técnicos y compensaciones
Capítulo 3	Caracterización de la interconexión existente	Caracterización de la interconexión existente
Capítulo 4	Caracterización del tráfico de red	Caracterización del tráfico de red
FASE 2	Diseño de red lógica	No se realizó un diseño de red lógico
Capítulo 5	Diseño de una topología de red	
Capítulo 6	Diseño de modelos para direccionamiento y numeración	
Capítulo 7	Selección de protocolos de conmutación y enrutamiento	
Capítulo 8	Desarrollando estrategias de seguridad de red	
Capítulo 9	Desarrollo de estrategias de gestión de red	
FASE 3	Diseño de red física	Fase de diseño
Capítulo 10	Selección de tecnologías y dispositivos para redes de campus	Construcción del área de cobertura
Capítulo 11	Selección de tecnologías y dispositivos para redes empresariales	Construcción del diseño
FASE 4	Fase de pruebas, optimización y documentación del diseño de red	Fase de pruebas, optimización y documentación del diseño de red
Capítulo 12	Probando su diseño de red	Probando diseño de red
Capítulo 13	Optimizando su diseño de red	Optimización del diseño de red
Capítulo 14	Documentando su diseño de red	
FASE 5	No cuenta con la fase de implementación	Fase de implementación

Tabla 9: Adaptación de metodología TOP DOWN NETWORK DESIGN
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe las fases de la metodología TOP DOWN NETWORK DESIGN y las fases adicionales, la cual está adaptada al caso de estudio:

4.1 Fase de Análisis

4.1.1 Análisis de los objetivos y limitaciones de negocio

Se identifica la necesidad del cliente, realizando los estudios generales para poder plantear una solución adecuada al edificio Begonias. Se debe realizar una coordinación con el área administrativa del edificio para una visita guiada. Durante la visita al edificio se realiza un levantamiento de planos, y una exploración de la estructura del edificio. Se deberá realizar un resumen de los datos generales de la edificación y un cronograma.

Para esto se adaptará una técnica llamada TSS que es una prueba de campo para conocer en detalle la estructura del edificio, obtener los objetivos y limitaciones del edificio según clientes (dueños de la edificación) y poder conocer la infraestructura del edificio begonias.

Se realiza un estudio de campo que consiste en la visita al edificio por parte del ingeniero con el objetivo de familiarizarse y detectar las características del lugar, como también, recopilar información para el diseño. La visita está coordinada previamente para que nos brinden las facilidades de realizar el estudio. Se debe marcar cada detalle (material de la edificación, ubicación de montantes, revisar paso de canaletas, etc.) que pueda absolver las dudas y guiar por todo el edificio. Es necesario tomar fotos para poder recordar la información posteriormente. En la visita realizada, se debe realizar un levantamiento de planos e identificar los materiales y divisiones de este. El diseño se hace con los planos originales teniendo en consideración dimensiones y materiales reales.

En la figura 16 se muestra el documento que se obtiene en este subproceso.

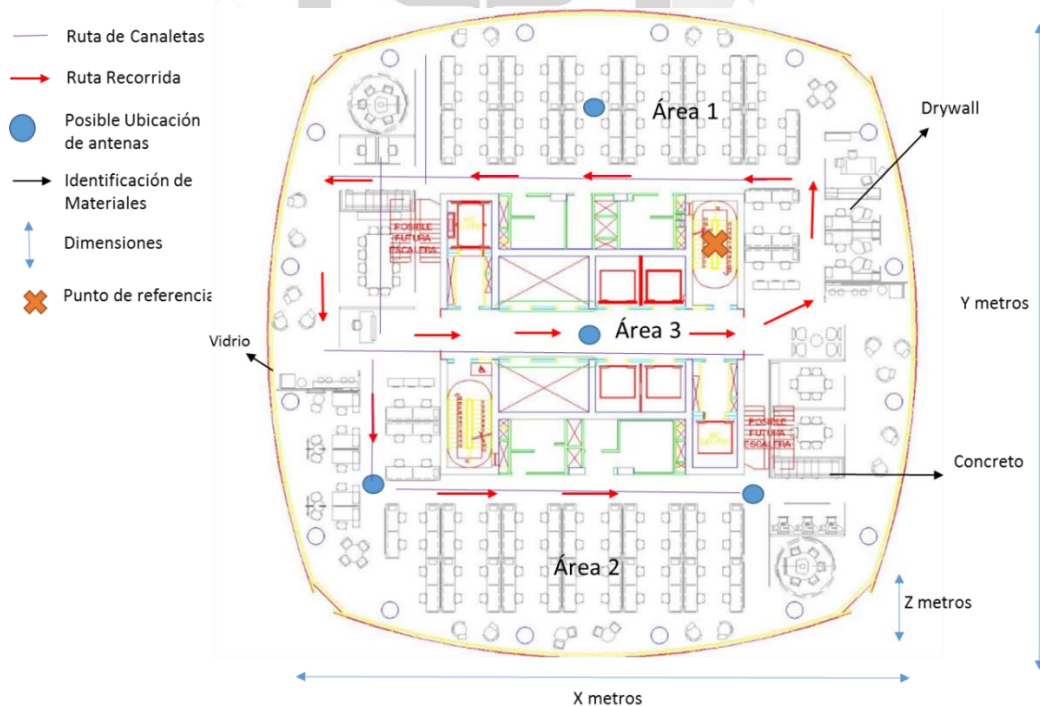


Figura 16: Ejemplo de documento de TSS
Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 Análisis de objetivos técnicos y sus limitaciones

Se debe analizar los objetivos técnicos del diseño por lo cual se debe definir los siguientes indicadores seleccionados:

Escalabilidad El diseño debe ser capaz de adaptarse a los incrementos en el uso y alcance de la red; es decir; se refiere al crecimiento que un diseño distribuido debe soportar.

Adaptabilidad: El sistema estará diseñada teniendo contando con las diferentes tecnologías y sus diferentes aplicaciones normativas lo que garantizará una amplia adaptabilidad.

Disponibilidad: Se refiere a la cantidad de tiempo que una red está operativa para los usuarios, éste es a menudo un objetivo crítico para el diseño de red de los clientes.

Rendimiento: Es el nivel de servicio que ha sido estipulado para los clientes un rendimiento óptimo para los clientes.

4.1.3 Caracterización de la red existente

Para realizar el análisis de una red existente se usó la técnica de walk-test donde se realizan unas mediciones para poder ver el valor antes de la implementación del diseño, debe tomar mediciones de cobertura a todos los pisos del edificio, para 3G se debe hacer una llamada desde el dispositivo de medición a un celular x dentro del edificio para registrar los niveles de cobertura 3G, este proceso se debe realizar piso por piso con el dispositivo llamado JDSU. Para el caso de 4G se debe realizar una descarga (DL) y subida de datos (UL) para registrar los niveles de cobertura 4G. Al finalizar las mediciones se deben post-procesar los logs obtenidos para analizar los niveles de cobertura 3G y 4G dentro del edificio para evaluar el problema de cobertura y enfatizar en zonas con cobertura critica que son mejoradas con el desarrollo de esta presente Tesis.

En la figura 17 se muestra el equipo usado para el walk test y sus mediciones grabadas, los cuales al finalizar medición generan un archivo llamado LOGS.



*Figura 17: Equipo JDSU (SAMSUNG5S) y LOGS generados
Fuente: Elaboración Propia*

También se ven las interconexiones con la macro, la cual que es el sistema Outdoor propagado y gestionado por las diversas operadoras. Se debe ubicar las estaciones bases cercanas al edificio Begonias, para poder revisar si son favorables a la cobertura y que tan lejos están de la ubicación del edificio. El análisis de ubicación generará una hoja de estudio donde se verá desde otro punto de vista el porqué del hueco de cobertura. En la figura 18 se muestra un ejemplo de entregable donde muestran las celdas vecinas que interactúan con el edificio x.



Figura 18: Estaciones vecinas que impactan al edificio X
Fuente: Elaboración Propia

4.1.4 Caracterización del tráfico de la red

Se usó la técnica de post-proceso para poder analizar el tráfico de la red actual procesando los LOGS obtenidos en el walk-test en el cual se procesan las medidas obtenidas para mostrarlas de forma dinámica y así sea más fácil de analizar el problema de cobertura. Este post-procesamiento se realiza en un software llamado eDat en su versión 17.6.0.55; permite visualizar los parámetros, generar reportes estadísticos y realizar comparaciones. Este subproceso tiene como entregables los plots de cobertura. En la figura 19 se muestra un ejemplo de un plots de cobertura RSCP.

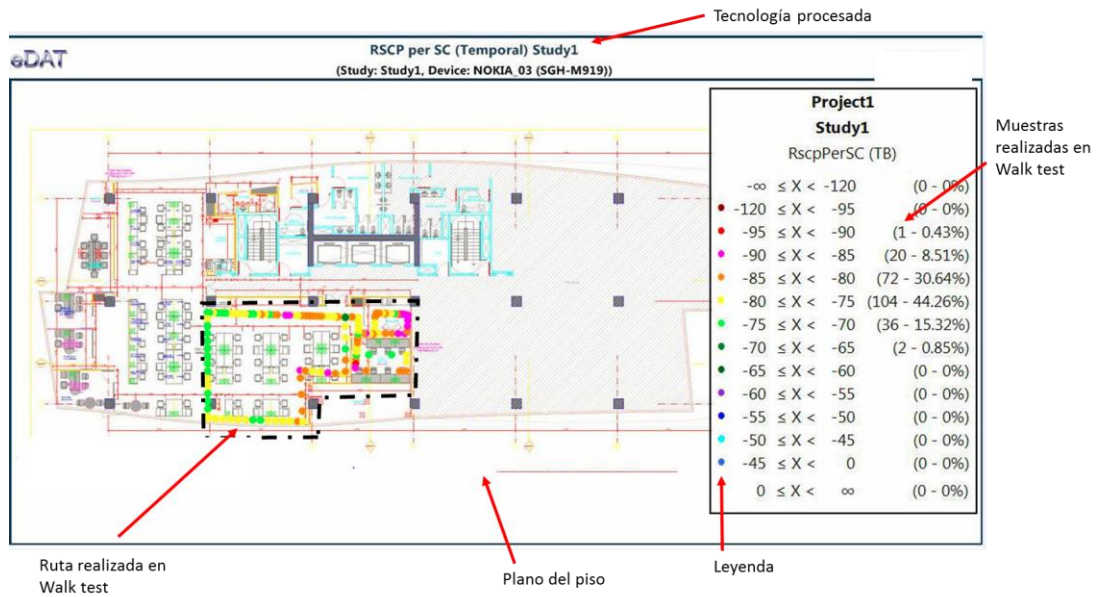


Figura 19: Ejemplo de PLOT
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Fase de diseño

En esta fase se selecciona la tecnología y dispositivos específicos que se usaran en el diseño.

4.2.1 Construcción del área de cobertura

En base a los planos levantados y al análisis de cobertura se selecciona el área a priorizar (es el área que necesita mejorar cobertura) En la figura 20 se muestra el plano X y un área de cobertura definida (Área de la zona remarcada en negro)

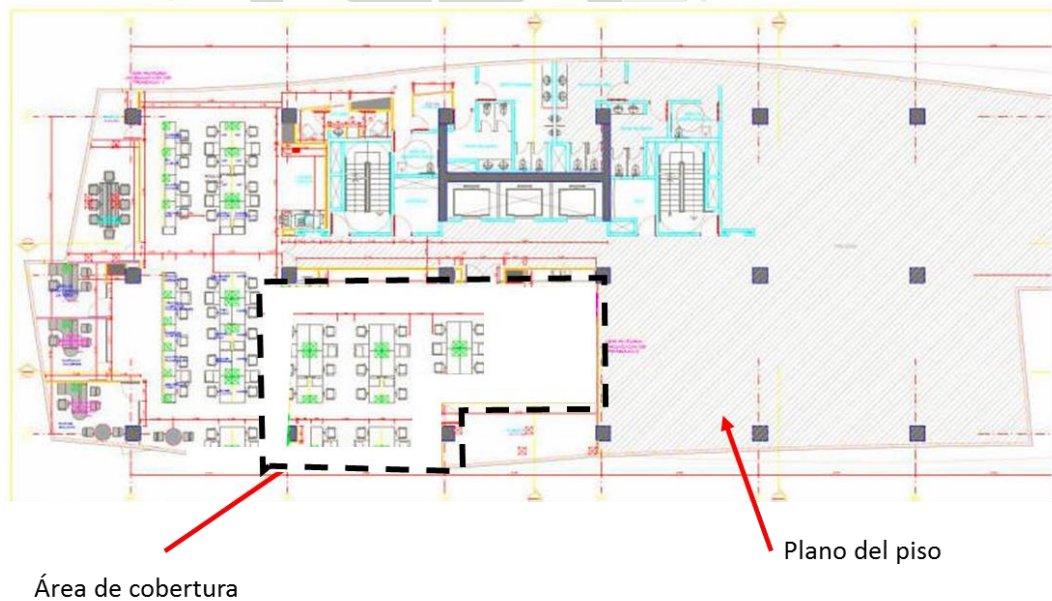


Figura 20: Plano del edificio x con área de cobertura definida
Fuente: Elaboración Propia

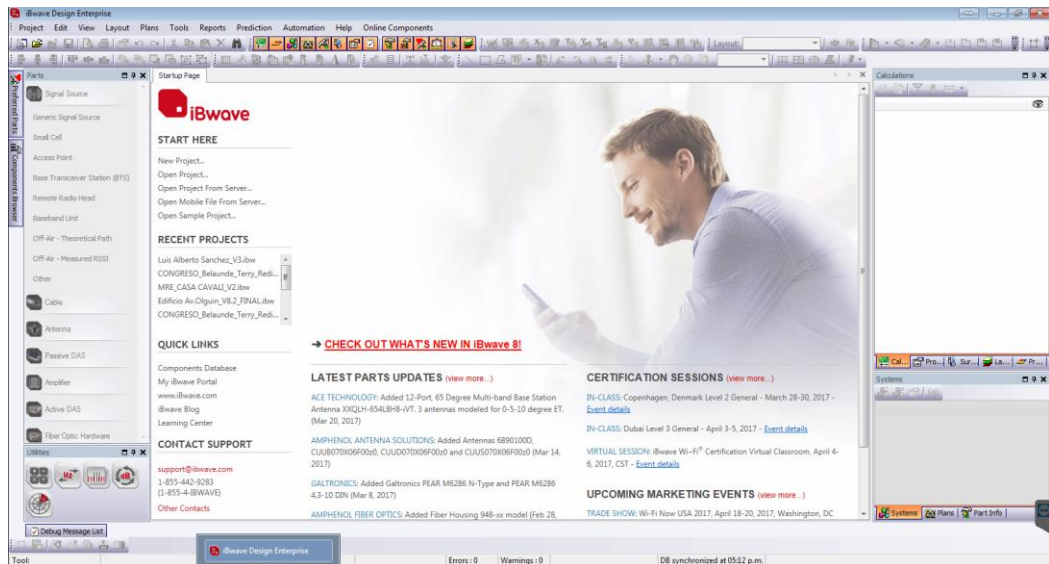
4.2.2 Construcción del diseño

En base al estudio realizado en las primeras fases, se podrá realiza en la herramienta IBwave autorizada por la compañía el diseño de la solución, se carga la base de datos de los componentes a usar y también se cargan los planos del edificio a mejorar la cobertura. Se seleccionará el tipo de distribución de antenas adecuada al edificio. Se decidirá el tipo de sistema distribuido de antenas a usar y el tipo de técnica a usar.

Entregables:

- Unilineal
- Distribución de antenas por pisos
- Lista de materiales.

En la figura 21 se muestra herramienta a utilizar para realizar el diseño y obtener las predicciones o simulaciones.



*Figura 21: Software a utilizar-IBwave
Fuente: Elaboración Propia*

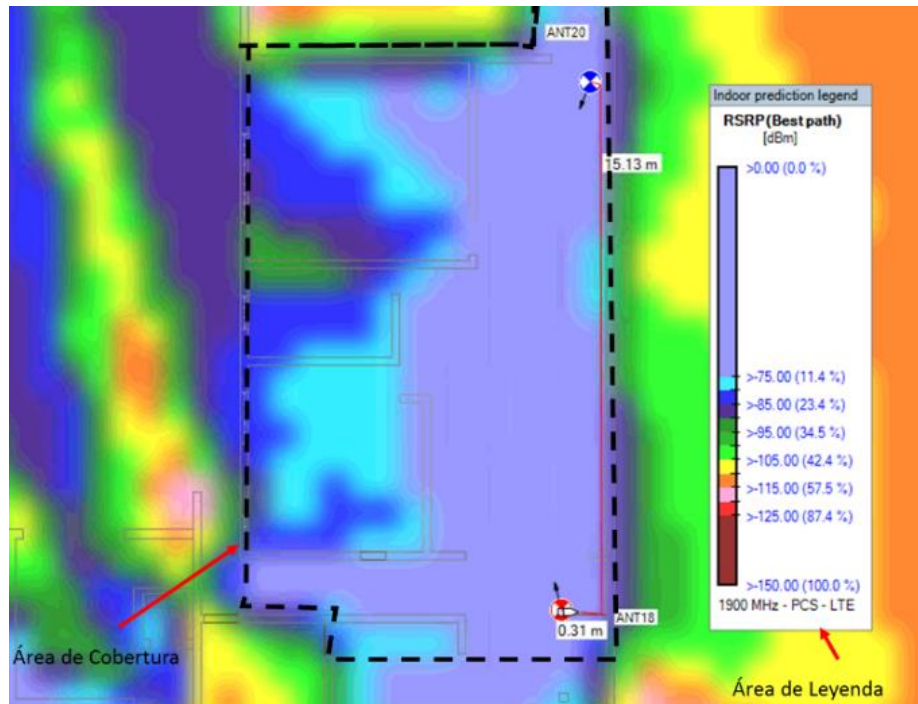
4.3 Fase de Pruebas, optimización y documentación del diseño de red

4.3.1 Probando el diseño de red

Este proceso es donde se corre las predicciones del diseño propuesto y se extrae de la herramienta IBwave los resultados para ver los niveles de cobertura con el diseño ya establecido y documentando resultados con una breve descripción e interpretación de cada uno, se deberá obtener las siguientes predicciones:

- a) RSCP
- b) EC/NO
- c) PSC
- d) RSRP
- e) DATA RATE

En la figura 22 se muestra un ejemplo de predicción de cobertura RSRP del edificio X con su leyenda respectiva.



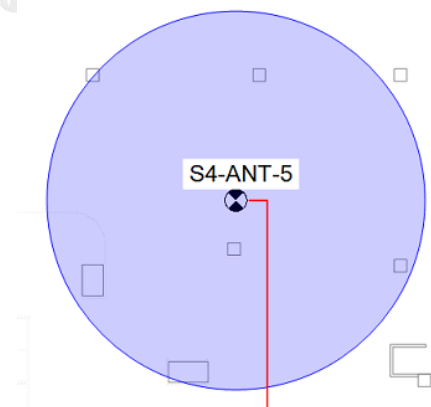
*Figura 22: Predicción RSRP en el edificio X
Fuente: Elaboración Propia*

4.3.2 Optimización del diseño de red

El entregable que se obtiene en este paso es el reporte de cálculo de potencias para poder ver el tal de pérdidas y ganancias de potencias desde los transmisores o equipos de alimentación hasta los receptores que son los elementos el cual será documentado y explicado en este subproceso.

Entregables:

- Reporte de cálculo de potencias
- Patrón de radiación de antenas por piso, como se muestra en la figura 23.



*Figura 23: Ejemplo de patrón de radiación de una antena omnidireccional
Fuente: Elaboración Propia*

4.4 Fase de Implementación

Teniendo el diseño y las consideraciones necesarias ya definidas. Se procede a la implementación de la red. La instalación de equipos pasivos y activos. Y su respectiva identificación para su fácil reconocimiento para cualquier inconveniente.

En la figura 24 se mostrará la fotografía de un equipo instalado en un edificio x.



Figura 24: Antena Panel instalada en el edificio X con su respectiva etiqueta
Fuente: Elaboración Propia



Capítulo 5: SOLUCIÓN TECNOLÓGICA

Para el desarrollo de la solución tecnológica, cada piso es un escenario distinto, se realizó el estudio de todos los pisos del cual para el presente capítulo se evidenciará el piso 7 y sótano 2 como parte de la implementación puesta en marcha de la solución tecnológica, el diseño podrá replicar a otros pisos y Sótanos respectivamente

5.1 Fase de Análisis

5.1.1 Análisis de los objetivos y limitaciones de negocio

El edificio Begonias, considerado uno de los más grandes de Lima, con una dimensión aproximada de 1344.16 m², cuenta con 26 pisos y 7 sótanos de los cuales son ocupadas por diferentes empresas como se muestra en la tabla 10. El edificio cuenta con 13 empresas diferentes distribuidas en todos los pisos del edificio, se cuenta con aproximadamente con más de 2000 personas en todo el edificio.

Distribución de empresas	
Piso 26	BANCO GNB
Piso 25	
Piso 24	INCA GARCILHUAWAI
Piso 23	
Piso 22	BANCO GNB
Piso 21 al Piso 17	MINA BUENAVENTURA
Piso 16	MC KINSEY & COMPANY
Piso 15	GENERAL ELECTRIC
Piso 14	
Piso 13	REPSOL
Piso 12	EXSA
Piso 11	REGUS-WOOX
Piso 10	
Piso 9	BRECA
Piso 8	ESTRATEGICA
Piso 7	URBANOVA / CUBICA
Piso 6	ACEPTA
Piso 5	PROCTER
Piso 4	
Piso 3	Oficinas Administrativas
Piso 2	Patio de comida / Anfiteatro
Piso 1	Recepción Cubica
Sótanos 01 al 07	Estacionamientos / Hall de ascensores

Tabla 10: Empresas ubicadas dentro del edificio
Fuente: Elaboración propia

Se realizó el estudio TSS logrando identificar las características de la edificación y los materiales de este en los pisos del edificio, estas se muestran en las siguientes figuras,

En la figura 25 se muestra el documento TSS del piso 07 con la distribución de plano en piso, se logró identificar la distribución en plano y poder identificar estratégicamente la ubicación de antenas. En el TSS se observó que cuentan con un espacio disponible en todos los pisos como se muestra en la x morada en la figura 27, observamos un área en el piso 7 donde se puede colocar los equipos de alimentación (RRU/RRH).

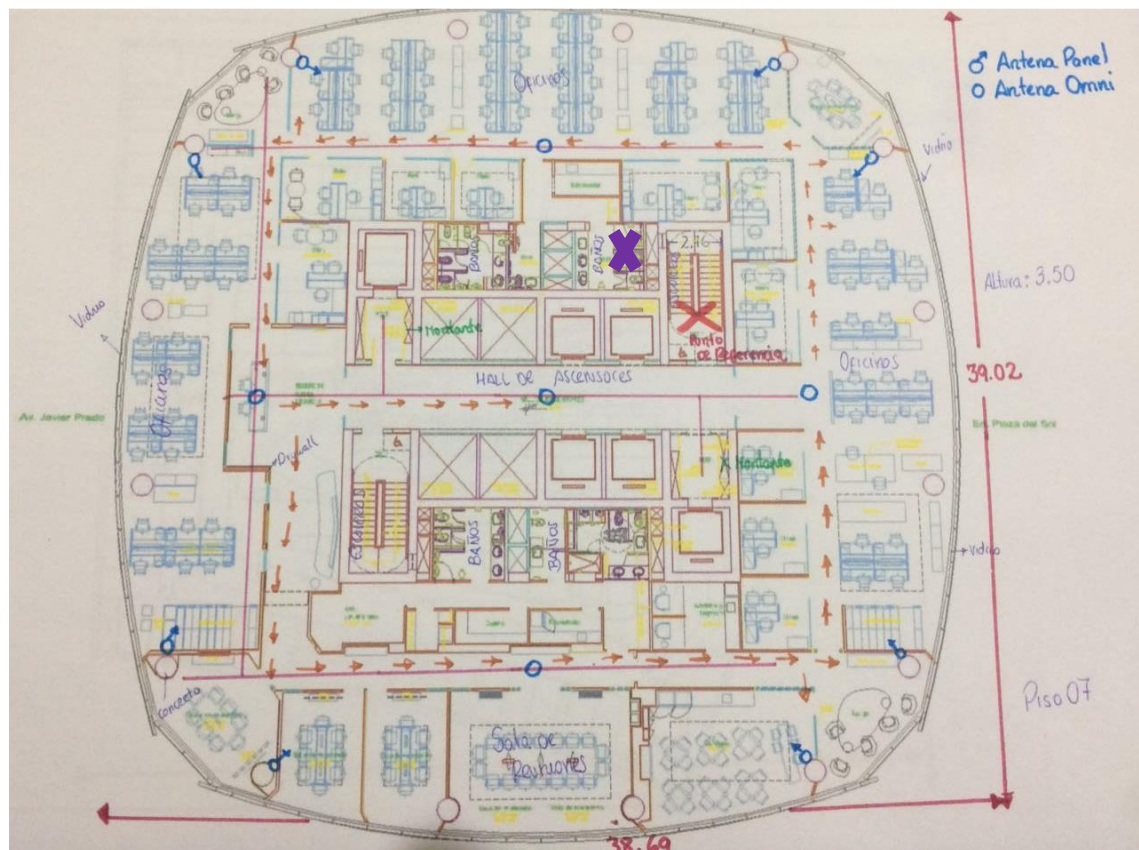


Figura 25: TSS Realizado en el piso 07
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 26 se muestra el documento TSS del sótano 02, se logró identificar el material de construcción, y ruta de canaletas y montantes donde se distribuye el cableado sin dificultad. A diferencia de los pisos superiores solo se encontró un área estratégica ubicado en el sótano 2 para colocar equipamiento de alimentación (x de color morado) en todos los sótanos.

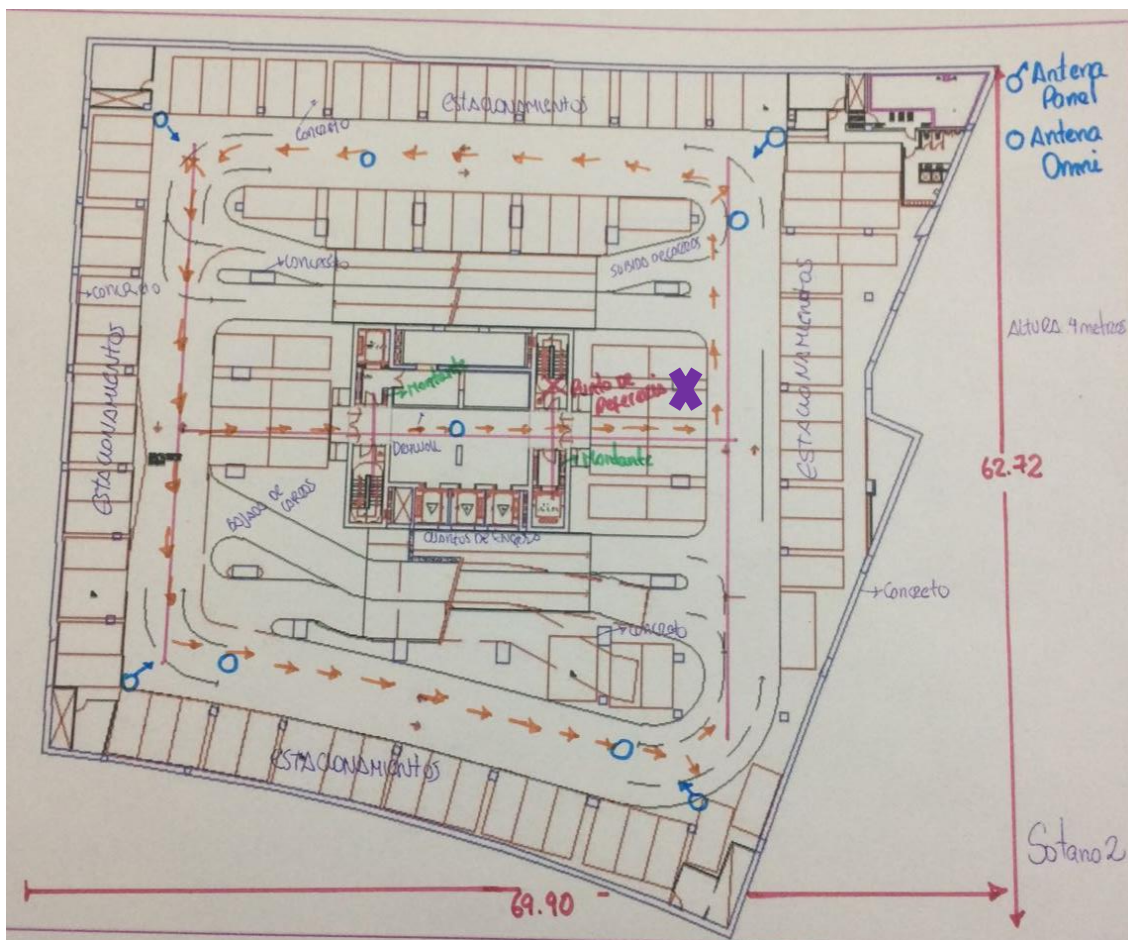


Figura 26: TSS Realizado en el sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

5.1.2 Análisis de objetivos y sus limitaciones

Se debe analizar los objetivos técnicos del diseño por lo cual se debe definir los siguientes indicadores seleccionados:

- **Escalabilidad:** Tomando en cuenta que el edificio puede crecer, o puede colocar divisiones en el plano, ya sean paredes de drywall o concreto, se creó conveniente colocar cargas en cada sector del sistema para que a futuro se pueda colocar una ramificación (antenas conectadas) que permita ser usada sin afectar el diseño actual, también se configura los equipos de forma que siempre guarden un porcentaje de potencia para poder ser usado en cualquier necesidad.
- **Adaptabilidad:** Se eligió los elementos de la marca RFS ya que cuentan sus equipos soportan las frecuencias soportan más de 2 frecuencias, se puede gestionar el ángulo de orientación de la antena sin afectar a las demás.
- **Disponibilidad:** Al ser un sistema distribuido de antenas para un edificio empresarial, se necesita que la red esté disponible de 6 am a 12 pm de lunes a sábado, alineándose al horario de todas las empresas en el edificio donde los usuarios pueden tener una espera de 5 minutos para conectarse.

Disponibilidad de la señal:

$$\text{Tiempo real} = 18(\text{horas/día}) \times 6 (\text{días/semanas}) = 108 \text{ horas} = 6480 \text{ minutos}$$

Tiempo aceptable=tiempo ideal -Tasa de perdida=6480-5=6475 minutos

Tasa de disponibilidad = (6480/6479) *100=99.92%

- **Rendimiento:** Se realiza el estudio Walt-test para monitorear constantemente el desempeño de la red, este monitoreo se observa en el capítulo de resultados.

5.1.3 Características de la red existente

Se realizará las pruebas de Walk-test para obtener los valores de la red existente para ello se realizan las pruebas en el JDSU que sirve para este tipo de mediciones, se debe subir el plano del edificio al teléfono con sus respectivas medidas y colocar un chip en el celular de prueba y configurar en la banda según sea el caso (3G =1900 o 700 según operador, 4G=2100 ,1900 o 2600 según operador) Las mediciones de Walk test se realizaron obteniendo los datos en extensión de AHD la cual se debe transformar a JPG para poder ver los niveles exactos de las pruebas realizadas, esto se realizó en el post-proceso que se encuentra en el subproceso de análisis de estado de cobertura.

Pruebas realizadas:

3G: Llamada larga y Llamada corta (U)

4G: Descarga de paquetes y Subida de paquetes (L)

En la figura 27 se muestran los LOGS que se obtuvieron al realizar la visita a campo. Se realizaron las pruebas en todos los pisos tanto para 3G como 4G, estos entregables serán procesados en el subproceso de análisis de cobertura (Post-proceso). Se realizó el Walk-test en todos los pisos del edificio.

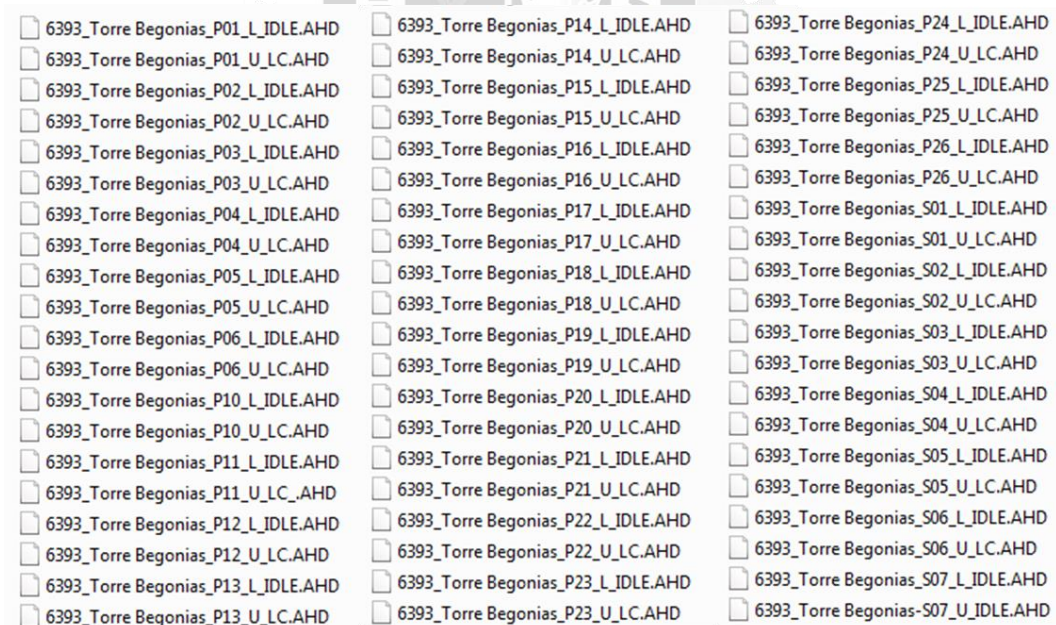


Figura 27: Entregable del Walk-Test de todos los pisos

Fuente: Elaboración Propia

Luego se realizó el análisis de impacto e interacción con la red actual en la figura 28 se muestra los clúster o estaciones bases más cercanas al edificio begonias, se observa que tiene el clúster “Hotel

Westin” a solo 100 metros, la cual es una distancia relativamente no muy grande, sin embargo, al ser un distrito poblado de edificios la señal que propaga la base vecina se atenúa. También nos percatamos de las estaciones vecinas “Los Milatos” “Carrquiry” con una distancia de 670 y 540 respectivamente un poco más lejos, al igual que el anterior al ser un distrito poblado de edificios la señal se va atenuando por cada metro de distancia.



Figura 28: Estaciones vecinas que impactan al edificio Begonias
Fuente: Elaboración Propia

5.1.4 Caracterización del tráfico de la red

Se obtuvo los PLOTS de cobertura al procesar los LOGS obtenidos en el subproceso de Walk-test. En la tabla 11 muestra el cumplimiento del RSCP para 3G y el RSRP para 4G en porcentaje por piso para evidenciar los distintos casos en diferentes pisos.

Se evidencia que en ningún piso se cumple con los KPI óptimos tanto para RSCP como para RSRP.

Pisos	Distribución de empresas	RCSP	RSRP
Piso 26	BANCO GNB	45.44%	0.00%
Piso 25		0.00%	0.00%
Piso 24	HUAWEI	0.00%	0.00%
Piso 23		0.00%	0.00%
Piso 22	BANCO GNB	45.44%	0.00%
Piso 21	MINA BUENAVENTURA	37.50%	0.00%
Piso 20		36.20%	0.00%
Piso 19		35.78%	0.00%
Piso 18		45.34%	0.00%
Piso 17		37.50%	0.00%
Piso 16	MC KINSEY & COMPANY	60.00%	0.00%
Piso 15	GENERAL ELECTRIC	9.09%	0.00%
Piso 14		34.62%	0.00%
Piso 13	REPSOL	0.00%	0.00%
Piso 12	EXSA	0.00%	0.00%
Piso 11	REGUS-WOOX	0.00%	0.00%
Piso 10		0.00%	0.00%
Piso 9	BRECA	0.00%	0.00%
Piso 8	ESTRATEGICA	1.74%	0.00%
Piso 7	URBANOVA / CUBICA	0.00%	0.00%
Piso 6	Oficinas Administrativas	24.39%	0.00%
Piso 5	PROCTER	0.00%	0.00%
Piso 4		0.00%	0.00%
Piso 3	Oficinas Administrativas	0.00%	0.00%
Piso 2	Patio de comida / Anfiteatro	24.57%	76.43%
Piso 1	Recepción Cubica	77.45%	65.75%
Sótano 01	Estacionamientos	35.00%	7.20%
Sótano 02	Estacionamientos	0.00%	0.00%
Sótano 03	Estacionamientos	0.00%	0.00%
Sótano 04	Estacionamientos	0.00%	0.00%
Sótano 05	Estacionamientos	0.00%	0.00%
Sótano 06	Estacionamientos	0.00%	0.00%
Sótano 07	Estacionamientos	0.00%	0.00%

Tabla 11: Porcentaje de cumplimiento de señal por piso
Fuente: Elaboración propia

De la distribución de las empresas, se analizará con profundidad el piso 7 y sótano 2, pese que los resultados de las pruebas son distintos, al contar con la misma ruta en todos los pisos y el proceso de análisis solo se evidencias esos pisos.

5.1.4.1 PISO 07

- a) RSCP: Se observa en la figura 29 los valores de RSCP, del cual nos muestra que el 100 % de los valores están por debajo de -85 dBm del cual se encuentra fuera del rango del valor permitido que es $RSCP \geq -75$ dBm. Eso nos indica un riesgo de caída de llamada y baja calidad de señal.



Figura 29: Plot de RSCP del piso 07
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 12 y la figura 30 se refleja los valores de las muestras en porcentajes para obtener que el cumplimiento de KPI es del 0.00% y afirmar el valor de la interpretación en la figura 29.

RSCP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-45 to 0	0	0.00%	0.00%
-50 to -45	0	0.00%	
-55 to -50	0	0.00%	
-60 to -55	0	0.00%	
-70 to -60	0	0.00%	
-75 to -70	0	0.00%	
-80 to -75	0	0.00%	100.00%
-85 to -80	0	0.00%	
-90 to -85	15	0.95%	
-95 to -90	166	10.52%	
-100 to -95	429	27.19%	
-120 to -100	968	61.34%	

Tabla 12: Interpretación de Cobertura RSCP en piso 7
Fuente: Elaboración propia

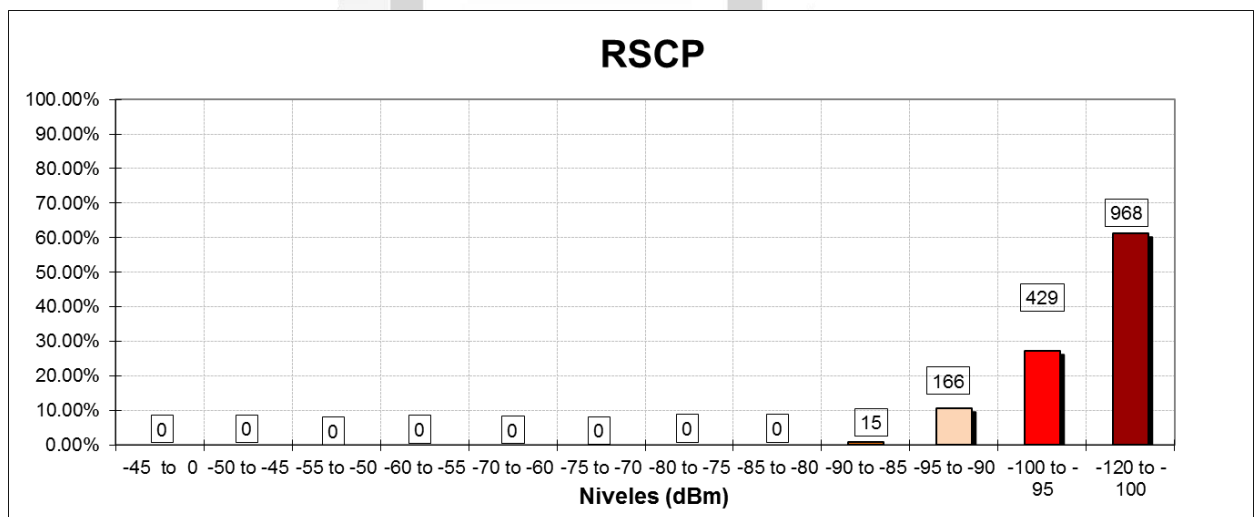


Figura 30: Grafico de Niveles de RSCP en piso 07
Fuente: Elaboración Propia

b) ECNO: Se observa en la figura 31 los valores de EC/NO, se muestra que el 98.54% de los valores están por debajo -8 del cual se encuentra fuera del rango del valor permitido que es $ECNO \geq -8$. Esto nos indica que existen niveles altos de ruido y afecta a la calidad de la señal, tiene también probabilidad de caída de llamada

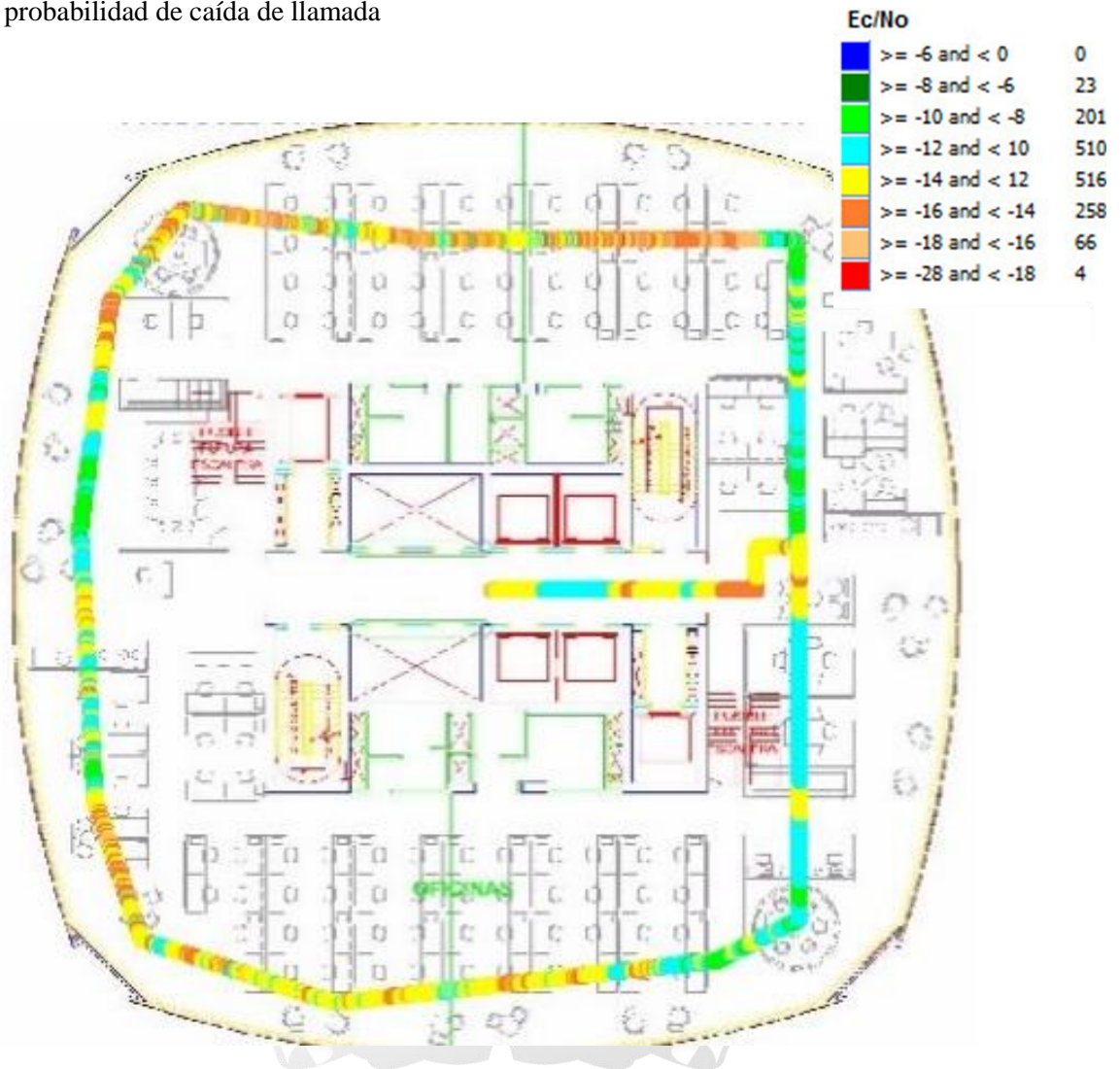


Figura 31: Plot EC/NO del piso 07
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 13 y la figura 32 se refleja los valores de las muestras en porcentajes para obtener que el cumplimiento de KPI es del 0.00% y afirmar el valor de la interpretación en la figura 31

Ec/No (dB)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-6 to 0	0	0.00%	1.46%
-8 to -6	23	1.46%	
-10 to -8	201	12.74%	98.54%
-12 to -10	510	32.32%	
-14 to -12	516	32.70%	
-16 to -14	258	16.35%	
-18 to -16	66	4.18%	
-28 to -18	4	0.25%	

Tabla 13: Interpretación de Cobertura EC/NO en piso 7
Fuente: Elaboración Propia

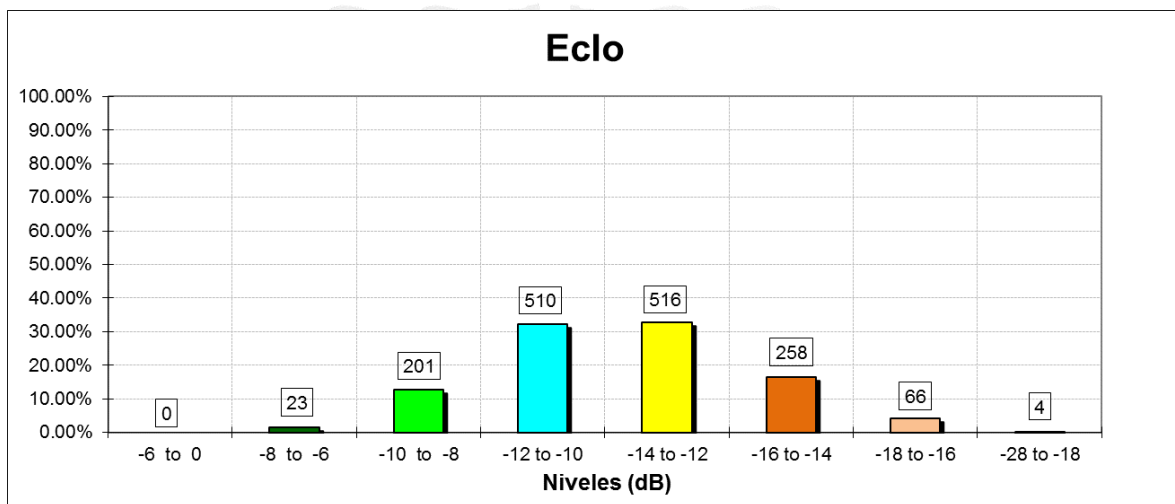


Figura 32: Grafico de Niveles de ECNO en piso 07
Fuente: Elaboración Propia

- c) PSC: Se observa en la figura 33 los valores de Scrambling Code (PSC), se muestra 18 diferentes Scrambling Code que representan 18 sectores distintos causando polución de señal. Estos son las estaciones vecinas que impactan en la señalización del diseño. Esto nos indica que el teléfono se encuentra en constante pimpono saltando de un sector a otro, por consecuencia esto ayuda a acelerar el consumo de batería del teléfono

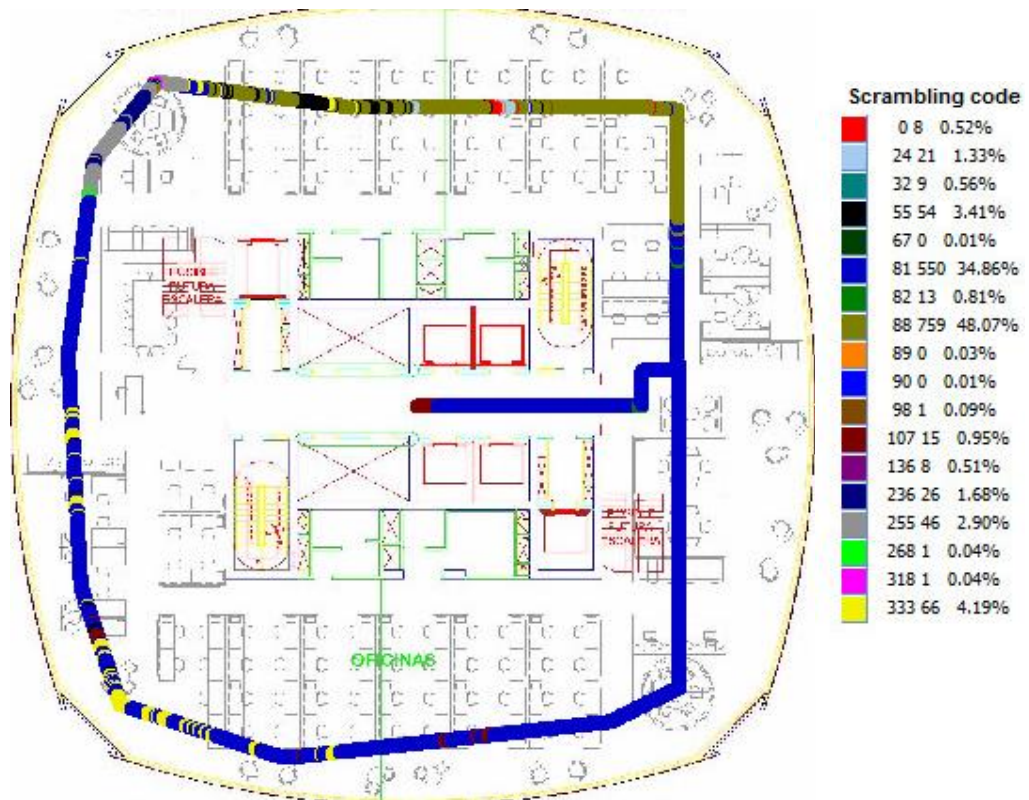


Figura 33: Plot Scrambling Code (PSC) del piso 07

Fuente: Elaboración Propia

- d) RSRP: Se observa en la figura 34 los valores de RSRP, se muestra que el 100% de los valores son menores que -105, siendo el rango permitido RSCP > -100 dBm. Esto nos indica que no se cuenta con una cobertura de 4G.

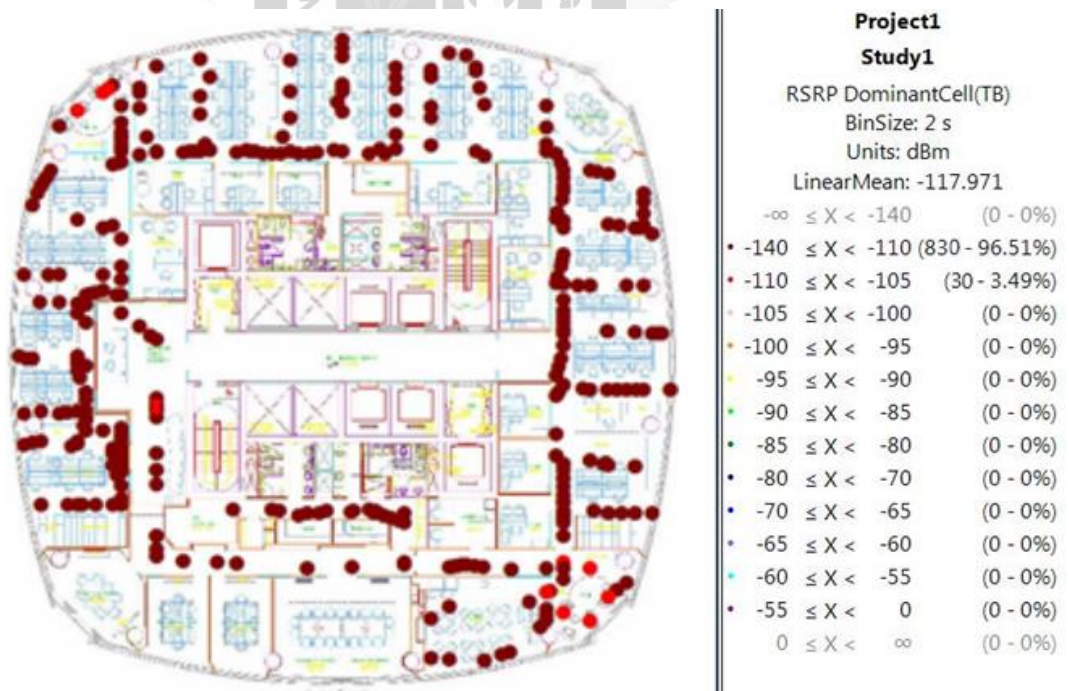


Figura 34: Plot de RSRP del piso 07

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 14 y la figura 35 se refleja los valores de las muestras en porcentajes para obtener que el cumplimiento de KPI es del 0.00% y afirmar el valor de la interpretación en la figura 34

RSRP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-55 to 0	0	0.00%	0.00%
-60 to -55	0	0.00%	
-65 to -60	0	0.00%	
-70 to -65	0	0.00%	
-80 to -70	0	0.00%	
-85 to -80	0	0.00%	
-90 to -85	0	0.00%	
-95 to -90	0	0.00%	100.00%
-100 to -95	0	0.00%	
-105 to -100	0	0.00%	
-110 to -105	30	3.49%	
-140 to -110	830	96.51%	

Tabla 14: Interpretación de Cobertura RSRP en piso 7
Fuente: Elaboración Propia

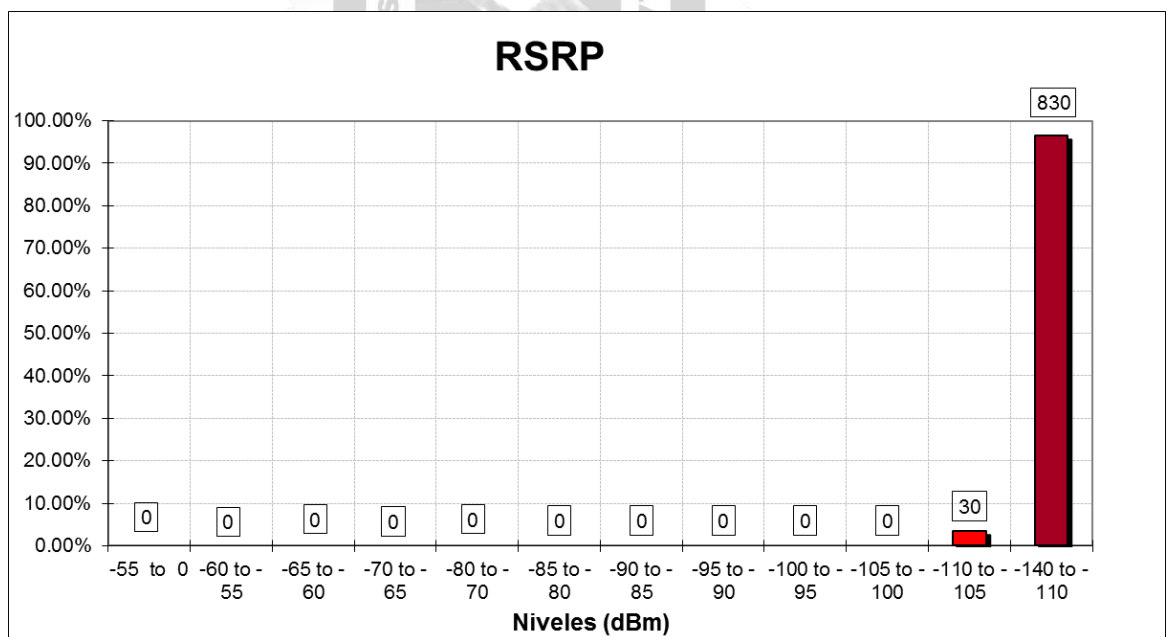


Figura 35: Grafico de Niveles de RSRP en piso 07
Fuente: Elaboración Propia

5.1.4.2 SOTANO 2

- a) RSCP: Se observa en la figura 36 los valores de RSCP, se muestra que el 100 % de los valores están por debajo de -90 dBm del cual se encuentra fuera del rango del valor permitido que es $RSCP \geq -75$ dBm. Eso nos indica un riesgo de caída de llamada y baja calidad de señal

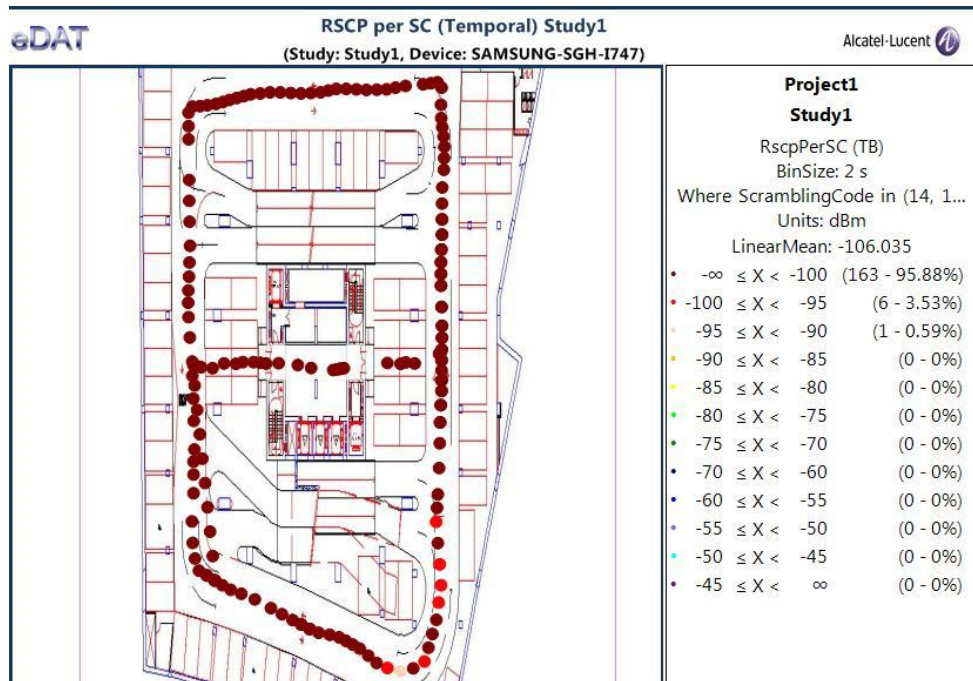


Figura 36: Plot de RSCP del sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 15 y la figura 37 se refleja los valores de las muestras en porcentajes para obtener que el cumplimiento de KPI es del 0.00% y afirmar el valor de la interpretación en la figura 36

RSCP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-45 to 0	0	0.00%	0.00%
-50 to -45	0	0.00%	
-55 to -50	0	0.00%	
-60 to -55	0	0.00%	
-70 to -60	0	0.00%	
-75 to -70	0	0.00%	
-80 to -75	0	0.00%	100.00%
-85 to -80	0	0.00%	
-90 to -85	15	8.11%	
-95 to -90	1	0.54%	
-100 to -95	6	3.24%	
-120 to -100	163	88.11%	

Tabla 15: Interpretación de Cobertura RSCP del sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

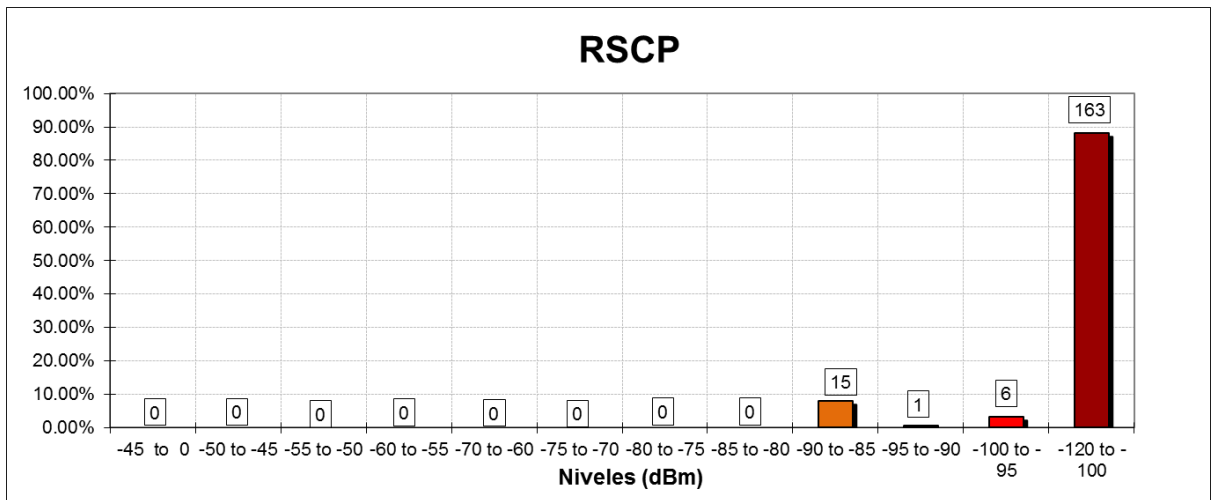


Figura 37: Grafico de Niveles de RSCP en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

b) ECNO: Se observa en la figura 38 los valores de EC/NO, se muestra que el 99.54% de los valores se encuentran por debajo -8 del cual los valores se encuentran fuera del rango del valor permitido que es $ECNO \geq -8$. Esto nos indica que existen niveles altos de ruido y afecta a la calidad de la señal, tiene también probabilidad de caída de llamada

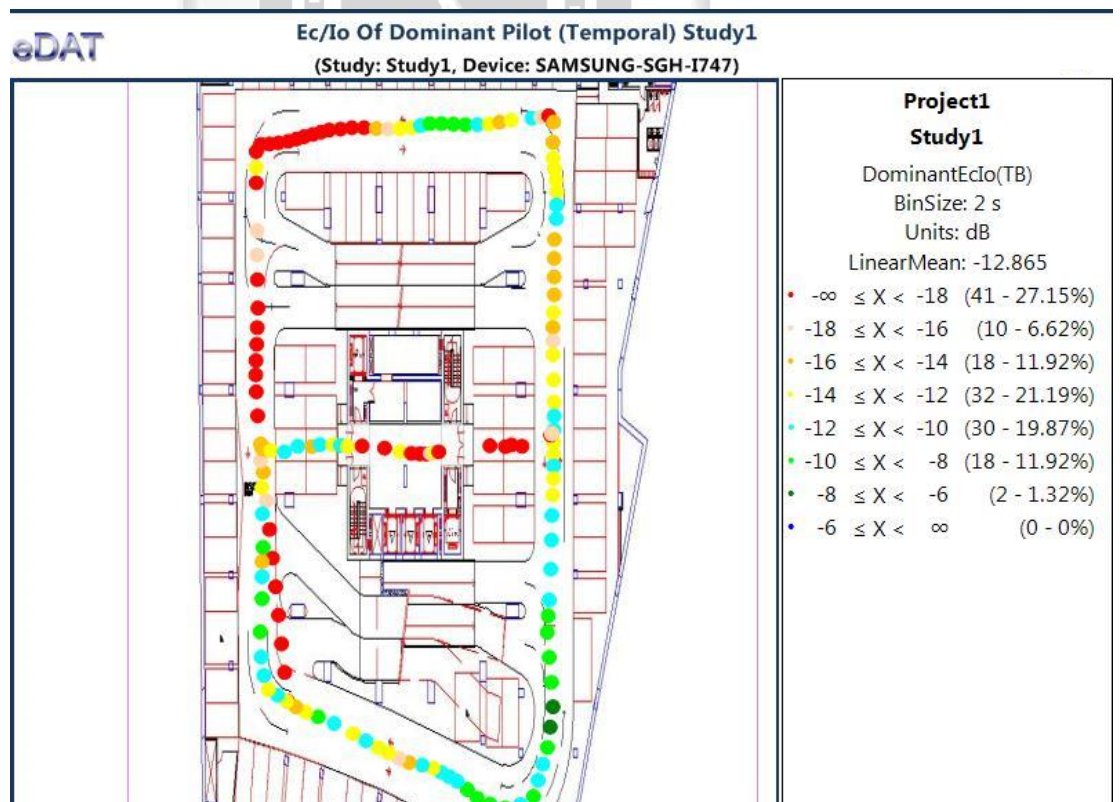


Figura 38: Plot EC/NO del sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 16 y la figura 39 se refleja los valores de las muestras en porcentajes para obtener que el cumplimiento de KPI es del 1.32% y afirmar el valor de la interpretación en la figura 38.

Ec/No (dB)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-6 to 0	0	0.00%	1.32%
-8 to -6	2	1.32%	
-10 to -8	18	11.92%	98.68%
-12 to -10	30	19.87%	
-14 to -12	32	21.19%	
-16 to -14	18	11.92%	
-18 to -16	10	6.62%	
-28 to -18	41	27.15%	

Tabla 16: Interpretación de Cobertura EC/NO del sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

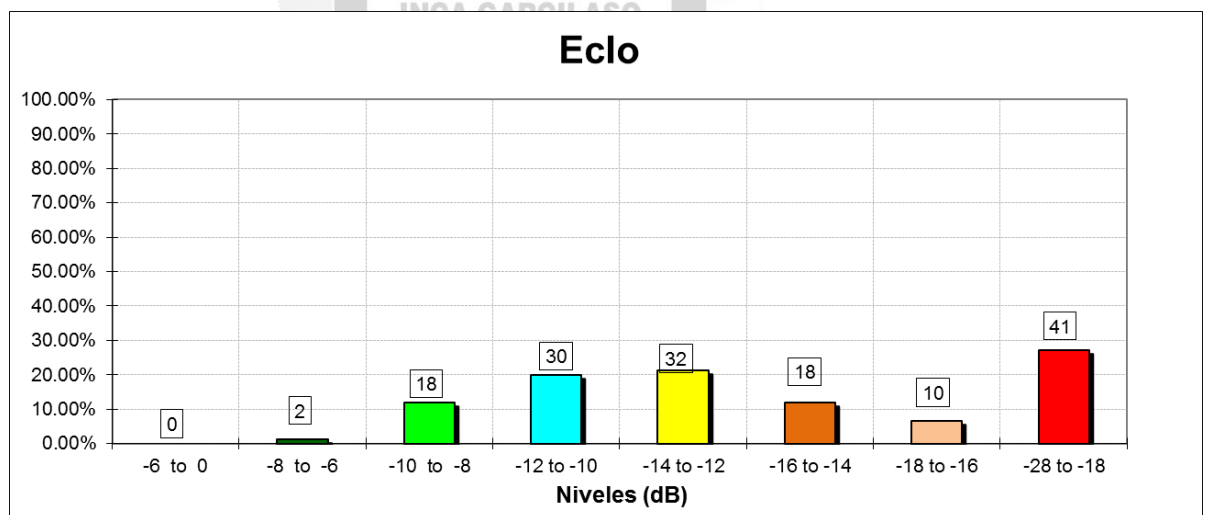


Figura 39: Grafico de Niveles de ECNO del sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

- c) PSC: Se observa en la figura 40 los valores de Scrambling Code (PSC) se muestra que existen 6 diferentes Scrambling Code que representan 6 sectores distintos causando polución de señal. Estos son las estaciones vecinas que impactan en la señalización del diseño. Esto nos indica que el teléfono se encuentra en constante pimpono saltando de un sector a otro, por consecuencia esto ayuda a acelerar el consumo de batería del teléfono.

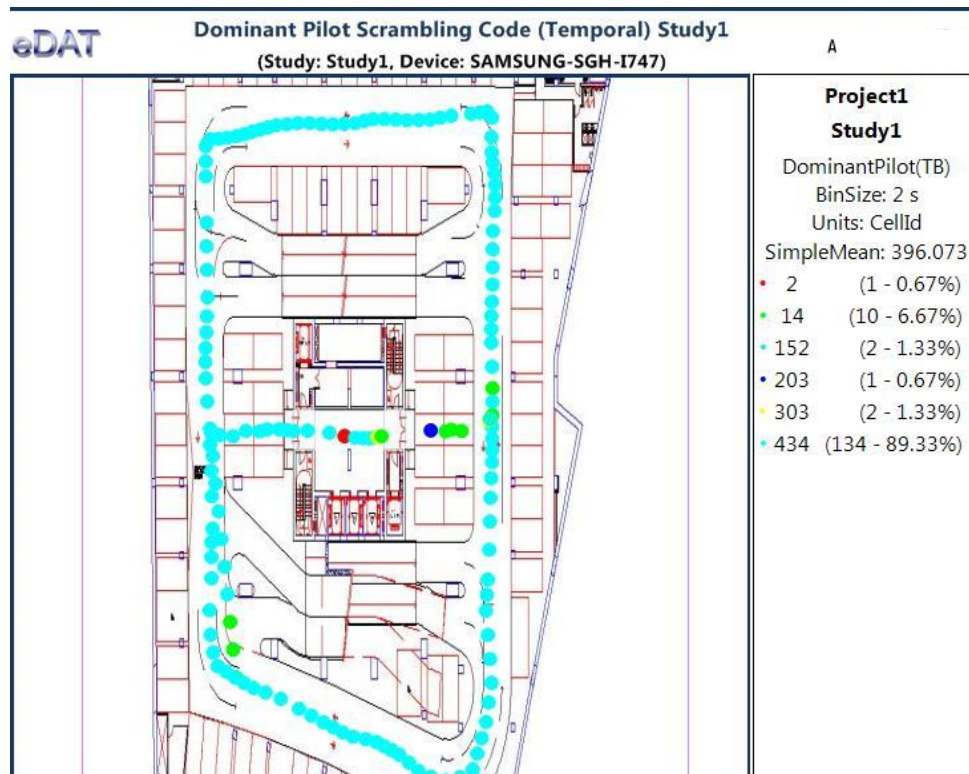


Figura 40: Plot Scrambling Code (PSC) del sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

d) RSRP: Se observa en la figura 41 los valores de RSRP, se muestra que el 100% de los valores son menores que -105, siendo el rango permitido RSCP > -100 dBm. Esto nos indica que no se cuenta con una cobertura de 4G

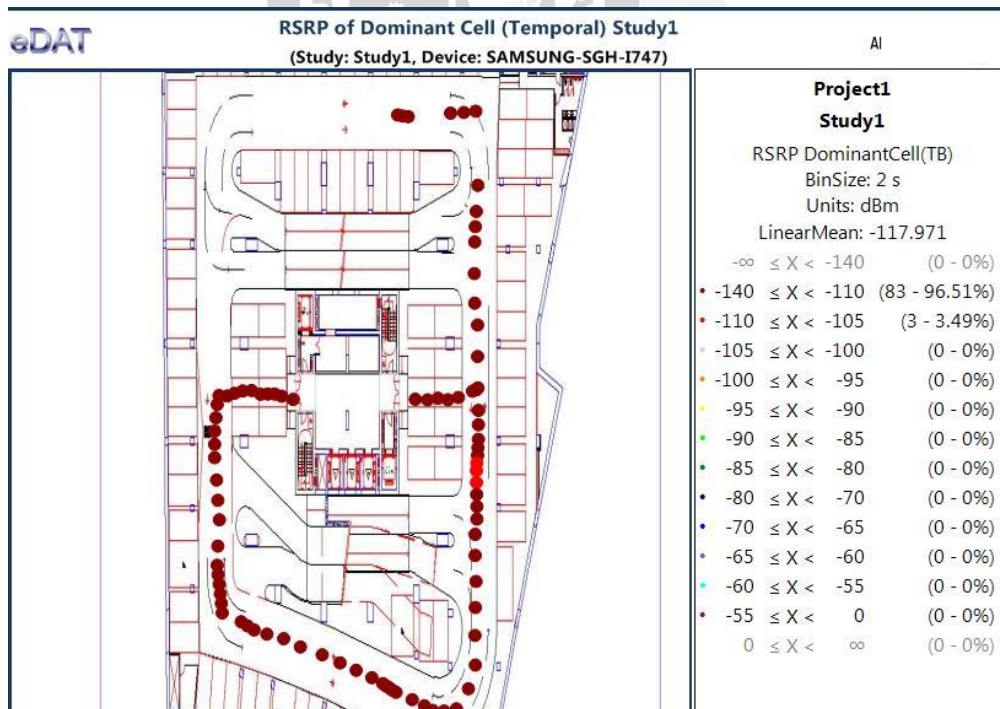


Figura 41: Plot de cobertura RSRP del sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 17 y la figura 42 se refleja los valores de las muestras en porcentajes para obtener que el cumplimiento de KPI es del 0.00% y afirmar el valor de la interpretación en la figura 41

RSRP (dBm)	# Muestras	Porcentaje	KPI
-55 to 0	0	0.00%	0.00%
-60 to -55	0	0.00%	
-65 to -60	0	0.00%	
-70 to -65	0	0.00%	
-80 to -70	0	0.00%	
-85 to -80	0	0.00%	
-90 to -85	0	0.00%	
-95 to -90	0	0.00%	100.00%
-100 to -95	0	0.00%	
-105 to -100	0	0.00%	
-110 to -105	3	3.49%	
-140 to -110	83	96.51%	

Tabla 17: Interpretación de Cobertura RSRP en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

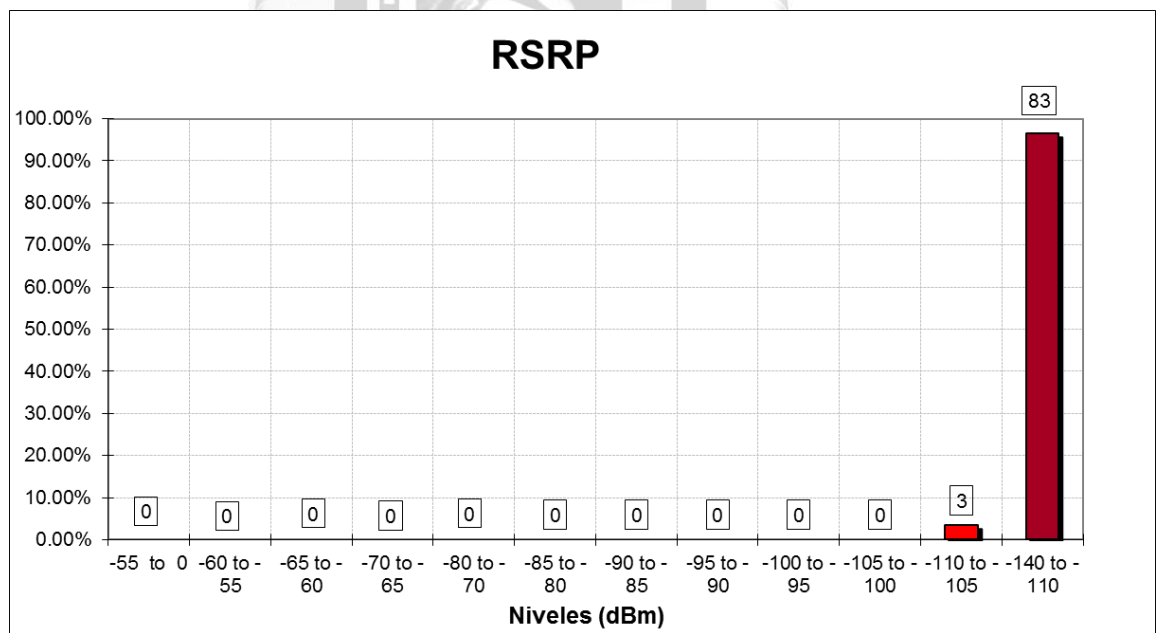
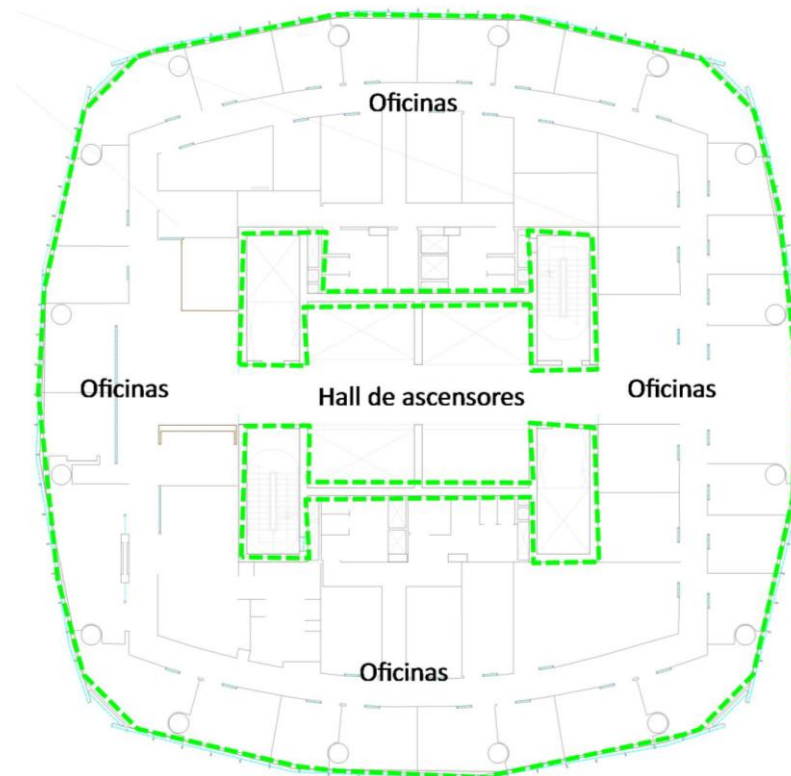


Figura 42: Grafico de Niveles de RSRP en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

5.2 Fase de diseño

5.2.1 Construcción del área de cobertura

En la figura 43 muestra el plano usado para los pisos a partir del piso 3 al piso 26 debido a que usan las mismas dimensiones e infraestructura, pero serán adecuadas según el piso correspondiente ya que no cuentan con las mismas distribución o división del piso, las líneas puntuadas indica donde se garantizó, cubrió y mejoró su cobertura (color verde). En estos pisos se encuentran las oficinas adquiridas por diferentes empresas, se muestra la distribución de empresas en la tabla 10 en la fase de análisis.



*Figura 43: Planos del piso 3 hasta el piso 26
Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 44, muestra el plano usado del Sótano 1 al Sótano 7, por tener las mismas dimensiones para todos los sótanos, pero serán adecuados ya que no cuentan con la misma distribución de divisiones. Las líneas puntuadas indica el lugar donde se garantizó, cubrió y mejoró su cobertura (color verde). En este plano se muestra los sótanos del edificio, donde los abonados (trabajadores de las empresas ubicados en los diferentes pisos o visitantes) dejan su medio de transporte (autos, bicicletas o motos) y empleados del edificio trabajan en esos pisos y algunos cuentan con sus puestos de trabajos en estos.

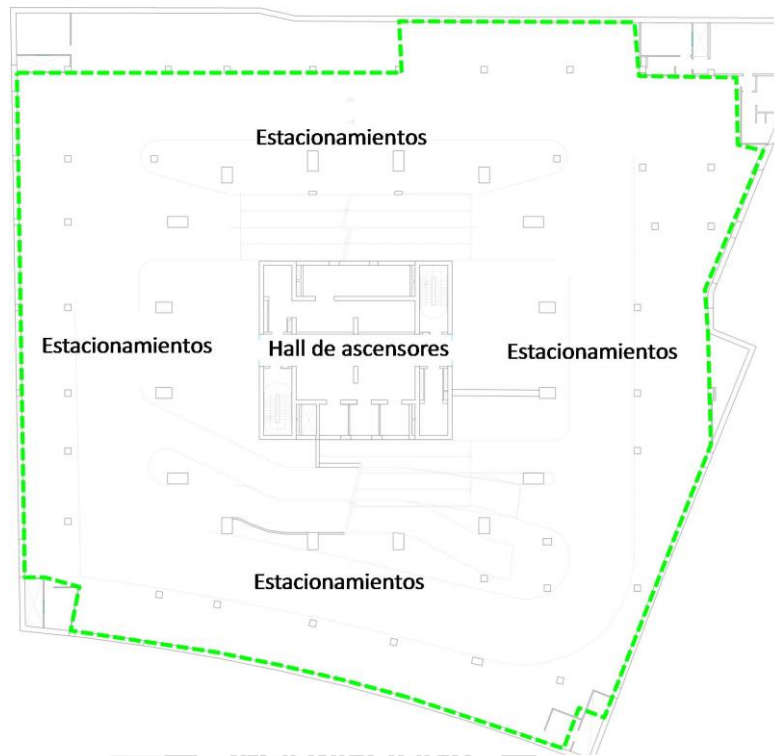


Figura 44: Planos del sótano 3 hasta el sótano 7
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 45 muestra el plano del piso 2 pese a contar con las mismas dimensiones e infraestructura de los pisos 1 al 26, se consideró colocar para ver la distribución ya que en este piso no es una oficina, en ese piso están ubicados el comedor, sala de reuniones y sala de espera, las líneas puntuadas indica donde se garantizó, cubrió y mejoró su cobertura (color verde).

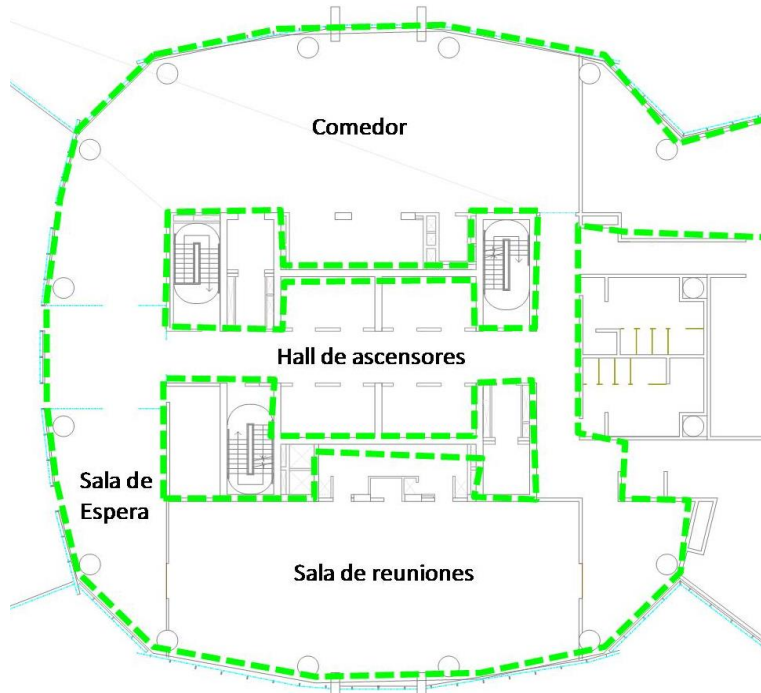


Figura 45: Planos del piso 02
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 46, muestra el plano del piso 1, al igual que en la figura anterior pese a contar con las mismas dimensiones e infraestructura de los pisos 1 al 26, se consideró colocar para ver la distribución ya que en este piso no tiene oficinas, es el piso principal de recepción, las líneas puntuadas indica donde se garantizó, cubrió y mejoró su cobertura (color verde).

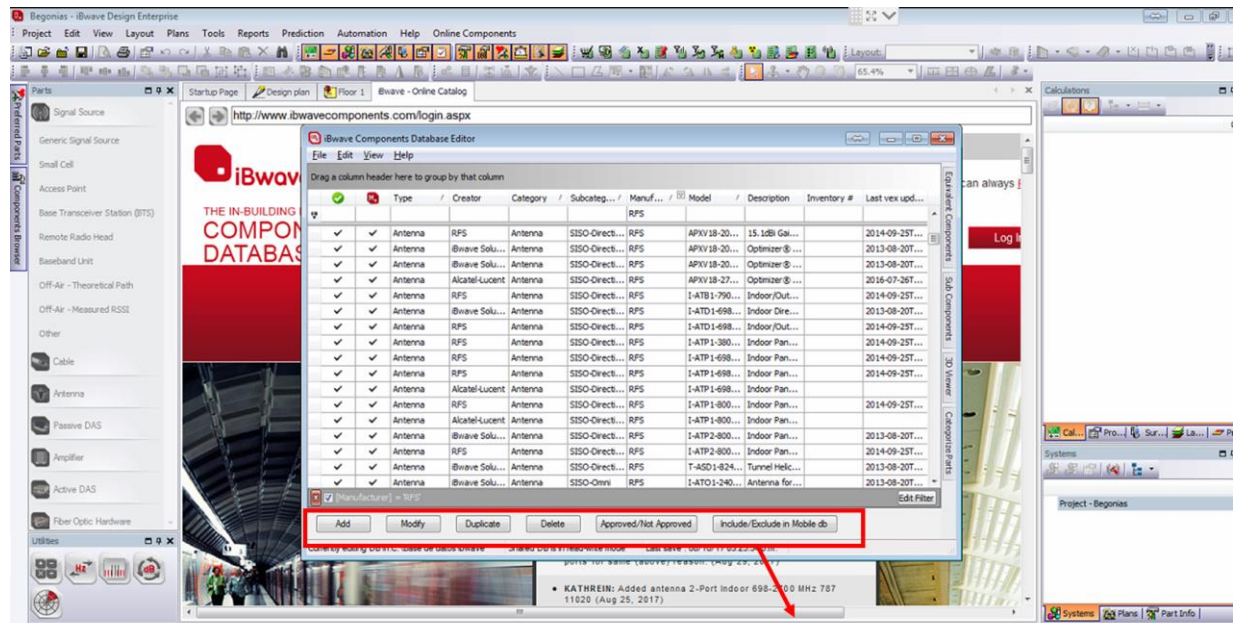


Figura 46: Planos del piso 01
Fuente: Elaboración Propia

1964

5.2.2 Construcción del diseño

Se configura el software antes de empezar el diseño, primero se añadió el archivo que contienen la base de datos de los componentes a utilizar (VEX). Para tener listos los componentes pasivos a usar. En la figura 47 se muestra la carpeta de actualización de datos.



Gestionar base de datos

Figura 47: Configuración de la base de datos del software
Fuente: Elaboración Propia

Luego se creó un proyecto llamado Torre Begonias, para poder realizar el diseño, en la figura 48 se muestra el panel de creación de proyecto, donde se puede configurar todo el proyecto.

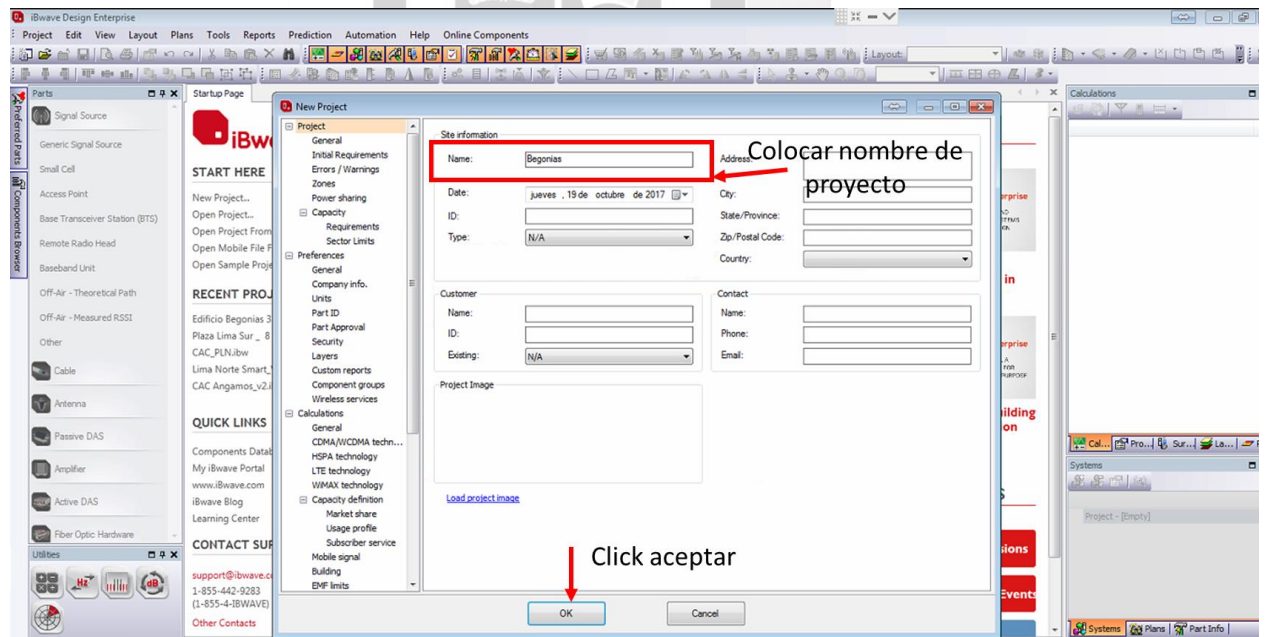


Figura 48: Creación del proyecto
Fuente: Elaboración Propia

Se cargó los planos originales del edificio en el software IBwave como se muestra en la figura 49, el cual nos brinda la opción de poder elegir los materiales de construcción del piso y su altura. Los conocimientos de la construcción del piso son adquiridos en el TSS de la fase de análisis.

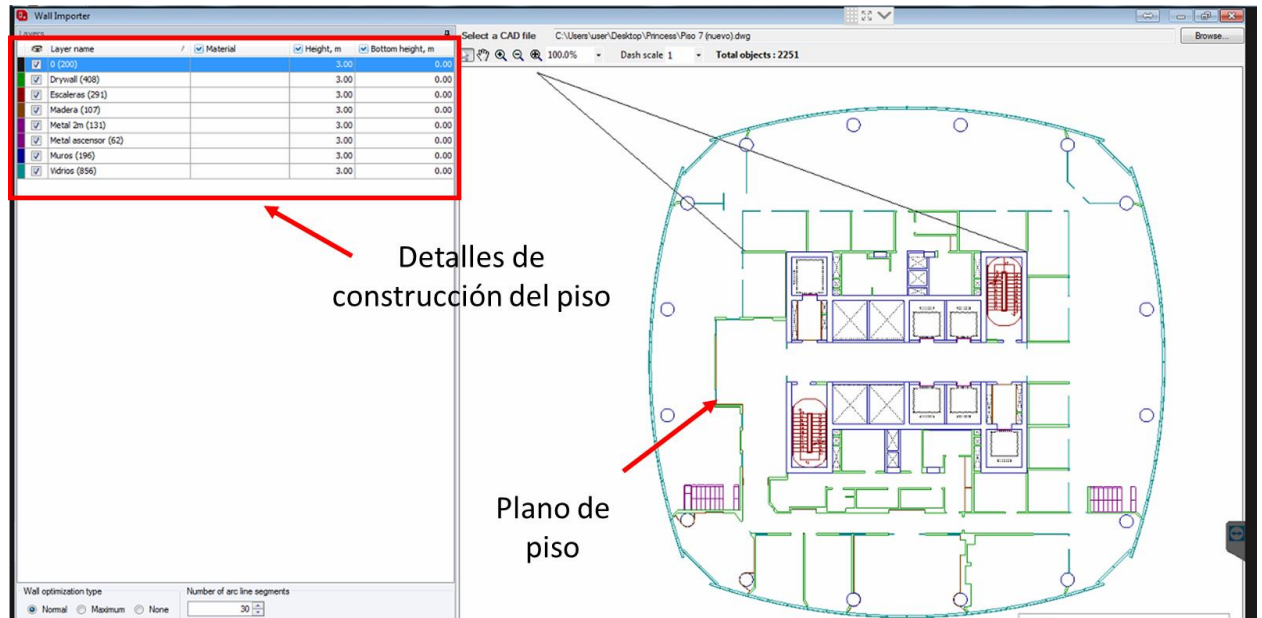


Figura 49: Configuración de planos en IBwave
Fuente: Elaboración Propia

El proceso de cargar los planos continua para todos los pisos del edificio con configuraciones diferentes, se debe colocar un punto de referencia ya designado en el TSS para tener los planos , como se muestra resaltado en la figura 50

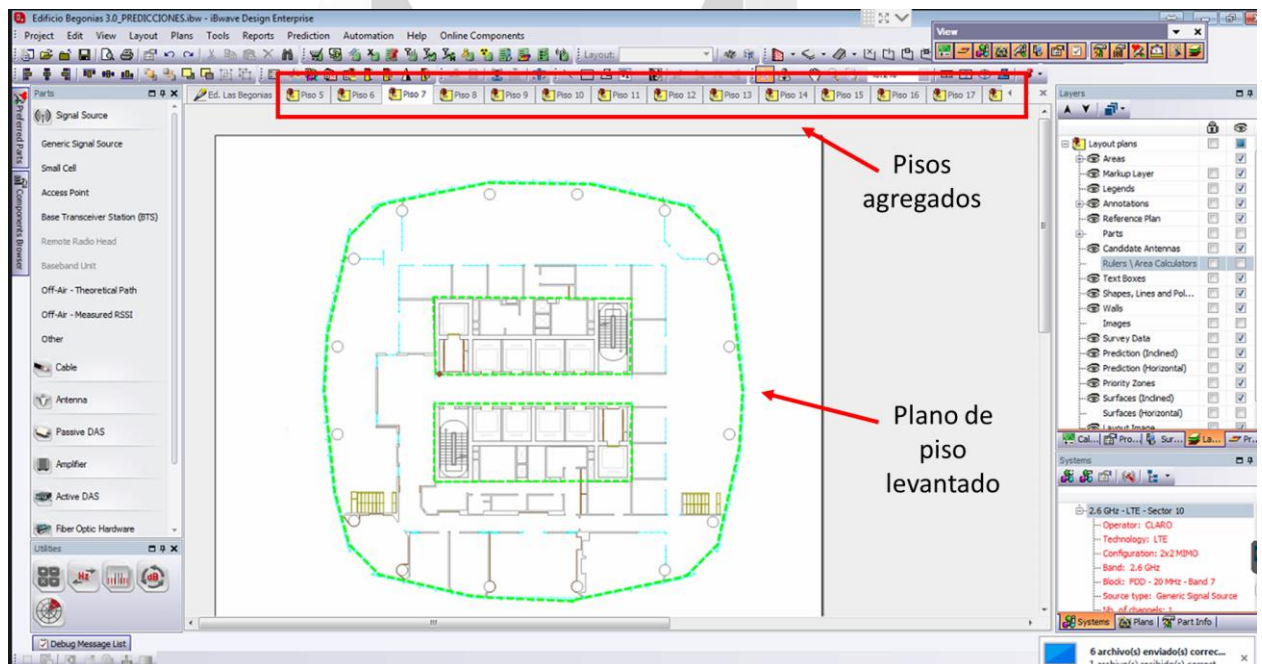


Figura 50: Configuración de punto de referencia
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 51 se muestra el levantamiento de los planos de todos los pisos, el cual nos permite ver el edificio completo en 3D de manera exitosa, se muestra que gracias a colocar el punto de referencia en el paso anterior el edificio se pudo diseñar de manera uniforme y los pisos encajan entre sí.

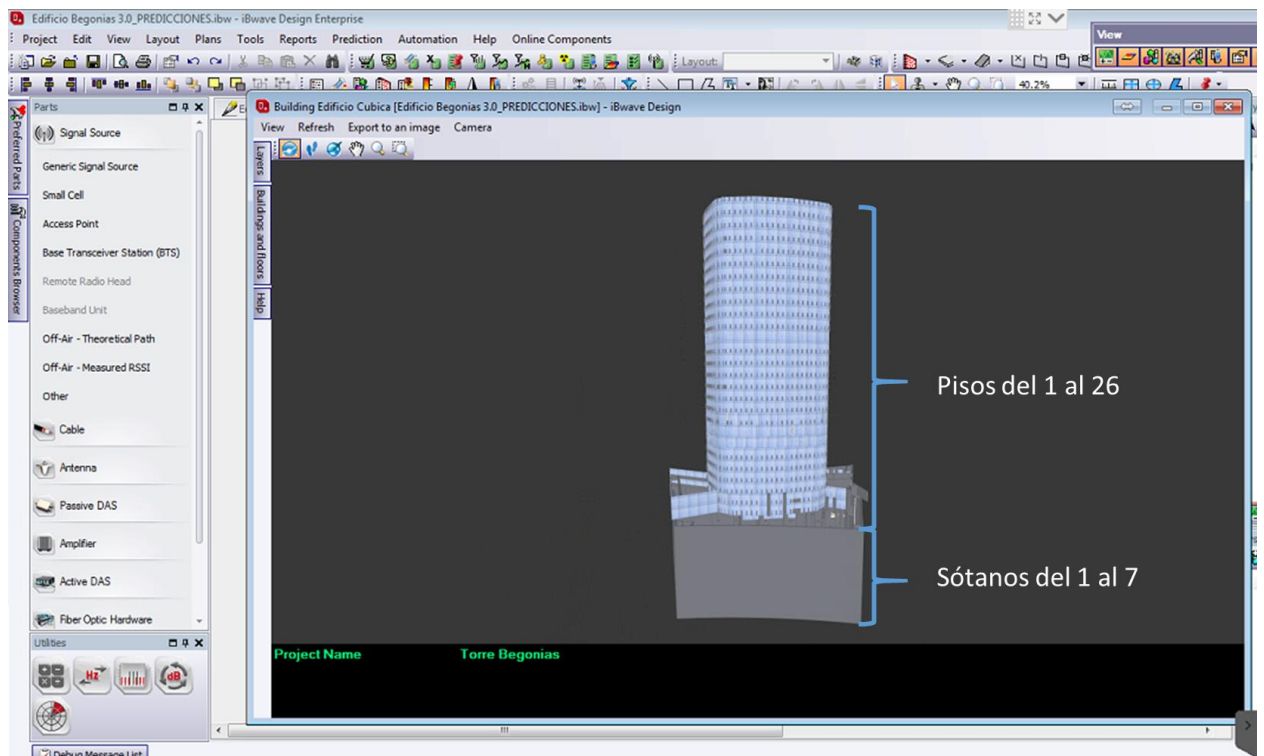


Figura 51: Diseño del edificio en 3D
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 18 se muestra la leyenda de artículos usados en el diseño, cada elemento es descrito en las bases teóricas y también se encuentran en el anexo 1.

Elemento de carga	
	RRU (Equipo de alimentación para WCDMA)
	RRH (Equipo de alimentación para LTE)

Tabla 18: Descripción de equipos de carga
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 19 se muestra los elementos pasivos a usar, la descripción de cada uno se encuentra en el anexo 1 y en bases teóricas de la tesis.









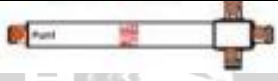

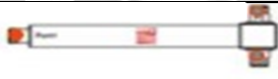

Elementos Pasivos	Vista en Unilineal	Vista en Piso
Antena Panel		
Antena Omnidireccional		
Carga		
Cable ½ flexible		
Cable ½ súper flexible		
Splitter de 3 salidas		
Splitter de 2 salidas		
Coupler o tapper		

Tabla 19: Elementos pasivos para el diseño
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 52 se explica el etiquetado usado para el diseño e implementación del sistema para seguir un mejor control del equipamiento, y en caso de detectarse algún error, identificar rápido el elemento implicado, Además, nos brinda una nomenclatura a cada componente para etiquetarlos, diferenciarlos y facilitar futuros cambios

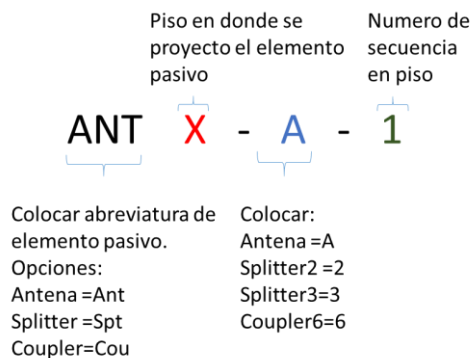


Figura 52: Estructura de etiquetado de elementos
Fuente: Elaboración Propia

En total se usarán 10 sectores para cubrir todo el edificio. En la tabla 20 se muestra la distribución de sectores por piso y la técnica que se utilizara por piso.

Área	Piso	Sectores	Técnica
BANCO GNB	Piso 26	Sector 10	SISO/ MIMO
	Piso 25		SISO/ MIMO
HUAWEI	Piso 24		Sector 09
	Piso 23	SISO/ MIMO	
BANCO GNB	Piso 22	SISO/ MIMO	
MINA BUENAVENTURA	Piso 21	Sector 08	SISO/ MIMO
	Piso 20		SISO/ MIMO
	Piso 19		SISO/ MIMO
	Piso 18		SISO/ MIMO
MC KINSEY & COMPANY	Piso 17	Sector 07	SISO/ MIMO
	Piso 16		SISO/ MIMO
GENERAL ELECTRIC	Piso 15	Sector 06	SISO/ MIMO
	Piso 14		SISO/ MIMO
REPSOL	Piso 13		SISO/ MIMO
EXSA	Piso 12	Sector 05	SISO/ MIMO
REGUS-WOOX	Piso 11		SISO/ MIMO
	Piso 10	SISO/ MIMO	
BRECA	Piso 09	Sector 04	SISO/ MIMO
ESTRATEGICA	Piso 08		SISO/ MIMO
URBANOVA / CUBICA	Piso 07		SISO/ MIMO
Oficinas Administrativas	Piso 06	Sector 03	SISO/ MIMO
PROCTER	Piso 05		SISO/ MIMO
	Piso 04		SISO/ MIMO
Oficinas Administrativas	Piso 03	Sector 02	SISO/ MIMO
Patio de comida / Anfiteatro	Piso 02		SISO/ MIMO
Recepción Cubica	Piso 01		SISO/ MIMO
Estacionamientos	Sótano 07 al Sótano 01	Sector 01	SISO

Tabla 20: Distribución de sectores
Fuente; Elaboración Propia

En el diseño se realizó un balance de potencia para cada antena para facilitar en un futuro realizar alguna gestión de potencias y las antenas mantengan su uniformidad.

- Las RRH 4G pertenecientes a todos los sectores están configuradas a 30dBm.
- Las RRU 3G/4G pertenecientes a todos los sectores están configuradas a 38dBm esto nos permitirá en un futuro gestionar la potencia a nuestro favor.

En la figura 53 se muestra la distribución de las antenas en el Piso 07. El cual considera tener 2 path, el primero de 3G y 4G (PATH1) que es el uso de la técnica SISO (Antenas de color negro) y el otro

solo 4G (PATH2) que es el uso de la técnica MIMO (Antenas de color azul). Ya al soportar 2 sistemas de comunicación móvil (3G/4G) esto nos demuestra que el sistema es adaptabilidad y multi-tecnología. El sistema será desplegado en la banda 1900 en 3G/4G y 2600 en 4G.

Este piso es alimentado por el sector 04 quien comparte ramificación con piso 08 y piso 09, para los demás pisos se usó la misma ubicación de antenas, pero modificando la ruta del cableado ya que a pesar de tener las mismas dimensiones y usar el mismo plano, la distribución en piso es distinta.

Para controlar la fuga de señal indoor se utilizó antenas panel y solo se utilizó omnidireccional en lugares céntricos del edificio debido a que la edificación presenta espacios abiertos en gran parte de su perímetro. Se tuvo especial cuidado en las zonas cercanas a bordes de ventana direccionando la cobertura a lo largo de los pasillos y oficinas, con esto se logrará evitar que la propagación de señal fugue hacia el exterior del edificio

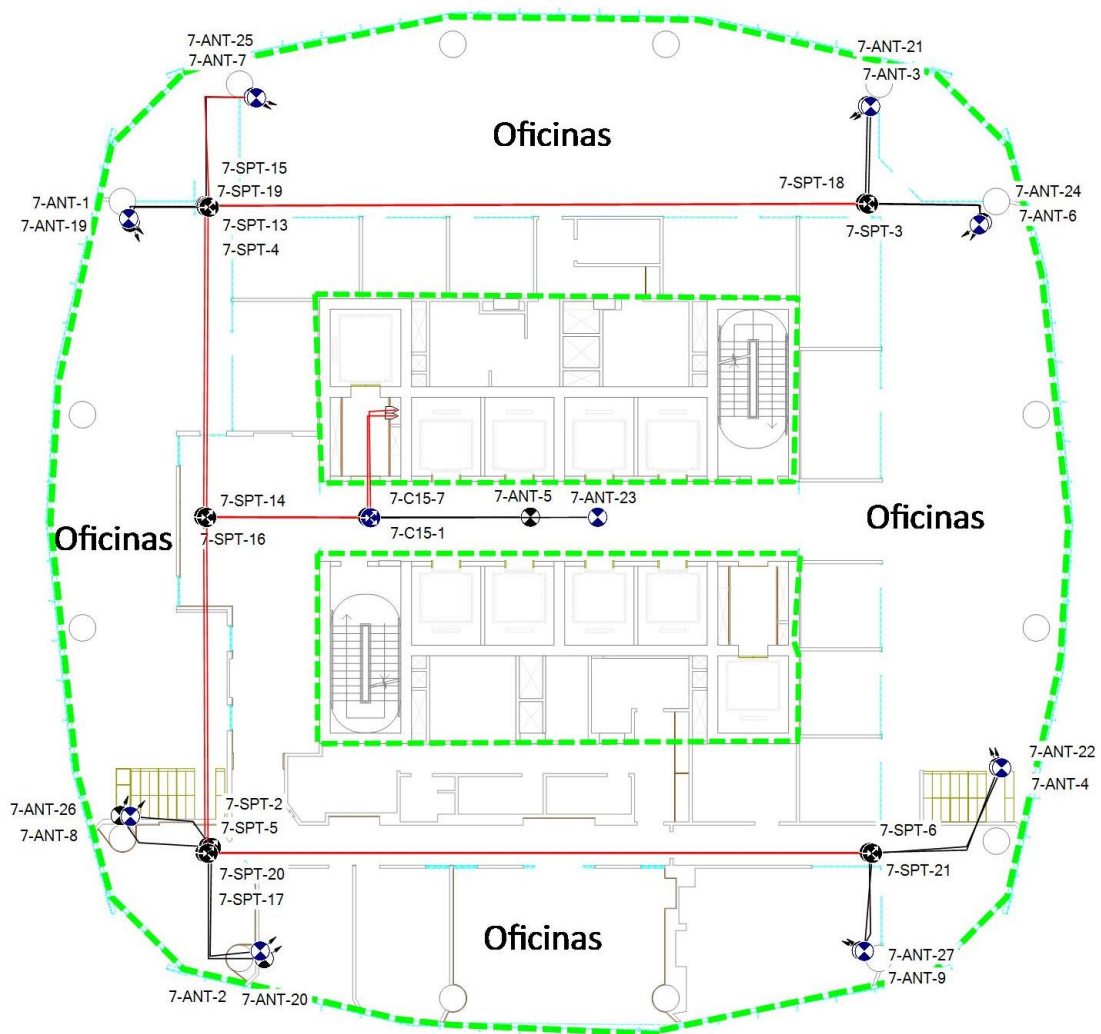


Figura 53: Distribución de antenas piso 07

Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño de los Sótanos se usará un solo sector para todos los sótanos que con técnica SISO. Se proyectó el uso 5 antenas como muestra en la figura 54, todas las antenas elegidas para los sótanos son omnidireccionales debido a su patrón de radiación ya que irradian el haz de señal en todas

direcciones en un plano horizontal que permite cubrir la mayor parte del sótano, y no tener miedo con una propagación de señal que interactúe con la macro, por ser sótanos la señal no traspasara paredes ya que con el estudio realizado se observó que todos los sótanos utilizan concreto.

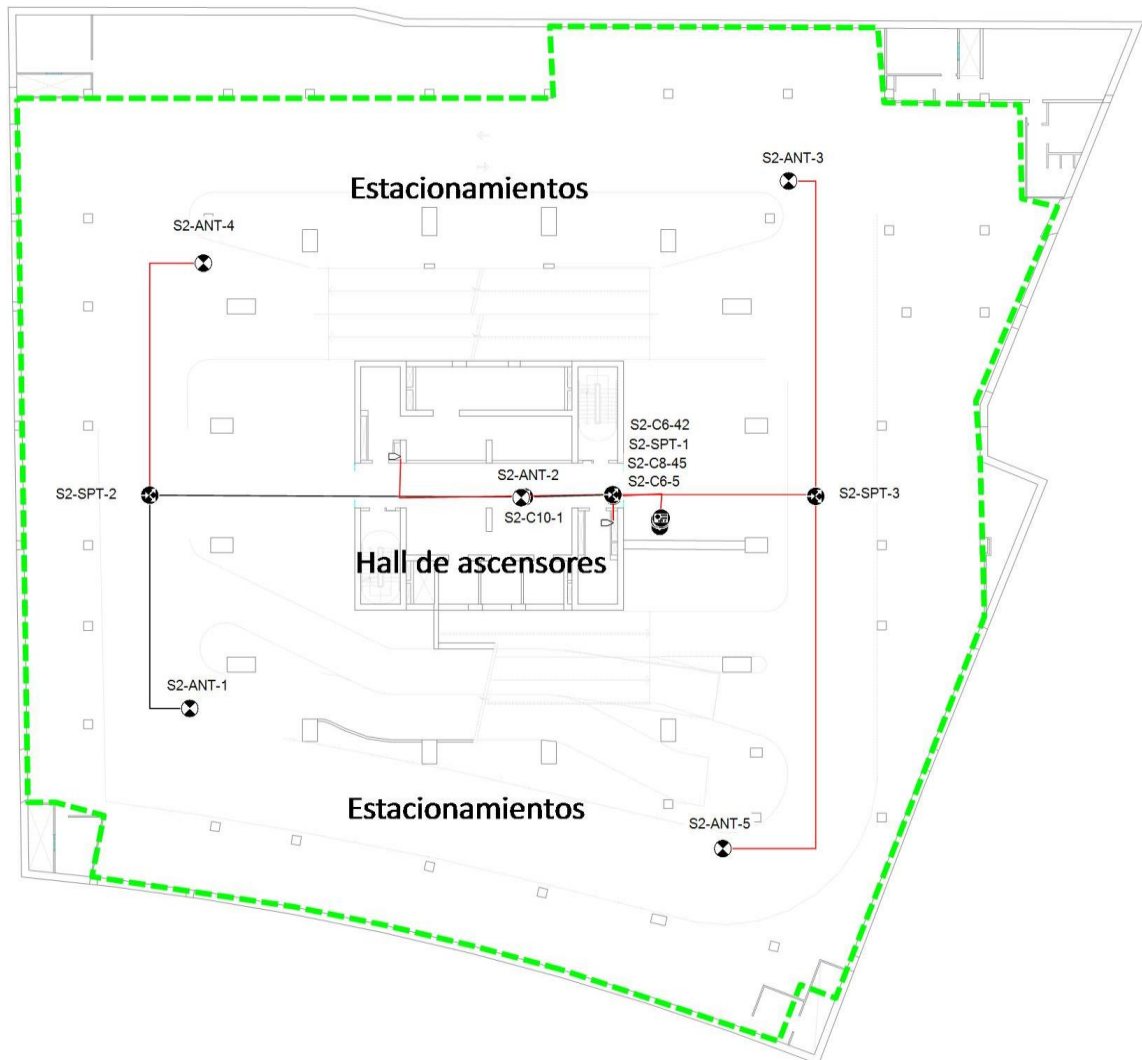


Figura 54: Distribución de antenas sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 21 se muestra la distribución de los equipos de alimentación que fueron elegidos por contar con un ambiente disponible para ser colocados y que tenga acceso limitado de las personas.

Área	Piso	Sectores
BANCO GNB	Piso 25	Sector 10
	Piso 22	Sector 9
MINA BUENAVENTURA	Piso 19	Sector 8
MC KINSEY & COMPANY	Piso 16	Sector 7
REPSOL	Piso 13	Sector 6
REGUS-WOOX	Piso 10	Sector 5
ESTRATEGICA	Piso 08	Sector 4
PROCTER	Piso 05	Sector 3
Patio de comida / Anfiteatro	Piso 02	Sector 2
Estacionamientos	Sótano 02	Sector 1

Tabla 21: Tabla de distribución de RRH y RRU
Fuente; Elaboración Propia

En la figura 55 nos muestra la ubicación de equipos principales (RRU y RRH) en el piso 07, la ubicación de todos los equipos principales de los diferentes se encuentran en la misma posición por lo cual se usó el mismo plano.

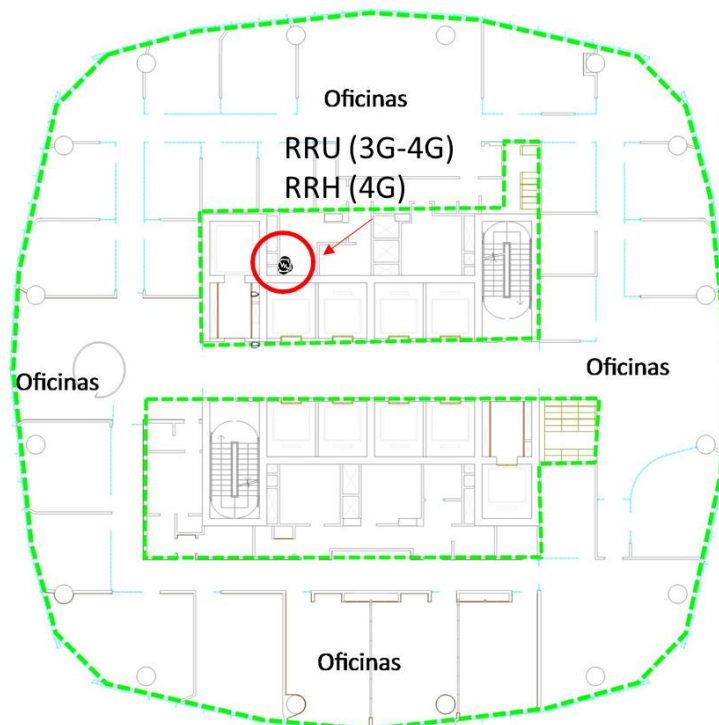


Figura 55: Ubicación de equipos de transmisión en piso 7
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 56 nos muestra la ubicación de equipos principales (RRU y RRH) en el sótano 2. Los cuales se encuentran ubicado al lado del hall de ascensores. Este piso pertenece al sector 1 como lo muestra el cuadro de distribución de sectores.

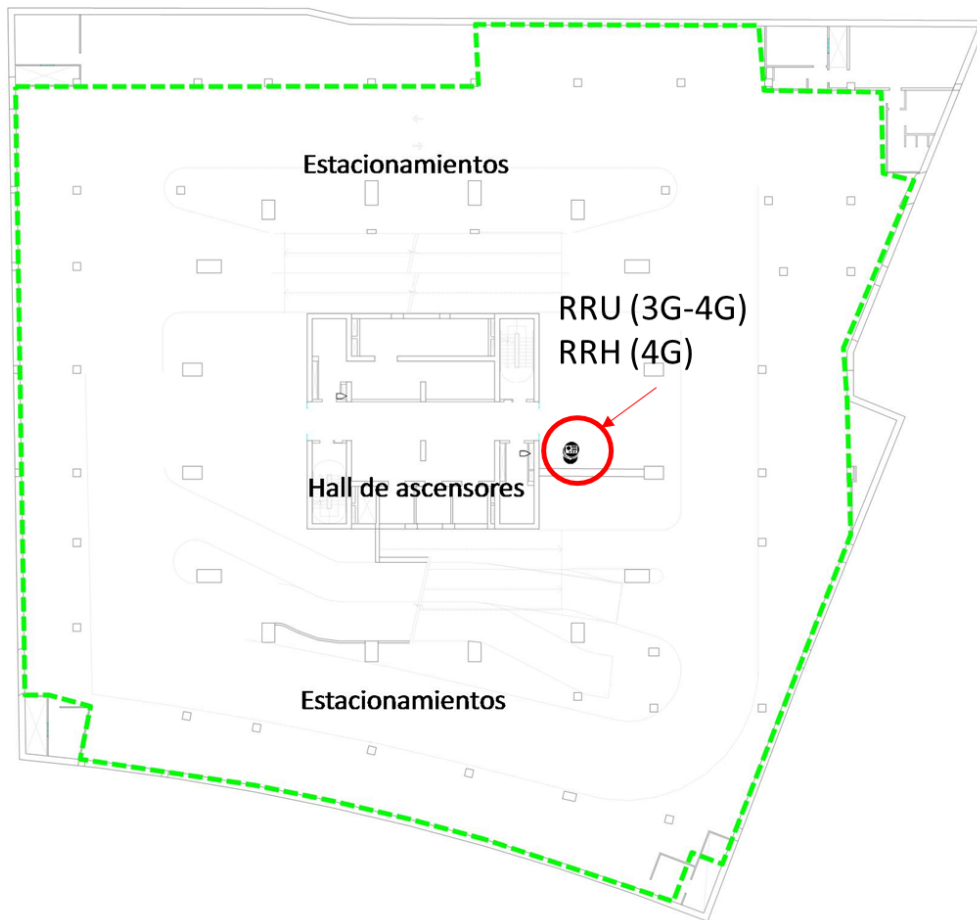


Figura 56: Ubicación de equipos de transmisión en sótano 2
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 57 se muestra el diagrama unilineal de cada sector, este diagrama nos permite visualizar mejor la distribución de antenas.

SISO

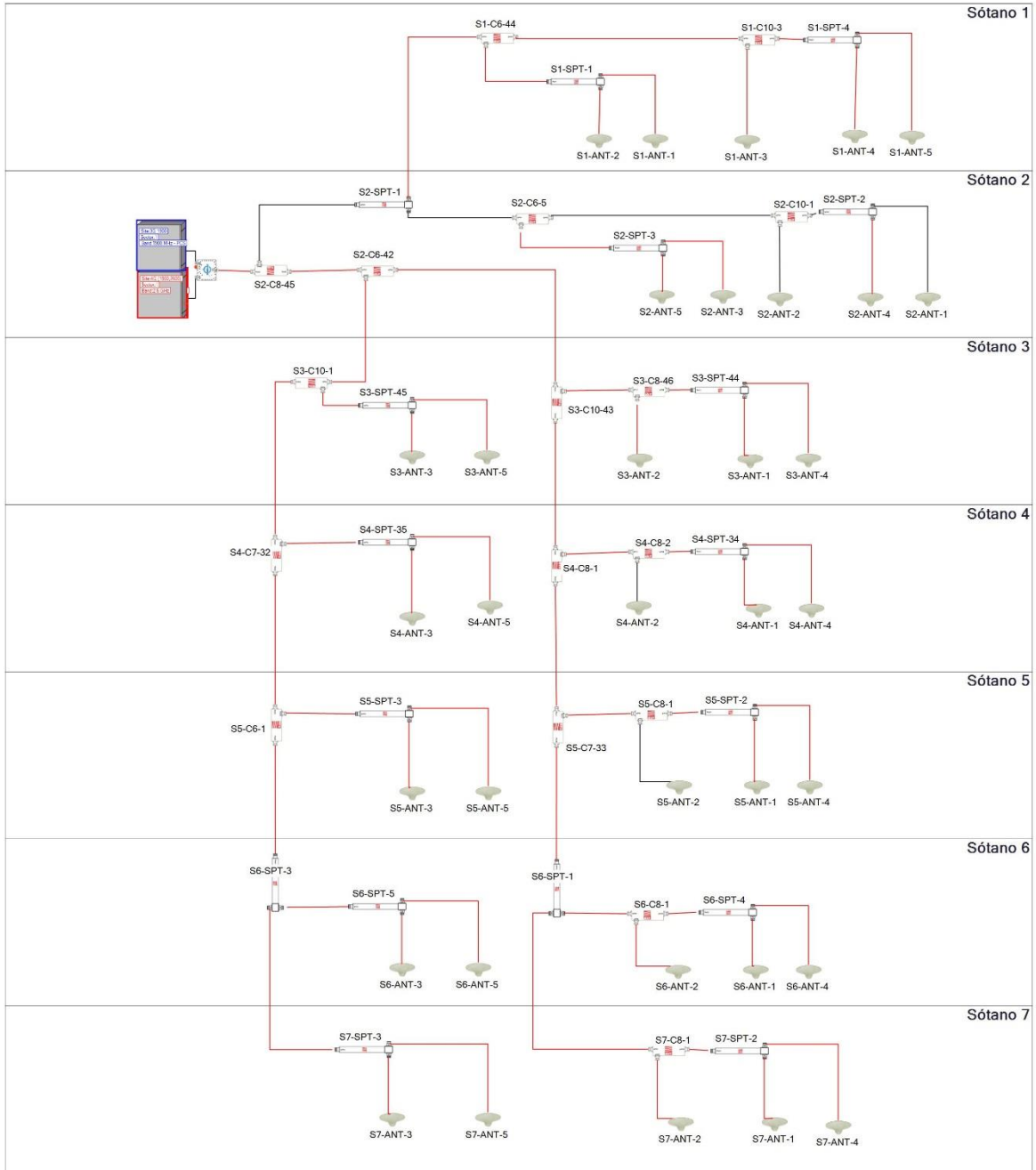
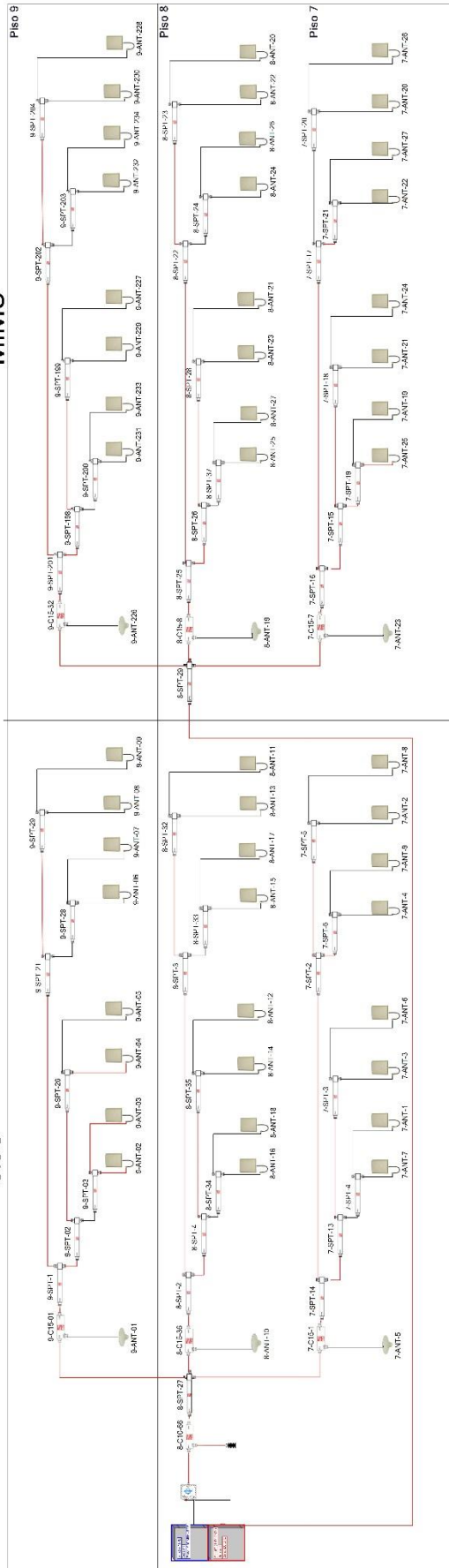


Figura 57: Unilineal de sótanos
Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño del piso 1 al piso 26 se usará 8 sectores cada 3 pisos y 1 sector por 2 pisos, por ende, se usarán 9 sectores en los pisos superiores como se muestra en la distribución de sectores, en la figura 58 se observa el diagrama unilineal para los pisos 07 ,08 y 09.

MIMO



SISO

Figura 58: Unilínea de pisos 7,8 y 9
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 22 se muestra la lista de materiales que se usarían para implementación de todos los pisos (Del sótano 07 al piso 26)

Lista de Materiales

Tipo	Marca	Modelos	Descripción	Cantidad
Antena	RFS	I-ATP1-698/2700P	Indoor Panel Antenna - 698-960 MHz / 1710-2700 MHz - N-Female	416
Antena	RFS	I-ATO1-800/2700	Indoor Omnidirectional Antenna for CDMA, GSM, DCS, PCS, 3G and WLAN - 800-960 MHz / 1710-2500 MHz / 2500-2700 MHz	87
Atenuador	RFS	716-TER-01	Termination - 1 Watt - 716-Type male	10
Cable	RFS	LCF12-50JFNL (ALCATEL)	CELLFLEX - 1/2" Low-Loss Foam Coaxial Cable, Halogene Free, Polyethylen, PE, Flame Retardant, LSOH	7494.50 m
Cable	RFS	SCF12-50JFN (ALCATEL)	CELLFLEX - 1/2" Superflexible Foam Dielectric Coaxial Cable, Halogene Free, Polyethylen, PE, Flame Retardant, LSOH	238.79 m
Conector	RFS	716-SCF12 ALU	716 Male Connector Straight for SCF12-50 Cable	40
Conector	RFS	NM-LCF12-D01	N Male OMNI FIT Connector for LCF12-50 Cable	1872
Conector	RFS	NM-SCF12-C02	N Male OMNI FIT Connector for SCF/RSF12-50 Cable	126
Combinador	RFS	DBCS 800/2170	Diplexer (1710-2170 MHz) Port 3 (2300-2690 MHz)	10
Splitter	RFS	PDS2E-698/2700	2-way Power Divider - Low Loss - Wideband 698-2700 MHz - N Connectors	381
Splitter	RFS	CDS10E-698/2700	Ultra Wide Band Coupler - 10 dB - 698-2700 MHz - N Connectors	11
Splitter	RFS	PDS3E-698/2700	3-way Power Divider - Low Loss - Wideband 698-2700 MHz - N Connectors	18
Splitter	RFS	CDS15E-698/2700	Ultra Wide Band Coupler - 15 dB - 698-2700 MHz - N Connectors	52
Splitter	RFS	CDS6E-698/2700	Ultra Wide Band Coupler - 6 dB - 698-2700 MHz - N Connectors	5

Splitter	RFS	CDS7I- 800/2700	Directional Coupler - 7 dB - Indoor - 700-2700 MHz - N Connectors	2
Coupler	RFS	CDS8I- 800/2700	Directional Coupler - 8 dB - Indoor - 700-2700 MHz - N Connectors	7
FO	N/A	N/A	Optical fiber	30
Mini Rectificador	N/A	Indoor	Convierte AC a DC estables	10
Base Band Unit	Huawei	BBU3900	Base Band Unit	4
Radio Transmisor	Huawei	RRU (Cell)	Outdoor Remote Unit - (3G-4G)	10
Radio Transmisor	Huawei	RRH (Cell)	Outdoor Remote Unit (4G)	10

Tabla 22: Lista de Materiales de todos los pisos
Fuente: Elaboración Propia

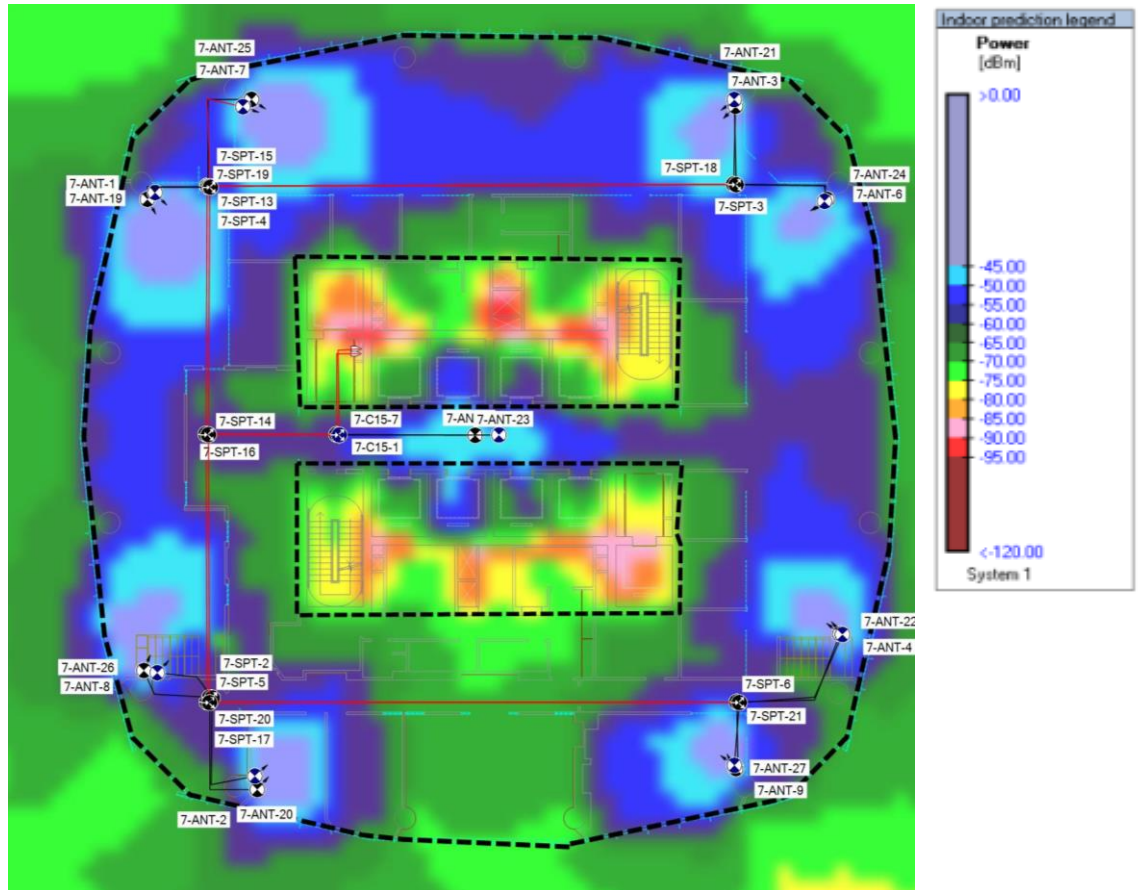


5.3 Fase de Pruebas, optimización y documentación del diseño de red

5.3.1 Probando diseño de red

5.3.1.1 Piso 07

- a) RSCP: En la figura 59 se muestra que los niveles del diseño planteado son mayores a -75 dBm. El área no cubierta son escaleras y cuartos de servicio donde no es habitado por el personal.



1964
Figura 59: Predicciones de RSCP
Fuente: Elaboración Propia

b) EC/NO En la figura 60 se muestra que los niveles del diseño planteado son mayores a -8 dBm

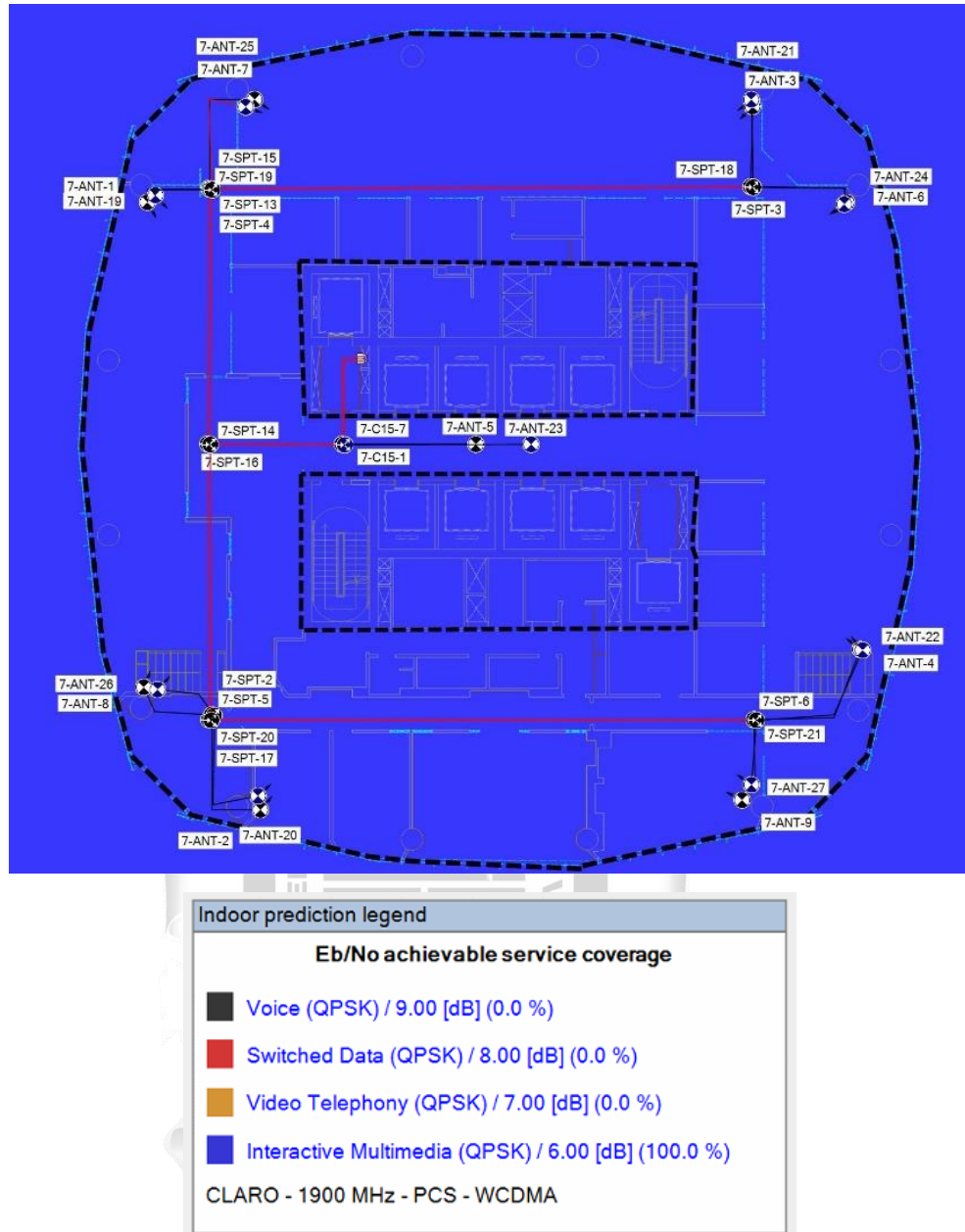


Figura 60: Predicciones de EC/NO

Fuente: Elaboración Propia

c) PSC En la figura 61 se muestra la interacción de sectores.

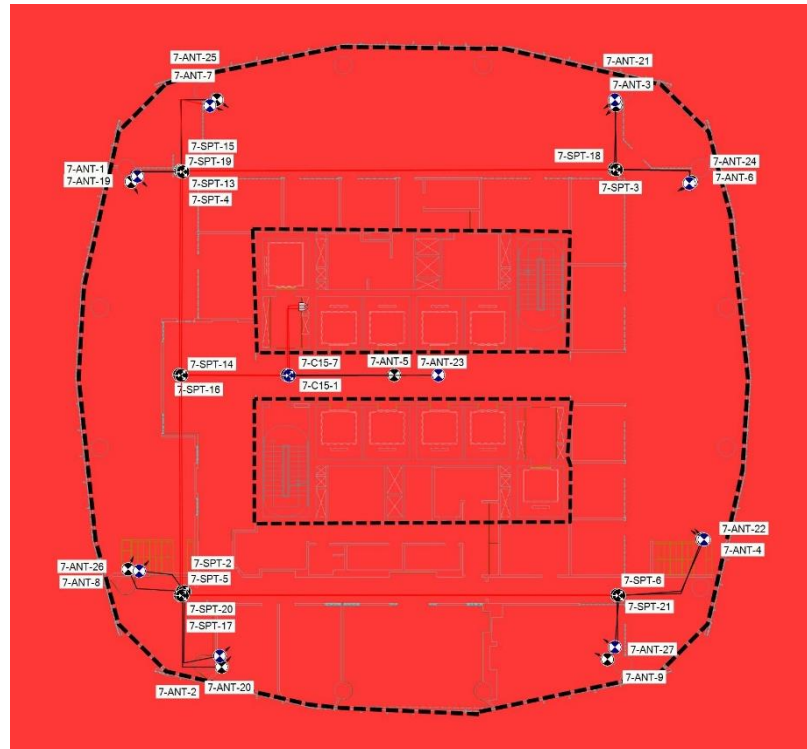


Figura 61: Predicciones de PSC
Fuente: Elaboración Propia

1964

- d) RSRP: En la figura 62 se muestra las predicciones del diseño planteado, se observa que los niveles son mayores de -100 dBm

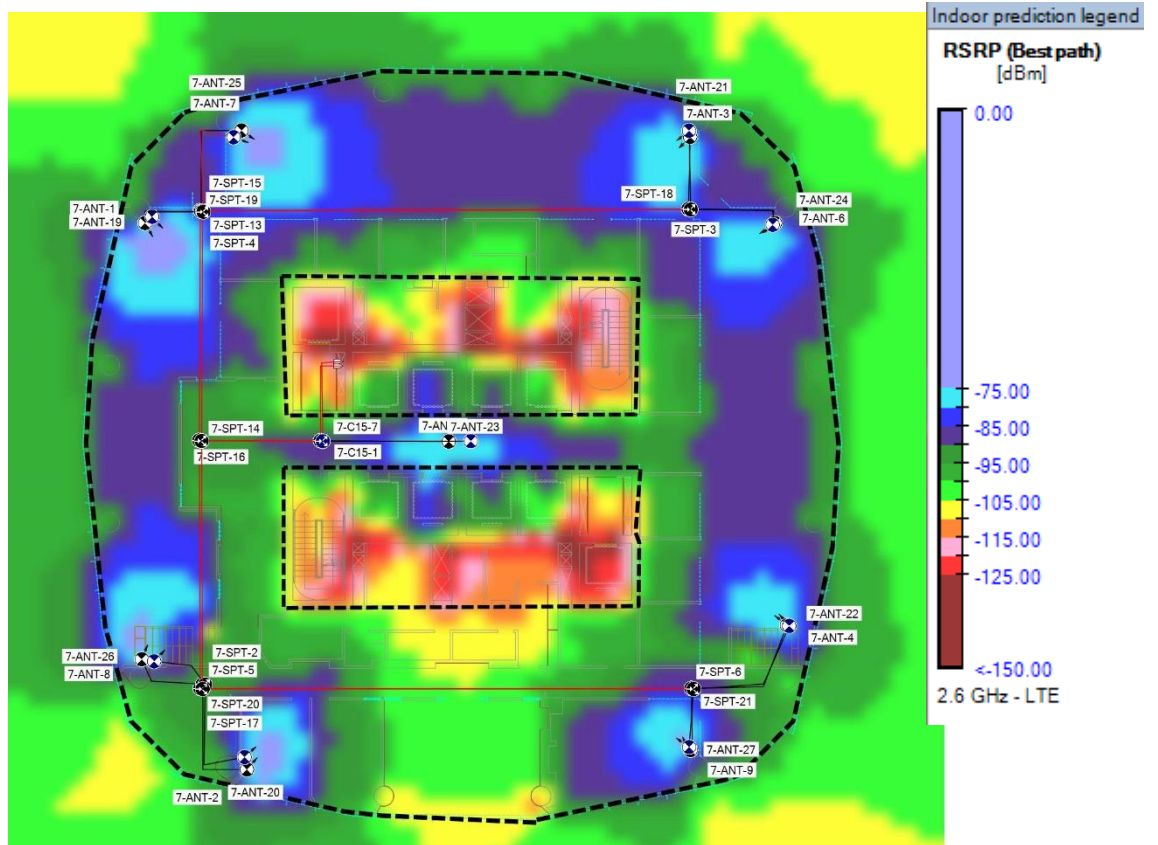


Figura 62: Predicciones de RSRP
Fuente: Elaboración Propia

e) DATA RATE: En la figura 63 se muestra las predicciones del diseño planteado, se observa que los niveles de datos e encuentra entre 220 al 120 Mbps en el área a cubrir.

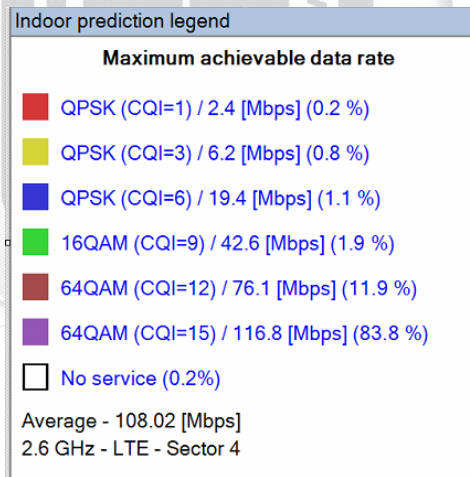
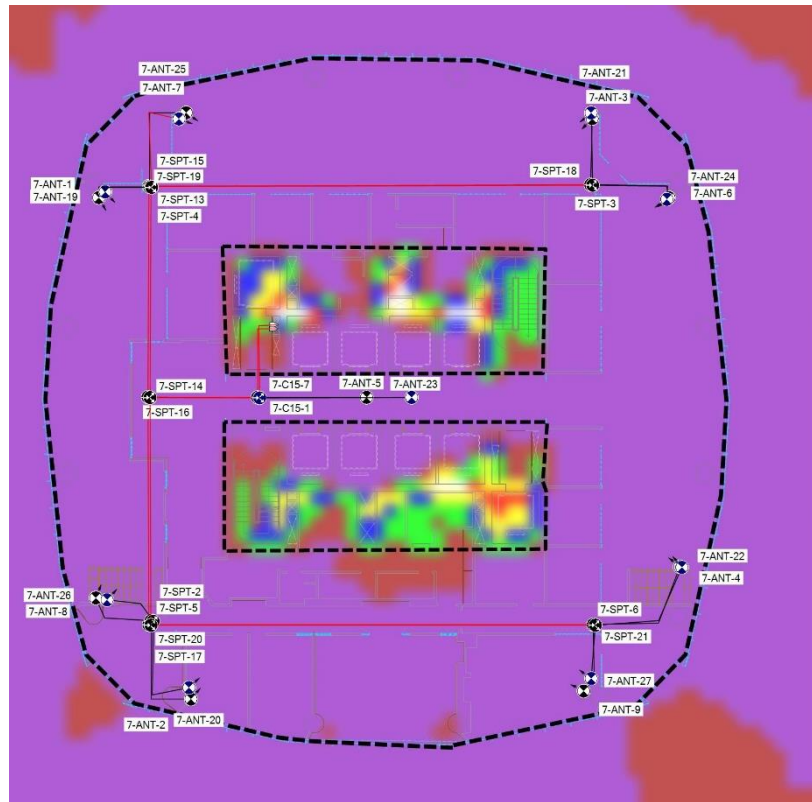


Figura 63: Predicciones de DataRate
Fuente: Elaboración Propia

5.3.1.2 Sótano 02

- a) RSCP: En la figura 64 se muestra las predicciones del diseño planteado y la leyenda de los niveles el cual nos indica que son mayores de -75 dBm

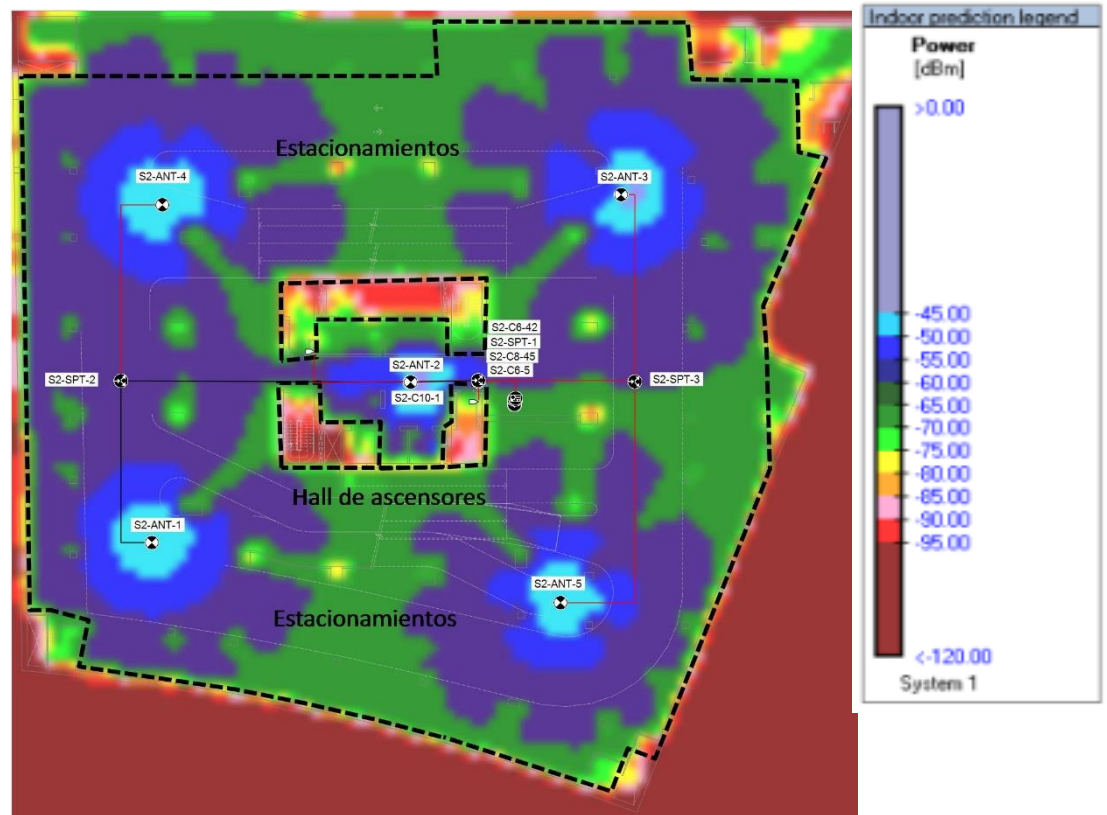
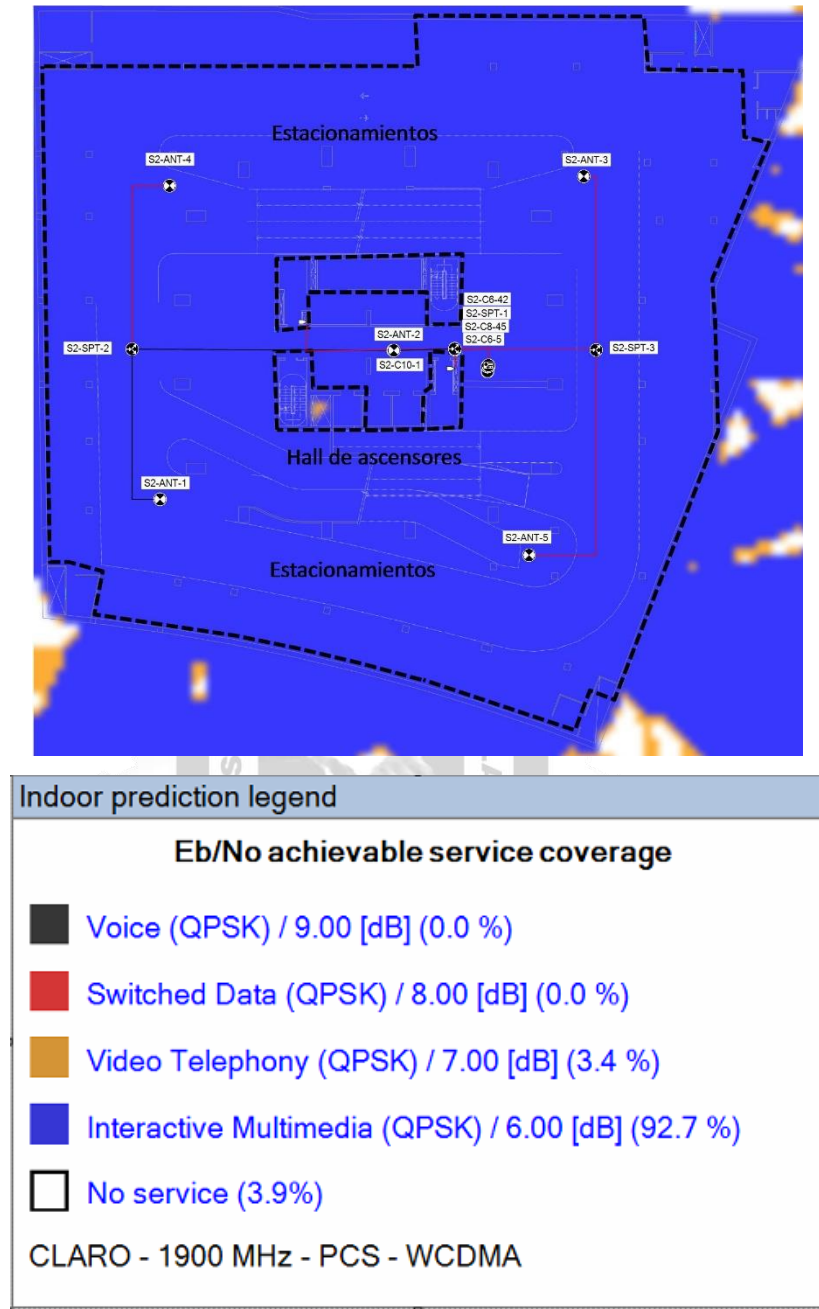


Figura 64: Predicciones de RSCP en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

b) EC/NO En la figura 65 se muestra las predicciones del diseño planteado, se observa que los niveles son mayores de -8 dBm



*Figura 65: Predicciones de ECNO en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia*

c) PSC En la figura 66 se muestra la interacción de sectores.

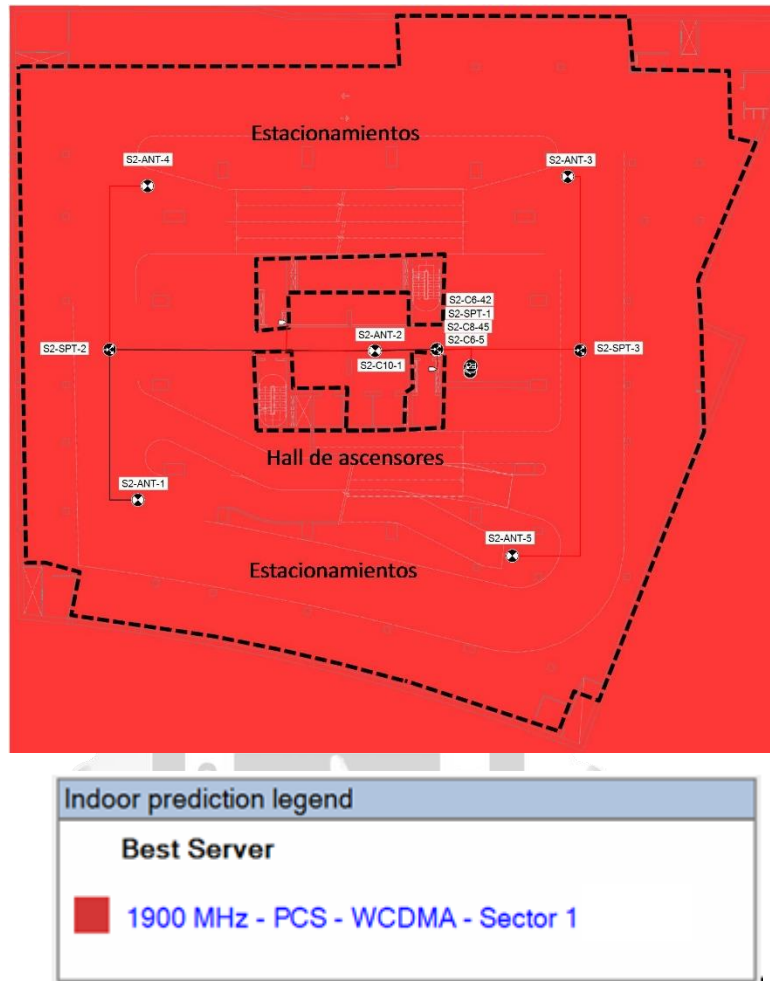


Figura 66: Predicciones de PSC en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

1964

- d) RSRP: En la figura 67 se muestra las predicciones del diseño planteado, se observa que los niveles son mayores de -100 dB

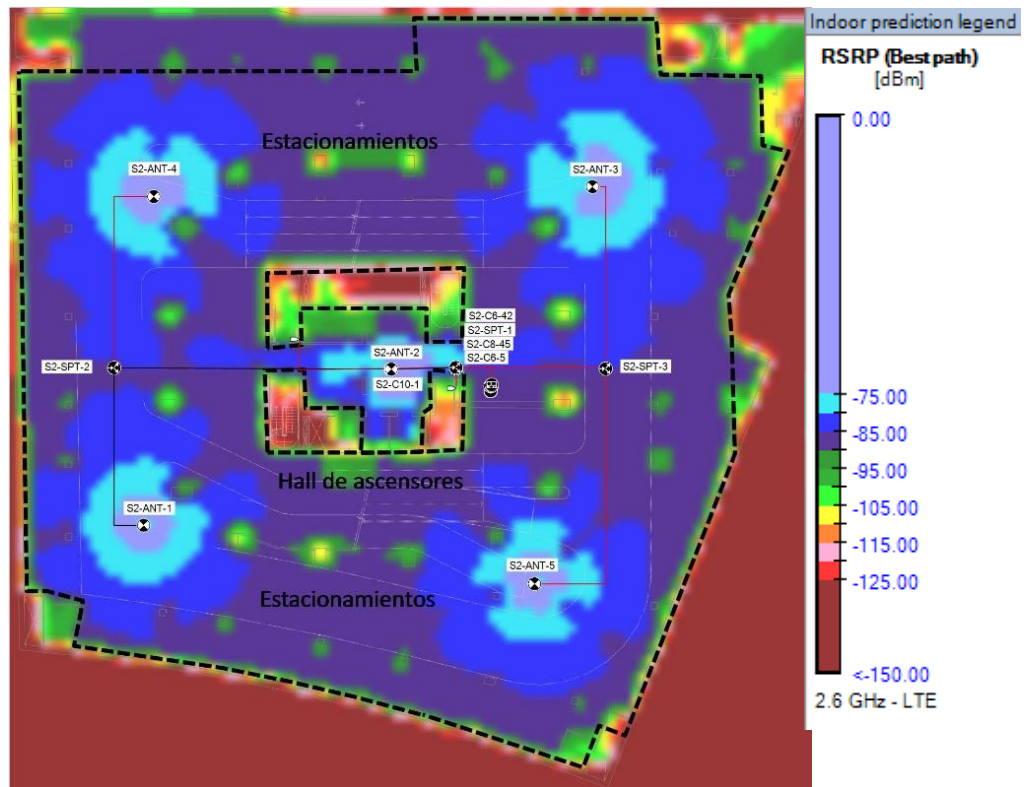
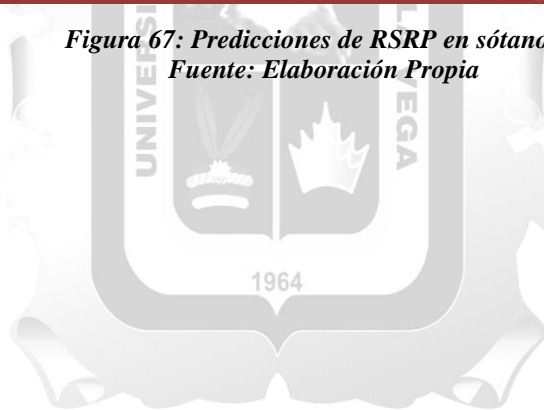


Figura 67: Predicciones de RSRP en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia



e) DATA RATE: En la figura 68 se muestra las predicciones del diseño planteado, se observa que los niveles de datos e encuentra entre 220 al 120 Mbps en el área a cubrir.

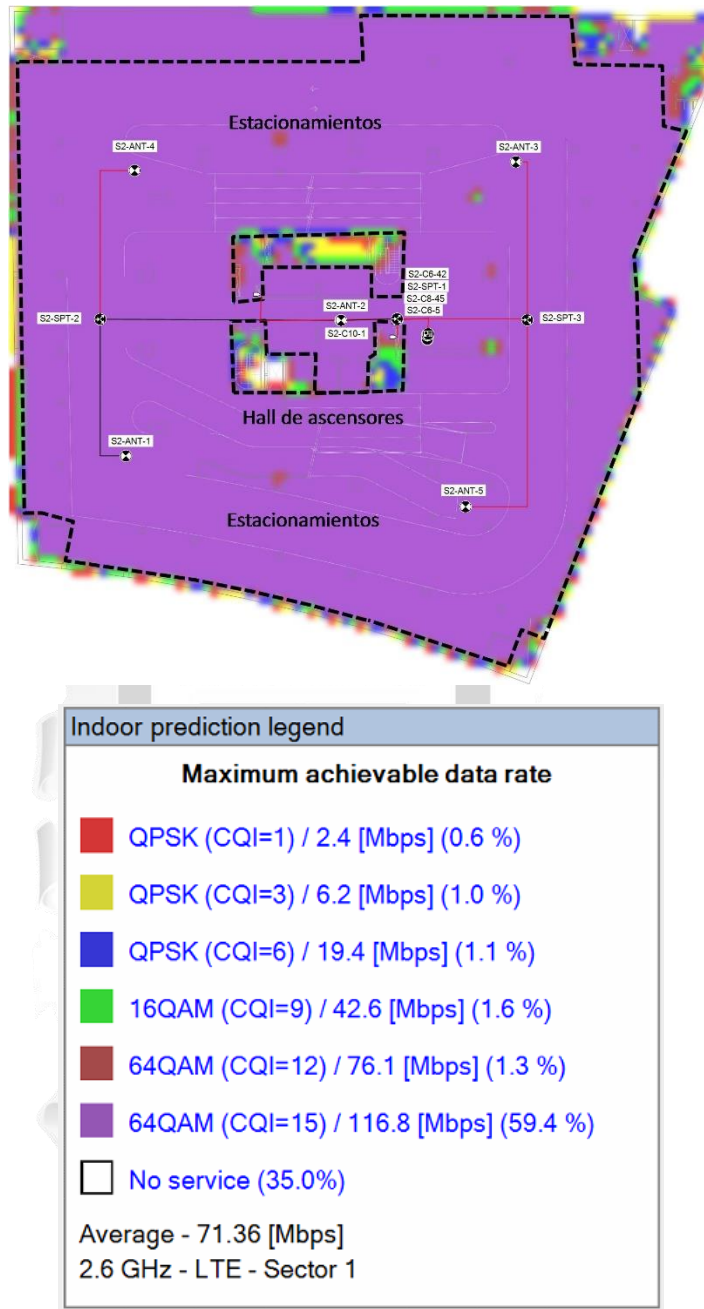


Figura 68: Predicciones de DataRate en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 Optimización del diseño de red

En la tabla 23 se muestra el reporte de cálculo de potencias total por antenas extraído del software utilizado que nos indican la pérdida y ganancia de señal. El resultado de pérdida para llegar por componente se observa en el Anexo 3

Antenna ID	Summary						
	Res Blck	Sys Out Pwr		Total DAS	Antenna	Antenna ERP	
	Pwr	Pilot	Total	Gain/Loss	Gain	Pilot	Pwr per Ch.
	(dBm)	(dBm)	(dBm)	(dB)	(dBd)	(dBm)	(dBm)
7-ANT-1	15		35	-22.47	5.85		18.38
		28	38	-21.79	5.85	12.06	22.06
7-ANT-2	15		35	-23.01	5.85		17.84
		28	38	-22.25	5.85	11.6	21.6
7-ANT-3	15		35	-25.88	5.85		14.97
		28	38	-24.68	5.85	9.17	19.17
7-ANT-4	15		35	-26.48	5.85		14.37
		28	38	-25.19	5.85	8.66	18.66
7-ANT-5	15		35	-24.49	1.35		11.86
		28	38	-24.12	0.85	4.73	14.73
7-ANT-6	15		35	-26.05	5.85		14.8
		28	38	-24.83	5.85	9.02	19.02
7-ANT-7	15		35	-22.8	5.85		18.05
		28	38	-22.07	5.85	11.78	21.78
7-ANT-8	15		35	-22.68	5.85		18.17
		28	38	-21.96	5.85	11.89	21.89
7-ANT-9	15		35	-26.04	5.85		14.81
		28	38	-24.82	5.85	9.03	19.03
7-ANT-19	15		35	-21.32	5.85		19.53
7-ANT-20	15		35	-21.84	5.85		19.01
7-ANT-21	15		35	-24.75	5.85		16.1
7-ANT-22	15		35	-25.32	5.85		15.53
7-ANT-23	15		35	-23.69	1.35		12.66
7-ANT-24	15		35	-24.92	5.85		15.93
7-ANT-25	15		35	-21.7	5.85		19.15
7-ANT-26	15		35	-21.55	5.85		19.3
7-ANT-27	15		35	-24.9	5.85		15.95
S2-ANT-1		28	38	-26.5	0.85	2.35	12.35
	15		35	-27.94	1.35		8.41

S2-ANT-2		28	38	-25.87	0.85	2.98	12.98
	15		35	-26.09	1.35		10.26
S2-ANT-3		28	38	-26.82	0.85	2.03	12.03
	15		35	-27.63	1.35		8.72
S2-ANT-4		28	38	-25.99	0.85	2.86	12.86
	15		35	-27.31	1.35		9.04
S2-ANT-5		28	38	-27.57	0.85	1.28	11.28
	15		35	-28.51	1.35		7.84

Tabla 23: Tabla de reporte de cálculo de potencias

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se evidencia el patrón de radiación en el piso 7 y en el sótano 02 para lograr una correcta optimización

a) Piso 7: Se muestra en la figura 69 el patrón de radiación del piso 7.

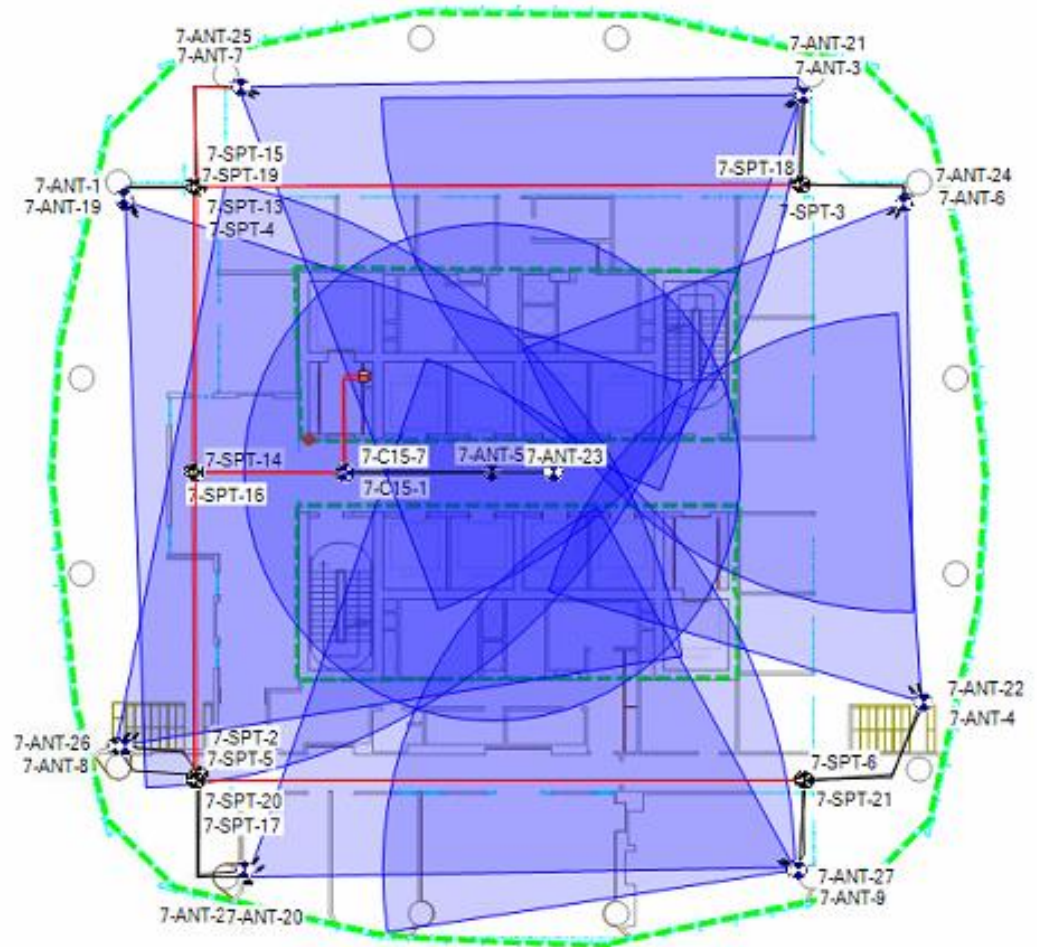


Figura 69: Patrón de radiación de antenas en piso 7

Fuente: Elaboración Propia

b) Sótano 02: Se muestra en la figura 70 el patrón de radicación del sótano 2

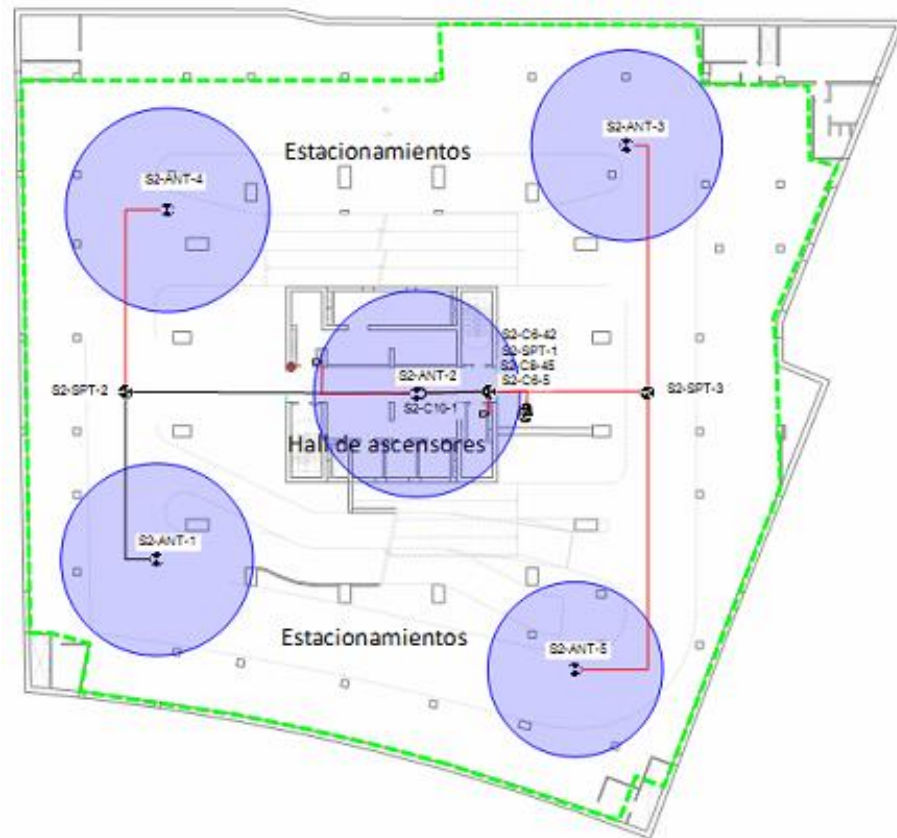


Figura 70: Patrón de radicación de antenas en sótano 02
Fuente: Elaboración Propia



5.4 Fase de Implementación

Teniendo el diseño realizado es momento de entrar en la siguiente fase que es la implementación del diseño. Para esto es necesario tener ciertas consideraciones previas a la instalación.

Con respecto a la infraestructura del edificio se identificó en la fase de análisis que cuenta con falso techo, y el cliente específico que no desea que las antenas estén a la vista ya que puede afectar la estética del edificio con esta petición se colocó todas las antenas en falso techo. Cada Splitter y coupler está protegido por una caja de paso de dimensiones 40cm. x 30cm. x15 cm.

Teniendo los diseños y las consideraciones definidas se realizó la implementación de la red. La instalación de este piso se demoró 5 días con algunos contratiempos debido a algunas restricciones del edificio. En la tabla 24 se muestra la cantidad de elementos pasivos que se instalaron en el piso 07.

Elementos Pasivos			
Omnidireccional	Panel	Coupler	Splitter
2	16	2	14

Tabla 24: Tabla de elementos pasivos
Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 25 se muestra la instalación de algunos elementos pasivos de la tabla 24 en el Piso 7 solo se mostrará la instalación de una antena y los elementos de transmisión., se dividirá por fotografías de vista frontal y vista panorámica, las antenas se encuentran en falso techo para respetar la estética del edificio. Los demás componentes se poder ver en el anexo 4.

Se etiquetaron los elementos pasivos con el mismo estándar que en el diseño para su fácil reconocimiento. A continuación, se muestra la puesta de los equipos al interior del edificio.





Etiquetado	Vista Frontal	Vista Panorámica
ANT 7-A-1 - ANT 7-A-1 9-		
RRU y RRH		

Tabla 25: Instalación de equipos
Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 6: RESULTADOS

Se realizó pruebas post-instalación con la técnica llamada Walk-test para obtener las mediciones de la cobertura actual y luego se realizó un post-proceso de LOGS adquiridos en la prueba anterior, donde nos muestra los valores reales de señal del edificio Begonias, esta prueba ha sido estructurada teniendo en cuenta los indicadores de la variable independiente: disponibilidad, rendimiento, escalabilidad y adaptabilidad; obteniéndose los siguientes resultados.

Resultados respecto al nivel de Disponibilidad

En relación a este indicador se evidencia que el Sistema distribuidos de antenas cumplió con el indicador de disponibilidad por las siguientes razones:

- ✓ Se realizó la distribución de antenas de forma estratégica para poder asegurar una conectividad en caso una antena deje de funcionar o se apague.
- ✓ Se realizó el diseño con la técnica MIMO para poder tener dos rutas (PATH) donde independientemente cada una se use para una función específica: descarga de datos (DL) o carga de datos (UL), en caso una ruta (PATH) caiga, la otra podrá realizar ambas funciones.

Por otro lado, para este indicador se realizó 19 pruebas de llamadas en Sótano 02, donde se evidenció que dichas llamadas iniciaron y culminaron con éxito en diferentes partes del sótano. En la figura 71 se muestra las pruebas de llamadas realizadas.



Figura 71: Pruebas de Llamadas
Fuente: Elaboración Propia

Resultados respecto al nivel de Rendimiento

Para el indicador de rendimiento, se realizaron mediciones post instalación en Sótano 02, se evaluaron los niveles de señal, ruido, interferencia y datos.

Se concluye que el sistema distribuido de antenas cumplió con el indicador de rendimiento por las siguientes razones:

- RSCP: Se observa en la figura 72 los valores de RSCP, se muestra que el 95.95 % de los valores se encuentran por encima de -75 dBm del cual se encuentra fuera del rango del valor permitido que es $RSCP \geq -75$ dBm pese a que tenemos un 4.05% por debajo de este rango, es un valor aceptable según la tabla de aceptación de Claro y Entel. Eso nos indica que no existe ningún riesgo de caída de llamada y una muy alta calidad de señal.

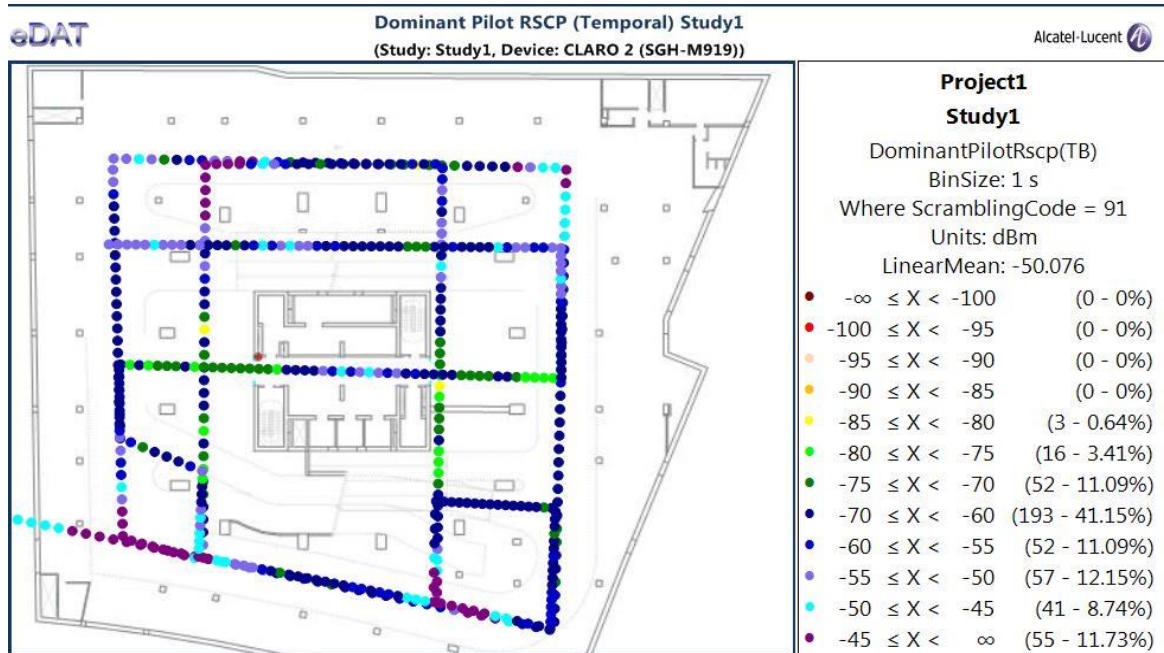


Figura 72: Resultados de señal de post-instalación de RSCP
Fuente: Elaboración Propia

- EC/NO: Se observa en la figura 73 los valores de ECNO, se muestra que el 100 % de los valores se encuentran por encima de -8 dBm del cual los valores se encuentran fuera del rango del valor permitido que es $ECNO \geq -8$. Esto nos indica que no existen niveles altos de ruido

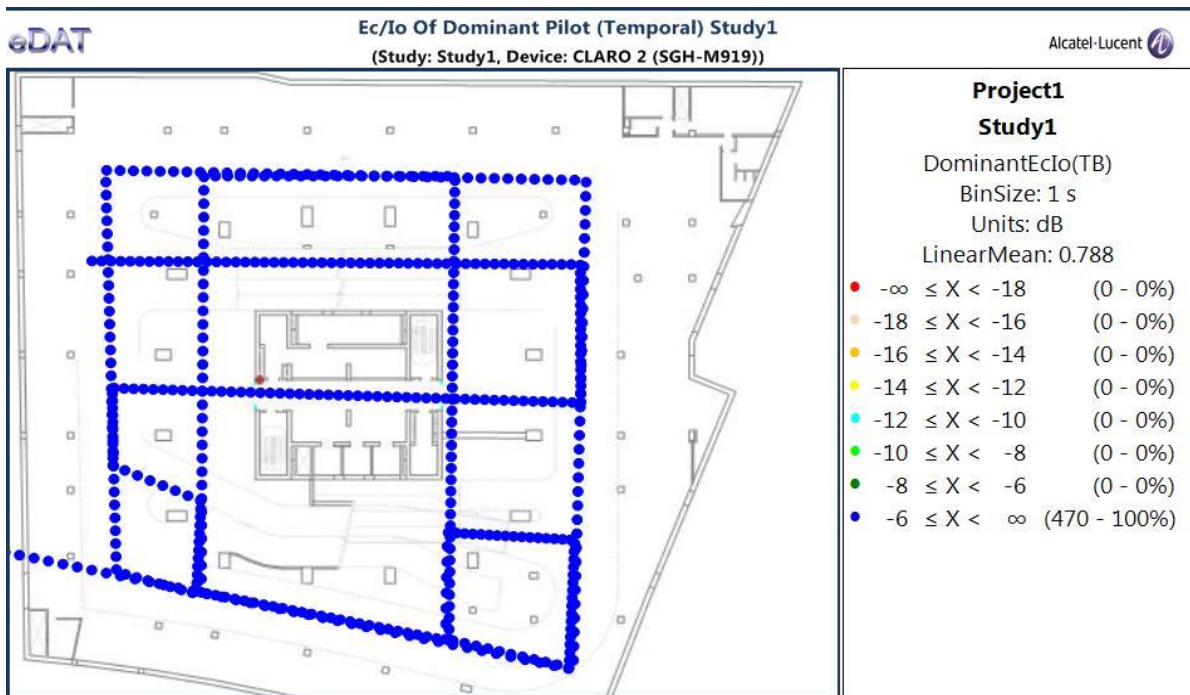


Figura 73: Resultados de señal de post-instalación de EC/NO

Fuente: Elaboración Propia

- PSC: Se observa en la figura 74 los valores de Scrambling Code (PSC) se muestra que existen 1 solo PSC que representan 1 sector esto nos indica que el teléfono no realiza ningún pimpono entre sectores debido a que solo domina un sector.

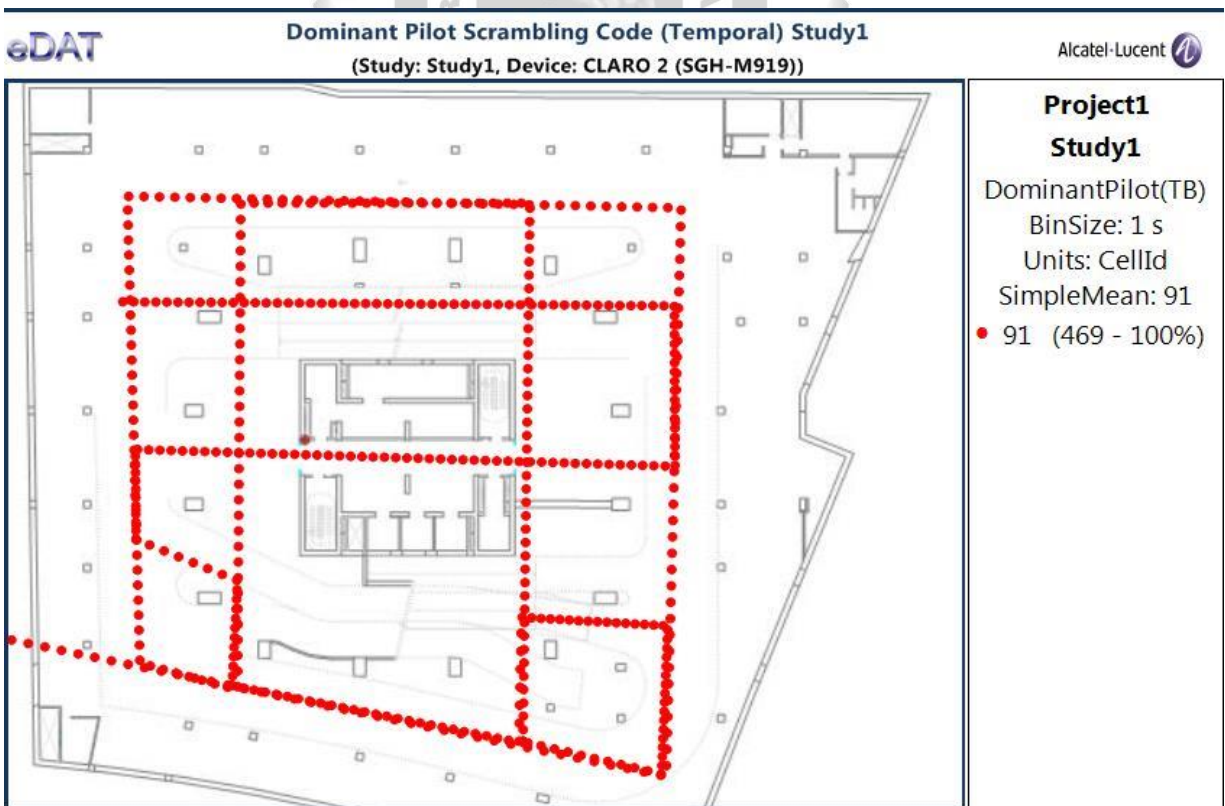


Figura 74: Resultados de señal de post-instalación de PSC

Fuente: Elaboración Propia

- RSRP: Se observa en la figura 75 los valores de RSRP, se muestra que el 100% de los valores por encima de -90, siendo el rango permitido RSCP >-100 dBm. Esto nos indica se cuenta con una óptima cobertura de 4G.

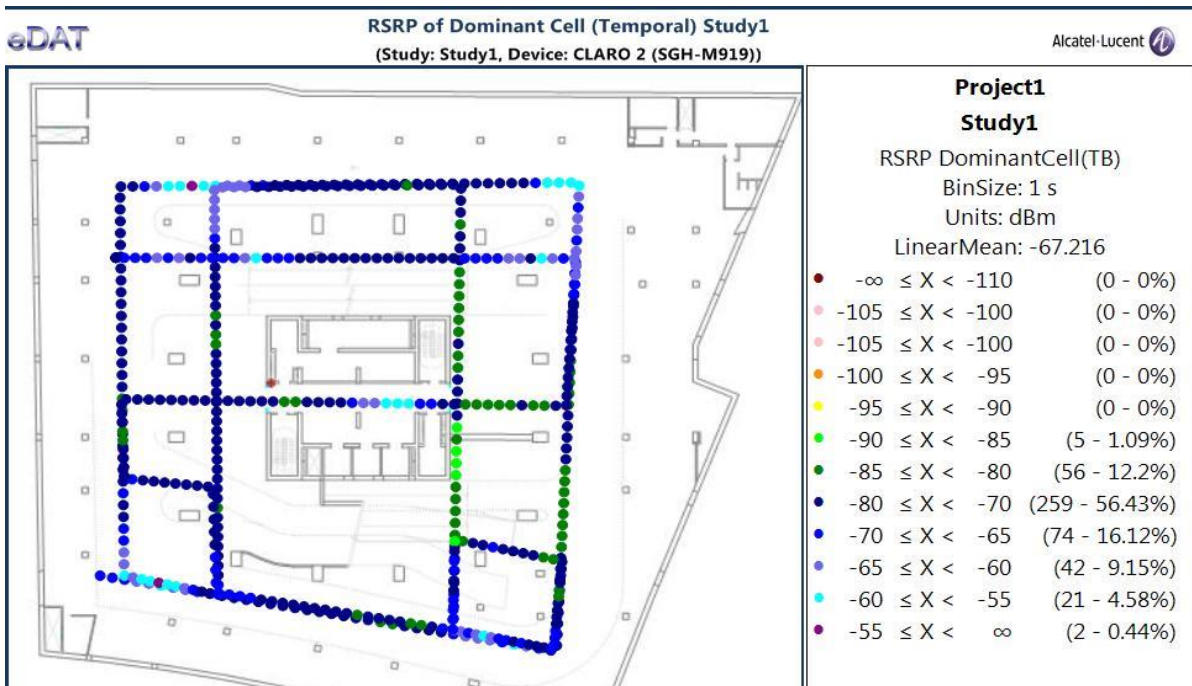


Figura 75: Resultados de señal de post-instalación de RSRP
 Fuente: Elaboración Propia

- DATARATE: Se observa en la figura 76 los valores de DATARATE, se muestra que el 98.33% de los valores por encima de 10000 kbps, siendo el rango permitido DL o UL > 10000 kbps. Esto nos indica se cuenta con una óptima descarga y subida de datos en 4G.

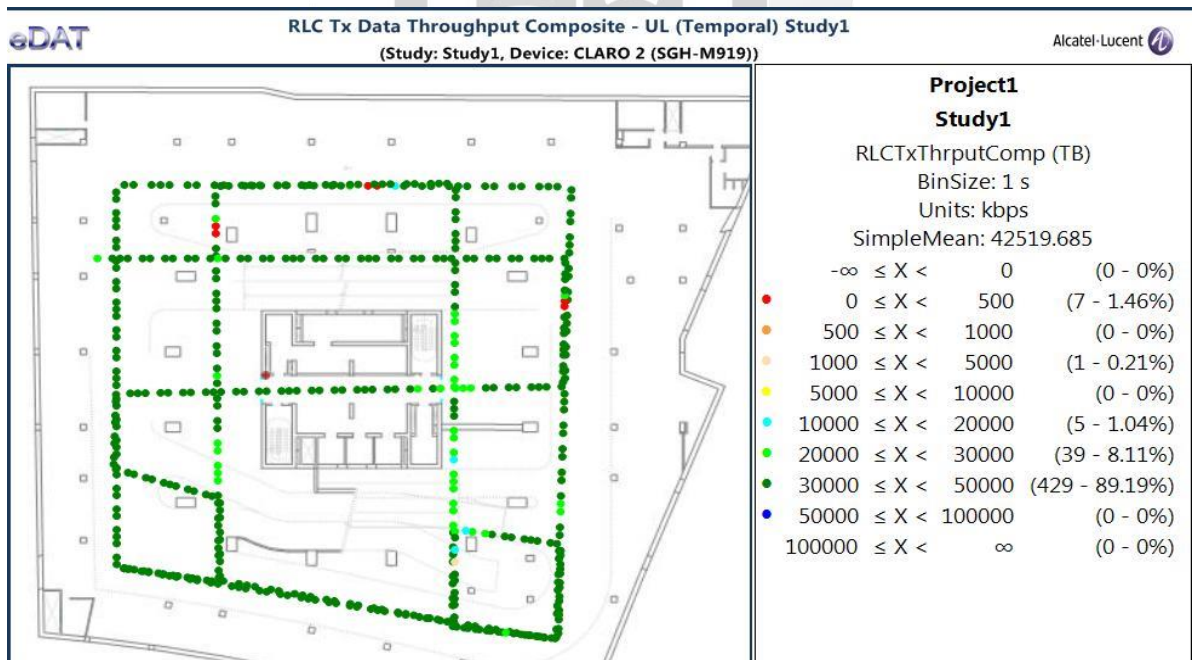


Figura 76: Resultados de señal de post-instalación de DataRate
 Fuente: Elaboración Propia

Además, el sistema distribuido de antenas cumplió con el indicador de rendimiento por las siguientes razones:

- ✓ Los componentes soportan todas las bandas existen (700 -2700)
- ✓ Su nivel de IMPEDANCIA es el óptimo basado en la temperatura del ambiente y este no pueda afectar o degradar la señal de comunicaciones.
- ✓ La distribución de potencias es acorde a los elementos pasivos y activos.
- ✓ se eligió de manera técnica la ubicación de estos (Antena Panel / Antena Omnidireccional)
- ✓ Se realizó un análisis en la elección del cableado ya que cada cableado tiene una pérdida de potencia distinto por metro de cable.
- ✓ En rendimiento de la cobertura es mejorado debido al uso de la técnica MIMO mejorando los niveles de UL y DL como se muestra en el anexo 5.

Resultados respecto al nivel de Adaptabilidad

- El sistema distribuido de antenas cumplió con el indicador de adaptabilidad por las siguientes razones:
 - ✓ Esto muestra que el diseño puede ser adaptable y multi-tecnológica, ya que soporta distintos sistemas de comunicación móvil. Para el correcto despliegue de la red 3G y 4G se añade 1 RRU (1900) y 1 RRH 4G (1900-2600) por sector debido a que son equipos especiales para soportar estas tecnologías. Se podrá añadir nuevas tecnologías como por ejemplo 5G, y además se podrá también si el usuario o la operadora desean colocar tecnologías antiguas 2G (1900) ,3G (850)
 - ✓ El sistema soporta el cambio de ángulo de proyección de la antena en una etapa de optimización de la red para garantizar el 100 % de la productividad mejorando la cobertura del ambiente.

Resultados respecto al nivel de Escalabilidad

- El sistema distribuido de antenas cumplió con el indicador de escalabilidad por las siguientes razones:
 - ✓ Se colocó una carga por sector para futuras ampliaciones de la red en caso operador y cliente los deseen, esta carga tendrá 5dBm de potencia que podrá ser usada más adelante.
 - ✓ Se tiene una guarda de potencia por RRU o RRH, están configurados con 37 dBm y 38 dBm respectivamente.

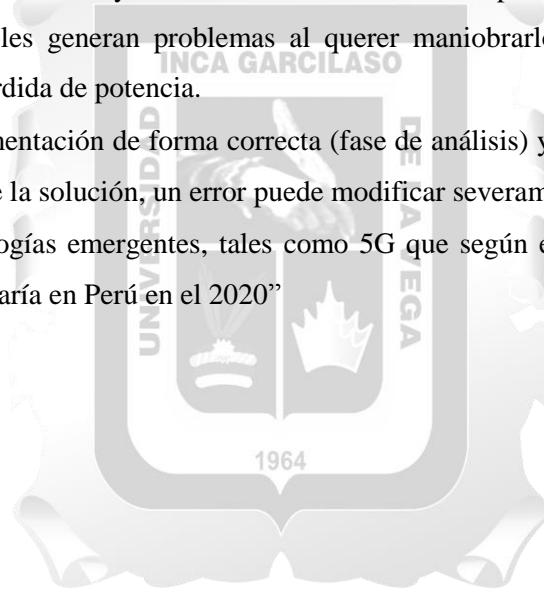
CONCLUSIONES

De los objetivos planteados al inicio de este trabajo de tesis, y los correspondientes resultados obtenidos se tienen las siguientes conclusiones. El sistema distribuido de antenas influyó satisfactoriamente en la mejora de la cobertura 3G y 4G.

- La disponibilidad del sistema distribuido de antenas influyó satisfactoriamente en la mejora de la cobertura 3G y 4G, ya que se tomó medidas de respaldo con respecto a cuál falla de este, como se muestra en el resultado y se realizó con efectividad al 100% las pruebas de llamadas realizadas.
- El rendimiento del sistema distribuido de antenas influyó satisfactoriamente en la mejora de la cobertura 3G y 4G, ya que cumplió con el rango de aceptabilidad de rendimiento especificado en las mediciones del capítulo de resultado: Medición de calidad de la señal de referencia recibida, Potencia de código de señal recibida, tasa de datos.
- La adaptabilidad del sistema distribuido de antenas influyó satisfactoriamente en la mejora de la cobertura 3G y 4G, ya que los componentes elegidos. Permiten trabajar en diferentes bandas y frecuencias, y es multi-tecnológica.
- La escalabilidad del sistema distribuido de antenas influyó satisfactoriamente en la mejora de la cobertura 3G y 4G, ya que se consideró tener 9 guardas de energía, distribuidos en todos los sectores a excepción del sector 1 las cuales nos ayudaran a un futuro a poder expandir y colocar una ramificación adicional del diseño sin afectar los elementos ya instalados.

RECOMENDACIONES

- Para diseños de redes similares considerar colocar antenas paneles en lugar de antenas omnidireccionales en los extremos de la edificación debido a su naturaleza directiva que permite que la potencia irradiada apunte al interior del lugar a dar cobertura y no escape a las afueras lo cual podría generar problemas de interferencia con la cobertura outdoor.
- Tener una guarda de energía o dejar una trama de un Splitter o coupler con una carga para algún futuro crecimiento o cambio en la edificación.
- Considerar un margen de 2dB de pérdida adicional a todo el sistema debido a cuestiones propias de instalación como obstáculos en el recorrido del cableado, lugares en los que no se pueda pasar cable fácilmente lo cual genere más tramos de cable o pérdidas adicionales en los conectores.
- Utilizar un cableado correcto con respecto al metrado de este, ya que podría afectar en la potencia y económicamente, ya que un cable de ½ superflexibe (SFC) es más barato que uno flexible (LFC) pero en edificaciones de mayores dimensiones también se puede usar cable coaxial de 7/8 pulgadas, estos cables generan problemas al querer maniobrarlos por su gran rigidez, pero presentan menor pérdida de potencia.
- Realizar la retroalimentación de forma correcta (fase de análisis) ya que esto nos abre camino a todo el desarrollo de la solución, un error puede modificar severamente las simulaciones finales
- Implementar tecnologías emergentes, tales como 5G que según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones estaría en Perú en el 2020”



BIBLIOGRAFÍA

- 3GPP. (2017, 08 15). *The Mobile Broadband Standard*. Retrieved from 3GPP: <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>
- Alvarez Paredes, D. C. (2014). *Diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP*. Ibarra-Ecuador: Tesis para Obtener Título Profesional. Universidad Tecnica del Norte.
- ANSI/BICSI. (2015). *Optimas practicas de diseño e implementacion del sistema de antenas distribuidas (DAS)*. USA: BICSI.
- Bernardo, Agusti, Casadevali, Ferrus, Perez, Sallent. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Moviles*. España: Fundacion Vodafone España.
- Chancasana Cueto, M. E. (2015). *Diseño de una red 4G-LTE Indoor para el centro comercial Real Plaza Santa Clara*. Lima, Peru: Tesis para obtener titulo Profesional. Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Fierro Morineaud, N. (2008). *EVOLUCIÓN DE 3G Y SU CONVERGENCIA A 4G EN COMUNICACIONES MÓVILES*. Valdivia, Chile: Tesis para obtener titulo de ingeniero. Universidad Austral de Chile.
- Garcia Fernandez, N. (2006). *Modelo de cobertura en redes inalámbricas*. Asturias, España: Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo .
- Garcia Garcia, L. (2007). *Contribution to the characterization and evaluation of multiple antenna systems for communications: prototyping, propagation and antenna perspective*. Madrid, España: Tesis Doctoral, Universidad Politecnica de Madrid.
- Gemalto security to be free. (2016). *Redes 5G- Características y usos*. Gemalto, 3.
- Jaimes Carrero, F. A. (2016). *Propuesta de Diseño e Implementacion de un sistema distribuido de antenas (DAS) para la mejorar la red movil del operador claro en el centro comercial Titan Plaza*. Bogota: Tesis para obtener Especializacion en Gestion de Proyectos. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Ministerio de Transporte y telecomunicaciones. (2015). *Plan Nacional de Atribucion de Frecuencias*. Lima: Jose Javier Ortiz Rivera.
- Núñez Coral, J. A. (2013). *Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457*. Bogota, Colombia: Tesis para obtener titulo profesional. Universidad Nacional de Colobia.

- Oppenheimer-Cisco, P. (2011). *Top-Down Network Design*. USA: Cisco Press.
- Osiptel. (2015). *Glosario de Terminos*. Lima, Peru: Osiptel.
- Osiptel. (2016). *Lineas Moviles que accedieron a Internet*. Retrieved from Osiptel: https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/par/62-suscripciones-de-internet-movil-segun-modalid/IntMovil_C6.2_Terminal.pdf
- Osiptel. (2017, 08 19). *Osiptel*. Retrieved from <http://www2.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/>
- Osiptel. (2017). *Portabilidad numerica*. Retrieved from Osiptel: https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/1/par/reporte-portabilidad-numerica-julio2017/Portabilidad_Numerica-jul2017.pdf
- Otros, C. y. (2006). *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook :Planning and Optimization Aspects*. Inglaterra: Wiley.
- Rojas Zagals, D. (2009). *Telefonía móvil 3G, Una tecnología que avanza para quedarse atrás*. Chile: Universidad Tecnica Federico Santa Maria.
- Sesia y Otros, T. (2011). *LTE – The UMTS Long Term Evolution*. Reino Unido: Wiley.
- Taipe Ortiz, M. P. (2013). *ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL UMTS EN EL INTERIOR DEL CENTRO COMERCIAL IÑAQUITO*. Sangolqui, Ecuador: Escuela Politecnica del Ejercito.
- Tolstrup, M. (2008). *Indoor Radio Planing*. Reino Unido: A John Wiley & Sons, Ltd, Publication.
- Tolstrup, M. (2011). *Indoor Radio Planning*. Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd Published.
- Tolstrup, M. (2015). *Indoor Radio Planning*. Reino Unido: Wiley.
- Velarde, E. (2014). *Evolucion de los sistemas moviles*. Lima, Peru: Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Velarde, E. (2014). *Introduccion al LTE*. Lima, Peru: Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Yifei, Y. (2013). *LTE-Advanced Relay Technology and Standardization*. New York: Springer Heidelberg.

ANEXO 1: DATASHEET DE EQUIPOS

PRODUCT DATASHEET
CDS6DE-698/2700

RADIO FREQUENCY SYSTEMS
The Clear Choice®



6dB Directional Coupler

RFS CDS**DE series Directional Coupler has been designed for outdoor applications covering 698 to 2700MHz. Units couple off a defined fraction of signal from 6 to 30 dB with minimal reflections or loss. The frequency range allows use with antennas and leaky cable systems and in wireless base stations. With minimal solder joints, the dissipative loss has been minimized and reliability enhanced.



CDS6DE-698/2700

FEATURES / BENEFITS

- ➔ 6 dB coupling value
- ➔ Low insertion loss
- ➔ High power handling
- ➔ Small size, Low weight
- ➔ 7-16 DIN female connectors
- ➔ Low PIM

Technical Features

STRUCTURE

Product Type		Directional Coupler
Techn. Application		Indoor/Outdoor
Number of Input Ports		1
Number of Output Ports		2
Connector Type		7-16 female

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range	MHz	698 - 2700
Impedance	Ohm	50
Insertion Loss max.	dB	1.7
Max. VSWR / Return Loss	VSWR/dB	1.30/17.7
Intermodulation (IM3)		-150 dBc with 2x43 dBm tones
Coupling Value	dB	6
Directivity min.	dB	20
Coupling Flatness max.	dB	±0.8
Total Input Power	W	200

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

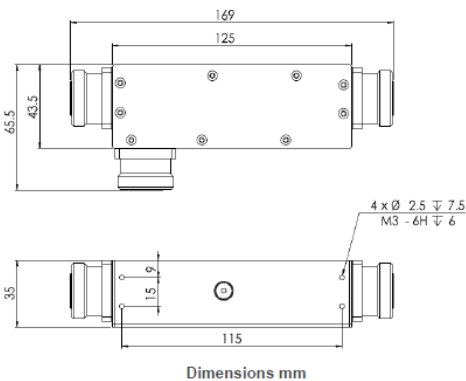
Temperature Range	°C (°F)	-25 to +65 (-13 to +149)
-------------------	---------	--------------------------

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Height	mm (in)	35 (1.38)
Width	mm (in)	65.5 (2.58)
Length	mm (in)	169 (6.65)
Weight	kg (lb)	0.608 (1.34)

TESTING AND ENVIRONMENTAL

Environmental Class		IP65
---------------------	--	------





10dB Directional Coupler

RFS CDS**DE series Directional Coupler has been designed for outdoor applications covering 698 to 2700MHz. Units couple off a defined fraction of signal from 6 to 30 dB with minimal reflections or loss. The frequency range allows use with antennas and leaky cable systems and in wireless base stations. With minimal solder joints, the dissipative loss has been minimized and reliability enhanced.

FEATURES / BENEFITS

- ➔ 10 dB coupling value
- ➔ Low insertion loss
- ➔ High power handling
- ➔ Small size, Low weight
- ➔ 7-16 DIN female connectors
- ➔ Low PIM



CDS10DE-698/2700

Technical Features

STRUCTURE

Product Type		Directional Coupler
Techn. Application		Indoor/Outdoor
Number of Input Ports		1
Number of Output Ports		2
Connector Type		7-16 female

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range	MHz	698 - 2700
Impedance	Ohm	50
Insertion Loss max.	dB	0.9
Max. VSWR / Return Loss	VSWR/dB	1.30/17.7
Intermodulation (IM3)		-150 dBc with 2x43 dBm tones
Coupling Value	dB	10
Directivity min.	dB	20
Coupling Flatness max.	dB	±1.0
Total Input Power	W	200

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

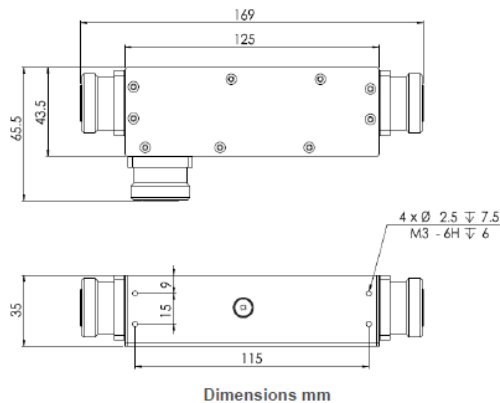
Temperature Range	°C (°F)	-25 to +65 (-13 to +149)
-------------------	---------	--------------------------

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Height	mm (in)	35 (1.38)
Width	mm (in)	65.5 (2.58)
Length	mm (in)	169 (6.65)
Weight	kg (lb)	0.608 (1.34)

TESTING AND ENVIRONMENTAL

Environmental Class		IP65
---------------------	--	------



15dB Directional Coupler

The RFS CDS**DE Directional Coupler series provides an RF broadband solution for indoor applications covering all wireless services from 700 to 2700 MHz. The wide frequency range allows to use these couplers for multiband wireless Distributed Antenna Systems (DAS) or in combination with RADIAFLEX® radiating cable products. The units couple off a defined fraction of the signal from 6 to 30 dB fulfilling highest RF performance requirements by minimizing reflections or RF loss combined with a compact design. As all passive RF products, the CDS**DE series ensures highest reliability and maintenance free operation.



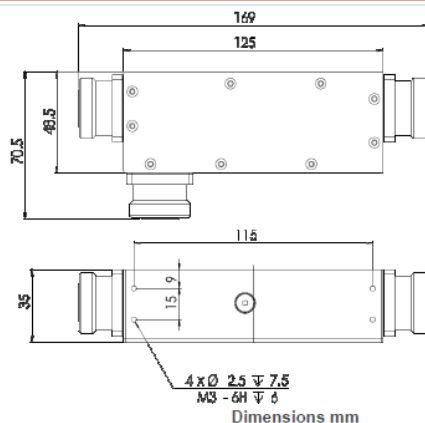
CDS15DE-700/2700

FEATURES / BENEFITS

- ⊕ 15 dB coupling value
- ⊕ Low insertion Loss
- ⊕ High power handling
- ⊕ Small size, Low weight
- ⊕ 7-16 DIN female connectors

Technical Features

STRUCTURE		
Product Type		Directional Coupler
Techn. Application		Indoor
Number of Input Ports		1
Number of Output Ports		2
Connector Type		7-16 female
ELECTRICAL SPECIFICATIONS		
Frequency Range	MHz	700 - 2700
Impedance	Ohm	50
Insertion Loss max.	dB	0.4
Max. VSWR / Return Loss	VSWR/dB	1.25/19.1
Intermodulation (IM3)		140 dBc with 2x43 dBm tones
Coupling Value	dB	15
Directivity min.	dB	20
Coupling Flatness max.	dB	±1.0
Total Input Power	W	500
DC-Path		only through line
TEMPERATURE SPECIFICATIONS		
Temperature Range	°C (°F)	-25 to +65 (-13 to +149)
MECHANICAL SPECIFICATIONS		
Height	mm (in)	35 (1.38)
Width	mm (in)	70.5 (2.78)
Length	mm (in)	169 (6.65)
Weight	kg (lb)	0.621 (1.37)
TESTING AND ENVIRONMENTAL		
Environmental Class		Indoor





20dB Directional Coupler

RFS CDS**DE series Directional Coupler has been designed for outdoor applications covering 698 to 2700MHz.
Units couple off a defined fraction of signal from 6 to 30 dB with minimal reflections or loss. The frequency range allows use with antennas and leaky cable systems and in wireless base stations.
With minimal solder joints, the dissipative loss has been minimized and reliability enhanced.

FEATURES / BENEFITS

- ➔ 20 dB coupling value
- ➔ Low insertion loss
- ➔ High power handling
- ➔ Small size, Low weight
- ➔ 7-16 DIN female connectors
- ➔ Low PIM



CDS20DE-698/2700

Technical Features

STRUCTURE

Product Type		Directional Coupler
Techn. Application		Indoor/Outdoor
Number of Input Ports		1
Number of Output Ports		2
Connector Type		7-16 female

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range	MHz	698 - 2700
Impedance	Ohm	50
Insertion Loss max.	dB	0.4
Max. VSWR / Return Loss	VSWR/dB	1.30/17.7
Intermodulation (IM3)		-150 dBc with 2x43 dBm tones
Coupling Value	dB	20
Directivity min.	dB	20
Coupling Flatness max.	dB	±1.5
Total Input Power	W	200

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

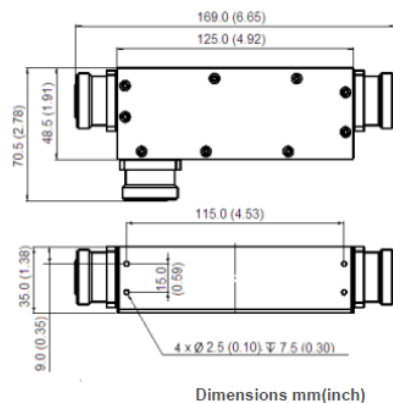
Temperature Range	°C (°F)	-25 to +65 (-13 to +149)
-------------------	---------	--------------------------

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Height	mm (in)	35 (1.38)
Width	mm (in)	70.5 (2.78)
Length	mm (in)	169 (6.65)
Weight	kg (lb)	0.621 (1.37)

TESTING AND ENVIRONMENTAL

Environmental Class		IP65
---------------------	--	------





1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

CELLFLEX® 1/2" low loss flexible cable

FEATURES / BENEFITS

- ➔ **Low Attenuation**
The low attenuation of CELLFLEX® coaxial cable results in highly efficient signal transfer in your RF system.
- ➔ **Complete Shielding**
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- ➔ **Low VSWR**
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- ➔ **Outstanding Intermodulation Performance**
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- ➔ **High Power Rating**
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- ➔ **Wide Range of Application**
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.



1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

Technical Features

APPLICATIONS

Applications	OEM jumpers, Main feed transitions to equipment, GPS lines, intended for outdoor usage
--------------	--

STRUCTURE

Cable Type		Foam-Dielectric, Corrugated
Size		1/2"
Jacket Option		Black
Inner Conductor	mm (in)	4.8 (0.19) Copper-Clad Aluminum Wire
Dielectric	mm (in)	11.9 (0.47) Foam Polyethylene
Outer Conductor	mm (in)	13.8 (0.54) Corrugated Copper
Jacket	mm (in)	15.8 (0.62) Polyethylene, PE

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Impedance	Ω	50 +/- 1
Maximum Frequency	GHz	8.8
Velocity	%	88.0
Capacitance	pF/m (pF/ft)	76 (23.2)
Inductance	μH/m (μH/ft)	0.19 (0.058)
Peak Power Rating	kW	38.0
RF Peak Voltage	Volts	1950.0
Jacket Spark	Volt RMS	8000.0
Inner Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	1.57 (0.48)
Outer Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	2.7 (0.82)
Return Loss (VSWR) Performance		Premium for 698 - 794, 824 - 960, 1710 - 1755, 1850 - 1990, 2110 - 2155 MHz
Maximum Return Loss	dB (VSWR)	24 (1.135)
Phase Stabilized		Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.
Temperature & Power		Standard

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Cable Weight	kg/m (lb/ft)	0.2 (0.14)
Minimum Bending Radius	mm (in)	70 (3)
Minimum Bending Radius	mm (in)	125 (5)
Bending Moment	Nm (lb*ft)	6.5
Tensile Strength	N (lb)	1100 (247)
Recommended / Maximum Clamp Spacing	m (ft)	0.6 / 1 (2 / 3.25)



7/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

CELLFLEX®7/8" premium attenuation low loss flexible cable

FEATURES / BENEFITS

- ➔ **Ultra Low Attenuation**
The further reduced attenuation of CELLFLEX® premium attenuation coaxial cable results in extremely efficient signal transfer in your RF system, especially at high frequencies.
- ➔ **Complete Shielding**
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- ➔ **Low VSWR**
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- ➔ **Outstanding Intermodulation Performance**
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- ➔ **High Power Rating**
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- ➔ **Wide Range of Application**
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.



7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

Technical Features

APPLICATIONS

Applications	Main feed line, Riser-rated In-Building
--------------	---

STRUCTURE

Cable Type		Foam-Dielectric, Corrugated
Size		7/8"
Jacket Option		Black
Inner Conductor	mm (in)	9.32 (0.37) Copper Tube
Dielectric	mm (in)	22.4 (0.88) Foam Polyethylene
Outer Conductor	mm (in)	25.2 (0.99) Corrugated Copper
Jacket	mm (in)	27.8 (1.09) Polyethylene, PE, Metalhydroxite Filling

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Impedance	Ω	50 +/- 1
Maximum Frequency	GHz	5.0
Velocity	%	90.0
Capacitance	pF/m (pF/ft)	74 (22.5)
Inductance	μH/m (μH/ft)	0.185 (0.056)
Peak Power Rating	kW	85.0
RF Peak Voltage	Volts	2920.0
Jacket Spark	Volt RMS	8000.0
Inner Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	1.54 (0.47)
Outer Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	1.55 (0.47)
Return Loss (VSWR) Performance		Standard
Maximum Return Loss	dB (VSWR)	18 (1.288)
Phase Stabilized		Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.
Temperature & Power		Standard

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Cable Weight	kg/m (lb/ft)	0.48 (0.32)
Minimum Bending Radius, Single Bend	mm (in)	120 (5)
Minimum Bending Radius, Repeated Bends	mm (in)	250 (10)
Bending Moment	Nm (lb*ft)	13
Tensile Strength	N (lb)	1440 (324)
Recommended / Maximum Clamp Spacing	m (ft)	0.8 / 1 (2.75 / 3.25)



1/2" CELLFLEX® Superflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable

CELLFLEX® 1/2" superflexible cable

FEATURES / BENEFITS

- ➔ **Low Attenuation**
The low attenuation of CELLFLEX® coaxial cable results in highly efficient signal transfer in your RF system.
- ➔ **Complete Shielding**
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- ➔ **Low VSWR**
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- ➔ **Outstanding Intermodulation Performance**
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- ➔ **High Power Rating**
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- ➔ **Wide Range of Application**
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.



1/2" CELLFLEX® Superflexible Foam Dielectric Coaxial Cable

Technical Features

APPLICATIONS

Applications	OEM jumpers, Main feed transitions to equipment, GPS lines, intended for outdoor usage
--------------	--

STRUCTURE

Cable Type		Foam-Dielectric, Superflexible
Size		1/2"
Jacket Option		Black
Inner Conductor	mm (in)	3.56 (0.14) Copper-Clad Aluminum Wire
Dielectric	mm (in)	9.3 (0.366) Foam Polyethylene
Outer Conductor	mm (in)	12.3 (0.48) Corrugated Copper
Jacket	mm (in)	13.75 (0.54) Polyethylene, PE

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Impedance	Ω	50 +/- 1
Maximum Frequency	GHz	10.6
Velocity	%	77.0
Capacitance	pF/m (pF/ft)	86 (26)
Inductance	μH/m (μH/ft)	0.215 (0.066)
Peak Power Rating	kW	24.0
RF Peak Voltage	Volts	1550.0
Jacket Spark	Volt RMS	5000.0
Inner Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	2.9 (0.88)
Outer Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	4.5 (1.37)
Return Loss (VSWR) Performance		Standard
Maximum Return Loss	dB (VSWR)	Contact RFS for your VSWR performance specification for your required frequency band.
Phase Stabilized		Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.
Temperature & Power		Standard

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Cable Weight	kg/m (lb/ft)	0.17 (0.11)
Minimum Bending Radius	mm (in)	32 (1.3)
Bending Moment	Nm (lb*ft)	1.8
Tensile Strength	N (lb)	650 (146)
Recommended / Maximum Clamp Spacing	m (ft)	0.3 / 0.5 (1 / 1.64)



2 Way Power Divider

This PDS*E series are Power Splitters, designed to evenly split high power cellular signals with minimal reflections or loss. They are specified to cover 698- 2700 MHz. The wide frequency ranges of these models allow use with multiband antennas and leaky cable systems. With few solder joints and an air dielectric, the loss is minimal and reliability enhanced.



PDS2E-698/2700

FEATURES / BENEFITS

- Multiple-Band Frequency Ranges
- 200 Watt Power Rating
- High Reliability
- Low Cost Design for Outdoor Application
- Low Specified PIM
- N-female Connectors

Technical Features

STRUCTURE

Product Type		Power Divider
Techn. Application		Indoor/Outdoor
Number of Input Ports		1
Number of Output Ports		2
Connectors		N-female

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range	MHz	698 - 2700
Impedance	Ohm	50
Max. VSWR / Return Loss	VSWR/dB	1.25 / 19.1
Split Loss	dB	3.3
Max Ripple	dB	0.3
Intermodulation (IM3)		-150 dBc with 2x43 dBm tones
Total Input Power	W	200

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

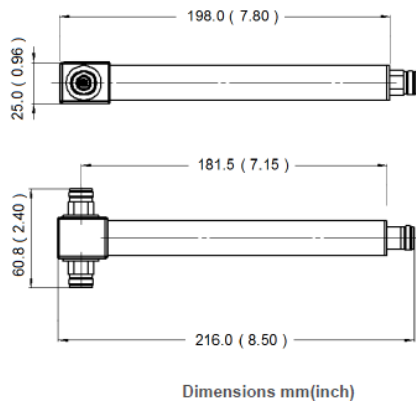
Temperature Range	°C (°F)	-25 to +65 (-13 to +149)
-------------------	---------	--------------------------

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Height (Less Connectors)	mm (in)	25 (0.98)
Width (Less Connectors)	mm (in)	25 (0.98)
Length (Less Connectors)	mm (in)	198 (7.8)
Weight	kg (lb)	0.237 (0.52)

TESTING AND ENVIRONMENTAL

Environmental Class		IP65
---------------------	--	------





3 Way Power Divider

This PDS*DE series are Power Splitters, designed to evenly split high power cellular signals with minimal reflections or loss. They are specified to cover 698- 2700 MHz. The wide frequency ranges of these models allow use with multiband antennas and leaky cable systems. With few solder joints and an air dielectric, the loss is minimal and reliability enhanced.



PDS3DE-698/2700

FEATURES / BENEFITS

- Multiple-Band Frequency Ranges
- 500 Watt Power Rating
- High Reliability
- Low Cost Design for Outdoor Application
- Low Specified PIM
- 7-16 DIN-female Connectors

Technical Features

STRUCTURE

Product Type		Power Divider
Techn. Application		Indoor/Outdoor
Number of Input Ports		1
Number of Output Ports		3
Connectors		7-16 female

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range	MHz	698 - 2700
Impedance	Ohm	50
Max. VSWR / Return Loss	VSWR/dB	1.25 / 19.1
Split Loss	dB	5.1
Max Ripple	dB	0.3
Intermodulation (IM3)		-150 dBc with 2x43 dBm tones
Total Input Power	W	500

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

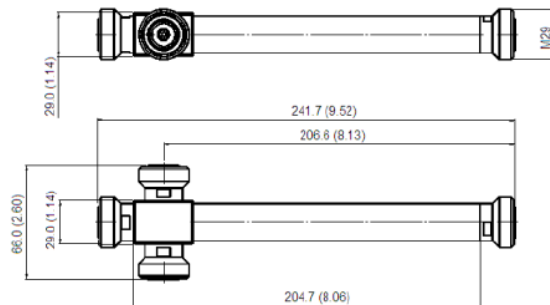
Temperature Range	°C (°F)	-25 to +65 (-13 to +149)
-------------------	---------	--------------------------

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Height (Less Connectors)	mm (in)	29 (1.14)
Width (Less Connectors)	mm (in)	29 (1.14)
Length (Less Connectors)	mm (in)	204.7 (8.06)
Weight	kg (lb)	0.39 (0.85)

TESTING AND ENVIRONMENTAL

Environmental Class		IP65
---------------------	--	------



Dimensions mm(inch)



4 Way Power Divider

This PDS®E series are Power Splitters, designed to evenly split high power cellular signals with minimal reflections or loss. They are specified to cover 698- 2700 MHz. The wide frequency ranges of these models allow use with multiband antennas and leaky cable systems. With few solder joints and an air dielectric, the loss is minimal and reliability enhanced.

FEATURES / BENEFITS

- ➔ Multiple-Band Frequency Ranges
- ➔ 200 Watt Power Rating
- ➔ High Reliability
- ➔ Low Cost Design for Outdoor Application
- ➔ Low Specified PIM
- ➔ N-female Connectors



PDS4E-698/2700

Technical Features

STRUCTURE

Product Type		Power Divider
Techn. Application		Indoor/Outdoor
Number of Input Ports		1
Number of Output Ports		4
Connectors		N-female

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range	MHz	698 - 2700
Impedance	Ohm	50
Max. VSWR / Return Loss	VSWR/dB	1.25 / 19.1
Split Loss	dB	6.4
Max Ripple	dB	0.3
Intermodulation (IM3)		-150 dBc with 2x43 dBm tones
Total Input Power	W	200

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

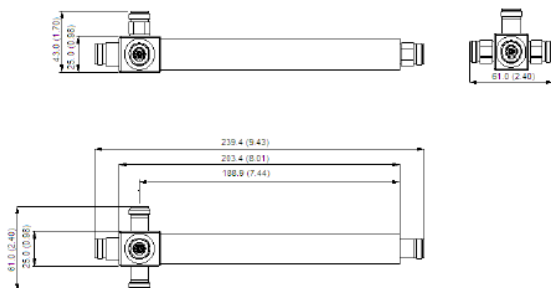
Temperature Range	°C (°F)	-25 to +65 (-13 to +149)
-------------------	---------	--------------------------

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Height (Less Connectors)	mm (in)	25 (0.98)
Width (Less Connectors)	mm (in)	25 (0.98)
Length (Less Connectors)	mm (in)	203.4 (8.01)
Weight	kg (lb)	0.295 (0.65)

TESTING AND ENVIRONMENTAL

Environmental Class		IP65
---------------------	--	------

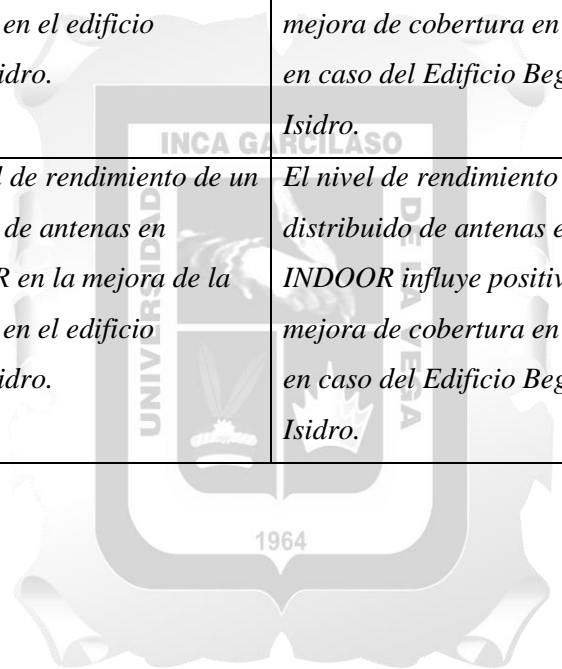


Dimensions mm(inch)

ANEXO 2: MATRIZ DE COHERENCIA INTERNA

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
GENERAL	<i>¿En qué medida la implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR, influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?</i>	<i>Determinar la influencia de una implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR para la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.</i>	<i>Implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR, influye positivamente en la mejora de la cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.</i>	Independiente: • Sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR.	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de Disponibilidad • Nivel de Adaptabilidad • Nivel de Escalabilidad • Nivel de Rendimiento
ESPECÍFICO	<i>¿En qué medida el nivel de disponibilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR, influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?</i>	<i>Determinar el nivel de disponibilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.</i>	<i>El nivel de disponibilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.</i>	Dependiente: <i>Mejora de cobertura 3G y 4G</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de la señal de referencia recibida. • Potencia de código de señal recibida. • Niveles de Ruido • Tasa de Datos
	<i>¿En qué medida el nivel de adaptabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR, influye en la mejora de</i>	<i>Determinar el nivel de adaptabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.</i>	<i>El nivel de adaptabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G</i>		

<p><i>cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?</i></p>		<p><i>en caso del Edificio Begonias en San Isidro.</i></p>		
<p><i>¿En qué medida el nivel de escalabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR, influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?</i></p>	<p><i>Determinar el nivel de escalabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.</i></p>	<p><i>El nivel de escalabilidad de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.</i></p>		
<p><i>¿En qué medida el nivel de rendimiento de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR, influye en la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro?</i></p>	<p><i>Determinar el nivel de rendimiento de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR en la mejora de la cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro.</i></p>	<p><i>El nivel de rendimiento de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR influye positivamente en la mejora de cobertura en las redes 3G y 4G en caso del Edificio Begonias en San Isidro.</i></p>		



ANEXO 3: Cuadro de potencias

Antenna ID	System ID	Coupler		Splitter	Cable	Other
		Thru Loss	Thru Loss	Loss	Subtotal	Subtotal
		Subtotal (dB)	Subtotal (dB)	Subtotal (dB)	(dB)	(dB)
7-ANT-1	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-6.32	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-5.65	-0.3
7-ANT-2	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-6.86	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-6.1	-0.3
7-ANT-3	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-9.72	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-8.53	-0.3
7-ANT-4	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-10.32	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-9.04	-0.3
7-ANT-5	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-0.7	-15	-4.85	-3.64	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-0.7	-15	-4.85	-3.28	-0.3
7-ANT-6	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-9.89	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-8.68	-0.3
7-ANT-7	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-6.65	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-5.93	-0.3
7-ANT-8	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-6.53	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-5.82	-0.3
7-ANT-9	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path1	-1.1		-14.75	-9.88	-0.3
	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 4	-1.1		-14.75	-8.67	-0.3
7-ANT-19	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-6.17	
7-ANT-20	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-6.68	
7-ANT-21	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-9.59	
7-ANT-22	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-10.17	
7-ANT-23	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2		-15	-4.85	-3.84	
7-ANT-24	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-9.76	
7-ANT-25	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-6.55	
7-ANT-26	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-6.39	
7-ANT-27	2.6 GHz - LTE - Sector 4 - Path2	-0.4		-14.75	-9.74	
S2-ANT-1	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 1	-2.4	-8	-6.6	-9.2	-0.3
	2.6 GHz - LTE - Sector 1 - Path1	-2.4	-8	-6.6	-10.63	-0.3
S2-ANT-2	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 1	-1.7	-18	-3.3	-2.58	-0.3
	2.6 GHz - LTE - Sector 1 - Path1	-1.7	-18	-3.3	-2.78	-0.3
S2-ANT-3	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 1		-14	-6.6	-5.92	-0.3
	2.6 GHz - LTE - Sector 1 - Path1		-14	-6.6	-6.72	-0.3

S2-ANT-4	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 1	-2.4	-8	-6.6	-8.7	-0.3
	2.6 GHz - LTE - Sector 1 - Path1	-2.4	-8	-6.6	-10	-0.3
S2-ANT-5	1900 MHz - PCS - WCDMA - Sector 1		-14	-6.6	-6.67	-0.3
	2.6 GHz - LTE - Sector 1 - Path1		-14	-6.6	-7.61	-0.3



ANEXO 4: Instalación de equipos

Antena	Vista Frontal	Vista Panorámica	Splitter	Vista Fronta	Vista Panorámica
ANT 7-A-1 - ANT 7-A-19			SPT 7-S2-15 SPT 7-S2-19		
ANT 7-A-2 ANT 7-A-20			SPT 7-S2-14 SPT 7-S2-16		
ANT 7-A-3 ANT 7-A-21			SPT 7-S2-2 SPT 7-S2-5		

<p>ANT 7-A-4 ANT 7-A-22</p>			<p>SPT 7-S2-20 SPT 7-S2-17</p>		
<p>ANT 7-A-5 ANT 7-A-23</p>			<p>SPT 7-S2-6 SPT 7-S2-21</p>		
<p>ANT 7-A-6 ANT 7-A-24</p>			<p>SPT 7-S2-18 SPT 7-S2-3</p>		

<p>ANT 7-A-7 ANT 7-A-25</p>			<p>CO 7-C15-7 CO 7-C15-1</p>		
<p>ANT 7-A-8 ANT 7-A-26</p>			<p>SPT 7-S2-13 SPT 7-S2-4</p>		
<p>ANT 7-A-9 ANT 7-A-27</p>					

ANEXO 5: Cumplimiento de KPI para 3G y 4G de pisos instalados

N° Piso	RSCP	Ec/Io	Best Server	Tx Power	CQI	Throughput (DL)	Throughput (UL)	Accesibility	Drop Call Rate
	95.00%	95.00%	99.00%	90.00%	95.00%	90.00%	90.00%	99.00%	1.00%
	>= -75dBm	>= -8dB		<= -20dBm	>= 20	>= 7Mbps	>=0.7Mbps	>=	<
Sotano 1	97.50%	100.00%	99.21%	99.41%	99.83%	96.22%	98.51%	100.00%	0.00%
Sotano 2	95.95%	100.00%	100.00%	99.57%	100.00%	98.21%	98.23%	100.00%	0.00%
Sotano 3	98.37%	100.00%	100.00%	99.58%	100.00%	97.19%	99.49%	100.00%	0.00%
Sotano 4	98.51%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	98.43%	99.50%	100.00%	0.00%
Sotano 5	96.88%	100.00%	100.00%	99.58%	100.00%	98.85%	99.82%	100.00%	0.00%
Sotano 6	98.88%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.23%	99.66%	100.00%	0.00%
Sotano 7	99.23%	100.00%	100.00%	99.42%	100.00%	97.53%	97.72%	100.00%	0.00%

TOTAL	98.05%	100.00%	99.93%	99.66%	99.97%	97.65%	99.00%	100.00%	0.00%
--------------	--------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	-------

N° Piso	RSRP	SNIR	Best Server	RSRQ	Throughput (DL)	Throughput (UL)	Accesibility PS	Drop PS Rate	Success CSFB Rate
	95.00%	95.00%	99.00%	95.00%	90.00%	90.00%	99.00%	1.00%	99.00%
	>= -90dBm	>= 20dB	>=	>= -10dB	>= 25Mbps	>=20Mbps	>=	<	>=
P9	98.58%	91.74%	100.00%	100.00%	90.18%	94.04%	100.00%	0.00%	100.00%
P8	100.00%	96.79%	100.00%	100.00%	95.05%	96.10%	100.00%	0.00%	100.00%
P7	98.79%	91.45%	100.00%	100.00%	91.99%	93.33%	100.00%	0.00%	100.00%

TOTAL	99.13%	95.90%	100.00%	100.00%	92.66%	94.72%	100.00%	0.00%	100.00%
--------------	--------	--------	---------	---------	--------	--------	---------	-------	---------