

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Dimensionamiento e implementación de una red de servicio celular 3G indoor en la banda de 1900MHZ del operador Movistar en el edificio de la sede principal del Banco de la Nación

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones.

Elaborado por

Diony Mario Colqui Solier

 [0009-0008-0022-2718](https://orcid.org/0009-0008-0022-2718)

Asesor

Mg. Ing. Mauricio Pedro Galvez Legua

 [0000-0002-4845-4218](https://orcid.org/0000-0002-4845-4218)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Colqui Solier [1]
Referencia/Reference	[1] D. Colqui Solier, “ <i>Dimensionamiento e implementación de una red de servicio celular 3G indoor en la banda de 1900MHZ del operador movistar en el edificio de la sede principal del Banco de la Nación</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Colqui, 2024)
Referencia/Reference	Colqui, D. (2024). <i>Dimensionamiento e implementación de una red de servicio celular 3G indoor en la banda de 1900MHZ del operador movistar en el edificio de la sede principal del Banco de la Nación</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Al incondicional apoyo de mis padres Dionisio Colqui y María Solier,

Y hermanos Pablo y Paola.

Especialmente a mi Hija Briana y mi esposa Eveling que son mi motivación e inspiración.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mis padres quienes me brindaron su apoyo incondicional, ellos con su cariño me impulsaron siempre a no rendirme y conseguir mis objetivos.

En Segundo lugar, agradezco a mi esposa e hija quienes fueron la motivación para seguir creciendo en mi vida profesional.

Por último, agradezco a mis profesores quienes me transmitieron el conocimiento necesario para poder presentar este trabajo.

Resumen

La actual indagación radica en el requerimiento de mejorar la calidad del servicio celular de voz y datos en el interior del edificio del Banco Nación.

Este trata el dimensionamiento y acoplamiento de la red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz del operador Movistar en el interior del edificio general del Banco de la Nación.

Para esta labor se dimensionó la magnitud de sectores para cubrir toda la zona del edificio y se realizó el estudio de la propagación de la red celular dentro del edificio mediante el empleo del software Ibwave lo que permitió definir las ubicaciones de las diversas antenas para cubrir la totalidad del edificio. Posteriormente se realizó la fase de implementación del proyecto con la instalación de las antenas y se procedió a una etapa de testeos con el fin de validar la labor de lo implementado.

Palabras Claves: Radio frecuencia, banda de frecuencia, red de acceso, parámetros de diseño, internet inalámbrico, indoor, outdoor, walk test, portadora, sectores, banda base.

Abstract

The current indagation lies in the requirement to improve the quality of the cellular voice and data service inside the Banco Nación main headquarters building.

This deals with the sizing and coupling of the indoor 3G access cellular network in the 1900 Mhz band of the Movistar operator inside the general building of the Banco de la Nación.

For this task, the magnitude of sectors was sized to cover the entire area of the building and the study of the propagation of the cellular network within the building was carried out using the Ibwave software, which allowed defining the locations of the various antennas to cover the entire building. Subsequently, the implementation phase of the project was carried out with the installation of the antennas and a testing stage was carried out in order to validate the work of what was implemented.

Keywords: Radio frequency, frequency band, access network, design parameters, design parameters, wireless internet, indoor, outdoor, walk test, carrier, sectors, baseband.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.2.1 Situación Problemática.....	2
1.2.2 Problema a Resolver.....	2
1.3 Objetivos del estudio	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.3.3 Indicadores de logro de los objetivos	3
1.4 Antecedentes investigativos.....	3
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	6
2.1 Marco teórico	6
2.1.1 Conceptos básicos de la telefonía móvil.....	6
2.1.2 Evolución de las Comunicaciones móviles	8
2.1.3 Introducción a 3G - UMTS.....	11
2.1.4 Arquitectura de una red 3G	12
2.1.5 Codificación y Chips.....	15
2.1.6 Micro diversidad (Propagación Multi trayecto).....	17
2.1.7 Handover	18
2.1.8 Sistema de antenas distribuidas (DAS)	20
2.2 Marco conceptual.....	26

2.2.1	Fórmulas para el cálculo de cobertura indoor`	26
2.2.2	Simulador 3G para generar mapas de cobertura: IBwave	27
2.2.3	Software nemo handy	30
2.2.4	Software windcatcher	32
capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....		34
3.1	Planeamiento de sectores	34
3.1.1	Cálculo de cantidad de sectores.....	35
3.1.2	Distribución de sectores por piso.....	36
3.2	Parámetros de configuración del simulador IBwave	37
3.2.1	Configuración de la simulación del proyecto`	37
3.2.2	Criterio de selección de proveedor de DAS activo.....	41
3.2.3	Equipamiento requerido del proveedor seleccionado	42
3.2.4	Diseño y topología de la solución	49
3.3	Implementación del proyecto.....	56
3.3.1	Implementación de BBU.....	56
3.3.2	Implementación RHUB.....	57
3.3.3	Implementación pRRUs	59
3.3.4	Implementación fibra óptica.....	60
3.3.5	Implementación cable UTP	60
3.4	Pruebas realizadas en la implementación	61
3.4.1	Pruebas de RSCP.....	61
3.4.2	Prueba de Throughput	63
3.4.3	Resultados de las pruebas.....	65
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....		67
4.1	Cumplimiento del primer objetivo específico.....	67
4.2	Cumplimiento del segundo objetivo específico	68

4.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico.....	68
Conclusiones.....	70
Recomendaciones.....	71
Referencias bibliográficas	72
Anexos.....	74

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Indicadores de logro de los objetivos.....	3
Tabla 2: Atenuación típica del cable coaxial.....	21
Tabla 3: Perdidas por tipo de material.....	27
Tabla 4: Distribución del aforo por cada piso.....	34
Tabla 5: Cálculo de cantidad de sectores.....	36
Tabla 6: Distribución de sectores según los pisos.....	36
Tabla 7: Criterios de selección de proveedor de DAS activo.....	41
Tabla 8: Comparación de proveedores de DAS activo.....	42
Tabla 9: Equipamiento requerido del proveedor Huawei.....	42
Tabla 10: Distribución de capacidad de la BBU.....	45
Tabla 11: Especificación técnicas de la BBU 3900.....	45
Tabla 12: Especificaciones técnicas del RHUB 3908.....	47
Tabla 13: Capacidad soportadas por la pRRU 3901.....	48
Tabla 14: Frecuencias soportadas por la pRRU 3901.....	48
Tabla 15: Especificación de la pRRU 3901.....	49
Tabla 16: Equipamiento total implementado.....	61
Tabla 17: Resultados de medición de señal de RSCP y Throughput.....	65

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Evolución del crecimiento en la construcción en el Perú.....	1
Figura 2: Esquema de una estructura celular de una red de radio celular.....	8
Figura 3: Esquema de la tecnología 1G.....	9
Figura 4: Evolución de los sistemas móviles celulares.....	11
Figura 5: UTRAN y Red Core	12
Figura 6: Dos móviles atendidos por la misma celda usan diferente código.....	15
Figura 7: La señal de banda estrecha usa spreading y de-spreading.	16
Figura 8: Propagación multi trayecto.....	18
Figura 9: Softer handover	19
Figura 10: Soft handover	19
Figura 11: Distribución típica de splitter 1:3	22
Figura 12: Distribución típica de acoplador	22
Figura 13: Combinador 3dB usado como combinador de 2 puertos.....	23
Figura 14: Ejemplo de un DAS activo para una larga construcción	24
Figura 15: Software Ibwave se configura el tipo de material a utilizar	27
Figura 16: Software Ibwave se configura la propagación a utilizar.....	28
Figura 17: Software Ibwave se configura el nivel de potencia y frecuencia de cada antena	29

Figura 18: Software de simulación Ibwave	30
Figura 19: Selección de banda de frecuencia en el software Nemo Handy	30
Figura 20: Software de medición de señal Nemo Handy con los parámetros básicos.....	31
Figura 21: Grafico de la medición de señal en el plano del software Nemo Handy	32
Figura 22: Grafico de procesamiento de logs en software Windcatcher	33
Figura 23: Resultado del procesamiento de log en el software windcatcher	33
Figura 24: Tabla de requerimiento IBwave.....	38
Figura 25: Configuración potencia CPICH IBwave	39
Figura 26: Configuración de la altura del techo y la altura de los componentes en el IBwave	40
Figura 27: Configuración de los parámetros de interferencia	41
Figura 28: Equipo Huawei BBU 3900.....	43
Figura 29: Configuración del tablero single mode UMTS	44
Figura 30: Configuración del tablero dual mode UMTS y LTE.....	44
Figura 31: Equipo Huawei RHUB 3908	46
Figura 32: Equipo Huawei RHUB 3908	46
Figura 33: Equipo Huawei pRRU 3901	47
Figura 34: Ubicación de equipos piso 1	49
Figura 35: Ubicación de equipos piso 2	50

Figura 36: Ubicación de equipos piso 3	50
Figura 37: Ubicación de equipos piso 4	51
Figura 38: Ubicación de equipos piso 5	51
Figura 39: Simulación RSCP del piso 1 en el software IBwave	52
Figura 40: Simulación Ec/Io del piso 1 en el software IBwave.....	53
Figura 41: Topología de la BBU1 y BBU2.....	54
Figura 42: Topología de la BBU3 y BBU4	55
Figura 43: BBU 1 y 2 implementado en el piso 4	56
Figura 44: BBU 3 y 4 implementado en el piso 16	56
Figura 45: RHUBs implementados en sótano y piso 4	57
Figura 46: RHUBs implementados en piso 6 y piso 7	57
Figura 47: RHUBs implementados en piso 8 y piso 9	58
Figura 48: RHUBs implementados en piso 11 y piso 13	58
Figura 49: pRRU implementado en sótano 1	59
Figura 50: pRRU implementado en piso 1	59
Figura 51: Implementación de la fibra óptica.....	60
Figura 52: Implementación del cable UTP	60
Figura 53: Medida de señal RSCP para el piso 2.....	62
Figura 54: Medida de señal RSCP para el piso 3.....	62

Figura 55: Medida de señal RSCP para el piso 5.....	63
Figura 56: Medida de throughput para el piso 2.....	64
Figura 57: Medida de throughput para el piso 3.....	64
Figura 58: Medida de throughput para el piso 5.....	65

Introducción

En esta indagación se precisa el dimensionamiento y acoplamiento de una red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz del operador Movistar en el interior del edificio fuente del Banco de la Nación. Para dicha finalidad, se dimensionó la cantidad de sectores que cubra toda la zona del edificio; así como se realizó el estudio de la propagación de la red celular en el interior del edificio mediante el empleo del software IBwave. lo que permitió definir las ubicaciones de las diversas antenas para cubrir la totalidad del edificio. Posteriormente, se instalaron las antenas y se procedió a realizar los testeos con el fin de validar la labor de lo implementado.

En el capítulo 1 se describe de modo general el proyecto, la descripción del problema, los objetivos específicos, los indicadores de logros de los objetivos y los antecedentes de la investigación.

En el capítulo 2, se expone el marco teórico, estableciendo los fundamentos esenciales de la telefonía móvil y su evolución; describe la introducción del 3G, la arquitectura de la red y su codificación; y explica la propagación multi trayecto, los diferentes tipos de handover, las tecnologías de DAS pasivo y DAS activo. En el marco conceptual, se utiliza la fórmula para el cálculo de cobertura indoor, las características del simulador IBwave para generar mapas de cobertura, y las características del equipo de medición de señal y software de procesamiento.

En el capítulo 3 se describe el trabajo de suficiencia profesional en el cual se detalla el dimensionamiento de los sectores para determinar la cantidad de sectores requeridas y su distribución en todos los pisos, parámetros a considerar en el software de simulación IBwave y los criterios de selección para elegir el proveedor a utilizar en un DAS activo. Posteriormente, se obtiene el mapa de cobertura y se realiza el dimensionamiento del equipamiento necesario para la implementación del proyecto y se realiza la implementación de todos los equipamientos. Finalmente, se realizan las pruebas de medición de señal y su procesamiento para validar el servicio y verificar un correcto funcionamiento.

En el capítulo 4 se analizan y discute los resultados alcanzados, teniendo en cuenta para ello una evaluación cuantitativa de los resultados mediante la implementación del proyecto para fijar el grado de cumplimiento de los objetivos específicos.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

En el capítulo actual se exponen las particularidades generales del trabajo, la descripción del problema, el objetivo general, los objetivos específicos, los indicadores que permitan evaluar el logro de estos objetivos y los precedentes.

1.1 Generalidades

Actualmente, las redes de tecnología celular indoor están evolucionando rápidamente, esto debido en gran medida al auge de la construcción que se está realizando en el Perú. La señal de servicios outdoor es insuficiente, pues no brinda una adecuada cobertura en los espacios internos de los centros comerciales y grandes edificios. En la ilustración 1, se muestra el incremento de la construcción en el Perú.

Figura 1

Evolución del crecimiento en la construcción en el Perú



Nota: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/construccion-sorprende-en-el-mes-de-junio>

La demanda de mejor cobertura de comunicaciones móviles en el interior de los centros comerciales y grandes edificios, en ese sentido, se generó la necesidad de mejorar el servicio por parte de las operadoras y esto significó la instalación de nodos indoor en el interior de las construcciones para ofrecer una mejor experiencia de usuario de datos y voz.

En la ciudad de Lima, el operador Movistar dispone de una infraestructura de red celular 3G outdoor, el cual es insuficiente para satisfacer los requerimientos de acceso de cobertura en el interior de las grandes edificaciones, razón por la cual, ha decidido ofrecer el servicio de una red de celular indoor de acceso 3G. Para los propósitos del presente trabajo, se explica el dimensionamiento e instalación de una red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz para mejorar la calidad de servicio celular de datos y de voz en esta entidad.

1.2 Descripción del problema

Esta parte se desarrolla la problemática que motiva a este estudio y el problema a solucionar; específicamente, la solución que se propone.

1.2.1 Situación Problemática

La eficacia del servicio celular outdoor, tanto en datos como en voz, proporcionado por el operador Movistar, es insuficiente en el recinto del Banco de la Nación.

1.2.2 Problema a Resolver

La eficiencia del servicio de telefonía móvil, tanto en datos como en voz, dentro del edificio del Banco de la Nación.

1.3 Objetivos del estudio

En este segmento se articulan los propósitos globales, los objetivos puntuales y los indicadores de logro para evaluar el éxito de cada uno de los objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo general

Dimensionar e implementar una red de servicio celular 3G indoor en la banda de 1900 Mhz para el edificio de la sede principal del Banco de la Nación.

1.3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que dan soporte al objetivo general son los siguientes:

1. Dimensionar la red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz para el edificio de la la entidad en cuestión.

2. Implementar la red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz para el edificio de la entidad en cuestión.
3. Evaluar el funcionamiento del diseño del servicio celular de datos y de voz en el edificio de la entidad en cuestión.

1.3.3 Indicadores de logro de los objetivos

Estos Indicadores se precisan en la tabla numero 1

Tabla 1
Indicadores de logro de los objetivos

N°	Objetivo Especifico	Indicador de logro	Métrica
1	Dimensionar la red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz para el edificio de la sede principal del Banco de la Nación.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de la solución que atiende al 100% del total del área indoor del edificio de la entidad en cuestión. • Especificaciones técnicas del 100% del equipamiento requerido para la implementación de la red celular indoor de acceso 3G de la entidad en cuestión . 	<p>Porcentaje</p> <p>Porcentaje</p>
2	Implementar la red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz para el edificio de la entidad en cuestión.	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación del 100% de las estaciones bases con sus correspondientes antenas de la red celular indoor de acceso 3G en el edificio de la entidad en cuestión . 	Porcentaje
3	Validar la calidad del servicio celular de datos y de voz dentro del edificio de la sede principal la entidad en cuestión.	<ul style="list-style-type: none"> • Tener una potencia de la red celular indoor de acceso 3G del edificio central del banco de la nación: RSCP ≥ -85dBm • Tener un nivel de throughput DL promedio por usuario ≥ 2 Mbps. 	<p>dBm</p> <p>Mbps</p>

Nota: Elaboración propia

1.4 Antecedentes investigativos

Sobre este tópico, se han obrado lecturas de trabajos de investigación sobre el dimensionamiento e implementación para optimizar la señal datos y de voz. De estas investigaciones, se citarán a continuación algunas de ellas que guardan relación con esta indagación.

En la primera, tesis titulada “Diseño de una Red de Telefonía Móvil para la Ruta de Tren Subterráneo” elaborada por el Ing. Electrónico Larry Hugo Zumaeta Zuta en el año 2015, en la Universidad Nacional de Ingeniería, El autor propone implementar un diseño para una red de telefonía móvil que admita las tecnologías GSM (Sistema Mundial para Comunicaciones Móviles) y UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) se implementan en ambientes internos. El contexto seleccionado es una ruta ferroviaria subterránea. Se describe la infraestructura de tránsito usada para conectar las estaciones base del tren subterráneo de Lima con la red central del operador. Para garantizar la señal móvil en las estaciones del tren, se aplica un sistema pasivo de antenas distribuidas, y en los túneles, se opta por una solución que utiliza un cable radiante. Para el diseño de la cobertura en las estaciones del tren, el autor emplea el renombrado software de simulación iBwave.

Para este presente trabajo se emplea un sistema indoor de DAS (Distributed Antenna System) activo y se utilizará el software de testeo Nemo Handy para realizar las mediciones de la señal.

La segunda tesis, titulada “Diseño e Implementación de una Red Indoor Basada en Femtoceldas para una Agencia de Viajes en Miraflores”, elaborada por la autora. Maricela Alzamora Jayo en el año 2016, de la Pontificia Universidad Católica del Perú, la autora realizó el diseño y ejecución de una red interna mediante femtoceldas en una agencia de viajes, con el objetivo de solucionar problemas en la cobertura móvil. Alzamora expone el diseño del plan, la base técnica y su implementación, considerando las simulaciones de las predicciones de cobertura.

Este trabajo de suficiencia profesional se guía en la planificación de los sectores y recurre a la tecnología Lampsite para realizar el diseño red celular indoor de acceso 3G.

En tercera tesis, titulada “Diseño de un Sistema Distribuido de Antenas para la optimización de Cobertura en la Estación Central del Metropolitano” elaborada por el Ing. Gutierrez Salunas Xavier Andre, en el año 2015, de la Universidad Ricardo Palma, el autor describe el diseño de un sistema MIMO (Multiple Input Multiple Output) Mediante la

aplicación de la tecnología DAS, centrada en una red RF interna en la Estación Central del Metropolitano, se consigue optimizar la cobertura de señal de las redes 2G, 3G y 4G, empleando el software de medición JDSU RanAdvisor.

En el presente proyecto se utiliza el software de medición Nemo Handy para realizar la medición de la señal de la red celular indoor de acceso 3G en edificio de la entidad monetaria

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

Este se divide en dos segmentos: el marco teórico y el conceptual. En el primero, se delinear los conceptos vinculados a la evolución de las tecnologías móviles, la arquitectura de la tecnología 3G, handover y concepto del sistema DAS pasivo y activo. En el segundo, el marco conceptual, se especifica el cálculo del modelo de propagación, el simulador 3G para la generación de mapas de cobertura: IBwave, así como, la explicación de los programas utilizados para realizar la medición de la señal y procesamiento de datos.

En la siguiente sección se presenta de forma general la progresión evolutiva de las comunicaciones móviles, cubriendo desde los sistemas anteriores a la tecnología celular hasta la tercera generación de telefonía móvil. Seguidamente, se especifica la composición del sistema 3G, junto con sus características más relevantes.

2.1 Marco teórico

Los conceptos de red de acceso 3G 1900MHz, utilizados en el presente trabajo, provienen de diversas fuentes académicas.

2.1.1 *Conceptos básicos de la telefonía móvil*

Los conceptos básicos o primitivos para desarrollar la implementación de la red celular indoor de acceso 3G son el sistema celular y de celdas.

2.1.1.1 **Concepto de Sistema Celular**

En el libro Indoor Radio Planning del autor Morten Tolstrup (2015) refiere que el sistema celular fue obrado en AT&T/Bell en la época en que los sistemas de telefonía móvil eran sistemas manuales y se utilizaban únicamente para transmisión de voz. Existían implementaciones típicas con mástiles altos que cubrían grandes áreas y tenían una capacidad limitada por mástil, atendiendo solo a unos pocos usuarios a la vez; en ciertas instancias, solamente permitían una sola llamada por mástil. Estos mecanismos adolecían igualmente de la facultad para trasferir llamadas entre mástiles, dado que la movilidad estaba restringida al área de la antena prestadora, si bien en la praxis, el dominio de

recepción era de tal magnitud que raramente se transitaba entre las zonas de recepción. Recordemos, en aquel entonces, los telefonillos móviles portátiles eran inexistentes, contándose únicamente con terminales incorporados en vehículos, dotados de antenas en su azotea.

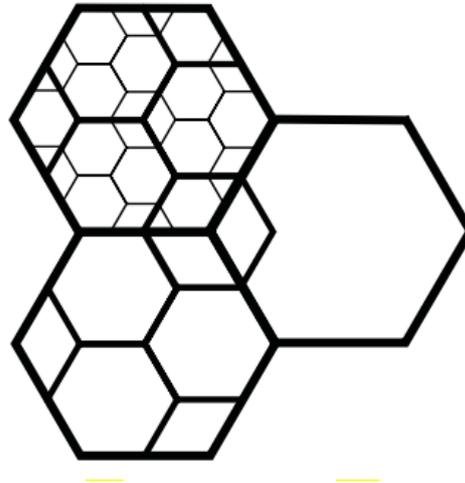
Con el transcurso del tiempo, la utilización de la telefonía móvil se convirtió más generalizada y surgió la necesidad de que la red se fragmentara en celdas de menor magnitud para proporcionar un acceso más amplio a los usuarios, permitiendo una movilidad fluida de comunicaciones entre estas celdas pequeñas. Partiendo de esta noción inicial, con el tiempo se originaron múltiples sistemas celulares a lo largo del tiempo y en distintas partes del mundo. El pionero de estos sistemas celulares fue el de voz analógica, con ciertas capacidades de transferencia de datos modulados en el canal de comunicación de voz.

2.1.1.2 Concepto de Celdas

En el libro Indoor Radio Planning del autor Morten Tolstrup (2015) Se define el concepto de celdas como la división de la red de acceso por radio en celdas superpuestas, introduciendo la funcionalidad de traspaso que garantiza la movilidad total a lo largo de toda la red, Este enfoque convierte varios mástiles en un servicio coherente para los usuarios. Este concepto de dividir geográficamente la cobertura en pequeñas celdas interconectadas ha sido clave para el desarrollo de los modernos sistemas de telefonía móvil. Al tener celdas más pequeñas se puede reutilizar más eficiente mente el espectro radioeléctrico, incrementando la capacidad de usuarios simultáneos. En la figura 2 se exhiben las subdivisiones de las celdas a medida que la red evoluciona y crece la necesidad de capacidad.

Figura 2

Esquema de una estructura celular de una red de radio celular.



Nota: (Indoor Radio Planning – A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA – Cap2 – Pag 28)

2.1.2 Evolución de las Comunicaciones móviles

La proliferación exorbitante en la cifra de usuarios móviles, impulsado por las crecientes necesidades de comunicación, ha producido una evolución de las tecnologías que respaldan las comunicaciones inalámbricas. Estas evoluciones se han clasificado en generaciones tecnológicas.

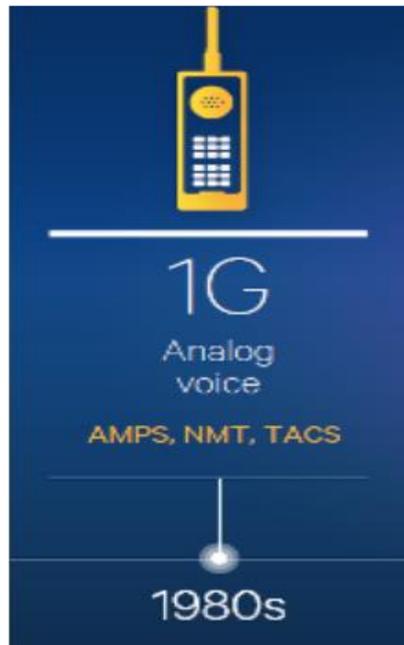
2.1.2.1 Primera Generación (1G)

En el libro “ Introduction to Mobile Telephone Systems 1G, 2G, 2.5G y 3G Wireless technologies and services del autor Lawrence Harte – David Bowler “ (2013), define que los sistemas de primera generación (1G) eran analógicos con una razonablemente fiabilidad. Solo permitían la transmisión de voz y no permitía el roaming entre redes.

Existen muchos tipos de tecnologías celulares analógicos en todo el mundo, entre los que podemos nombrar a AMPS (Advance Mobile Phone System) que fue introducido en USA y TACS (Total Access Communications System) que es muy similar al EIA-553 AMPS system que fue introducido en el Reino unido.

En la gráfica 3 se presenta el esquema de la tecnología 1G.

Figura 3
Esquema de la tecnología 1G



Nota: <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/5gloT.php>

2.1.2.2 Segunda Generación (2G)

En la obra "Indoor Radio Planning" de Morten Tolstrup (2015), se caracterizan los sistemas de segunda generación (2G), conocidos como GSM, como unos de los primeros esquemas plenamente digitales para dispositivos móviles de telefonía. Su debut se realizó a inicios de los años 90 y fue delineado por el ETSI (European Telecommunications standards Institute). Inicialmente, su uso estaba previsto exclusivamente para Europa. No obstante, GSM se reveló como una tecnología sumamente eficaz para estas y, desde su estreno en Europa, ha progresado hasta convertirse en el primer sistema estándar global para las comunicaciones móviles.

GSM emplea bandas de frecuencia distintas para la conexión de enlace creciente y decreciente. Estas bandas se hallan separadas por 45 MHz en GSM900 y por 95 MHz en GSM1800. GSM opera en la banda de frecuencia más baja. A través del uso de FDD (Dúplex por División de Frecuencia), el espectro se segmenta en canales de radio, cada uno con una amplitud de banda de 200 kHz. Cada uno de estos canales radioeléctricos de

200 kHz se fragmenta temporalmente mediante TDD (Dúplex por División de Tiempo) en ocho canales (intervalos temporales) para ser utilizados como canales lógicos y de tráfico para los usuarios.

El incremento en la demanda para el acceso inalámbrico a internet ha impulsado a nuevos desarrollos en GSM. Por ejemplo, se ha gestado un servicio nombrado GPRS (General Packet Radio Service) 2.5G. Subsecuentemente, el surgimiento de EDGE (Enhanced Data Packet Service) 2.75G, que es una versión amplificada de GSM, posibilita la consecución de transferencias de datos a mayor velocidad. La generación 2.5G, estandarizada de conmutación de paquetes permite el uso móvil de Internet.

2.1.2.3 Tercera Generación (3G)

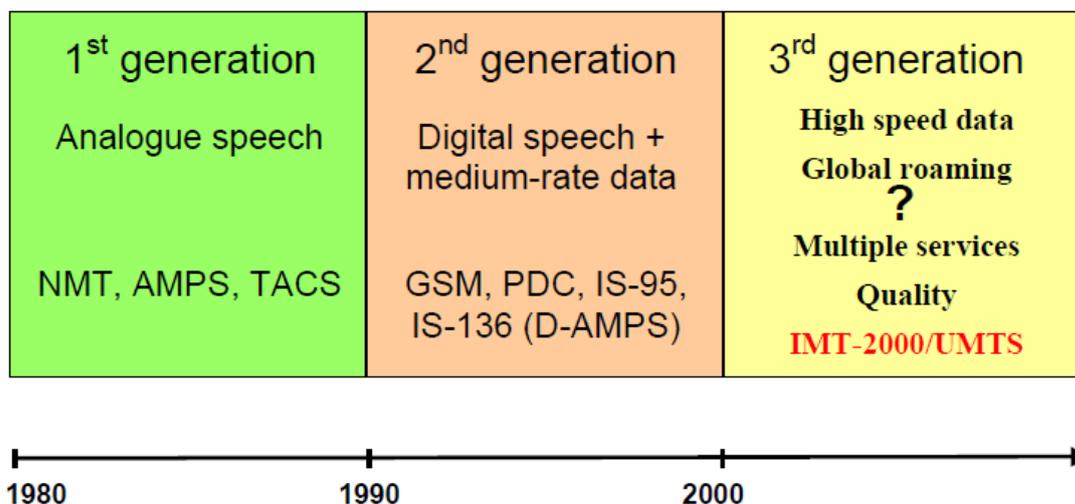
En el libro "UMTS Network Planning and Development" (2004) define a los sistemas de tercera generación (3G), igualmente conocidos como UMTS, como sistemas que proporcionan en última instancia, la convergencia entre la telefonía móvil, el acceso de banda ancha y las redes troncales de protocolo de Internet (IP). Esto habilita al entorno radio móvil un amplio rango de aplicaciones de internet y las velocidades de acceso que comúnmente se experimentan en redes fijas. Los sistemas móviles 3G se fundamentan en un esquema conocido como CDMA (Acceso Múltiple por División de Código). Esto presenta diferencias fundamentales con el sistema de segunda generación (2G), que emplean TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo).

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) ha podido brindar beneficios tangibles a los operadores en términos de calidad de red, capacidad de voz y nuevas capacidades de servicio de datos.

UMTS dispone de actualizaciones donde se puede alcanzar una mayor velocidad de datos como: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Brinda a individuos rapidez de dato elevada a los 10 Mbps.

En la figura 4 se precisa cómo evoluciona los medios móviles celulares en función del año de creación de cada generación.

Figura 4
Evolución de los sistemas móviles celulares



Nota: Ericsson WCDMA/UMTS system overview– Cap1 – Pag 4

2.1.3 Introducción a 3G - UMTS

Colaboradores de Wikipedia (2013) mencionan que el 3GPP (3rd Generation Partnership Project) Constituye a grupos de asociaciones en el ámbito de las telecomunicaciones conocidos como miembros organizacionales. Inicialmente, la finalidad del 3GPP radicaba en la delineación de las normativas de un esquema comunicacional global de tercera generación (3G) para dispositivos móviles basándose en las especificaciones evolucionadas del sistema avanzado GSM, en el marco del proyecto internacional de telecomunicaciones móviles 2000 de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones). La misión se expandió para incluir el desarrollo y sostenimiento del GSM, incluyendo las tecnologías de acceso de radio avanzadas derivadas de este, tales como GPRS y EDGE.

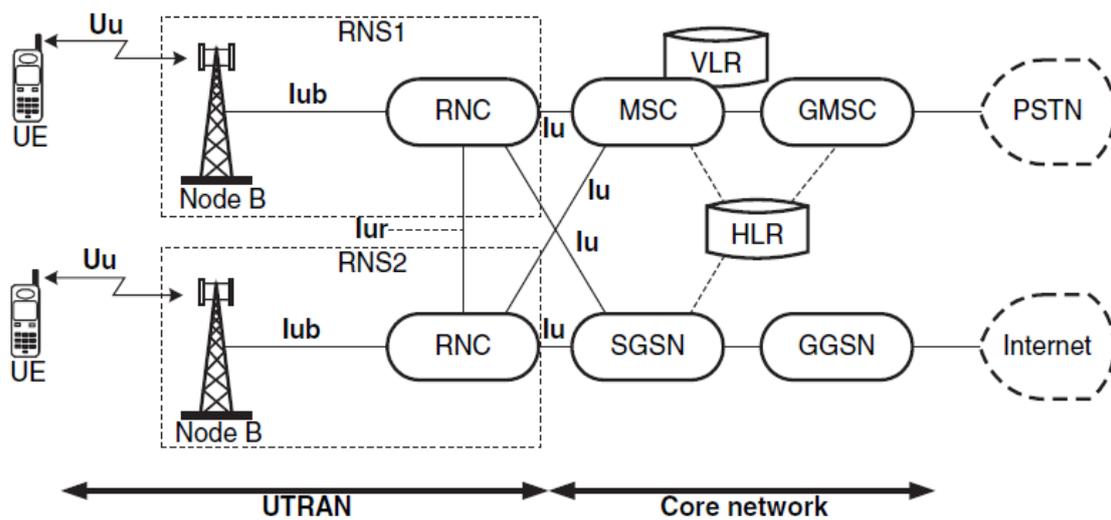
2.1.3.1 Características de 3G

Tolstrup (2015) describe las características principales de WCDMA son su alta resistencia a la interferencia de banda estrecha y es muy resistente contra el desvanecimiento selectivo en frecuencia. Ofrece buena resistencia a múltiples caminos debido al uso de rastrillo receptores. Los handover en WCDMA son fluidos e imperceptibles debido al uso de soft handover.

2.1.4 Arquitectura de una red 3G

En la ilustración 5 se exhiben los componentes de la UTRAN (Red Terrestre de Acceso Radio de UMTS) y los elementos de la red central.

Figura 5
UTRAN y Red Core



Nota: Indoor Radio Planning – A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA – Cap2 – Pag 56

2.1.4.1 Equipo Usuario

El UE es un dispositivo de datos móviles (puede ser un teléfono móvil) que hace referencia a un dispositivo de estación móvil que sea compatibles tanto con UMTS como con GSM (Tolstrup, 2015, p. 55).

2.1.4.2 Nodo B

Tolstrup (2015), menciona que la estación base en la red UTRAN se denomina nodo B. El nodo B consta de transceptores, módulos de procesamiento que proporcionan los "elementos de canal" que dan servicio a los usuarios. El nodo B se conecta al UE a través de la interfaz aérea, la interfaz Uu. La interfaz del nodo B con el RNC es la interfaz Iub.

En el nodo B también se realizan mediciones importantes en la interfaz Uu y reportan los resultados de las mediciones al RNC con respecto a la calidad del enlace. Estos son BLER (Block Error Rate), los BER son necesarios para que el RNC sea capaz de evaluar la QoS (Quality of Service) y ajustar los objetivos de control de potencia

respectivamente. Asimismo, se mide y reporta el nivel de recepción de los móviles, así como la relación señal/ruido, etc.

2.1.4.3 Controlador de Red de Radio

El autor Tolstrup (2015) define al controlador de red de radio (RNC) como aquel que permite controlar los nodos Bs en su propio sistema RNS (Radio Network Sub-System). Para el servicio de voz, el RNC interactúa con el MSC. Para el enrutamiento de paquetes, servicio datos, la RNC interactúa al SGSN (Serving GPRS Support Node). El RNC se encarga de gestionar la carga en las celdas individuales en el RNS, de manejar el control de admisión (tráfico) y la asignación de códigos, una vez establecido la conexión entre el UE y el nodo B, el RNC realiza la señalización a los elementos superiores en la red. Este se denomina RNC de servicio (SRNC).

El SRNC se utiliza para la evaluación del handover, del control de potencia del lazo externo, así como de la señalización entre el UE y el resto de la UTRAN. Cuando el UE recibe señal de otros nodos BS (soft handover) que son controlados por otros RNCs, estos RNCs se denominan DRNC (Drift RNC). El DRNC puede procesar la señal UL del UE y proporcionar macro diversidad de transferencia de datos a través de las interfaces Iub/Iur al SRNC.

2.1.4.4 Subsistema de Red de Radio

El autor Tolstrup (2015), define a un subsistema de red de radio (RNS) como todos los nodos B conectados a un RNC. Una UTRAN consta de varios RNS; cada RNC al interior del RNS está interconectado con un Iur interfaz. Además, se presentan otras interfaces:

- Interfaz Uu: esta es el medio de radio de WCDMA, la interfaz aérea entre el UE y el nodo B.
- Interfaz Iu: este es el enlace entre la UTRAN y la red central. la interfaz está estandarizada para que una UTRAN de un fabricante sea compatible con el core network de otra fabricante.

- Interfaz Iur: la interfaz Iur interactúa con los diferentes RNC y maneja datos de soft handovers entre diferentes RNCs.
- Iub: entre el nodo B y el RNC se utiliza la interfaz Iub. Al igual que la interfaz Iu, este está completamente estandarizada, lo que significa que diferentes RNC admitirán nodos B de diferentes proveedores.

2.1.4.5 Core Network

Según el autor Tolstrup (2015) el core network presentan las siguientes características:

- MSC (Mobile Switching Center): permite controlar el circuito de conexiones conmutado voz y apps de datos para un UE activo en esta red. Con frecuencia el VLR compartirá ubicación con el MSC.
- GMSC (Gateway Mobile Switching Center): se conecta el MSC con los MSC externos para conmutación de circuitos de llamadas de voz y datos.
- SGSN (Serving GPRS Support Node): permite cambia el tráfico interno de datos PS (Packet Switched).
- GGSN (Gateway GPRS Support Node): permite manejar el tráfico externo de datos PS.

2.1.4.6 Registro de Ubicación de Visitante (VLR)

El autor Tolstrup (2015) menciona al VLR como una base de datos, que almacena la ubicación (área de ubicación) de todos los UE conectados a la red. Cuando un UE se registra en la red, el VLR permite recuperar los datos relevantes sobre el usuario (SIM) del HLR asociado a la SIM (IMSI).

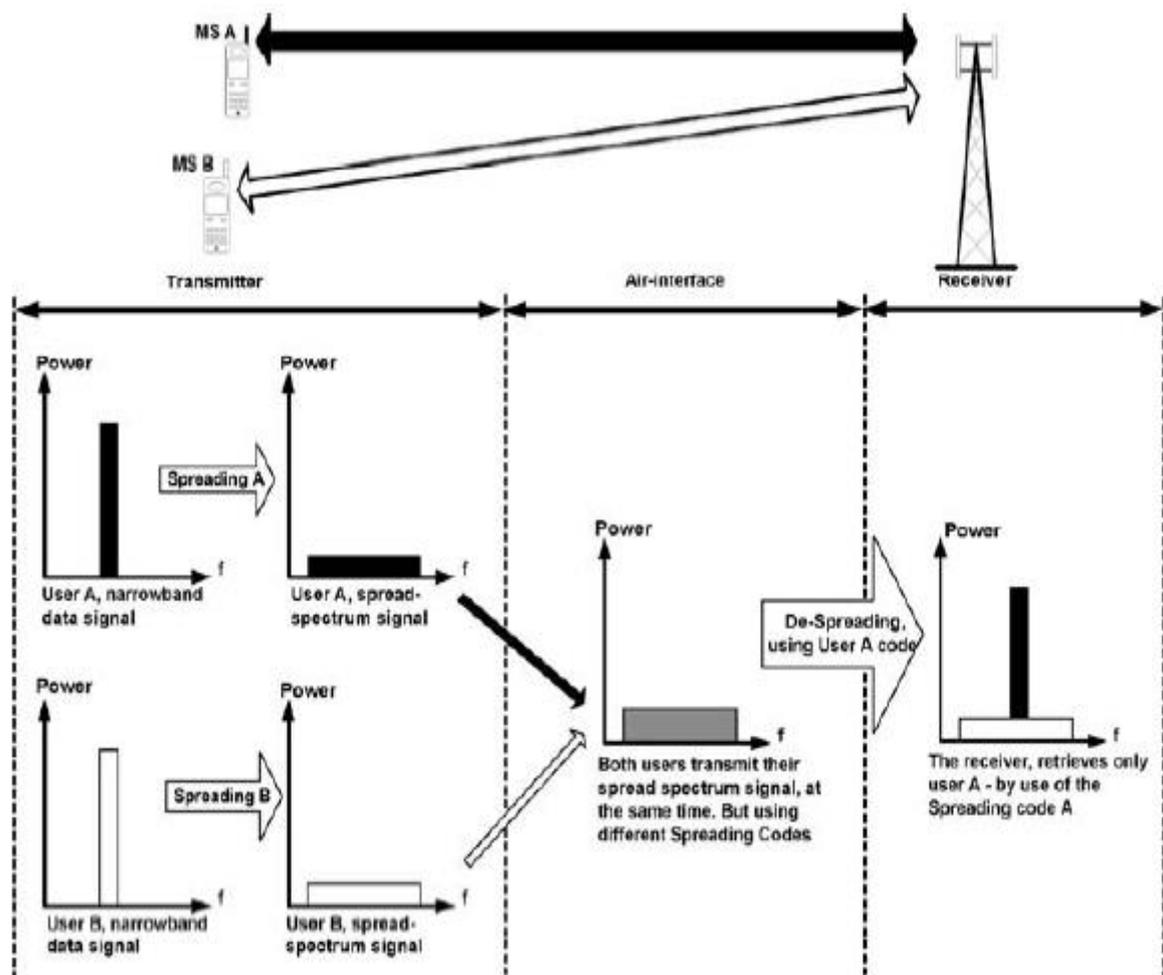
2.1.4.7 Inicio de Ubicación de Registro (HLR)

El HLR es fuente que congrega todos los datos relevantes sobre el suscriptor (SIM). Esto es el perfil de suscripción, el socio de itinerancia y la ubicación actual de VLR/SGSN del UE (Tolstrup, 2015, pág. 57).

2.1.5 Codificación y Chips

El autor Tolstrup (2015) señala que la codificación es un código único que permite la transmisión simultánea de todos los usuarios usando la misma frecuencia en WCDMA. Este enfoque de asignación de códigos contribuye a la capacidad del sistema para gestionar múltiples conexiones simultáneas y proporcionar servicios eficientes a los que usan esta. En la ilustración 6 se muestra como el Nodo asigna un código diferente a cada usuario.

Figura 6
Dos móviles atendidos por la misma celda usan diferente código

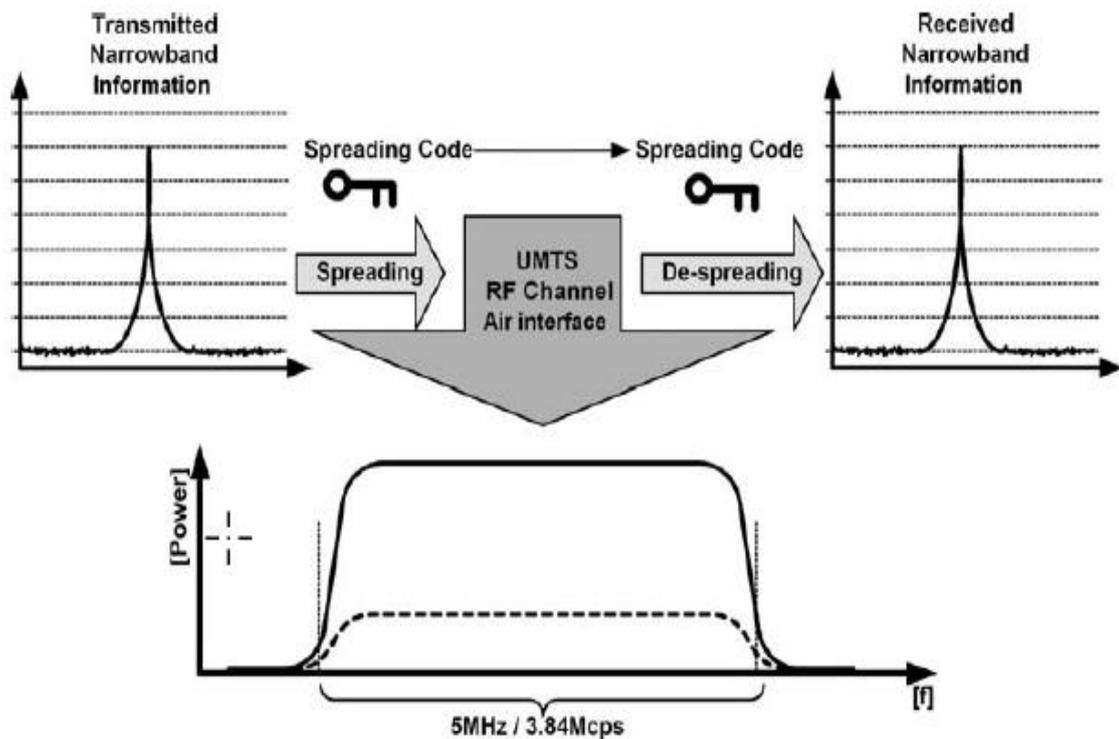


Nota: (Indoor Radio Planning – A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA – Cap2 – Pag 37)

En la gráfica 7 se precisa la señal de banda estrecha se expande (spread) utilizando un código de expansión dedicado (spreading), se modula y transmite a través de la portadora del WCDMA, para luego ser restaurando en el extremo receptor utilizando el mismo código dedicado (de-spread) (Tolstrup, 2015, pág. 32).

Figura 7

La señal de banda estrecha usa spreading y de-spreading.



Nota: Indoor Radio Planning – A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA – Cap2 – Pag 33

El autor Tolstrup (2015) menciona que la diferencia fundamental entre GSM y UMTS radica en que el segundo, UMTS, utiliza la totalidad de los 5 MHz del espectro constantemente, separando a los usuarios sólo en el dominio del código, asignando a cada móvil una secuencia de código única. Este código único se utiliza luego para codificar los datos transmitidos; el receptor conoce el código específico que debe utilizar al decodificar la señal. Esta técnica spreading/de-spreading permite que la estación base detecte la señal del usuario por debajo del ruido.

La señal codificada es ortogonal a otros usuarios en la celda. El principio es que el código está construido de tal manera que una señal codificada no expanda ninguna energía a otro usuario codificado, siempre y cuando se mantenga la ortogonalidad sobre el canal de radio. Cada señal individual de usuario puede ser recuperada aplicando el mismo código específico, limitando así la interferencia entre los usuarios. Esencialmente toda la información transmitida en UMTS son datos; cada bit de estos datos se multiplica mediante una secuencia de bits de código, denominados chips. La cantidad de chips multiplicadas por cada bit de usuario depende de la tasa de bits del servicio asignado a cada usuario. El principio es que los datos transmitidos se multiplican por la tasa de código 'sin procesar' del canal a una frecuencia mucho más alta en UMTS 3,84 Mcps (mega chips por segundo). Al multiplicar la tasa de datos del usuario por una secuencia codificada de bits de mayor frecuencia, el espectro se expande sobre el portador 3.84 Mcps y se convierte en una señal de espectro ensanchado. UMTS utiliza una tasa de chip de 3.84 Mcps. Esto son los 3.84 Mcps que ocupa los 5 Mhz de radio WCDMA.

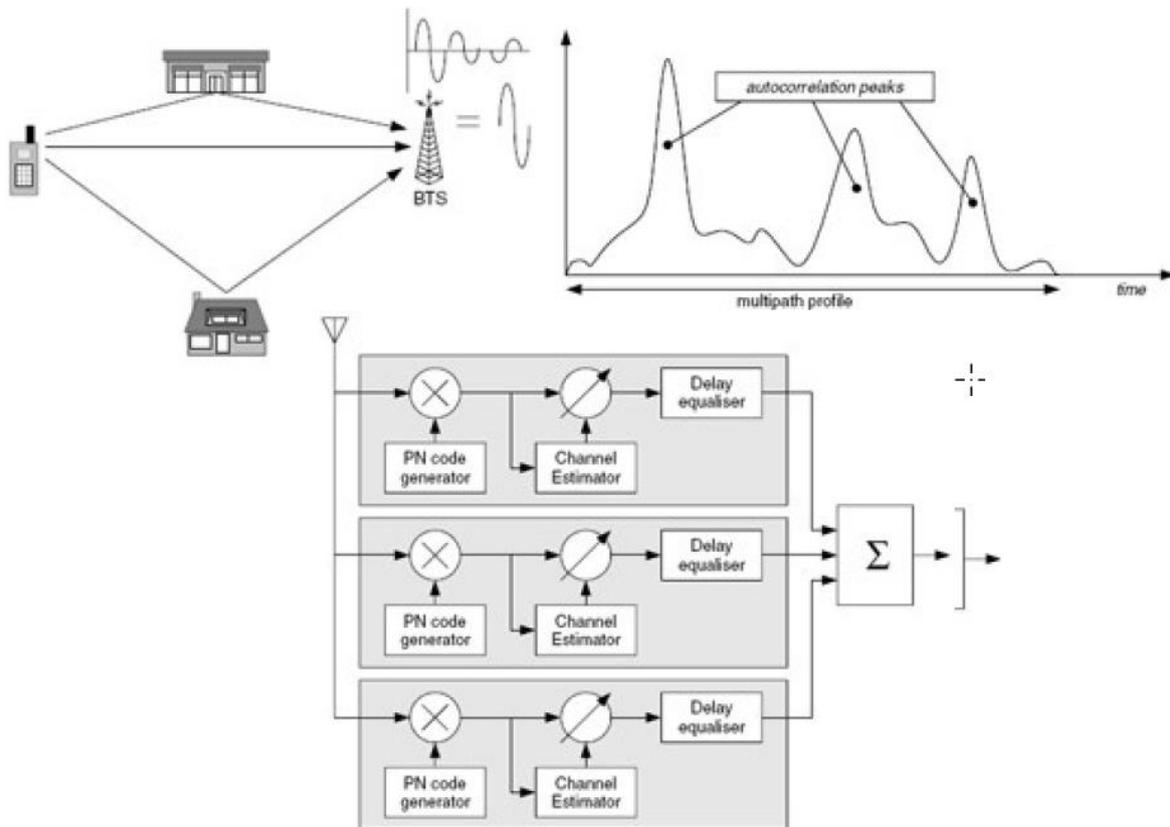
2.1.6 Micro diversidad (Propagación Multi trayecto)

El autor Rodriguez (2017) mesiona que la propagación multiproyecto, presenta los siguientes beneficios:

- El móvil usa menos potencia => menos interferencias.
- Se aprovechan las propiedades de autocorrelación de los códigos.
- El NodeB puede recibir señales reflejadas en distintos medios (tierra, agua, etc) o bien procedentes de distintos sectores.

En la recepción, se combinan las señales, receptor RAKE (en UE y NodeB). El receptor RAKE recibe los componentes individuales y los combina para obtener la suma de las señales y de ese modo mejorar la calidad (con menos potencia transmitida) como se muestra en la figura 8.

Figura 8
Propagación multi trayecto



Nota: (Planificación y gestión de redes de la universidad Rey Juan Carlos –Tema 4– Pag 20)

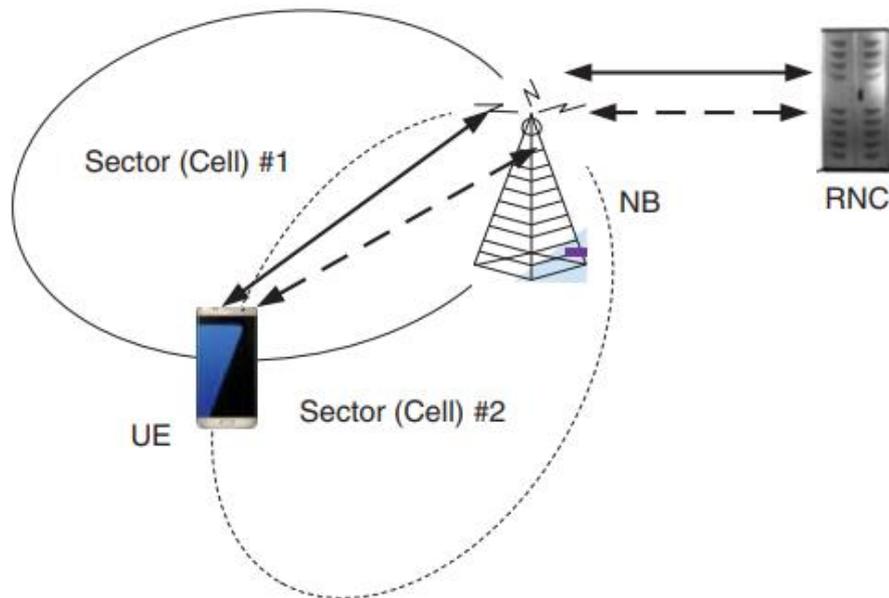
2.1.7 Handover

El autor Kukushkin (2018) menciona que en WCDMA existen varios tipos de handovers: softer handover, soft handover, handover inter frecuencia y handover entre sistemas. Los handovers soportan movilidad y lo realizan cuando el móvil transita de una zona de abarcación de una celda hacia otra área de cobertura de otra celda. El handover intersistema (ISHO) es necesario cuando el móvil usa ambas redes: WCDMA y GSM. Otro nombre para ese handover es Inter-RAT Handover.

2.1.7.1 Softer handover

El autor Kukushkin (2018) menciona que el softer handover ocurre cuando el móvil transita de un área superpuesta de cobertura de radio de 2 sectores adyacentes, de la misma estación base. En este caso, se establecen dos interfaces de área entre el mismo móvil y dos sectores diferentes, como se muestra en la figura 9.

Figura 9
Softer handover

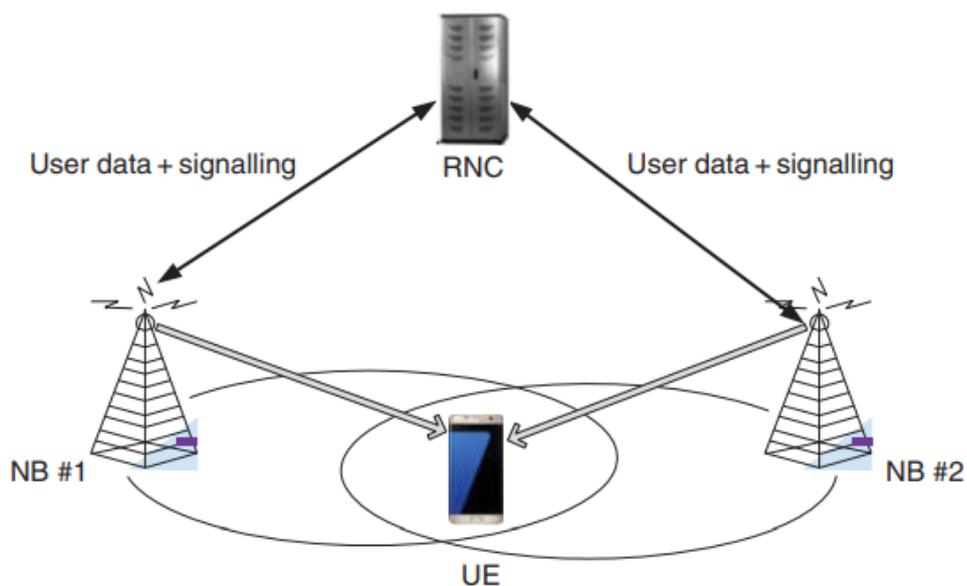


Nota: Introduction to mobile network Engineering-Alexander kukushkin –Capitulo 9– Pag 154

2.1.7.2 Soft handover

En la figura 10, se ilustra el Soft handover, esto ocurre cuando un móvil es posicionado entre dos sectores. Pero al contrario del softer handover, estos dos sectores son de diferente Node B (Kukushkin, 2018, pág. 154).

Figura 10
Soft handover



Nota: Introduction to mobile network Engineering-Alexander kukushkin –Capitulo 9– Pag 154

2.1.7.3 Otros handovers

El autor Kukushkin (2018) menciona que además del soft/softer handover, WCDMA proporciona dos tipos más de hard handover:

- Hard handover inter- frecuencia, el cual es usado para manejar el móvil de WCDMA de diferente portadora. Esto podría ocurrir en el interior del mismo nodo con diferente portadora RF o entre diferentes nodos.
- Hard Handover Inter- sistema (ISHO), el cual se localiza entre el sistema WCDMA FDD y otro sistema, tal como WCDMA TDD o GSM.

2.1.8 Sistema de antenas distribuidas (DAS)

El autor Tolstrup (2015) menciona que para conseguir una distribución uniforme de la señal en el interior del edificio, es necesario implementar celdas y antenas indoor que proporcionen una cobertura adecuada en todo el espacio. Esta operación conlleva la partición de la señal proveniente de la estación base interna que suministra a múltiples antenas situadas en diversos emplazamientos del edificio.

2.1.8.1 Sistema de antenas distribuidas pasivos

El autor Tolstrup (2015) menciona que el principal factor deteriorante de los sistemas pasivos son las elevadas pérdidas, lo que se traduce en una disminución del nivel de energía en los puntos de las antenas y un incremento de interferencia en la estación base, en especial en las frecuencias más elevadas usadas por UMTS/HSPA. A pesar de que UMTS y HSPA poseen la capacidad de ejecutar transmisiones de datos de alta celeridad, este desempeño solo se logra si la condición del enlace radiotelefónico es idónea. La existencia de sistemas pasivos comprometerá de manera significativa dicho desempeño.

Otro inconveniente con los sistemas de antenas distribuidas pasivas radica en la ausencia de monitoreo. En caso de que un cable se desconecte, la estación base no detectará la generación de ningún voltaje radio de onda estacionaria (VSWR) debido a que se produce una falta de señal de retorno en el sistema de antena repartida pasiva. Los

sistemas pasivos, por otro lado, son comparativamente elementales en su planeación, dado que sus componentes y conductores son robustos y resistentes. Su capacidad para ser instalados en entornos adversos como instalaciones de producción con alta humedad, polvo, túneles, etc. Esta característica es destacada con respecto a los componentes de tipo activos, pues en estos lugares estos fallarían fácilmente si no están protegidos del entorno hostil.

- **Cable Coaxial**

El conductor helicoidal se utiliza extensamente en múltiples esquemas de antenas distribuidas, siendo especialmente habitual en sistemas pasivos. En el cuadro secundario se exhibe la atenuación según el tipo de cable. (Tolstrup, 2015, pág. 143).

Tabla 2
Atenuación típica del cable coaxial

Tipo de Cable(inch)	Frecuencia/típica por pérdida 100m(dB)		
	900 Mhz	1800 Mhz	2100 Mhz
1/4	13	19	20
1/2	7	10	11
7/8	4	6	6.5
1 1/4	3	4.4	4.6
1 5/8	2.4	3.7	3.8

Nota: Indoor radio planning- A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA –Cap4– Pag 144

- **Splitter**

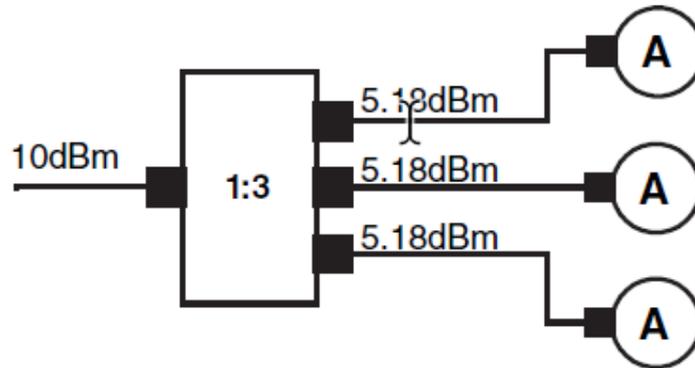
El autor Tolstrup (2015) señala que el splitter se emplea para fraccionar una línea coaxial en dos o más trayectos. Al efectuar esta segmentación de la señal, la energía se reparte entre los distintos puertos. Cuando se divide en dos puertos, la energía se decrementa a la mitad, atenuada por la pérdida de inserción, la cual comúnmente ronda los 0,1 dB. En la imagen undécima se ilustra un divisor de tres vías. La fórmula para calcular la pérdida es:

$$\text{Splitter loss} = 10 \log(\# \text{ de puertos}) + \text{pérdida de inserción}$$

Para un splitter de 3 puestos se tendría:

Splitter loss = $10 \log(3) + 0.1\text{dB} = 4.87\text{dB}$, el splitter es de un puerto de 10dBm , la salida de los puertos será $10\text{dBm} - 4.87\text{dB} = 5.18\text{dBm}$

Figura 11
Distribución típica de splitter 1:3

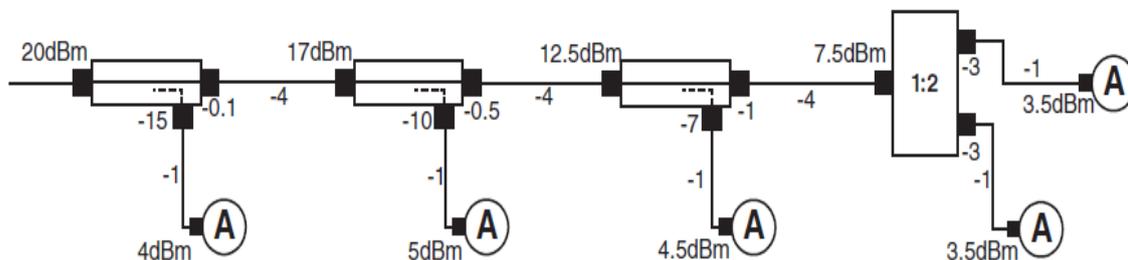


Nota: Indoor radio planning- A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA –Cap4– Pag 145

- **Acoplador**

Los acopladores son usados como divisores, para distribuir la señal o potencia de una línea a dos líneas. A diferencia del divisor convencional 1:2, en este escenario, la potencia no se distribuye de manera equitativa entre los puertos (Tolstrup, 2015, pág. 146). En la representación gráfica duodécima, se exhibe la distribución característica del acoplador.

Figura 12
Distribución típica de acoplador



Nota: Indoor radio planning- A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA –Cap4– Pag 98

- **Carga**

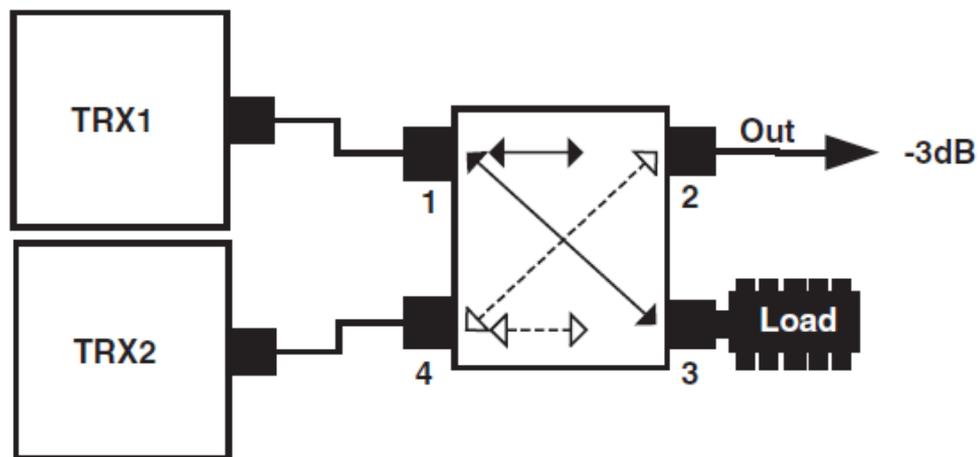
La carga se emplea en las líneas de transmisión coincidentes, generalmente conectado en un puerto de un circulator o cualquier puerto abierto, especialmente en aplicaciones sensibles a PIM (Passive intermodulation) (Tolstrup, 2015, pág. 147).

- **Combinador 3dB**

Se emplea para combinar la señal de 2 fuentes distintas, al unísono que el combinador dividirá las dos señales fusionadas en dos puertos de salida. En la ilustración décimo tercera se evidencia el combinador de 2 puertos. (Tolstrup, 2015, pág. 148).

Figura 13

Combinador 3dB usado como combinador de 2 puertos



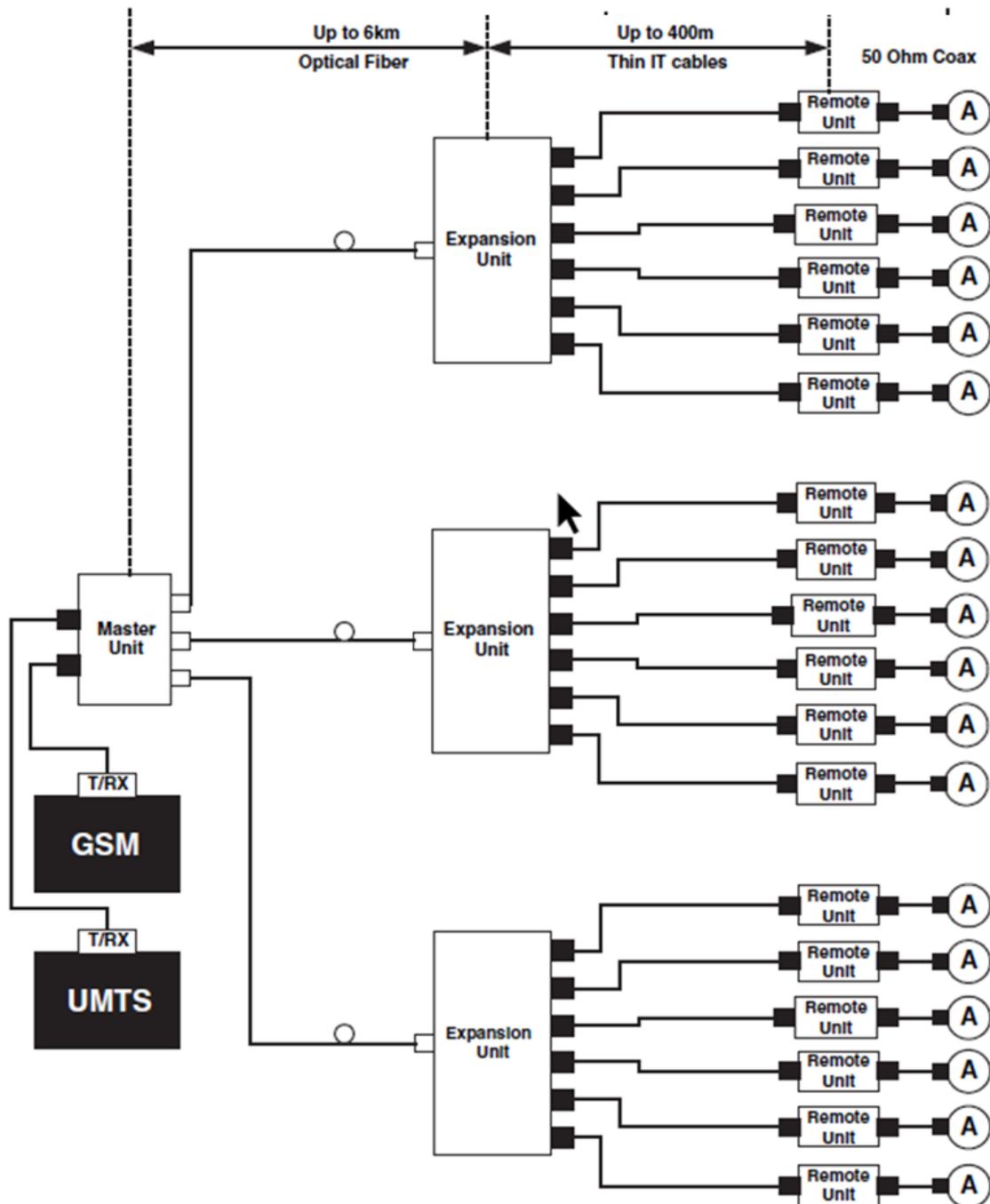
Nota: Indoor radio planning- A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA –Cap4– Pag 101

2.1.8.2 Sistema de antenas distribuidas activo (DAS activo)

El escritor Tolstrup (2015) indica que la misión primordial de un sistema de antena distribuida activo es que, al igual que un sistema de antena distribuida pasivo, propaga la señal a diversas antenas internas. Sin embargo, hay diferencias significativas. En el caso de un DAS activo, se recurre usualmente a conductores delgados, fibras ópticas y conductores del tipo TI, lo que simplifica enormemente el proceso de instalación en comparación con los conductores rígidos usados en los sistemas pasivos.

El DAS activo comprende varios elementos, y la configuración varía dependiendo del fabricante. No obstante, todos los sistemas activos de antenas distribuidas tienen la capacidad de compensar tanto la distancia como la atenuación de los cables. En la figura 14, se demuestra un ejemplo de DAS activo en una larga construcción.

Figura 14
Ejemplo de un DAS activo para una larga construcción



Nota: Indoor radio planning- A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS & HSPA –Cap4– Pag 109

- **Unidad Principal**

El autor Tolstrup (2015) refiere que la unidad principal (MU) se asocia con la estación de base; la MU esparce las señalizaciones al resto del sistema a través de unidades de expansión (EU). La MU, por lo general, se conectará a la EU mediante fibras ópticas. La MU es la parte esencial del sistema, generando y controlando las señalizaciones de calibración interno. Los convertidores ajustan las ganancias y los niveles a los distintos puertos para equilibrar la variabilidad de la pérdida interna del cable entre todas las unidades del sistema.

La MU también se encarga de supervisar el rendimiento del sistema DAS, transmitiendo datos a todas las unidades al interior del DAS. En situaciones donde se detecte un mal funcionamiento o emita una advertencia, tiene la capacidad de dar un pulso de alerta a la estación base. Esto posibilita al operador identificar de manera precisa el origen del problema y tome medidas rápidas y eficientes para solucionarlo.

La información detallada sobre alarmas específicas resulta valiosa, ya que el sistema dispone con la capacidad de identificar con precisión el cable, antena o componente que está causando el problema. Por lo tanto, esto minimiza el tiempo de inactividad del DAS y resulta eficiente el rendimiento del sistema.

- **Unidad de Expansión (EU)**

El autor Tolstrup (2015) menciona que las EU comúnmente se reparten a través de toda la edificación y se instalan en conductos o cámaras de tecnología de la información. La UE se conecta a la MU mediante fibra óptica, empleando por lo general fibras separadas para UL y DL. El cometido primordial de la UE es transfigurar la señalización óptica de la MU en una señalización eléctrica, que luego se distribuye hacia las RU.

En un escenario Ideal, la EU también proporciona la energía necesaria a las RU, utilizando el mismo cable de señal existente. para eliminar la necesidad de suministro de energía local en cada punto de antena (RU).

- **Unidad Remota (RU)**

El autor Tolstrup (2015) cita que la RU se coloca en proximidad a la antena con el objetivo de minimizar las pérdidas pasivas y mejorar la eficiencia del enlace de radio. La RU convierte la señal de retorno del UE a una normal señal de radio DL y la señal de radio UL de los usuarios es convertido y transmitido de regreso hacia la UE. La RU está ubicada en las inmediaciones de la antena, por lo general solo está conectada a un puente RF corto. Esto asegura el mejor rendimiento de RF y permita al DAS activo para detectar cualquier desconexión de la antena del sistema.

La RU debe recibir energía CC de la EU para evitar costosas conexiones locales, fuente de suministro de energía en cada punto de la antena. Además, la RU debe diseñarse sin ventiladores ni otras partes internas ruidosas, para permitir que el sistema se instale en un entorno de oficina silenciosa.

2.2 Marco conceptual

En marco conceptual, se describe el cálculo de cobertura para una red celular indoor, las características del simulador 3G indoor para generar mapas de cobertura, también la medición y recolección de señal usando el software nemo Handy y, por último, el software windcatcher, encargado de procesar la información.

2.2.1 Fórmulas para el cálculo de cobertura indoor`

Se parte del modelo de propagación más utilizada que es el modelo de propagación en espacio libre se presenta la siguiente ecuación:

$$Free\ space\ loss\ (dB) = 32.44 + 20\ log(F) + 20\ log(D) \quad (1)$$

donde $F = frecuencia\ (MHz)$ y $D = distancia(Km)$

además de la pérdida de espacio libre, existe pérdida por medio ambiente en interiores. El principal componente de este fenómeno es ocasionado por la penetración de la propagación a través de las paredes y la separación de piso. En ese sentido, el modelo típico para indoor se obtendría de la siguiente manera:

$$Path\ loss = Free\ space\ loss + wall\ loss \quad (2)$$

En la tabla 3, se muestran los valores de pérdida de transmisión por el tipo de material y frecuencia.

Tabla 3
Perdidas por tipo de material

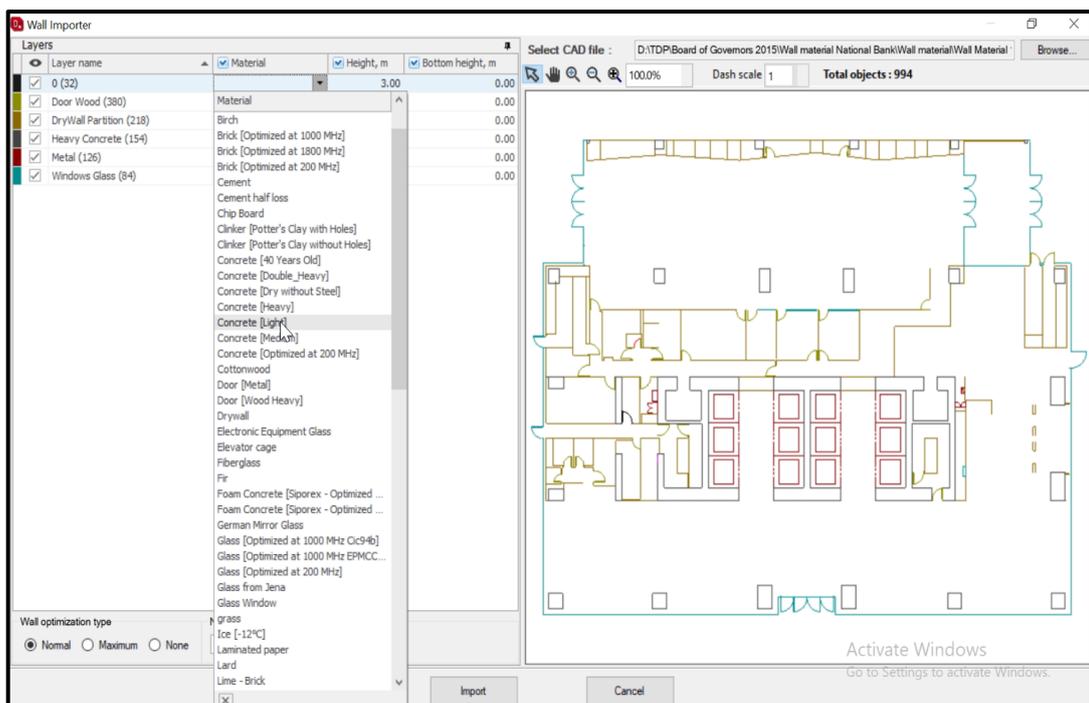
Material	Perdida por Transmisión (dB)			Perdida por Difracción (dB)	Perdida por reflexión (dB)	Dielectricidad relativa (ϵ_r)	Permeabilidad relativa (μ_r)
	850 MHz	1900 MHz	2100 MHz				
Concreto pesado	9.27	17.72	19.41	16	6.01	9	1
Madera pesada	2.29	4.68	5.15	22	13.63	2.3	1
Vidrio	4.35	4.37	4.38	15	4.06	19	1
Drywall	2.48	4.3	4.66	20	9.52	4	1
Metal	404.27	770.55	851.94	20	0.05	20	1

Nota: Elaboración propia, Basado en el software IBwave

2.2.2 Simulador 3G para generar mapas de cobertura: IBwave

El software IBwave es una herramienta de simulación donde se utilizan planos de la arquitectura, en el cual se configura el tipo de material a utilizar como se muestra en la figura 15.

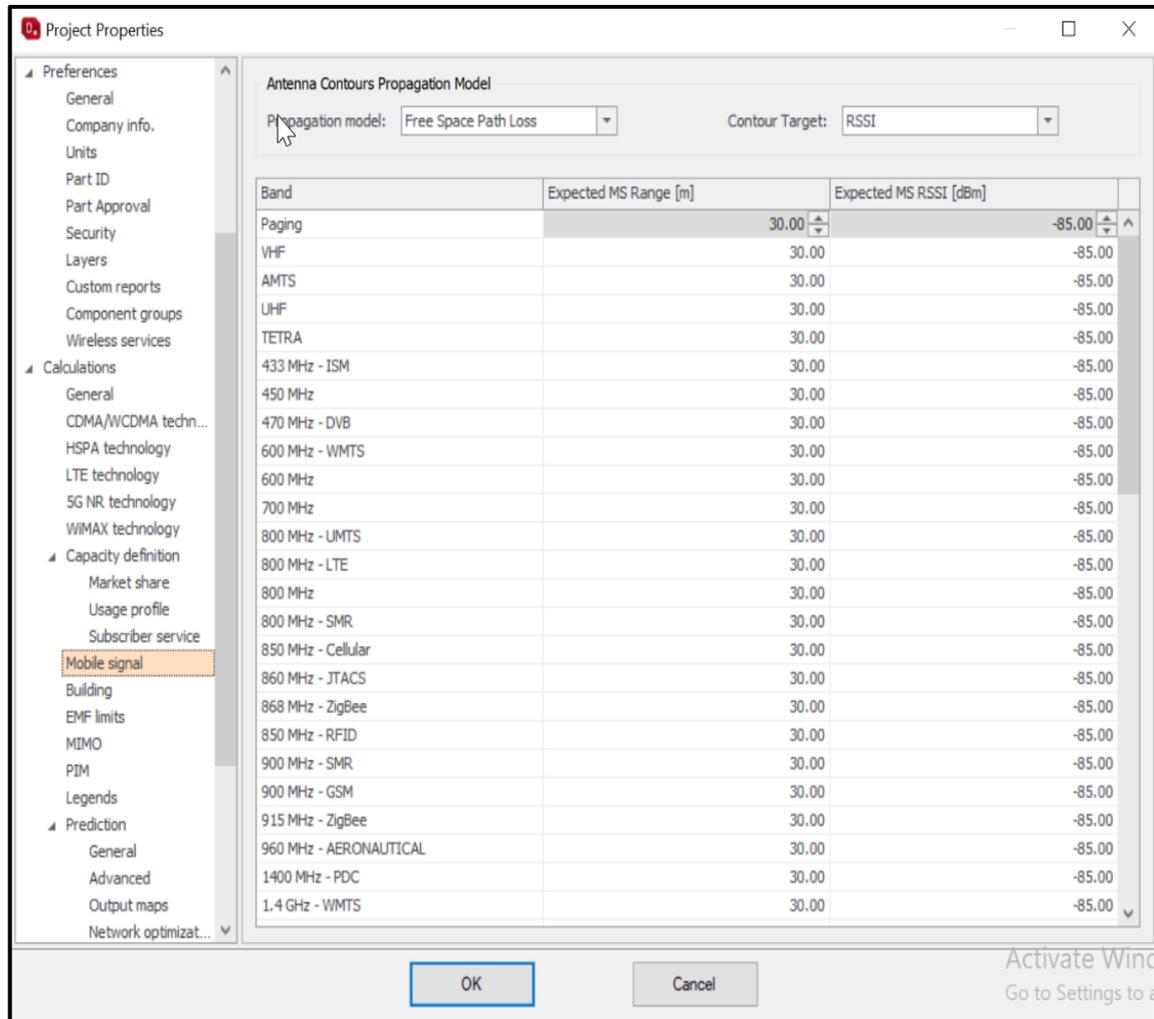
Figura 15
Software Ibwave se configura el tipo de material a utilizar



Nota: Elaboración propia

También se configura el tipo de propagación a utilizar como se muestra en la figura 16, los cuales son descritos en el subcapítulo 2.2.1.

Figura 16
Software Ibwave se configura la propagación a utilizar.

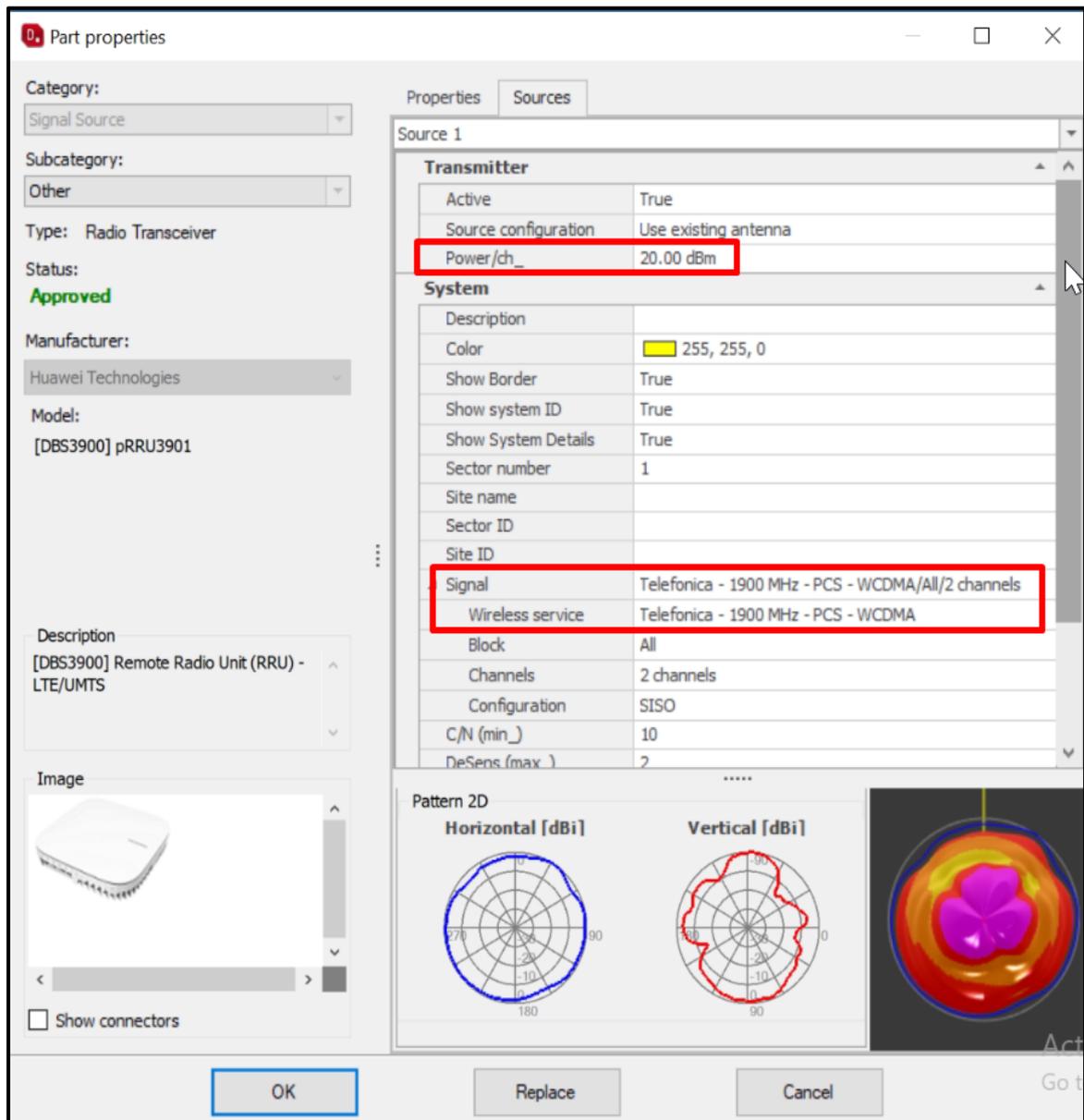


Nota: Elaboración propia

En la figura 17, se presenta la manera de configurar la potencia a utilizar y la frecuencia que se utilizara en la simulación.

Figura 17

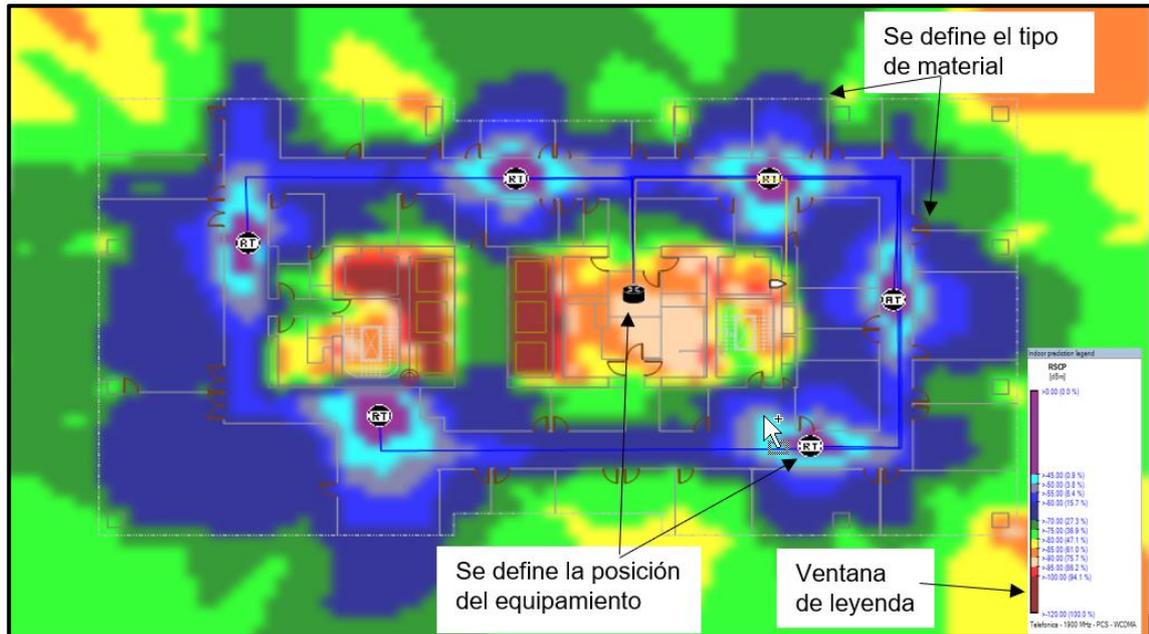
Software Ibwave se configura el nivel de potencia y frecuencia de cada antena



Nota: Elaboración propia

Luego de ingresar los valores de los parámetros y equipamientos requeridos, se realiza la simulación del software Ibwave donde se muestran los mapas de cobertura, tal como representa en la figura 18.

Figura 18
Software de simulación Ibwave

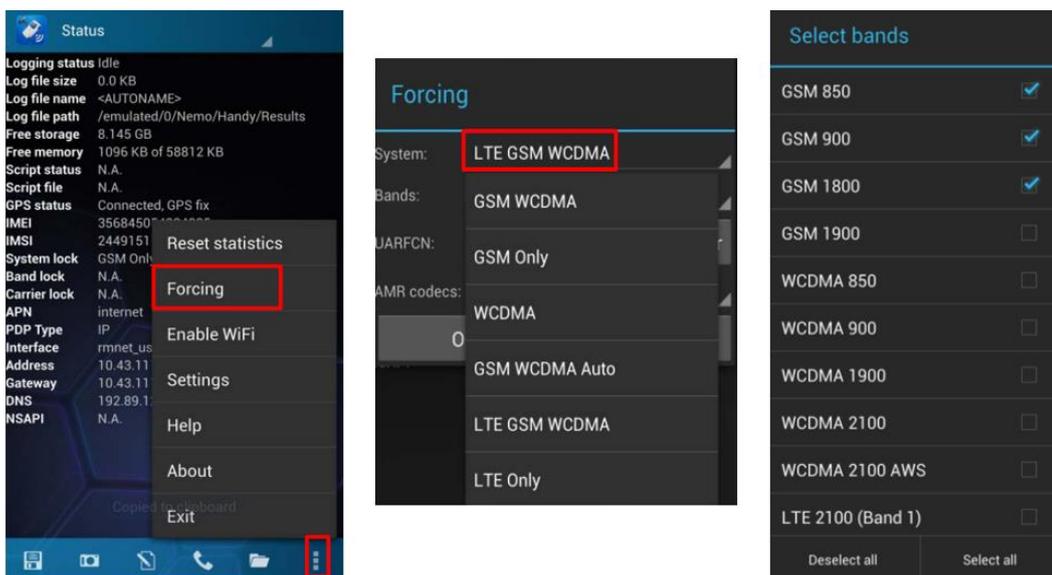


Nota: Elaboración propia

2.2.3 Software nemo handy

El software nemo Handy es una herramienta completa que facilita la realización de mediciones de señales. En el equipo, es posible seleccionar el tipo de frecuencia que se desea utilizar en la medición de señal. Conforme se ilustra en la figura 19.

Figura 19
Selección de banda de frecuencia en el software Nemo Handy



Nota: Elaboración propia

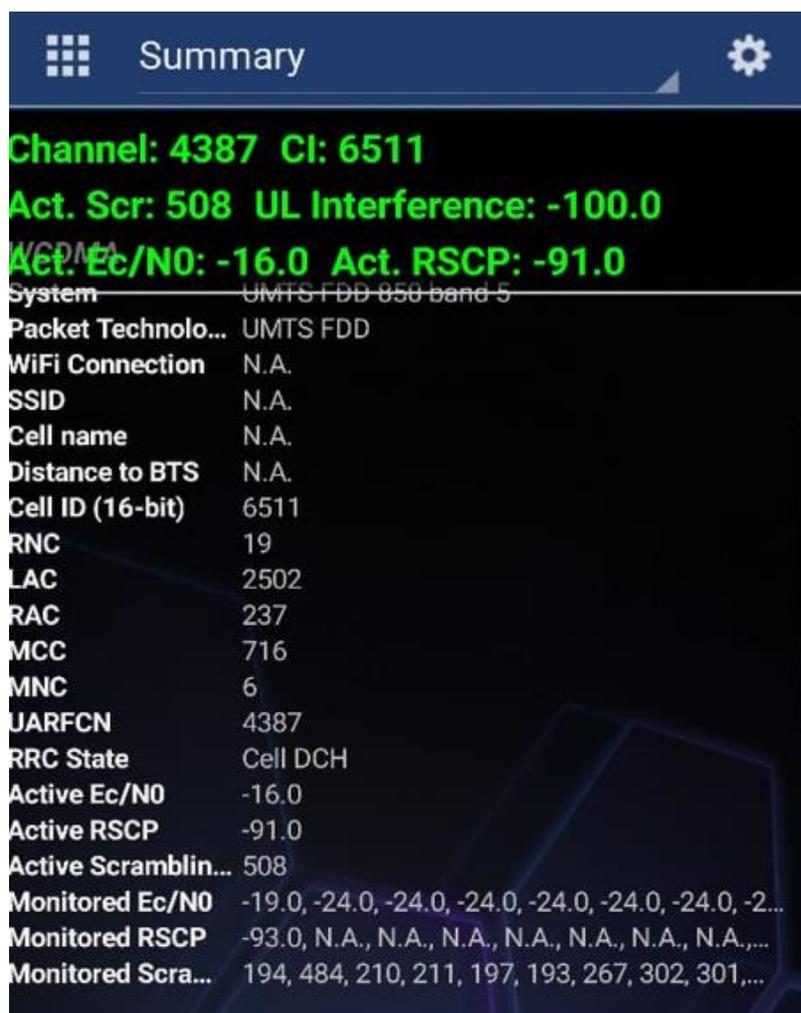
Luego de seleccionar la frecuencia, en la opción summary se puede observar los parámetros principales de una red, como, por ejemplo:

- SCR (Scrambling Code): es un conjunto de 512 códigos de cifrado usado en los enlaces de bajada, lo que permite a los móviles distinguir la señal de los diferentes nodos.
- RSCP (Received Signal Code Power): indica el nivel de potencia de señal.
- Ec/Io (Energy Chip to Interference): indica el nivel de calidad de la señal.

En la figura 20 se muestran los parámetros básicos medidos por el software nemo Handy.

Figura 20

Software de medición de señal Nemo Handy con los parámetros básicos

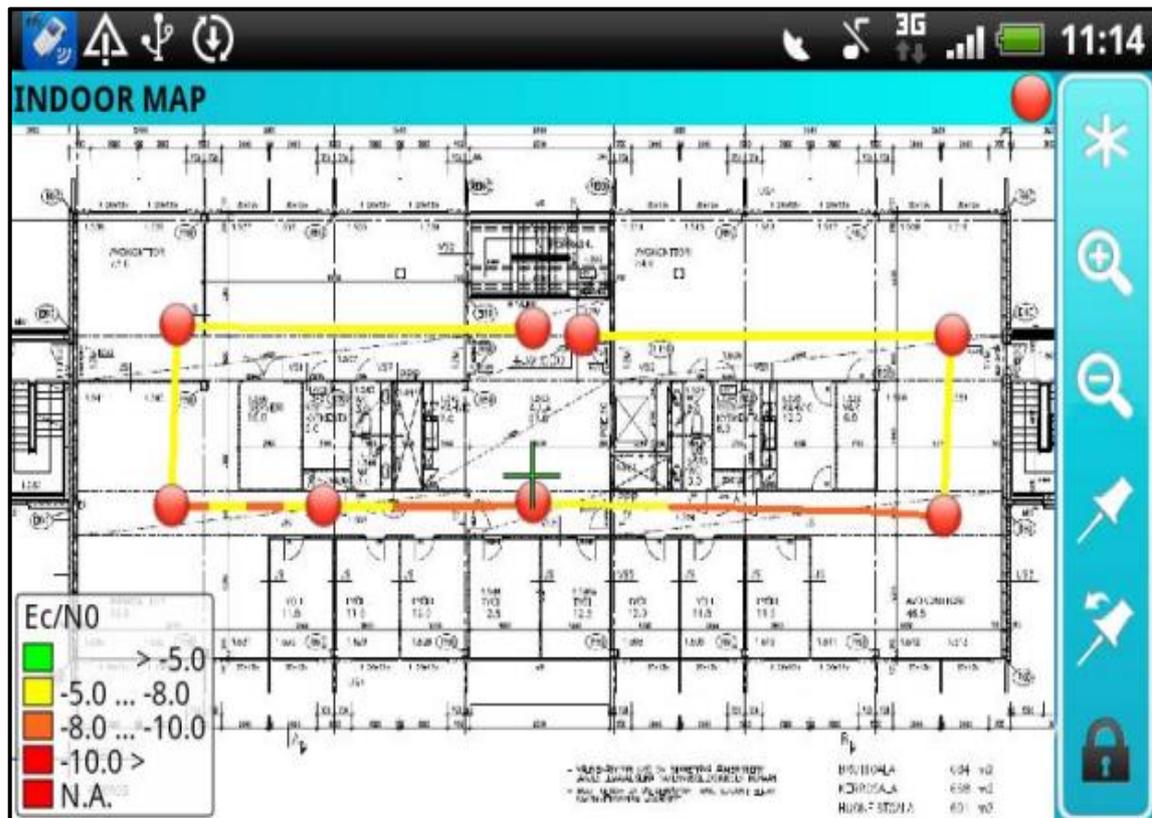


Nota: Elaboración propia

El software nemo Handy también permite almacenar la información en registros (logs), que luego se pueden procesar con otro software llamado Windcatcher. Las pruebas de medición de señal que se realiza con la herramienta nemo Handy se llaman Walk Test (WT), conforme se ilustra en la figura 21.

Figura 21

Grafico de la medición de señal en el plano del software Nemo Handy

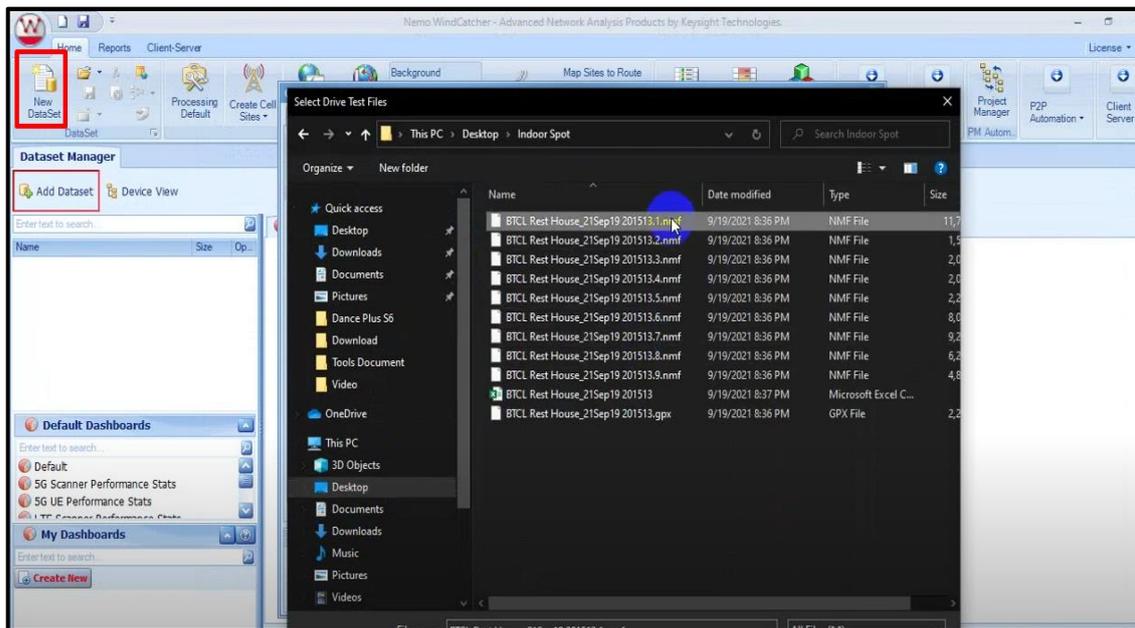


Nota: Descripción del producto Nemo Handy, pag 9

2.2.4 Software windcatcher

El software windcatcher es una herramienta de procesamiento de información. Con este software, se puede procesar la información recolectada por el Nemo Handy insertando los logs. En la figura 22, se muestran los Logs insertados al software windcatcher.

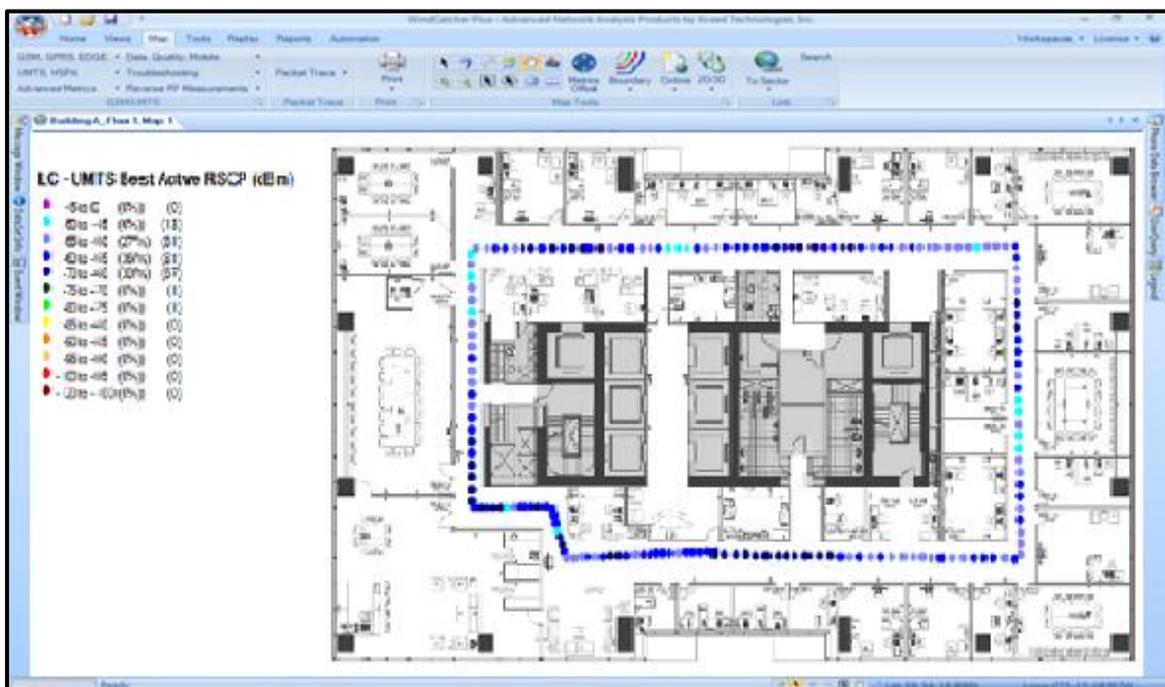
Figura 22
Grafico de procesamiento de logs en software Windcatcher



Nota: Nemo Windcatcher Report Process, <https://www.youtube.com/watch?v=Lu5Lcu0WwI8>

Luego de procesar los logs, los resultados del procesamiento se visualizan en el software windcatcher según la figura 23.

Figura 23
Resultado del procesamiento de log en el software windcatcher



Nota: Elaboración propia

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

En el proyecto descrito en el presente informe fue desarrollado en el edificio de la sede principal del Banco de la Nación. En dicha edificación, se realizó el diseño de la cobertura 3G en la banda de 1900 Mhz. Este diseño incluye el planeamiento, el análisis y diseño de cobertura, la implementación y la validación del servicio. Para el diseño de cobertura, se recurrió al software de simulación IBwave, mientras que para la recolección de información se empleó el software nemo Handy. Por último, la información es procesada por el del software Windcatcher.

3.1 Planeamiento de sectores

El edificio de la sede principal del Banco de la Nación consiste de 30 pisos y 4 sótanos, de las cuales la capacidad total de personas por cada piso se muestra en la tabla 4.

Tabla 4
Distribución del aforo por cada piso

Piso	Capacidad/Aforo	Piso	Capacidad/Aforo	Piso	Capacidad/Aforo
Total	11569	10F	393	24F	420
S4	100	11F	426	25F	412
S3	100	12F	417	26F	250
S2	100	13F	425	27F	418
S1	100	14F	417	28F	418
1F	164	15F	430	29F	258
2F	260	16F	409	30F	258
3F	240	17F	428		
4F	120	18F	510		
5F	692	19F	492		
6F	302	20F	385		
7F	148	21F	414		
8F	420	22F	414		
9F	426	23F	426		

Nota: Elaboración propia

3.1.1 Cálculo de cantidad de sectores

Con los datos obtenidos de la cantidad de personas por cada piso, se realiza la planificación de los sectores con las siguientes consideraciones:

- 80% de área ocupada (con respecto al aforo)
- 55% Usuarios operador movistar.
- 70% Usuarios 3G.
- 15% Trafico data activa en hora pico. (Active ratio of 3G users)

Con un aforo total de 11600 persona, se calcula la cantidad de sectores en el edificio.

$$\text{Usuarios 3G} = \text{Aforo} \times \% \text{Ocupacion del área} \times \% \text{Usuarios Operador Movistar} \times \% \text{Usuarios 3G} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Usuarios 3G} &= 11569 \times 80\% \times 55\% \times 70\% \\ \text{Usuarios 3G} &= 3563.252 \end{aligned}$$

Para determinar la cantidad de usuarios que están usando tráfico de información activa en la red 3G:

$$\begin{aligned} \text{Usuarios Activos 3G} &= \text{Usuarios 3G} \times \% \text{Usuarios Data Activa 3G} \quad (4) \\ \text{Usuarios Activos 3G} &= 3563.252 \times 15\% \\ \text{Usuarios Activos 3G} &= 534.4878 \end{aligned}$$

El cálculo de los sectores necesarios para la cantidad de usuarios es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Numero de Sectores DL} &= \frac{\text{Usuarios Activos 3G} \times \text{Velocidad de cada Usuario DL}}{\text{Velocidad Promedio por Celda DL} \times \text{Numero de portadora}} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\text{Numero de Sectores DL} = \frac{534.4878 \times 0.42}{7.2 \times 2} = 15.589$$

$$\begin{aligned} \text{Numero de Sectores UL} &= \frac{\text{Usuarios Activos 3G} \times \text{Velocidad de cada Usuario UL}}{\text{Velocidad Promedio por Celda UL} \times \text{Numero de portadora}} \quad (6) \end{aligned}$$

$$\text{Numero de Sectores UL} = \frac{534.4878 \times 0.17}{3 \times 2} = 15.14$$

Luego de realizar los cálculos de los sectores, estos se pueden resumir según la tabla 5.

Tabla 5
Cálculo de cantidad de sectores

Consideraciones	Telefónica
Capacidad/Aforo	11569
% de área ocupada	80%
% Usuarios operador movistar	55%
% Usuarios 3G	70%
Usuarios 3G	3563.252
% Usuarios data Activa 3G	15%
Usuarios activos 3G	534.4878
Velocidad de cada usuario DL 1T2R (Mbps)	0.42
Velocidad de cada usuario UL 1T2R (Mbps)	0.17
5MHz 1T2R DL Velocidad promedio de celda (Mbps)	7.2
5MHz 1T2R UL Velocidad promedio de celda (Mbps)	3
Numero de portadoras	2
Numero de sector DL	15.5892275
Numero de sector UL	15.143821

Nota: Elaboración propia

3.1.2 Distribución de sectores por piso

Con la cantidad obtenida de sectores necesarios para UL de 15.14 y para DL 15.589, se dimensiona un total de 16 sectores para poder cumplir con el requerimiento. En ese sentido, la cantidad de sectores se puede distribuir según la tabla 6:

Tabla 6
Distribución de sectores según los pisos

Sectores	Piso	Aforo	Sectores	Piso	Aforo
Sector 16	S1	100	Sector 8	15F	430
	S2	100		16F	409
	S3	100	Sector 9	17F	428

	S4	100		18F	510
Sector 1	1F	164	Sector 10	19F	492
	2F	260		20F	385
Sector 2	3F	240	Sector 11	21F	414
	4F	120		22F	414
Sector 3	5F	692	Sector 12	23F	426
	6F	302		24F	420
Sector 4	7F	148	Sector 13	25F	412
	8F	420		26F	250
Sector 5	9F	426	Sector 14	27F	418
	10F	393		28F	418
Sector 6	11F	426	Sector 15	29F	258
	12F	393		30F	258
Sector 7	13F	426	TOTAL		11569
	14F	417			

Nota: Elaboración propia

3.2 Parámetros de configuración del simulador IBwave

A continuación, se describe el proceso de simulación. Del capítulo 2.2.1, para realizar la simulación, se elige el modelo de propagación, la potencia de la antena y el tipo de material de cada infraestructura (pared, ventana, puerta, etc) como los siguientes parámetros por considerar:

3.2.1 Configuración de la simulación del proyecto`

En los parámetros de configuración, se considera el número de personas que se encuentran ubicados en cada piso y el perfil de usuario. Debido a que en el proyecto se consideró brindar cobertura a la junta de gobernadores, se estimó que la densidad de personas es similar a la de un aeropuerto. Por lo tanto, se establecieron los siguientes requerimientos en el software IBwave según se muestra la figura 24.

Figura 24
Tabla de requerimiento IBwave

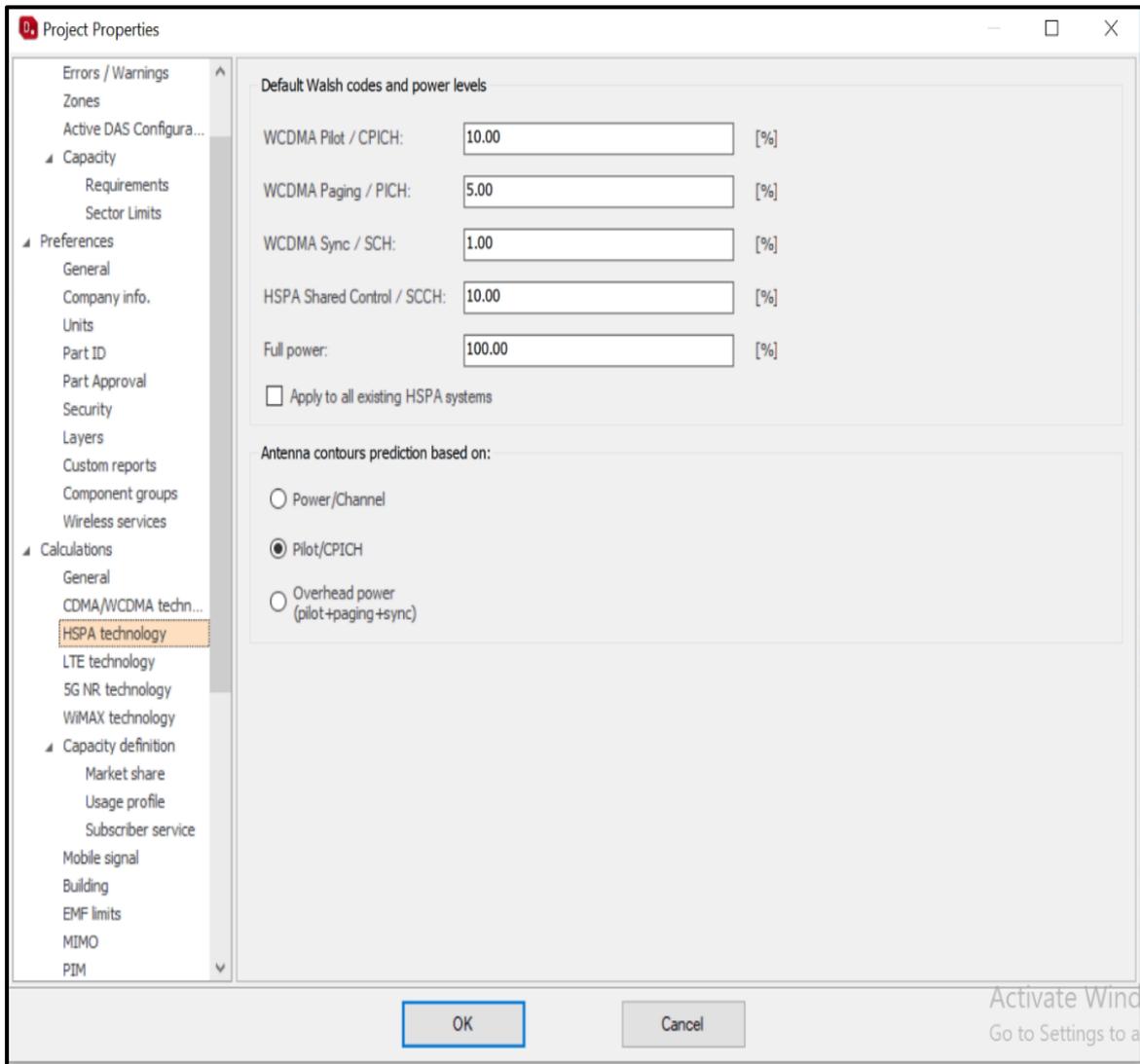
Floor plans	No. of clients (peak)	Usage profile	Cellular (%)	Wi-Fi (%)
Building 1	*11569	[None]	100	0
F30	258	Airport	*100	*0
F29	258	Airport	*100	*0
F28	418	Airport	*100	*0
F27	418	Airport	*100	*0
F26	250	Airport	*100	*0
F25	412	Airport	*100	*0
F24	420	Airport	*100	*0
F23	426	Airport	*100	*0
F22	414	Airport	*100	*0
F21	414	Airport	*100	*0
F20	385	Airport	*100	*0
F19	492	Airport	*100	*0
F18	510	Airport	*100	*0
F17	428	Airport	*100	*0
F16	409	Airport	*100	*0
F15	430	Airport	*100	*0
F14	417	Airport	*100	*0
F13	426	Airport	*100	*0
F12	393	Airport	*100	*0
F11	426	Airport	*100	*0
F10	393	Airport	*100	*0
F9	426	Airport	*100	*0
F8	420	Airport	*100	*0
F7	148	Airport	*100	*0
F6	302	Airport	*100	*0

Values (with *) are looked up or calculated

Nota: Screenshot software IBwave

El otro parámetro que se debe configurar es el CPICH (Common Pilot Channel), el cual es un canal de DL que sirve para dos propósitos: 1) transmitir la identidad de la celda y 2) ayudar a los móviles a con la evaluación de la celda. Por lo general, se configura a 10% (que sería -10dBm), por ejemplo, si una estación de 43dBm a 10% de CPICH transmite 33dBm. Por tal razón, en la figura 25 se ha considerado una configuración de CPICH de 10%.

Figura 25
Configuración potencia CPICH IBwave

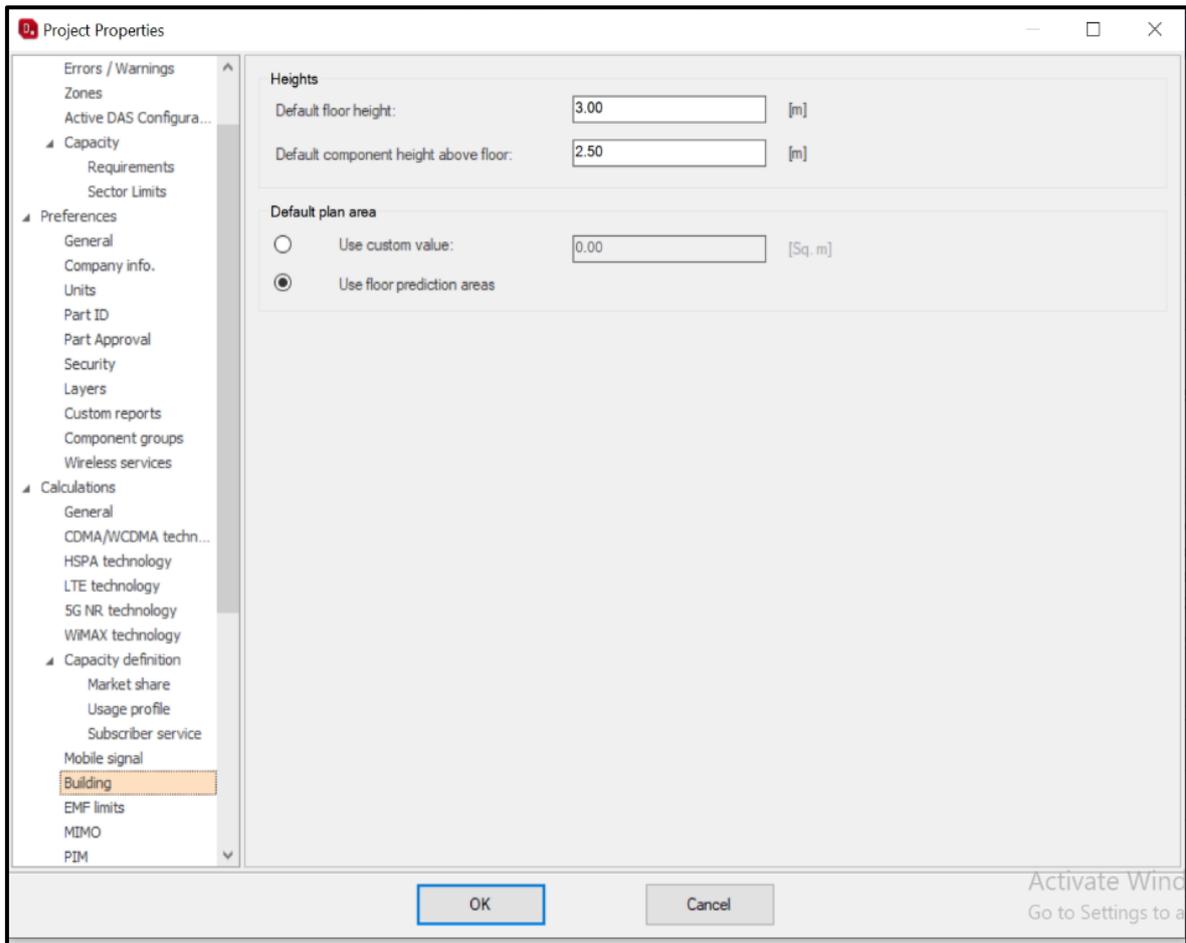


Nota: Screenshot software IBwave

En la figura 26, se muestra el método de configurar la altura de cada piso que por defecto se considera 3 metros y la configuración de la altura de los componentes de la antena se considera de 2.5 metros.

Figura 26

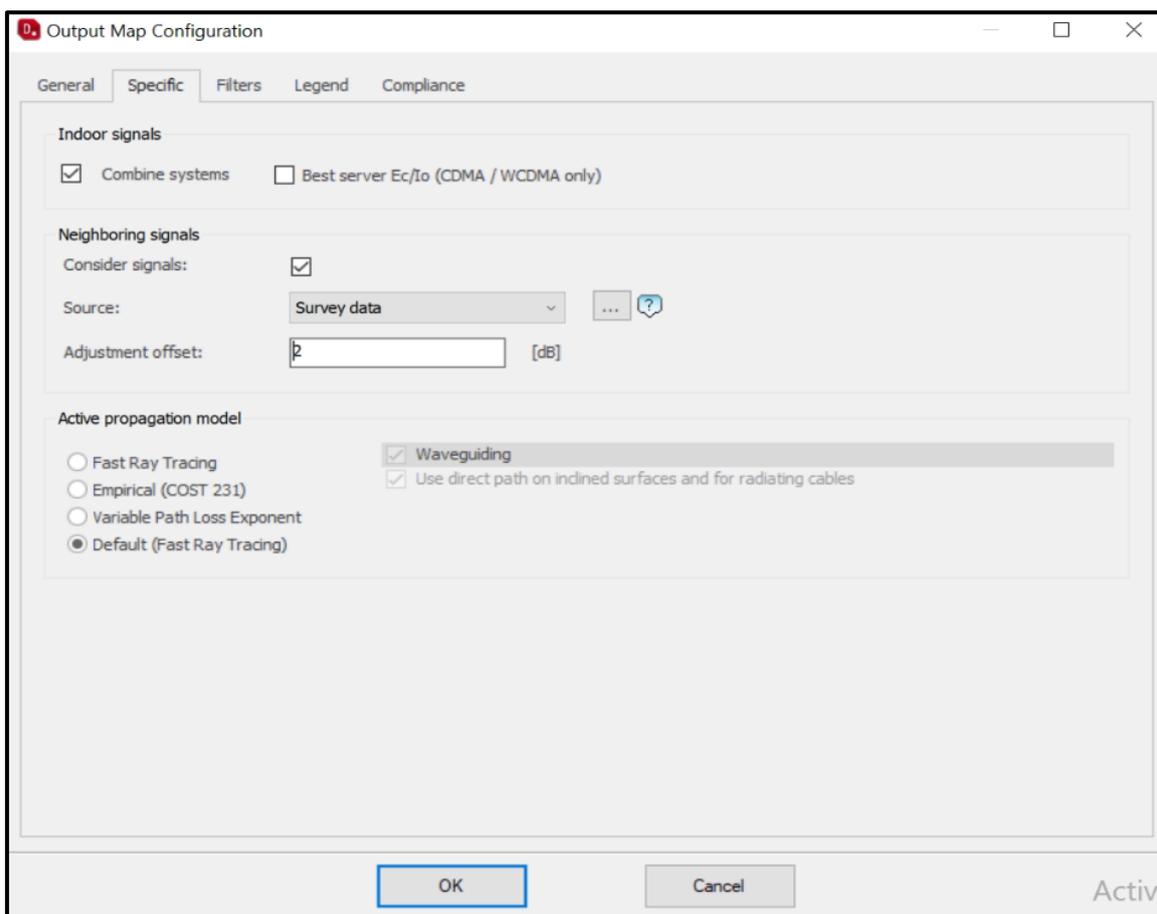
Configuración de la altura del techo y la altura de los componentes en el IBwave



Nota: Screenshot software IBwave

Por último, en la simulación se considera la configuración del parámetro de la interferencia externa como se puede apreciar en la figura 27.

Figura 27
Configuración de los parámetros de interferencia



Nota: Screenshot software IBwave

3.2.2 Criterio de selección de proveedor de DAS activo

Para la realización del presente proyecto se elaboró una tabla de criterios para la selección de la empresa proveedora del DAS activo. A continuación, en la tabla 7 se muestran los criterios definidos:

Tabla 7
Criterios de selección de proveedor de DAS activo

Criterios	Descripción
Antenas TX/Rx	Soporte 2 o más portadoras en UMTS Una antena que pueda soportar dos a más tecnología, principalmente UMTS & LTE.
Unidad de Expansión	Soporte de 8 puertos. Soporte la tecnología PoE (Power Over Ethernet).
Unidad Principal	Soporte tecnología GSM/UMTS/LTE

Nota: Elaboración propia

En función de la tabla 7 de criterios de selección de proveedor de DAS activo, se evaluaron a dos proveedores obteniendo la siguiente tabla 8 de selección:

Tabla 8
Comparación de proveedores de DAS activo

Criterio	Descripción	Huawei	Ericsson
Antenas TX/Rx	Soporte 2 o más portadoras en UMTS	Soporta	Soporta
	Una antena que pueda soportar dos a más tecnología, principalmente UMTS & LTE.	Soporta	No Soporta
Unidad de Expansión	Soporte de 8 puertos.	Soporta	Soporta
	Soporte la tecnología PoE (Power Over Ethernet).	Soporta	Soporta
Unidad Principal	Soporte tecnología GSM/UMTS/LTE	Soporta	Soporta

Nota: Elaboración propia

Luego de realizar la evaluación de las características técnicas de las soluciones de DAS activo de los dos proveedores, se seleccionó la solución de la empresa Huawei.

3.2.3 Equipamiento requerido del proveedor seleccionado

El equipamiento requerido para implementar la solución en función del proveedor seleccionado Huawei es la siguiente tabla 9:

Tabla 9
Equipamiento requerido del proveedor Huawei

Funcionalidad	Equipamiento
Antena	Antena pRRU soporta 3 tecnologías con diferentes portadoras
Unidad de Expansión	RHUB, switch que cuenta con 8 puertos y soporta tecnología PoE
Unidad Principal	BBU soporta todas las tecnologías (GSM/UMTS/LTE)

Nota: Elaboración propia

3.2.3.1 Banda Base (BBU 3900)

Las principales funciones del BBU son los siguientes:

- Permite administrar todo el sistema de la estación base, incluyendo la operación, mantenimiento y procesamiento de la señal.
- Facilita el procesamiento de las señales de banda base tanto en el enlace de subida como en el de bajada.

- Provee puertos físicos para la conexión de la estación base con las redes de transporte.
- Facilita la provisión de puertos de comunicación con los módulos de radiofrecuencia.

En la figura 28 presenta el dispositivo Huawei BBU 3900.

Figura 28

Equipo Huawei BBU 3900



Nota: https://www.alibaba.com/product-detail/HUAWEI-BBU3900-UMPTb2-UMPT-030548_50039072114.html

La BBU para 3G puede ser configurada de la siguiente manera:

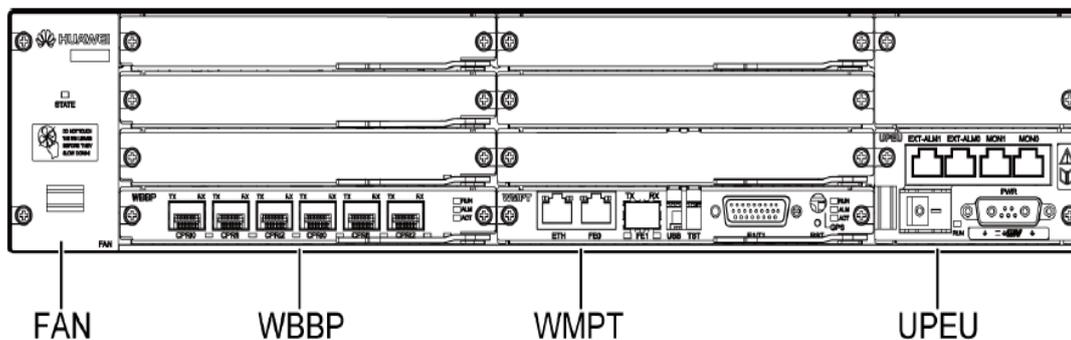
- WMPT (WCDMA Main Processing Transmission Unit), permite controlar y administra toda la estación base, monitorea el rendimiento y procesa la señalización de una estación base también procesa la señalización y gestiona los recursos para otras placas en la BBU, dispone de un puerto USB un puerto E1, así como un puerto FE (Fast Ethernet) tanto eléctrico como óptico.
- UMPT (Universal Mobile Telecommunications System) es una placa principal de control y transmisión que puede aplicar a diferentes redes, soporta 2G, UMTS y LTE.
- WBBP (WCDMA Baseband Processing unit), integra seis puertos de comunicación con módulos de radiofrecuencia y lleva a cabo el

procesamiento de las señales de la banda base tanto en los enlaces de subida como de bajada.

- UPEU (Universal Power and Environment Unit), transforma la potencia de entrada a -48 V CC o +24 V CC.
- FAN Module.

La BBU se puede configurar de 2 formas single mode y dual mode, en la figura 29 se precisa los ajustes solo UMTS.

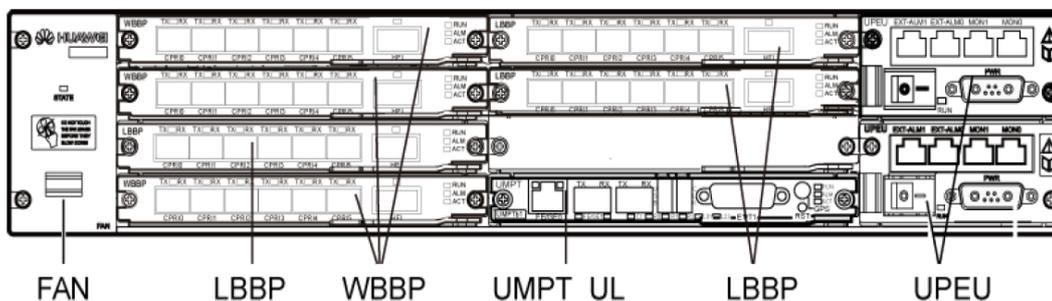
Figura 29
Configuración del tablero single mode UMTS



Nota: Documento BBU 3900 Description – Huawei Technologies

En la figura 30 se muestra la configuración dual mode UMTS & LTE

Figura 30
Configuración del tablero dual mode UMTS y LTE



Nota: Documento BBU 3900 Description – Huawei Technologies

En la tabla 10, se presentan las especificaciones de capacidad de la BBU.

Tabla 10*Distribución de capacidad de la BBU*

Item	UMTS Only	LTE Only	UMTS+LTE(Separate-MPT)	UMTS+LTE(CO-MPT)
Number of RHUBs	12	12	12	12
Number of pRRUs	96	96	96	48
Number of RF daughter boards	96	96	96(UMTS)+96(LTE)	96
Number of cells	12	36	12(UMTS)+18(LTE)	12(UMTS)+18(LTE)
Number of pRRUs serving the same cell	96	48	/	/

Nota: Elaboración propia basada en el documento LampSite Solution Product Description

En la tabla 11, se presentan las especificaciones técnicas de la BBU3900:

Tabla 11*Especificación técnicas de la BBU 3900*

Ítem	Especificaciones
Poder de entrada	UPEUc: -48V DC Rango de Voltage: -38.4V DC a -57V DC
Dimensiones	86mm x 442mm x 310mm
Peso	BBU3900 ≤ 12 KG
Temperatura de labor	-20 °C a 55 °C
Humedad Relativa	5% RH a 95% RH
Presión atmosférica	70 KPa a 106 KPa

Nota: Elaboración propia basada en el documento BBU 3900 Description – Huawei Technologies

3.2.3.2 RHUB 3908

Las principales funciones de la RHUB es la siguiente.

- El RHUB3908 trabaja con la BBU y pRRU para suministrar cobertura indoor.
- En downlink, el RHUB3908 recibe la data de la banda base de la BBU, enruta la data para diferentes routers, trasmite la data para los diferentes pRRUs, en Uplink traslada la data de la pRRU hacia la BBU.

- Se utiliza como modulo PoE (Power Over Ethernet), suministra energía a la pRRU.

En la figura 31, se muestra el equipo Huawei RHUB 3908.

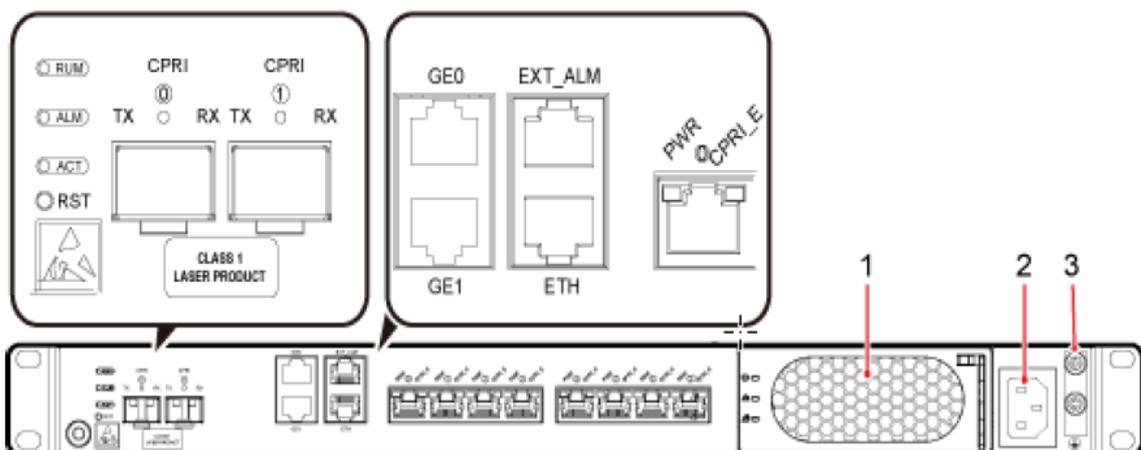
Figura 31
Equipo Huawei RHUB 3908



Nota: <https://3fatkomindonesia.com/2018/09/07/tnf1dfiu0103030urh/rhub3908-web/>

En la figura 32, se visualizan los puertos con mayor detalle del RHUB 3908.

Figura 32
Equipo Huawei RHUB 3908



Nota: <https://3fatkomindonesia.com/2018/09/07/tnf1dfiu0103030urh/rhub3908-web/>

En la figura 12, se presentan las especificaciones técnicas del RHUB 3908.

Tabla 12

Especificaciones técnicas del RHUB 3908

Ítem	Especificaciones
Input power	AC/DC power 100V AC to 120 V AC; 200V AC to 240V AC
Dimensions (H x W x D)	43mm x 442mm x 310 mm
Weight	< 6Kg

Nota: Elaboración propia basada en el documento RHUB 3908 Description – Huawei Technologies

3.2.3.3 pRRU 3901

La pRRU procesa la señal RF de la siguiente manera:

- 1) Lleva a cabo la conversión digital a analógica de la señal de banda base proveniente de la BBU.
- 2) Recibe las señales de RF de la antena a través del canal de recepción, convierte estas señales de RF en banda base, filtran y amplifica estas señales de banda base y las envía a la BBU para su procesamiento.

En la figura 33, se muestra la antena pRRU 3901.

Figura 33

Equipo Huawei pRRU 3901



Nota: Elaboración propia

Para la pRRU 3901 se presentan las siguientes especificaciones técnicas:

- Capacidad: en la tabla 13, se muestran las capacidades soportadas por la pRRU 3901.

Tabla 13
Capacidad soportadas por la pRRU 3901

Mode	TX/RX Channel	Single - Antenna Receiver Sensitivity (dBm)	Dual - Antenna Receiver Sensitivity (dBm)	Capacity	Maximum Output Power (mW)
UMTS	1T1R/1T2R	-112	-114.8	2 Carrier	1 Carrier 1x200 2 Carrier 80
LTE	2T2R	-94	-96.8	1 Carrier, the bandwidth per carrier is 5, 10, 15 or 20 MHz	2x100
GSM	1T1R	NA	NA	4 Carrier	1x50

Nota: Elaboración propia basada en el documento pRRU 3901 Description – Huawei Technologies

- Frecuencia: en la Tabla 14, se muestran las frecuencias soportadas por la pRRU 3901.

Tabla 14
Frecuencias soportadas por la pRRU 3901

Escenario	Modelo	Banda de RX Frecuencia (MHz)	Banda de TX Frecuencia (MHz)
2.1 GHz UMTS	UMTS	2100	1920 a 1980
1.8 GHz LTE	LTE full band	1800	1710 a 1785
2.1 GHz UMTS + 1.8GHz LTE	UMTS	2100	1920 a 1980
	LTE full band	1800	1710 a 1785
2.1 GHz UMTS + 2.1GHz LTE	UMTS	2100	1920 a 1980
	LTE full band	2100	1920 a 1980
1.8 GHz GSM + 2.1GHz UMTS	GSM	1800	1710 a 1765
	UMTS	2100	1920 a 1980
2.6 GHz LTE	LTE	2600	2500 a 2570
2.1 GHz UMTS + 2.6GHz LTE	UMTS	2100	1920 a 1980
	LTE	2600	2500 a 2570
PSC UMTS + AWS LTE	UMTS	PSC	1850 a 1910
	LTE	AWS	1710 a 1755
AWS UMTS + AWS LTE	UMTS	PSC	1710 a 1755
	LTE	AWS	1710 a 1755

Nota: Elaboración propia basada en el documento pRRU 3901 Description – Huawei Technologies

- Especificaciones del equipo: en la tabla 15 se muestran las especificaciones de la pRRU 3901.

Tabla 15
Especificación de la pRRU 3901

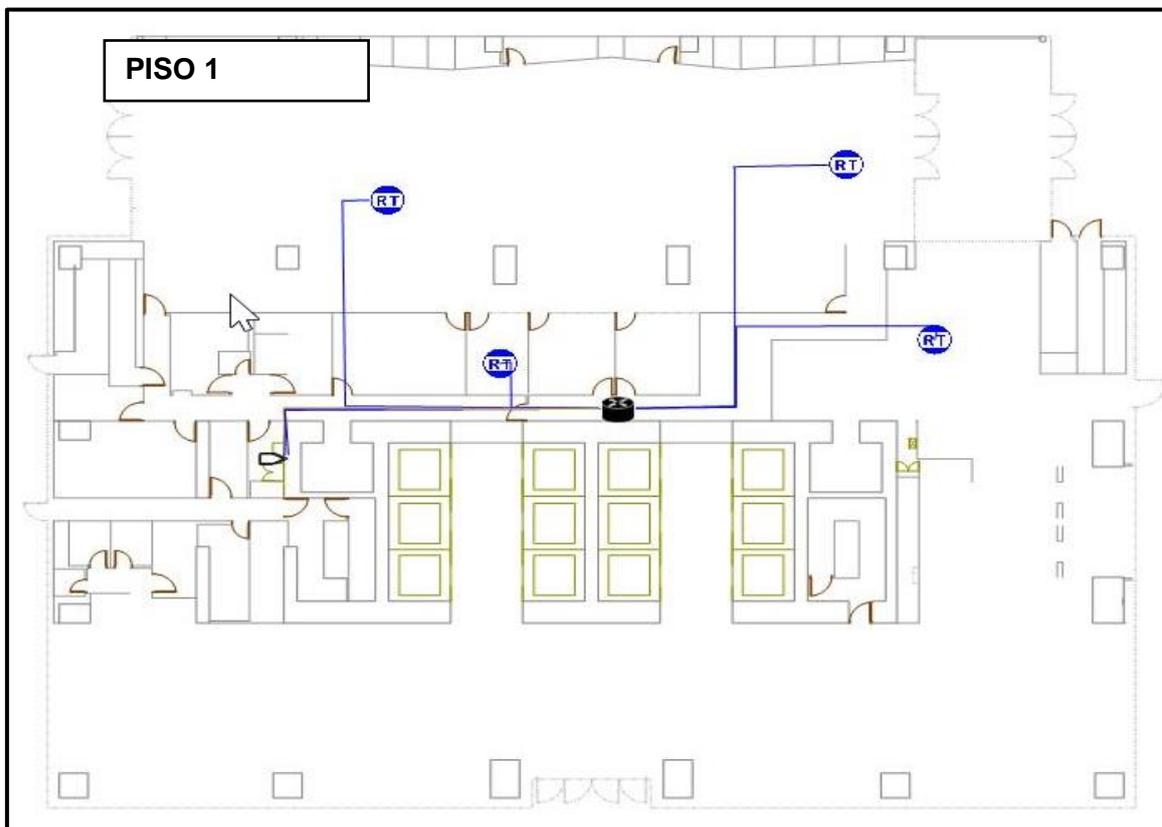
Ítem	Especificaciones
Input power	AC/DC power 100V AC to 120 V AC; 200V AC to 240V AC PoE: -36V DC to -60V DC
Dimensions (H x W x D)	230mm x 230mm x 50 mm
Weight	< 3Kg

Nota: Elaboración propia basada en el documento pRRU 3901 Description – Huawei Technologies

3.2.4 *Diseño y topología de la solución*

Para el diseño de la solución, se emplea el software de simulación IBwave, el cual ha sido previamente configurado (ver 3.2.1). Se cargan los planos como se ha descrito en el capítulo 2.2.2 para luego realizar la ubicación de las antenas en los diferentes pisos como se muestra en la figura 34, en la figura 35, en la figura 36, en la figura 37 y en la figura 38:

Figura 34
Ubicación de equipos piso 1



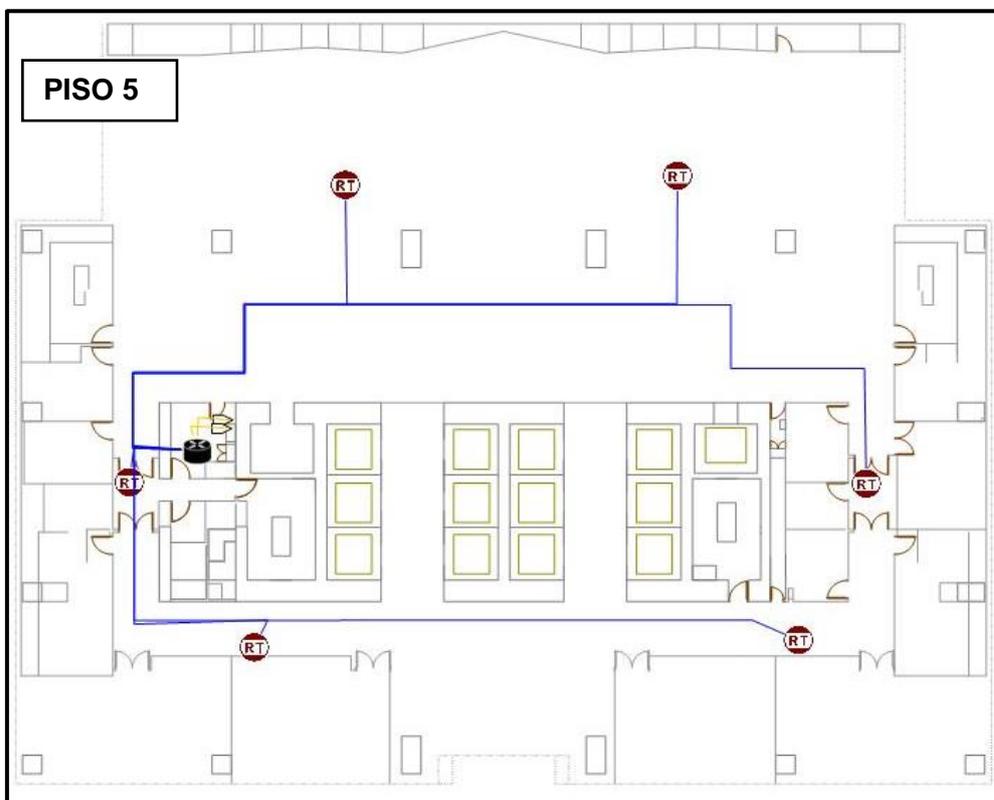
Nota: Screenshot software IBwave.

Figura 37
Ubicación de equipos piso 4



Nota: Screenshot software IBwave

Figura 38
Ubicación de equipos piso 5

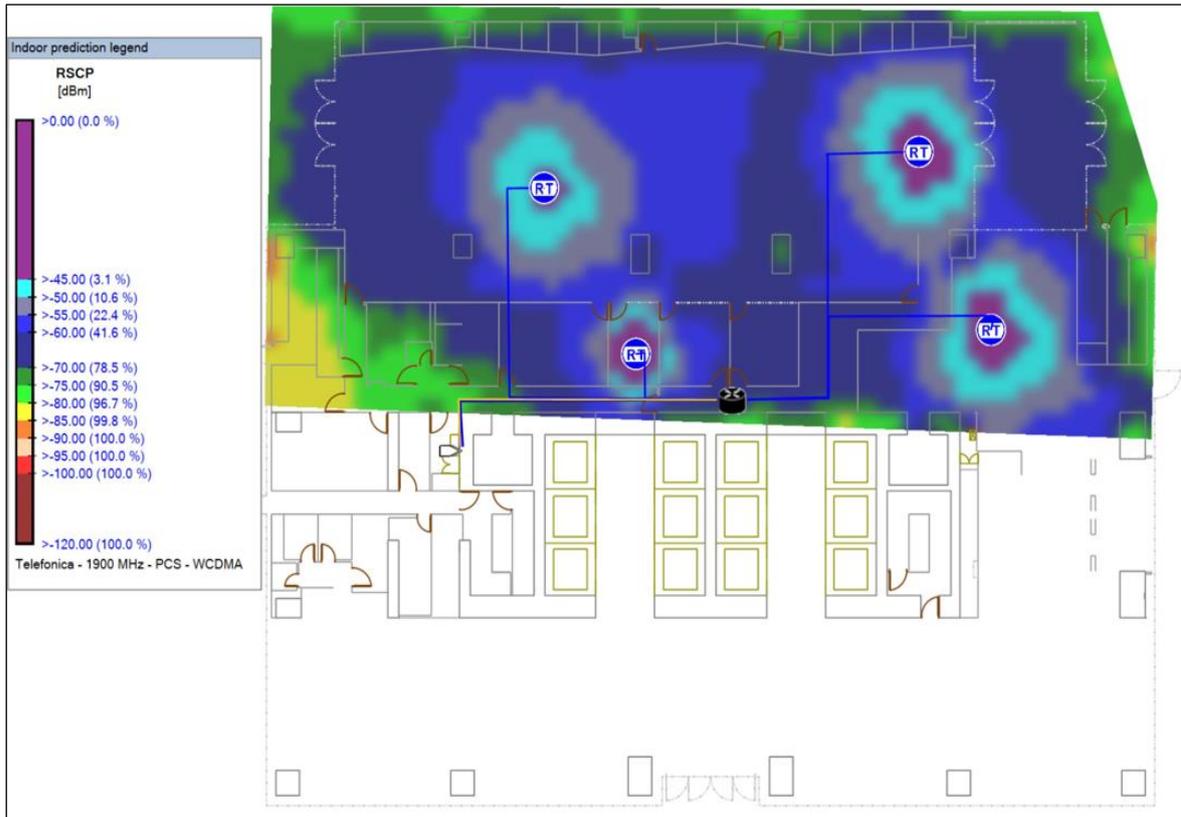


Nota: Screenshot software IBwave

Con relación a la simulación, se muestran los mapas de cobertura en los cuales se consideran los parámetros básicos como RSCP y Ec/Io.

En la figura 39, se muestra la simulación de RSCP del piso 1 en el software IBwave.

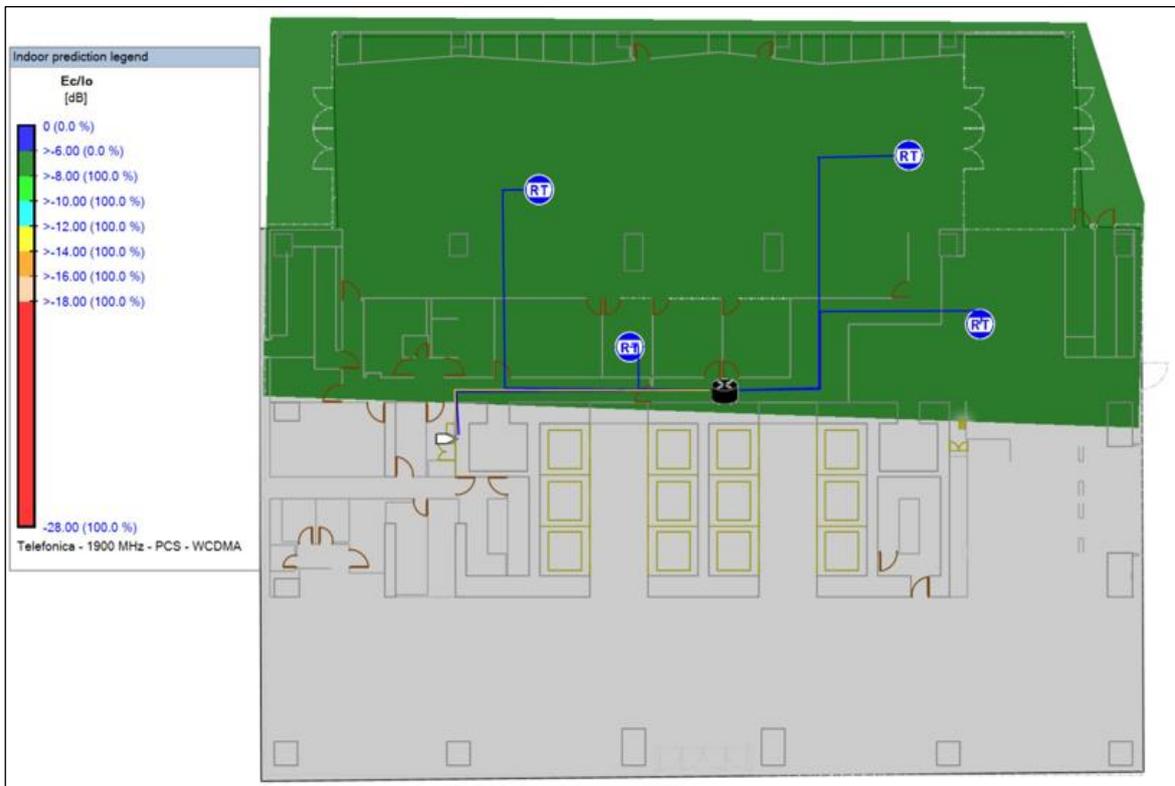
Figura 39
Simulación RSCP del piso 1 en el software IBwave



Nota: Screenshot software IBwave

En la figura 40, se exhibe la simulación de Ec/Io del piso 1 realizada con el software IBwave.

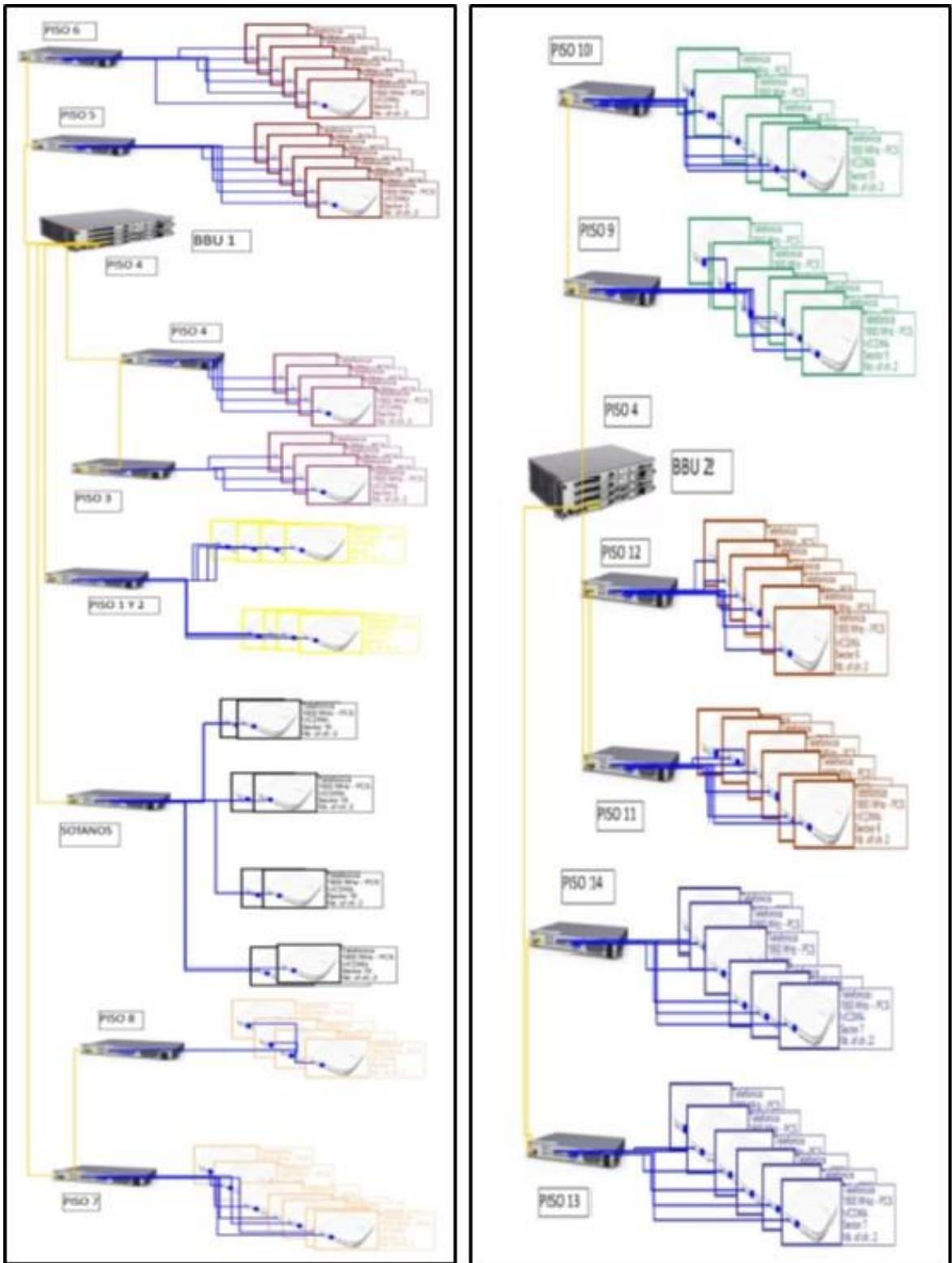
Figura 40
Simulación E_c/I_0 del piso 1 en el software IBwave



Nota: Screenshot software IBwave

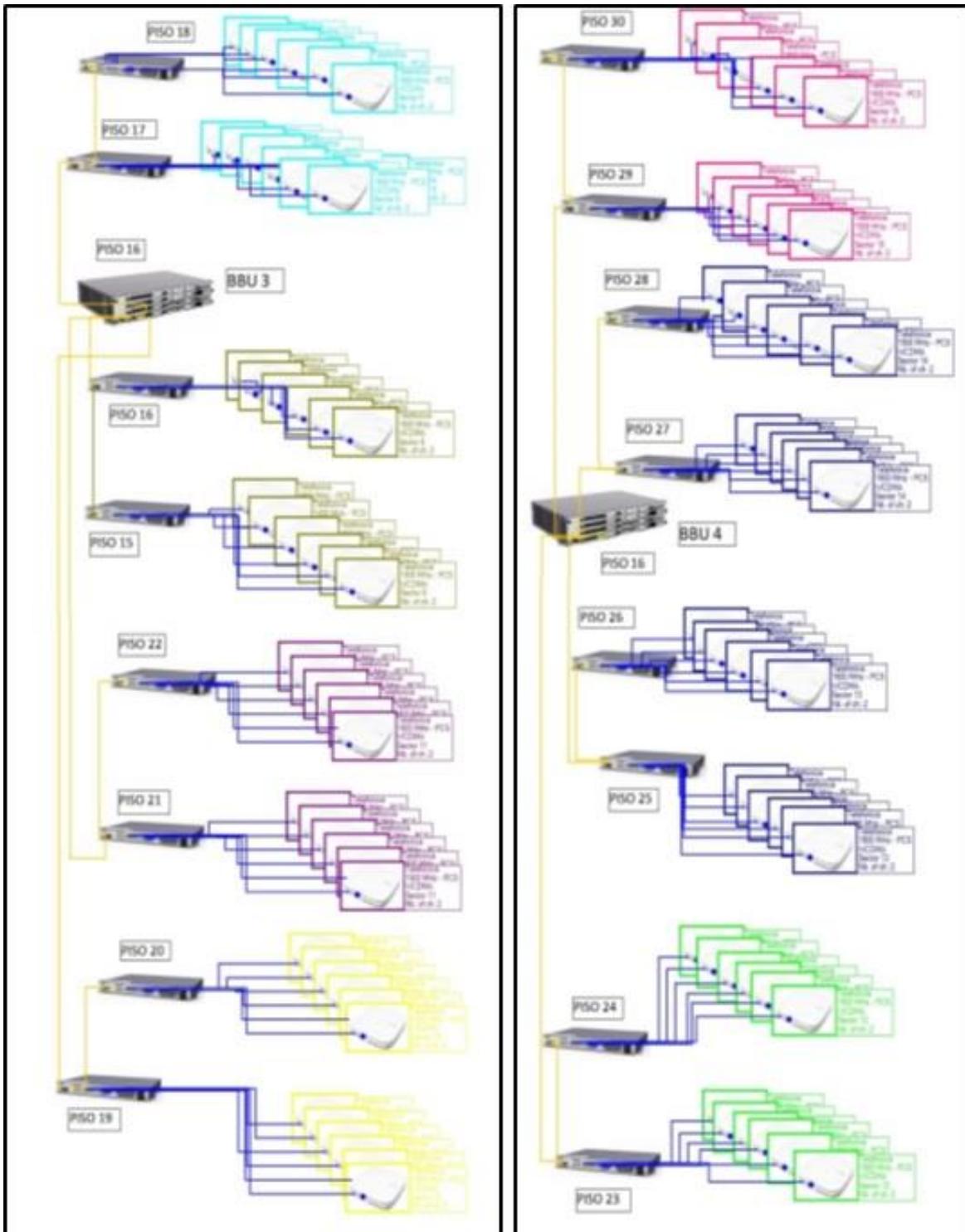
Finalmente, finalmente se logra determinar la ubicación óptima de las antenas que permite el acceso a una señal adecuada en todo el edificio. A continuación, en la figura 41 y figura 42 se presenta la topología completa de toda la solución.

Figura 41
Topología de la BBU1 y BBU2



Nota: Screenshot software IBwave

Figura 42
Topología de la BBU3 y BBU4



Nota: Screenshot software IBwave

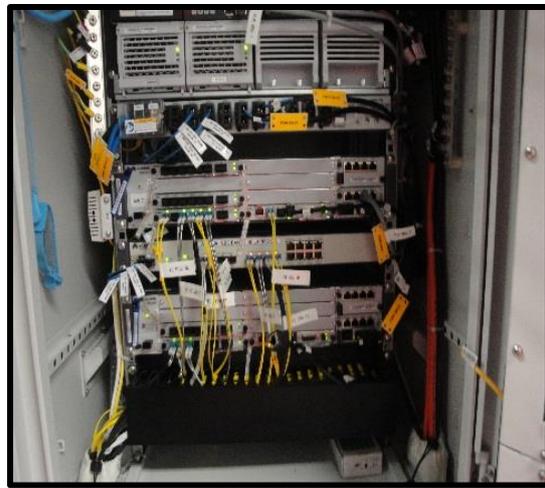
3.3 Implementación del proyecto

A continuación, se describe todo el proceso de implementación del proyecto.

3.3.1 Implementación de BBU

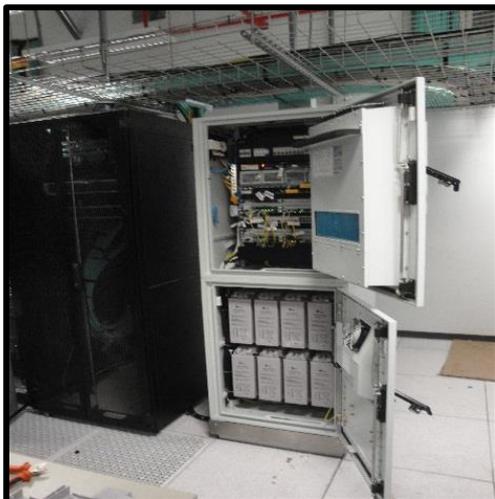
En la figura 43 y en la figura 44 se presentan las imágenes de las BBUs implementadas en el piso 4 y piso 16.

Figura 43
BBU 1 y 2 implementado en el piso 4



Nota: Elaboración propia

Figura 44
BBU 3 y 4 implementado en el piso 16

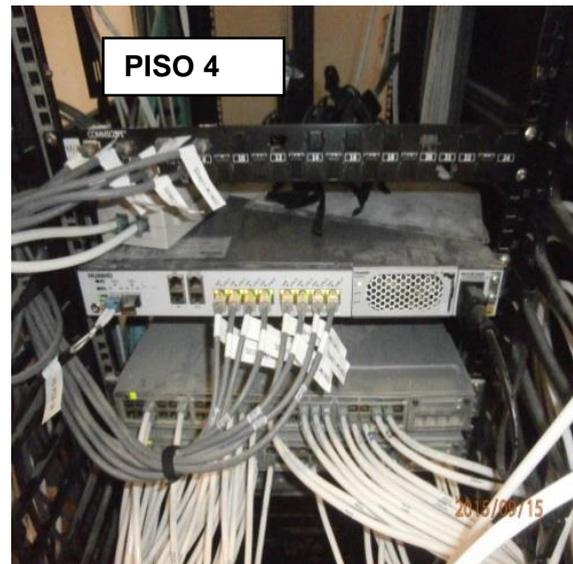
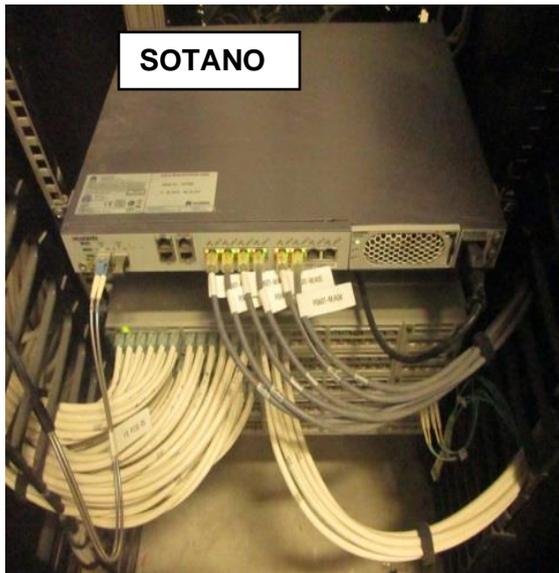


Nota: Elaboración propia

3.3.2 Implementación RHUB

En la figura 45, la figura 46, la figura 47 y la figura 48 se muestran fotos de las implementaciones de las RHUBs.

Figura 45
RHUBs implementados en sótano y piso 4



Nota: Elaboración propia

Figura 46
RHUBs implementados en piso 6 y piso 7



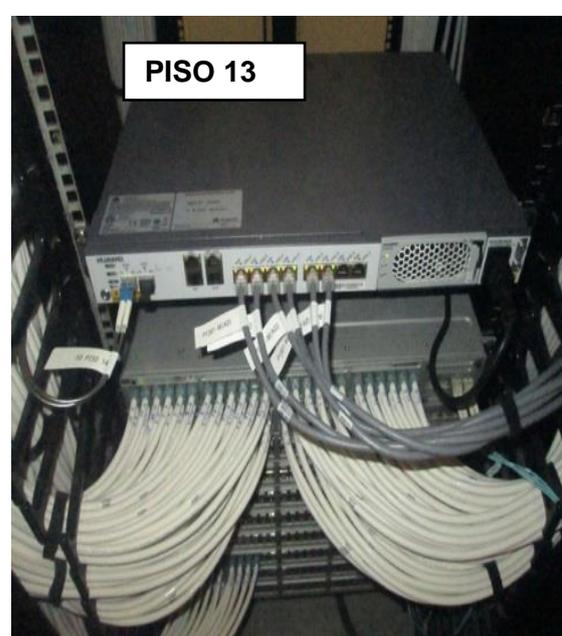
Nota: Elaboración propia

Figura 47
RHUBs implementados en piso 8 y piso 9



Nota: Elaboración propia

Figura 48
RHUBs implementados en piso 11 y piso 13



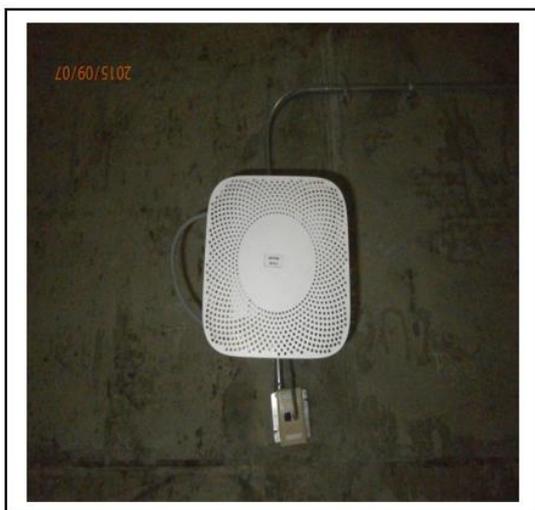
Nota: Elaboración propia

3.3.3 Implementación pRRUs

En la figura 49 y la figura 50 se muestran las implementaciones de las pRRUs instaladas.

Figura 49
pRRU implementado en sótano 1

Vista Frontal



Vista Panorámica



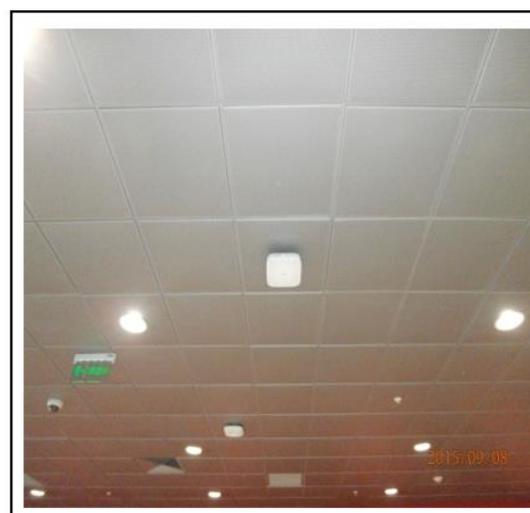
Nota: Elaboración propia

Figura 50
pRRU implementado en piso 1

Vista Frontal



Vista Panorámica



Nota: Elaboración propia

3.3.4 Implementación fibra óptica

La fibra óptica conecta la BBU y el RHUB, En la figura 51 se muestra la implementación que se realizó en el interior de la tubería Conduit.

Figura 51
Implementación de la fibra óptica



Nota: Elaboración propia

3.3.5 Implementación cable UTP

En la figura 52, se muestra la implementación del cable UTP CAT6A que conecta el RHUB y la pRRU, en algunas ocasiones se implementaba hasta el patch panel para luego derivar hacia la pRRU.

Figura 52
Implementación del cable UTP



Nota: Elaboración propia

En la siguiente tabla 16, se muestra en forma resumida los equipos instalados para la implementación del proyecto.

Tabla 16
Equipamiento total implementado

Equipo	Descripción	Cantidad	Porcentaje de implementación
Banda Base 3900	Instalación del equipo dentro del gabinete. Conexión del equipo al UPS. Instalación de transceiver para la interconexión con la RHUB. Configuración de los puertos de la BBU.	4	100%
RHUB 3908	Instalación del equipo en el gabinete. Conexión del equipo al suministro eléctrico (220V). Configuración de los puertos del RHUB para la posición de cada antena.	30	100%
pRRU 3901	Instalación y configuración de la pRRU con la tecnología 3G con doble portadora con UARFCN (Utran Absolute Radio Frequency Channel Number) 9768/9793.	180	100%
Fibra óptica	Tendido y empalme de fibra óptica multimodo para tramos menores a 200 metros. Tendido y empalme de fibra óptica monomodo para tramos mayores a 200 metros.	2213.5 m	100%
Cable UTP	Tendido y ponchado del cable UTP Cat 6A. Certificación del cableado UTP.	6675.53 m	100%

Nota: Elaboración propia

3.4 Pruebas realizadas en la implementación

Las pruebas realizadas son las mediciones de señal en todos los pisos.

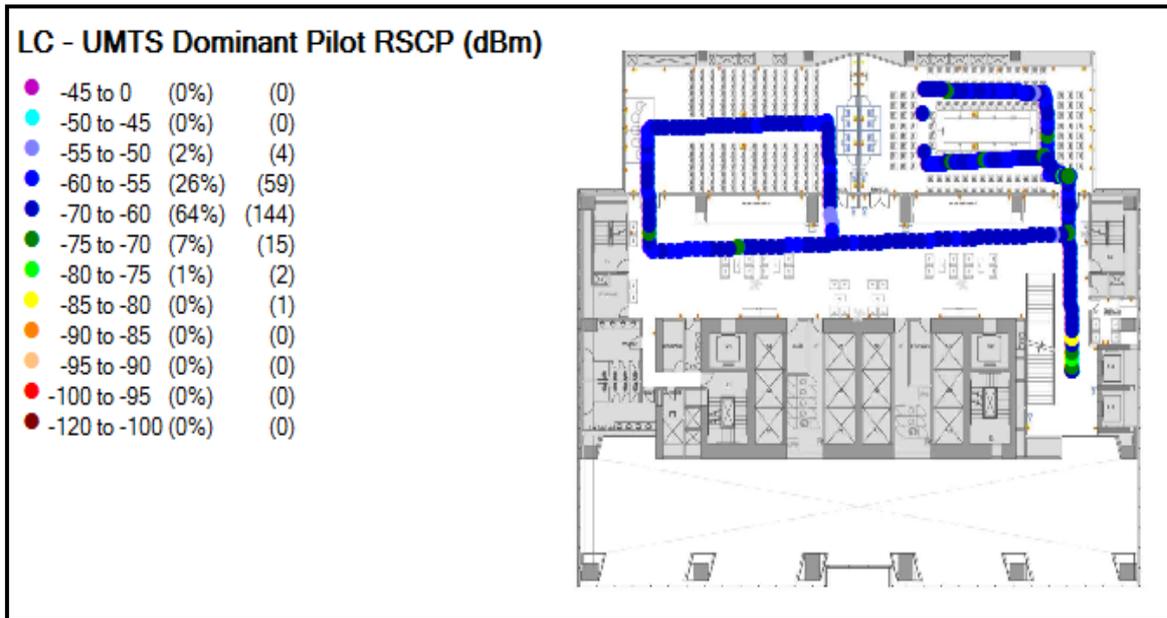
3.4.1 Pruebas de RSCP

Para la realización de la prueba de RSCP, se realiza cuando el teléfono se encuentra en modo idle teniendo los siguientes resultados:

En la figura 53, se presentan los resultados detallados de la medición de señal RSCP en el piso 2.

Figura 53

Medida de señal RSCP para el piso 2

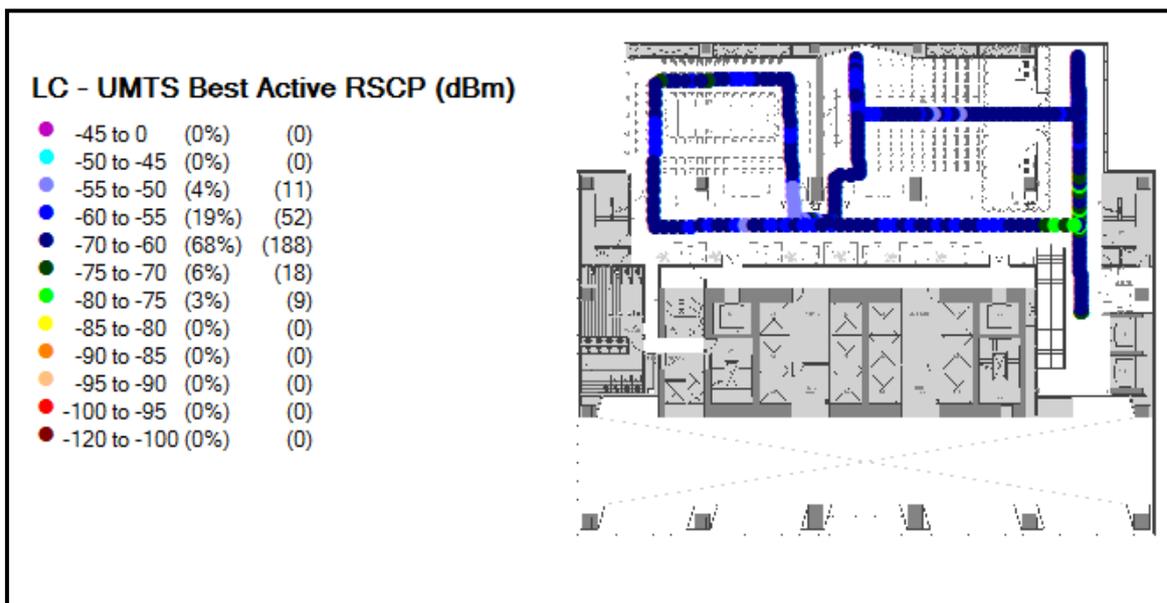


Nota: Elaboración propia

En la figura 54, se exhiben los resultados detallados de la medición de señal RSCP en el piso 3.

Figura 54

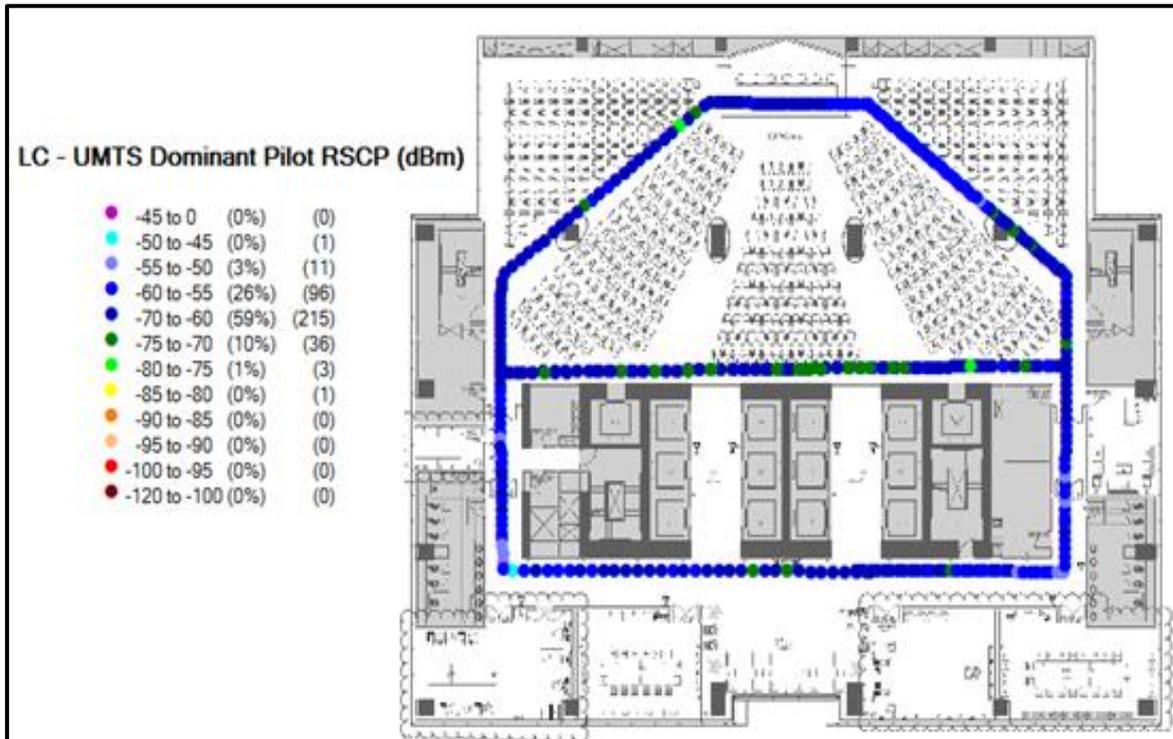
Medida de señal RSCP para el piso 3



Nota: Elaboración propia

En la figura 55, se presentan los resultados detallados de la medición de señal RSCP en el piso 5.

Figura 55
Medida de señal RSCP para el piso 5



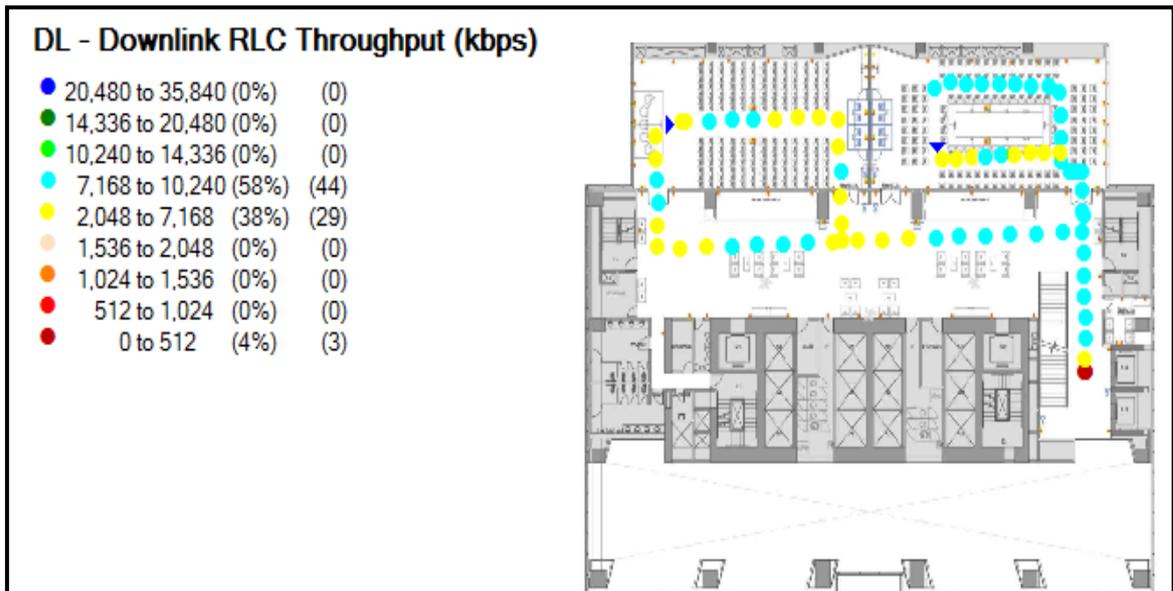
Nota: Elaboración propia

3.4.2 Prueba de Throughput

Las pruebas de throughput se realizaron cuando se estuvo descargando datos en el teléfono. Se muestran los siguientes resultados:

En la figura 56, se presentan el resultado de la medición del throughput realizado en el piso 2.

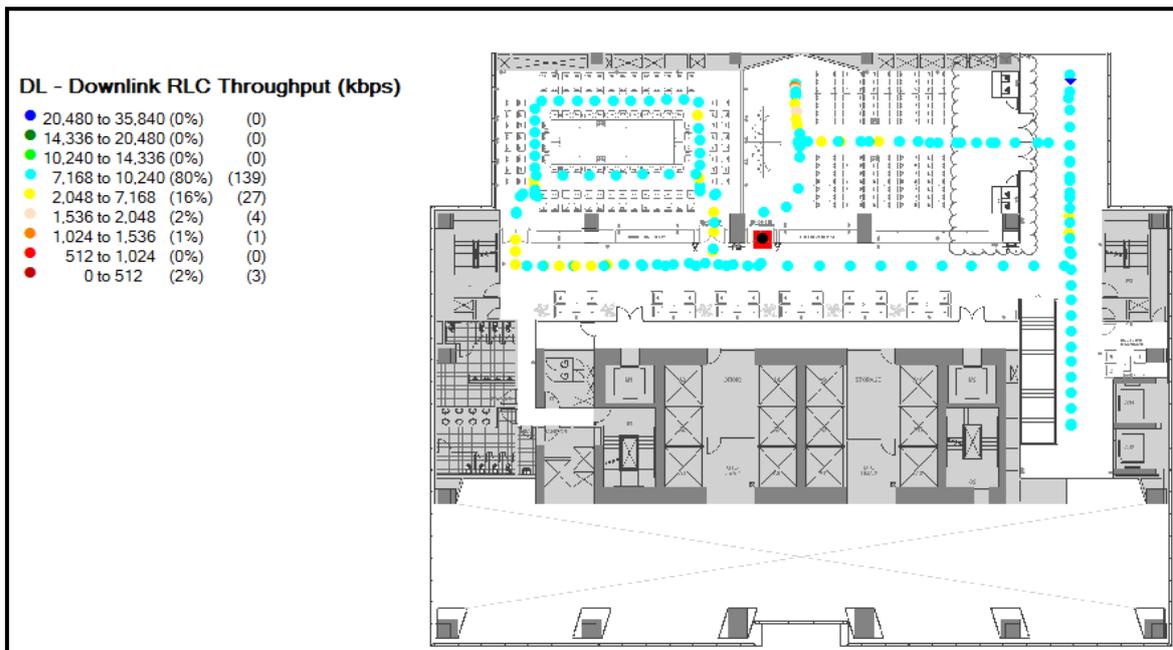
Figura 56
Medida de throughput para el piso 2



Nota: Elaboración propia

En la figura 57, se presenta el resultado de la medición del throughput realizado en el piso 3.

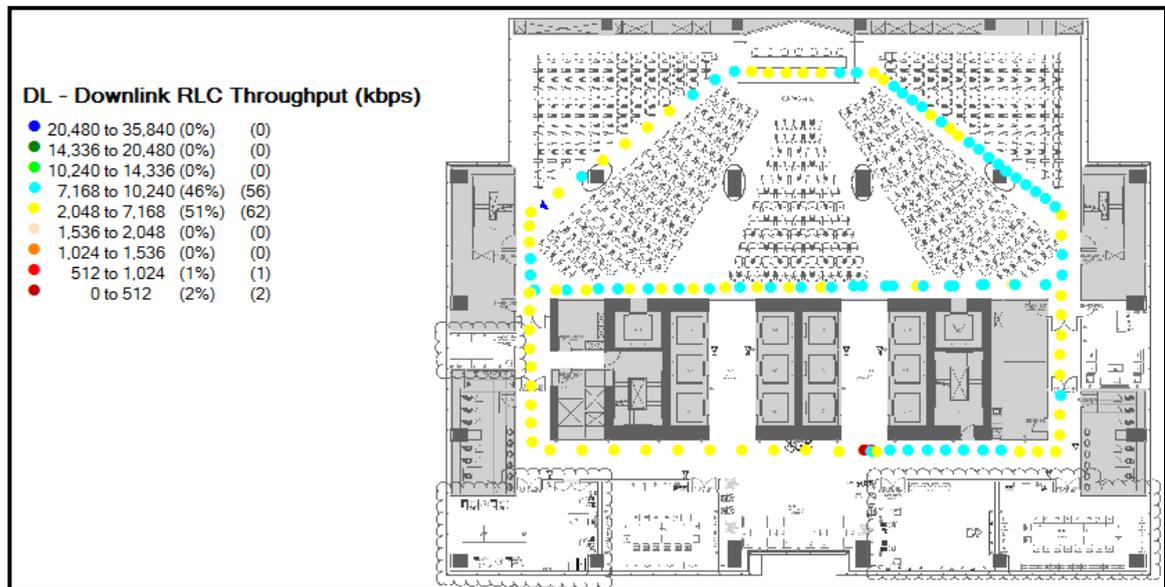
Figura 57
Medida de throughput para el piso 3



Nota: Elaboración propia

En la figura 58, se presenta el resultado de la medición del throughput realizado en el piso 5.

Figura 58
Medida de throughput para el piso 5



Nota: Elaboración propia

3.4.3 Resultados de las pruebas

Luego de realizar las pruebas de medición de señal tanto en RSCP como en throughput, se tendrían los siguientes resultados para todos los pisos según se presenta en la tabla 17.

Tabla 17
Resultados de medición de señal de RSCP y Throughput

PISO	RSCP	Throughput (DL)	Throughput (UL)
	95.00%	90.00%	90.00%
	$\geq -85\text{dBm}$	$\geq 2.0\text{Mbps}$	$\geq 0.25\text{Mbps}$
Piso 30	100.00%	99.00%	98.00%
Piso 29	100.00%	99.00%	98.00%
Piso 28	100.00%	96.00%	96.00%
Piso 27	100.00%	96.00%	98.00%
Piso 26	100.00%	96.00%	96.00%
Piso 25	100.00%	96.00%	96.00%
Piso 24	100.00%	96.00%	97.00%
Piso 23	100.00%	98.00%	98.00%

Piso 22	100.00%	98.00%	98.00%
Piso 21	100.00%	96.00%	97.00%
Piso 20	100.00%	97.00%	98.00%
Piso 19	100.00%	97.00%	97.00%
Piso 18	100.00%	96.00%	96.00%
Piso 17	100.00%	97.00%	98.00%
Piso 16	100.00%	96.00%	97.00%
Piso 15	100.00%	98.00%	98.00%
Piso 14	100.00%	98.00%	98.00%
Piso 13	100.00%	97.00%	98.00%
Piso 12	100.00%	97.00%	98.00%
Piso 11	100.00%	97.00%	98.00%
Piso 10	100.00%	97.00%	98.00%
Piso 9	100.00%	96.00%	96.00%
Piso 8	100.00%	95.00%	97.00%
Piso 7	100.00%	98.00%	95.00%
Piso 6	100.00%	98.00%	97.00%
Piso 5	100.00%	97.00%	96.00%
Piso 4	100.00%	98.00%	99.00%
Piso 3	100.00%	95.00%	94.00%
Piso 2	100.00%	96.00%	97.00%
Piso 1	100.00%	100.00%	100.00%
Promedio Total	100.00%	97.00%	97.23%

Nota: Elaboración propia

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

En este capítulo, se evalúa el cumplimiento de los objetivos específicos, teniendo en cuenta los indicadores de logro y las métricas, los cuales fueron desarrollados y detallados en la sección 1.3.3.

4.1 Cumplimiento del primer objetivo específico

El primer objetivo específico es “Dimensionar la red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz para el edificio de la sede principal del Banco de la Nación”, cuyos indicadores de logro son dos: 1) dimensionamiento de la solución que atiende al 100% del total del área indoor del edificio en cuestión; así como, 2) las especificaciones técnicas del 100% del equipamiento requerido para la implementación de la red celular indoor de acceso 3G del edificio de la sede principal del Banco de la Nación.

Para cumplir con el primer indicador de logro, en primer lugar, se realizó el dimensionamiento de cantidad de sectores en todos los pisos del edificio del Banco de la Nación. Posteriormente, se realizó la simulación para determinar las respectivas ubicaciones de antenas que permitan atender los requerimientos de cobertura del edificio, obteniendo el mapa de cobertura con los valores de RSCP y Eclo (figuras 39 y 40). En función a los resultados obtenidos en la simulación, cumplimos satisfactoriamente con los dos indicadores de logro propuestos para el primer objetivo específico.

Para el cumplimiento del segundo indicador de logro, se elaboró los criterios de selección de proveedor de DAS activo (tabla 7), luego se realizó una comparación entre los proveedores de soluciones de DAS activo (tabla 8) para seleccionar al proveedor que cumplía con todos los requerimientos técnicos del proyecto. Con el proveedor seleccionado, se elaboró la lista del equipamiento para la implementación del proyecto (tabla 16). Finalmente, se realizó una descripción de las características técnicas de cada uno de los equipos requeridos. En función de lo descrito, cumplimos satisfactoriamente con el indicador de logro propuesto para el primer objetivo específico.

4.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico

El segundo objetivo específico es “Implementar la red celular indoor de acceso 3G en la banda de 1900 Mhz para el edificio de la sede principal del Banco de la Nación”, cuyo indicador de logro es instalar del 100% las estaciones bases con sus correspondientes antenas de la red celular indoor de acceso 3G en el edificio de la sede principal del Banco de la Nación.

Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó la implementación de los equipos (BBU, RHUB y pRRU), se instaló la BBU en el interior de los gabinetes de la data center del Banco de la Nación, los cuales contaban con energía UPS. El equipo RHUB se instaló en gabinetes ubicados adentro de los cuartos de comunicaciones que contaban con suministro eléctrico 220V. La pRRU se conecta al RHUB el cual provee energía a través de la tecnología PoE. Este trabajo se realizó en cada uno de los pisos de acuerdo al dimensionamiento propuesto, teniendo como resultado el cumplimiento total del trabajo planificado (tabla 16)

4.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico

El tercer objetivo específico es “Validar la calidad del servicio celular de datos y de voz al interior del edificio de la sede principal del Banco de la Nación”, cuyos indicadores de logro son dos: primero, tener una potencia de la red celular indoor de acceso 3G del edificio central del banco de la nación: $RSCP \geq -85dBm$ y, segundo, tener un nivel de throughput DL promedio por usuario $\geq 2 Mbps$.

Para el cumplimiento del primer indicador de logro, se realizó una medición de señal utilizando el software Nemo Handy que luego fue procesada con el software Windcatcher, con el cual se obtuvo los resultados de $RSCP \geq -85dBm$ en todos los pisos (tabla 17). En función de los resultados obtenidos en la medición de señal, se cumplió satisfactoriamente con el primer indicador de logro del tercer objetivo específico.

Para el cumplimiento del segundo indicador de logro, se realizó la medición de señal utilizando el software Nemo Handy cuando el teléfono celular estuvo descargando datos y para luego ser procesado con el software Windcatcher, con el cual se obtuvo el resultado de throughput DL promedio por usuario ≥ 2 Mbps (tabla 17). En función de los resultados registrados se cumplió satisfactoriamente con el segundo indicador de logro propuesto para el tercer objetivo específico.

Conclusiones

- 1) En el edificio del Banco de la Nación, se implementaron los siguientes equipos: 4 BBU's, 30 RHUBs, 180 pRRUs 3901, 2213.5m de fibra óptica y 6675.53m de cable UTP.
- 2) Al realizar la prueba de medición de señal, se brindó cobertura de red celular 3G al edificio del Banco de la Nación con valores de RSCP mayores o iguales a -85dbm en un 100%.
- 3) Al realizar la prueba de velocidad, se ha obtenido un Througput de bajada en el edificio del Banco de la Nación con valores mayores o iguales a 2 Mbps en un promedio del 97%.
- 4) Al realizar la prueba de velocidad, se ha obtenido un Througput de subida en el oficio del Banco de la Nación con valores mayores o iguales a 0.25 Mbps en un promedio del 97.23%.

Recomendaciones

La tecnología avanza cada vez con mayor rapidez que existe la necesidad de replantear los temas de investigación abordados, y el presente trabajo no es la excepción, razón por la cual se recomiendan los siguientes temas como trabajos futuros utilizando diferentes enfoques y métodos:

- 1) Se sugiere realizar el diseño de la red 4G en la banda 2100 Mhz para luego implementar la solución en 4G ya que el hardware instalado puede soportar la tecnología 4G y así los usuarios puedan experimentar una mejor velocidad en navegación.
- 2) En el proyecto, se realizó la solución para el operador Movistar, se sugiere realizar el estudio para los diferentes operadores con los cuales puede compartir la misma infraestructura y así brindar una solución multi operador con el objetivo de ahorrar en los gastos de despliegue de nueva infraestructura.
- 3) En la parte de interacción, se debe realizar la optimización del handover entre la celda indoor y outdoor para no afectar la experiencia del usuario. Además, se debe configurar en los nodos outdoor la interacción de CSFB (Circuit Switched FallBack) que permita a los usuarios pasar de 4G outdoor a 3G indoor.
- 4) Este trabajo se centró en la planificación e implementación de la red en la parte de acceso por radio. Se puede estudiar más a fondo y diseñar también el sistema de transporte, así como la parte de la red central/Core que se adapte al objetivo de diseño de la parte de acceso de radio.

Referencias bibliográficas

- Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold (2007). *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*.
- L. Hanzo, J.S. Blogh, S. (2008). *3G, HSPA and FDD versus TDD Networking_ Smart Antennas and Adaptive Modulation*.
- Christopher John Coleman (2017). *Analysis and Modeling of Radio Wave Propagation*.
- Huawei Technologies (2016). *BBU Hardware Description*.
- Ericsson Radio Systems AB (2001). *ERICSSON WCDMA/UMTS SYSTEM OVERVIEW*.
- Gottfried Punz (2010). *Evolution of 3G Networks_ The Concept, Architecture and Realization of Mobile Networks Beyond UMTS*.
- Martin Sauter (2017). *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*.
- Ajay R. Mishra (2018). *Fundamentals of network planning and optimization 2G3G4G evolution to 5G*.
- Ericsson (2007). *GSM System Survey Student Book*.
- Monten Tolstrup (2015). *Indoor Radio Planning_ A Practical Guide for 2G, 3G and 4G*.
- Alexander Kukushkin (2017). *Introduction to Mobile Network Engineering GSM, 3G-WCDMA, LTE and the Road to 5G*.
- Lawrence Harte David Bowler (2003). *Introduction to Mobile Telephone Systems: 1G, 2G, 2.5G, and 3G Wireless Technologies and Services*.
- Huawei Technologies (2014). *LampSite Solution Product Description*.
- Jesús Téllez & Sherali Zeadally (2017). *Mobile Payment Systems_ Secure Network Architectures and Protocols*.
- Huawei Technologies (2014). *pRRU3901 Description*.
- Xi Li (2011). *Radio Access Network Dimensioning for 3G UMTS*
- Chris Braithwaite y Mike Scott (2004). *UMTS Network Planning and Development*

Jiangzhou (2008). *Wang High-Speed Wireless Communications_ Ultra-wideband, 3G Long Term Evolution, and 4G Mobile Systems.*

Christophe Chevallier, Christopher Brunner, Andrea Garavaglia, Kevin P. Muray and Kenneth Baker (2006). *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook Planning and Optimization Aspects.*

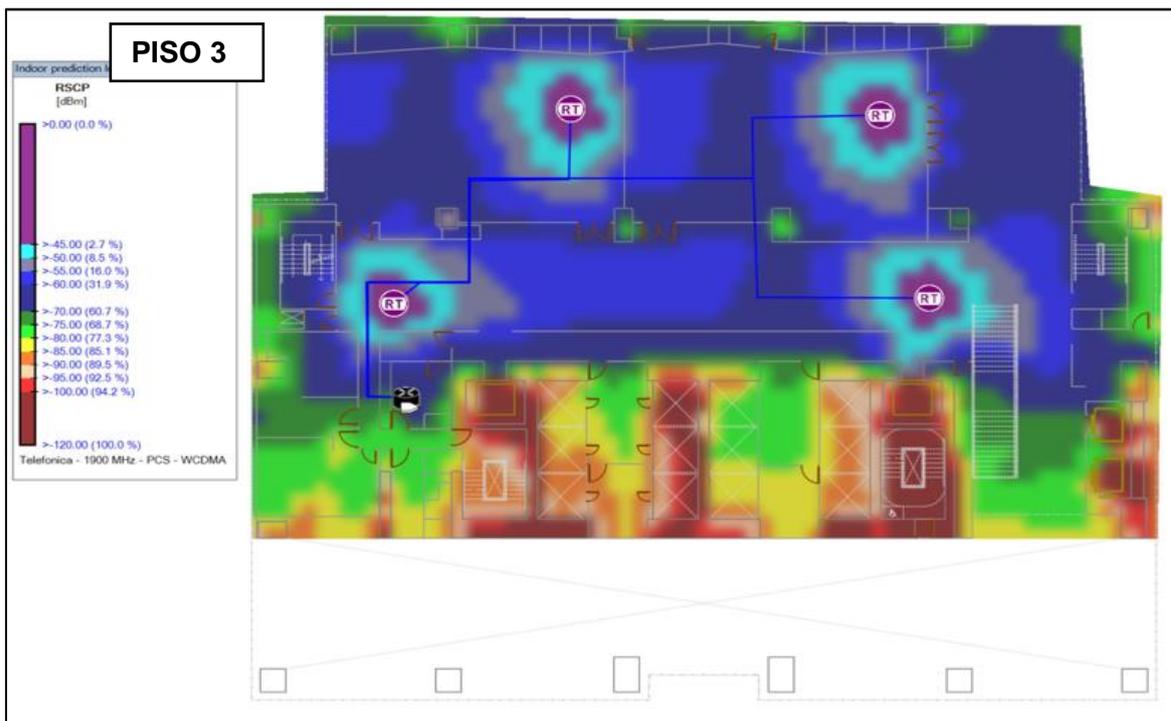
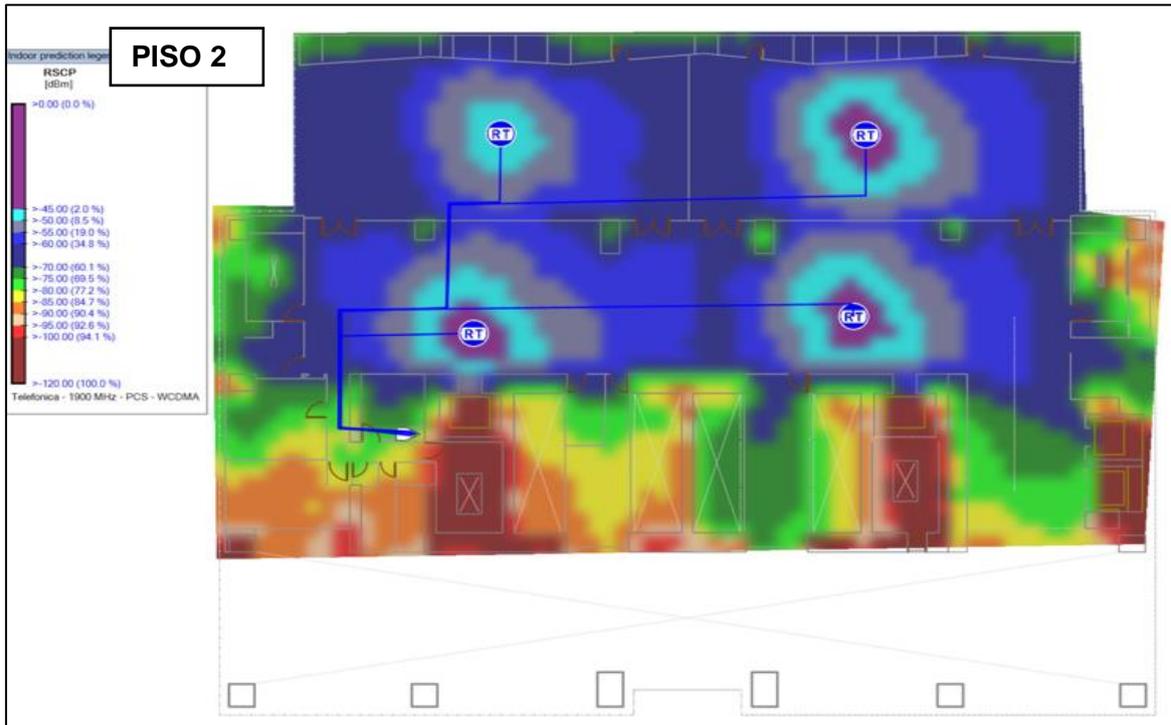
Iti Saha Misra (2013). *Wireless Communications and Networks 3G and Beyond.*

Anexos

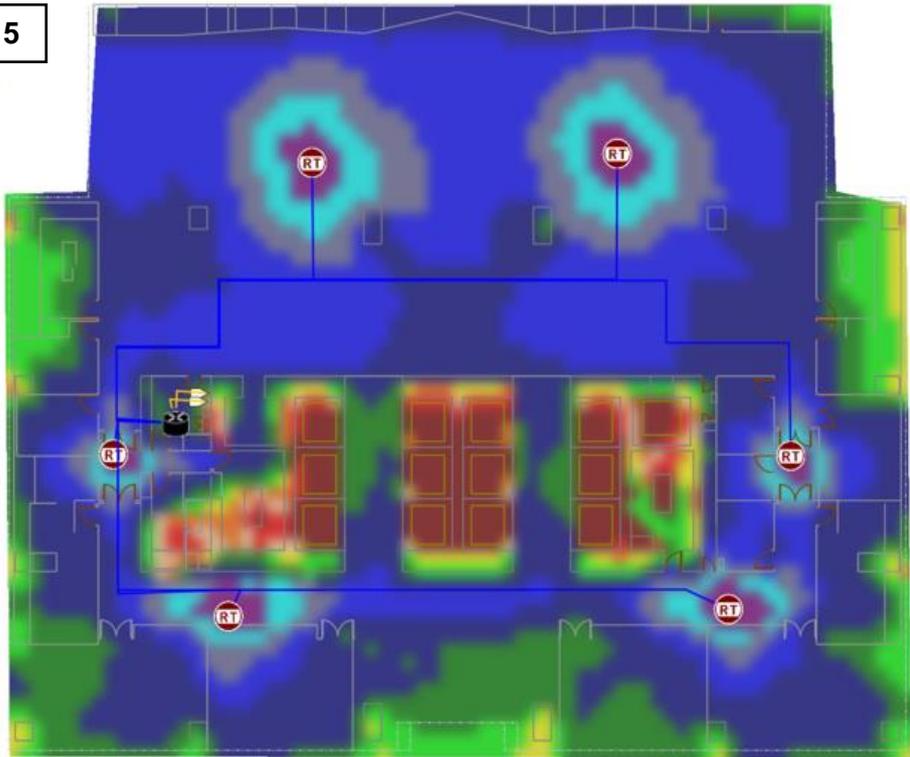
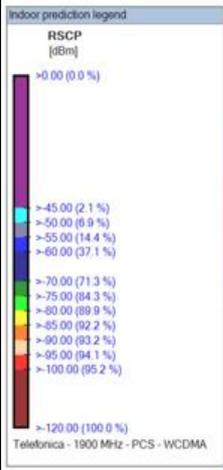
Anexo 1: Simulación del Mapa de Cobertura RSCP	1
Anexo 2: Simulación del Mapa de Cobertura Eclo	3
Anexo 3: Pruebas de medición de Eclo.....	5

Anexo 1 Simulación del Mapa de Cobertura RSCP

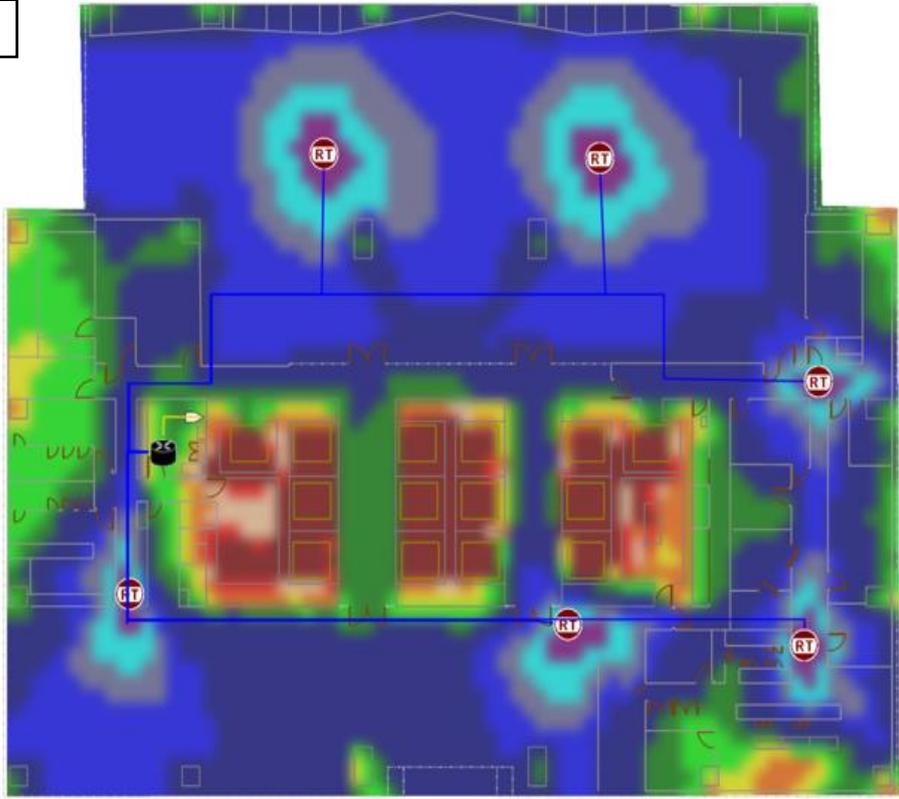
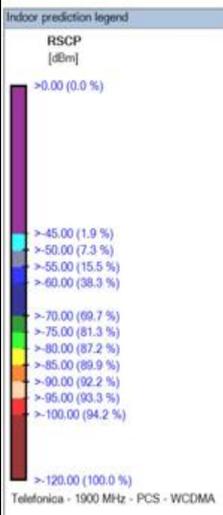
En las siguientes figuras se muestran las simulaciones de RSCP realizados con el software Ibwave en los diferentes pisos:



PISO 5

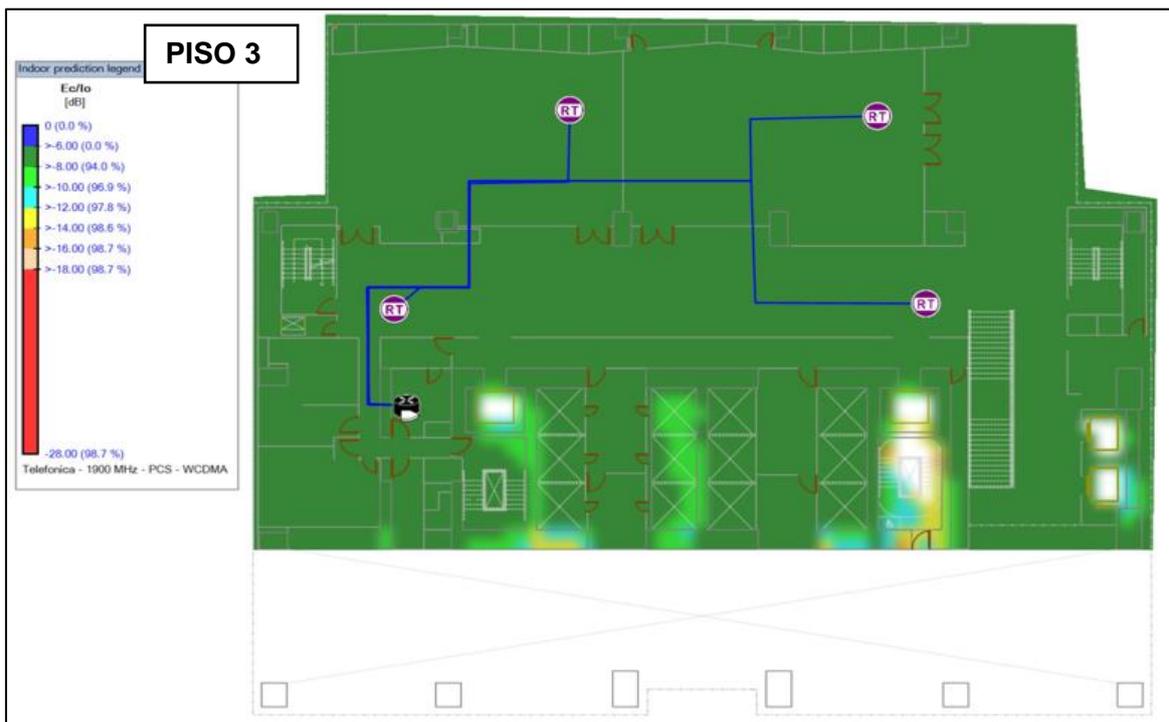


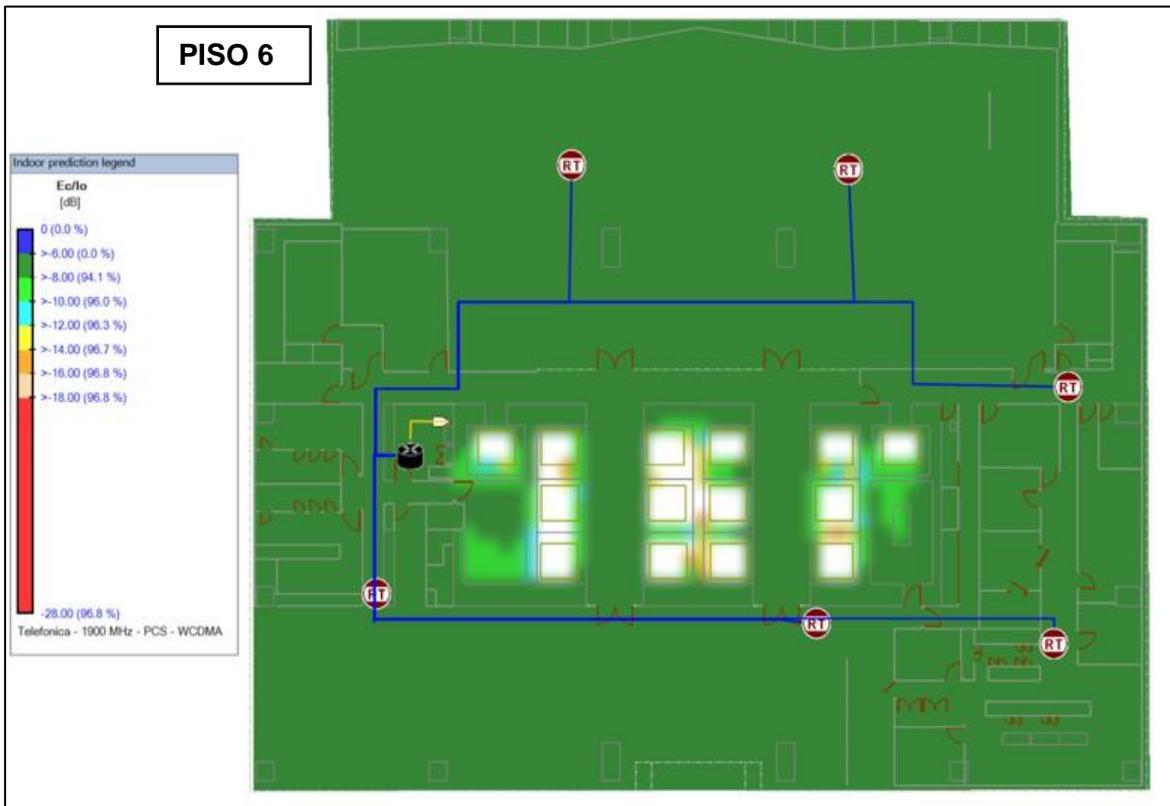
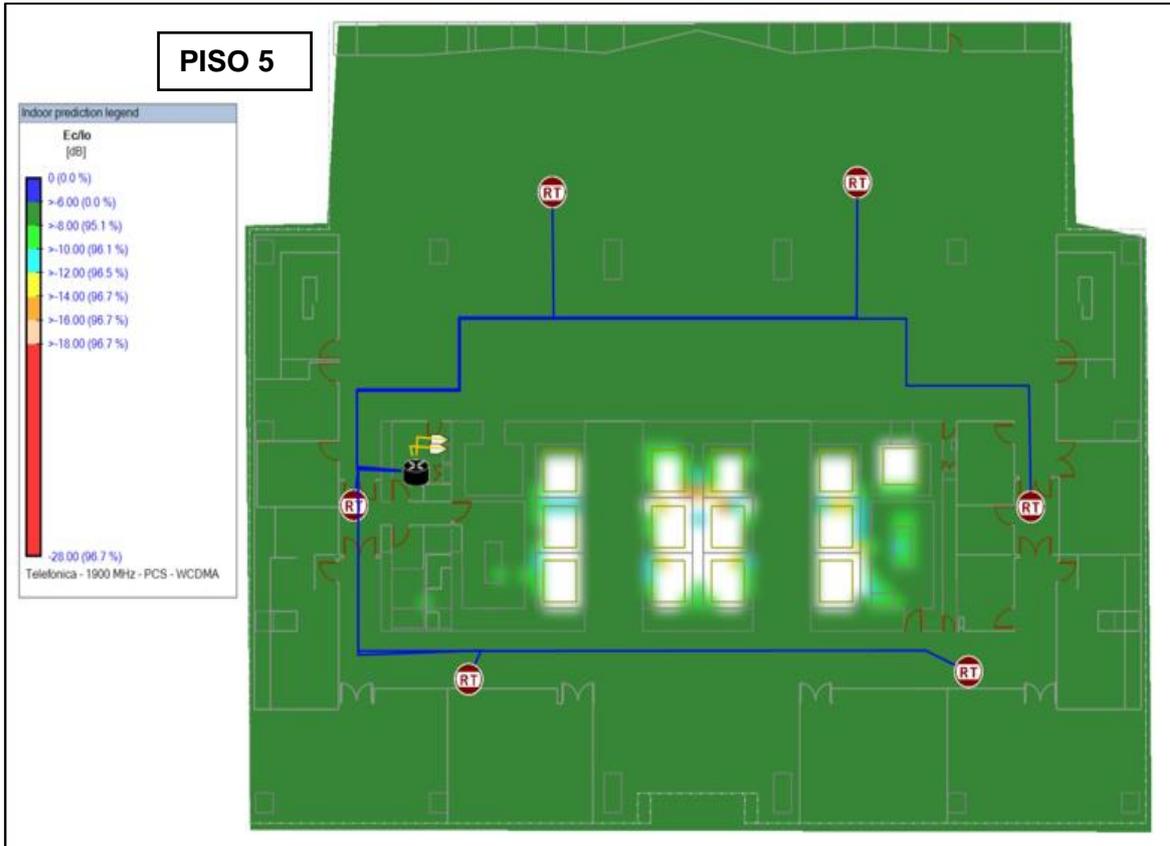
PISO 6



Anexo 2 Simulación del Mapa de Cobertura Eco

En las siguientes figuras se muestran las simulaciones de Eco realizadas con el software Ibwave en los diferentes pisos:





Anexo 3 Pruebas de medición de Eclo

En las siguientes figuras se muestra la medición de Eclo realizado en los diferentes pisos.

