

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y  
AMBIENTAL**  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES



**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED RF INDOOR CON EL FIN DE  
MEJORAR LA COBERTURA CELULAR 3G Y 4G PARA EL OPERADOR  
DE TELEFONÍA MÓVIL ENTEL EN EL CENTRO COMERCIAL PARQUE  
AGUSTINO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

CHIRINOS SICLLA, KAREN ELIZABETH

**Villa El Salvador  
2016**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos que siempre estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles que me ha tocado pasar brindándome su apoyo y sus consejos para ser de mí una mejor persona.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo este largo camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades.

A mi madre querida Sabina Siclla Siancas y mi padre Antonio Chirinos Muñoz que siempre han confiado en mí y me han dado los mejores consejos, valores y sabiduría para poder enfrentar la vida, sin ellos no hubiera empezado este largo camino.

A mis hermanos José, Jessica, Roció, Cinthia y mi cuñada Ana que son un ejemplo de superación que a pesar de los obstáculos que les tocaron vivir no cayeron y siempre supieron salir adelante gracias a los consejos de mis padres.

A mi Asesor Ing. Dall'Orto Gates por brindarme su tiempo, dedicación y experiencia para poder solucionar los inconvenientes que surgían en el proceso de la elaboración del proyecto.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1 Descripción de la Realidad Problemática.....	2
1.2 Justificación del Problema.....	3
1.3 Delimitación del Problema.....	3
1.3.1 Delimitación Teórica.....	3
1.3.2 Delimitación Temporal.....	3
1.3.3 Delimitación Espacial.....	3
1.4 Formulación del Problema.....	4
1.4.1 Problema General.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b> .....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Bases Teóricas.....	7
2.2.1 Tecnologías Móviles.....	7
2.2.1.1 Tercera Generación.....	7
1 Arquitectura de red 3G.....	8
2 Ventajas.....	9
2.2.1.2 Cuarta Generación.....	10
1 Arquitectura de red 4G.....	10
2 Ventajas.....	12
2.2.2 Planificación y Optimización de acceso de radio.....	13
2.2.2.1 Definición.....	13

2.2.2.2 Consideraciones para la planificación Optimización.....	13
2.2.2.3 Principales indicadores de rendimiento para la señal de radio.....	14
2.2.2.3.1 Indicadores para 3G.....	15
1 RSCP.....	15
2 Ec/Io.....	15
2.2.2.3.2 Indicadores para 4G.....	15
1 RSRP.....	15
2 SNIR.....	15
2.2.3 Soluciones de Optimización Indoor.....	15
2.2.3.1 Repetidores.....	15
2.2.3.2 Femtoceldas.....	16
2.2.3.3 Sistema Distribuido de Antenas (DAS).....	17
2.2.3.3.1 Elementos del DAS.....	17
2.2.3.3.2 Equipos Centrales del DAS.....	18
2.2.3.3.3 Ventajas de Implementación DAS.....	18
2.2.3.3.4 Indicadores aplicables para el sistema RF	
Indoor (DAS).....	19
1 ROE.....	19
2 DTF.....	23
2.2.3.3.5 Equipo de medición “Site Master”.....	24
2.3 Marco Conceptual.....	26
2.3.1 Definición de términos concerniente a la elaboración del proyecto....	26
<b>CAPITULO III: IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED RF INDOOR.....</b>	<b>28</b>
3.1 Análisis e interpretación de las pruebas iniciales de Cobertura Móvil....	28
3.2 Predicción de cobertura.....	34
3.2.1 Predicción de cobertura 3G.....	35
3.2.2 Predicción de cobertura 4G.....	37

3.2.3 Cuadro de potencia 3G y 4G.....	38
3.3 Diagrama de Arquitectura de la solución DAS.....	41
3.3.1 Breve descripción de la comunicación de los equipos	
Principales.....	42
3.4 Característica de los equipos y accesorios para la Implementación.....	43
3.5 Diagrama General de la solución.....	46
3.6 Procedimientos de la implementación.....	47
3.7 Diagrama eléctrico para energizado de equipos.....	54
3.8 Análisis de los resultados.....	55
3.9 Lista de Materiales.....	65
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>
ANEXO 1.....	70
Sistema de Distribución de Antenas.....	70
1.- Distribución en el Sótano.....	70
2.- Distribución en el Piso_1.....	70
3.- Distribución en el Piso_2.....	71
ANEXO 2.....	72
Indicadores de cobertura.....	72
1.- Indicadores de cobertura 3G.....	72
2.- Indicadores de cobertura 4G.....	74
ANEXO 3.....	76
Cuadro de Potencia 3G y 4G.....	76
ANEXO 4.....	77
Fotos después de la implementación.....	77
ANEXO 5.....	84
Datos Técnicos - RRU 3832.....	84

ANEXO 6.....	85
Datos Técnicos - RRU 3942.....	85
ANEXO 7.....	86
Datos Técnicos - Antena Panel.....	86
ANEXO 8.....	87
Datos Técnicos - Antena Omnidireccional.....	87
ANEXO 9.....	88
Datos Técnicos - BBU3900.....	88
ANEXO 10.....	89
Datos Técnicos - Splitter.....	89
ANEXO 11.....	90
Datos Técnicos - Coupler.....	90
ANEXO 12.....	91
Datos Técnicos - Diplexor.....	91
ANEXO 13.....	92
Datos Técnicos - Cable Coaxial 1/2".....	92

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2-1</b> ARQUITECTURA 3G.....	8
<b>FIGURA 2-2</b> ARQUITECTURA 4G.....	11
<b>FIGURA 2-3</b> SOLUCIÓN INDOOR CON REPETIDORES.....	16
<b>FIGURA 2-4</b> SOLUCIÓN INDOOR CON FEMTOCELDA.....	17
<b>FIGURA 2-5</b> MEDICIÓN ROE O VSWR.....	20
<b>FIGURA 2-6</b> GRAFICA DE MEDICIÓN VSWR.....	21
<b>FIGURA 2-7</b> GRAFICA DE MEDICIÓN DTF.....	24
<b>FIGURA 2-8</b> EQUIPO DE MEDICIÓN SITE MASTER.....	25
<b>FIGURA 3-1</b> GRAFICA DEL ÁREA DE COBERTURA INICIAL EN EL SOTANO.....	29
<b>FIGURA 3-2</b> GRAFICA DEL INDICADOR RSCP INICIAL EN EL SOTANO.....	29
<b>FIGURA 3-3</b> GRAFICA DEL ÁREA DE COBERTURA INICIAL EN EL PISO_1.....	30
<b>FIGURA 3-4</b> GRAFICA DEL INDICADOR RSCP INICIAL EN EL PISO_1.....	30
<b>FIGURA 3-5</b> GRAFICA DEL ÁREA DE COBERTURA INICIAL EN EL PISO_2.....	31
<b>FIGURA 3-6</b> GRAFICA DEL INDICADOR RSCP INICIAL EN EL PISO_2.....	31
<b>FIGURA 3-7</b> GRAFICA DEL INDICADOR EC/IO INICIAL EN EL SOTANO.....	32
<b>FIGURA 3-8</b> GRAFICA DEL INDICADOR EC/IO INICIAL EN EL PISO_1.....	33
<b>FIGURA 3-9</b> GRAFICA DEL INDICADOR EC/IO INICIAL EN EL PISO_2.....	34
<b>FIGURA 3-10</b> PREDICCIÓN DE COBERTURA 3G_INDICADOR RSCP- SOTANO.....	35
<b>FIGURA 3-11</b> PREDICCIÓN DE COBERTURA 3G_INDICADOR RSCP - PISO_1.....	35
<b>FIGURA 3-12</b> PREDICCIÓN DE COBERTURA 3G_INDICADOR RSCP - PISO_2.....	36
<b>FIGURA 3-13</b> PREDICCIÓN DE COBERTURA 4G_INDICADOR RSRP- SOTANO.....	37
<b>FIGURA 3-14</b> PREDICCIÓN DE COBERTURA 4G_INDICADOR RSRP - PISO_1.....	37

<b>FIGURA 3-15</b> PREDICCIÓN DE COBERTURA 4G_INDICADOR RSRP - PISO_2.....	38
<b>FIGURA 3-16</b> DIAGRAMA DE SOLUCIÓN DAS.....	41
<b>FIGURA 3-17</b> EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	43
<b>FIGURA 3-18</b> DIAGRAMA UNILINEAL.....	46
<b>FIGURA 3-19</b> UBICACIÓN DEL APM_AZOTEA.....	47
<b>FIGURA 3-20</b> UBICACIÓN DE RRU – PISO_1 (CUARTO ELÉCTRICO).....	47
<b>FIGURA 3-21</b> ANTENAS S1-A-1; S1-A-2; S1-A-3; S1-A-4; S1-A-5.....	48
<b>FIGURA 3-22</b> ANTENAS 1-A-6; 1-A-7; 1-A-8; 1-A-9; 1-A-14.....	48
<b>FIGURA 3-23</b> ANTENAS 2-A-11; 2-A-12; 2-A-13; 2-A-18.....	49
<b>FIGURA 3-24</b> MATERIALES PRINCIPALES EN EL ALMACÉN.....	49
<b>FIGURA 3-25</b> INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y CABLE COAXIAL.....	50
<b>FIGURA 3-26</b> INSTALACIÓN DE SPLITTER Y COUPLER.....	51
<b>FIGURA 3-27</b> INSTALACIÓN DE ANTENAS PANEL Y OMNIDIRECCIONAL.....	51
<b>FIGURA 3-28</b> INSTALACIÓN DE RRU 3G_4G, SPLITTER, COUPLER, DIPLEXOR Y CARGA.....	52
<b>FIGURA 3-29</b> RECORRIDO DE LA TUBERIA PARA CONECTAR LA RRU CON LA BBU.....	53
<b>FIGURA 3-30</b> INSTALACIÓN DE LA BBU.....	53
<b>FIGURA 3-31</b> DIAGRAMA ELÉCTRICO.....	54
<b>FIGURA 3-32</b> GRAFICA VSWR DESDE EL SPLITTER 5 HACIA ANTENA 5.....	55
<b>FIGURA 3-33</b> GRAFICA DTF DESDE EL SPLITTER 5 HACIA ANTENA 5.....	56
<b>FIGURA 3-34</b> GRAFICA VSWR DESDE EL SPLITTER 4 HACIA ANTENA 1.....	56
<b>FIGURA 3-35</b> GRAFICA DTF DESDE EL SPLITTER 4 HACIA ANTENA 1.....	57
<b>FIGURA 3-36</b> GRAFICA VSWR DESDE EL COUPLER 2 HACIA ANTENA 9.....	58
<b>FIGURA 3-37</b> GRAFICA DTF DESDE EL COUPLER 2 HACIA ANTENA 9.....	59
<b>FIGURA 3-38</b> GRAFICA VSWR DESDE EL SPLITTER 1 HACIA ANTENA 8.....	59
<b>FIGURA 3-39</b> GRAFICA DTF DESDE EL SPLITTER 1 HACIA ANTENA 8.....	60
<b>FIGURA 3-40</b> GRAFICA VSWR DESDE EL COUPLER 4 HACIA ANTENA 15.....	61
<b>FIGURA 3-41</b> GRAFICA DTF DESDE EL COUPLER 4 HACIA ANTENA 15.....	61
<b>FIGURA 3-42</b> GRAFICA VSWR DESDE EL COUPLER 1 HACIA ANTENA 12.....	62

**FIGURA 3-43** GRAFICA DTF DESDE EL COUPLER 1 HACIA ANTENA 12.....63

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 3-1 CUADRO DE POTENCIA 3G Y 4G.....</b>	<b>40</b>
<b>TABLA 3-2 CUADRO DE MATERIALES.....</b>	<b>65</b>

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título “IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED RF INDOOR CON EL FIN DE MEJORAR LA COBERTURA CELULAR 3G Y 4G PARA EL OPERADOR DE TELEFONIA MOVIL ENTEL EN EL CENTRO COMERCIAL PARQUE AGUSTINO”, para optar el título de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, presentado por el Bachiller CHIRINOS SICLLA KAREN ELIZABETH.

La comunicación hoy en día es una necesidad indispensable para el ser humano, y gracias a los avances tecnológicos miles de personas pueden tener una comunicación a distancia. Si bien es cierto, las comunicaciones móviles han mejorado la calidad y velocidad de la señal, surge un problema en los lugares de ambientes cerrados (Oficinas, centros comerciales, cines, hoteles, metros, hospitales, etc.) o con obstáculos que originan pérdidas en la señal, ya que a estos ambientes no llega una buena señal ocasionando incomodidad en los usuarios asistentes a los lugares públicos.

El Centro Comercial Parque Agustino es uno de los tantos centro comerciales que cuenta con estos problemas de cobertura por ello se implementara un red RF INDOOR con la finalidad de mejorar la cobertura celular y así poder tener un mejor aprovechamiento de la señal y brindar comodidad y un buen servicio a los usuarios asistentes a dicho centro.

La estructura de este proyecto se compone de 3 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema donde se definirá la realidad problemática, justificación, delimitación, formulación del problema y objetivos. En el segundo capítulo se realizara el desarrollo del marco teórico que involucra este proyecto. Por ultimo en el tercer capítulo se desarrollara todas las etapas para la implementación de una RED RF INDOOR.

**El Autor**

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Descripción de la Realidad Problemática**

El Centro Comercial Parque Agustino se ubica en la Jr. Ancash N° 2151, en el distrito del Agustino, provincia Lima, su edificación está construida a base de concreto y drywall; cuenta con un sótano, dos pisos y una azota en las cuales se encuentran distribuidos varios establecimientos comerciales de diferentes rubros (comidas, agentes bancarios, ropa, juegos de diversión, etc.) que sirven de entretenimiento y fuente de trabajo para las personas asistentes a dicho centro, pero a la vez surge un problema cuando se quiere realizar una llamada telefónica o mandar un mensaje de texto, la señal es baja y a veces ni se capta la señal debido a la congestión celular, causando incomodidad en los usuarios y trabajadores del centro comercial por ello se dará solución a este problema implementando una red RF INDOOR para mejorar la cobertura celular y de esta manera aprovechar mejor el despliegue de la señal y así brindar comodidad y un buen servicio a los usuarios asistentes a dicho centro comercial.

## **1.2 Justificación del Problema**

En los últimos años la necesidad de las personas por tener una mejor calidad y disponibilidad de los servicios móviles, ha ocasionado una evolución en las tecnologías móviles conocidas, esto con el fin de satisfacer la gran demanda de los usuarios y resolver problemas como pérdida o saturación de la señal de los operadores móviles.

En los interiores de los Centros Comerciales, tal es el caso del Centro Comercial Parque Agustino se ha originado un problema por la gran afluencia de usuarios al centro, justamente los patio de comidas y los principales pasillos de los establecimientos son los lugares que poseen mayor afluencia de clientes los que generan más tráfico y necesitan una buena cobertura por el alto número de usuarios por lo cual se justifica la implementación de una solución RF INDOOR que mediante un sistema distribuido de antenas resolverá los problemas mencionados.

## **1.2 Delimitación del Problema**

### **1.2.1 Delimitación Teórica**

El presente trabajo de investigación comprende los conceptos de Telefonía móvil celular basados en el uso de las tecnologías 3G y 4G en soluciones de sistema Indoor (Sistema distribuido de antenas (DAS) y mediciones ROE).

### **1.2.2 Delimitación Temporal**

Contempla el periodo de Octubre 2014 – Enero 2015.

### **1.2.3 Delimitación Espacial**

El proyecto de investigación se realizó en el “Centro Comercial Parque Agustino”. Ubicado en el Jr. Ancash N°2151, Lima.

### **1.3 Formulación del Problema**

#### **1.3.1 Problema General**

¿Cómo implementar una red RF INDOOR con el fin de mejorar la Cobertura Celular 3G y 4G para el operador móvil Entel en el Centro Comercial Parque Agustino?

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Implementar una Red RF INDOOR con el fin de mejorar la Cobertura Celular 3G y 4G para el operador móvil Entel en el Centro Comercial Parque Agustino.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

Al realizar este proyecto de investigación se encontraron con varias tesis referidas a este tema que sirvieron de gran apoyo para la elaboración del proyecto y se mencionan a continuación:

**Aldo Duarte Vera Tudela (2013)** realizo la tesis que lleva por título: Diseño e Implementación de una red RF INDOOR en el Hospital de emergencias pediátricas para mejora de cobertura, donde concluyo: [1]

“Se realizó el diseño de la solución, tanto para 2G y 3G, tomando en cuenta las visitas técnicas hechas al hospital y teniendo como objetivo garantizar niveles óptimos de cobertura dando prioridad a las zonas comunes y pasillos del hospital. Tras esta, se realizaron mediciones comprobándose que los objetivos propuestos, como el alcanzar una potencia de recepción mayor a 75dBm. En un 95% del área a cubrir, se cumplieron a cabalidad. Se concluyó finalmente, tras el estudio tecnológico y económico realizado en la presente tesis, que la implementación de una red RF Indoor es una solución viable en el despliegue de optimizaciones de cobertura celular Indoor debido a que la alta rentabilidad que proporciona que se discutió en el capítulo 3 y los altos índices de potencia de recepción y baja tasa de interferencia que presenta, lo cual es desarrollado ampliamente en el capítulo 4”.

**José Núñez Yupanqui (2015)** realizo el trabajo de investigación que lleva por título: Análisis e implementación de la red RF Indoor 3G para la mejora de cobertura de Telefonía Móvil en el Centro Comercial San Borja Grupo Sandoval, donde concluyo: [2]

“Luego de realizar la implementación del sistema distribuido de antenas de la red al interior del edificio, se pudo comprobar que las mediciones tomadas tanto del VSWR como del DTF, arrojaron los niveles óptimos de acuerdo a los parámetros especificados para sistema de red RF Indoor. Finalmente tras el estudio tecnológico y la puesta en implementación del presente proyecto las cuales fueron probadas con todos los parámetros (RCSP-Ec/No) queda como conclusión, que la implementación de una red RF Indoor es una solución viable en el despliegue de optimizaciones de cobertura celular Indoor debido a la alta rentabilidad que proporciona índices de potencia de recepción y baja tasa de interferencia que presenta”.

**Michael Eduardo Chancasana Cueto (2015)** realizo el trabajo de investigación que lleva por título: Diseño de una red 4G-LTE Indoor para el Centro Comercial Real Plaza Santa Clara, donde concluyo: [3]

“Las redes Indoor mejoran la cobertura dentro de edificaciones, además, descongestionan las redes outdoor. Un correcto despliegue de redes indoor en lugares con gran afluencia de usuarios hacen que las redes outdoor se liberen y reduzcan su radio de cobertura emitiendo menores niveles de potencia. Los usuarios deben entender que el aumento de estaciones base y redes indoor en vez de generar mayor radiación y niveles de potencia las disminuye”.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

A continuación se dará un concepto general de todos los puntos que involucran la elaboración del proyecto.

### **2.2.1 Tecnologías Móviles**

Se dará una breve descripción de las tecnologías 3G, 4G, como también sus ventajas que pueda tener para la mejora de la comunicación.

#### **2.2.1.1 Tercera Generación**

Para inicios del año 2000 el Internet crecía de tal manera que se empezó a volver una necesidad el poder conectarse a la red en cualquier momento y lugar desde terminales móviles. Con esto no bastaba el enviar solamente voz a través de un teléfono celular sino también enviar datos.

Fue técnica y comercialmente necesario ir a un siguiente nivel en la telefonía móvil. Se intentó lograr esto en base a GSM con variaciones como GPRS o EDGE, en las cuales se permitía el acceso a Internet pero con anchos de banda muy limitados que llegaron, en teoría, a picos de aproximadamente 500 Kbps pero que en la realidad llegaban 250 Kbps en promedio. Esto no permitía tener banda ancha en un teléfono móvil. Por esto es que se tuvo que migrar a otra tecnología para alcanzar velocidades de transmisión aceptables y esto se logró con la aparición de UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles).

La tecnología modifica la forma de acceso múltiple ya que cambia de TDMA, utilizado por GSM, por WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), la cual se eligió puesto que el utilizar códigos para el acceso múltiple permite mayor cantidad de accesos simultáneos que usando divisiones de tiempo en un pedazo de espectro que solo permitía 8 accesos por portadora. En UMTS cada portadora WCDMA tiene un ancho de banda de 5 MHz. lo cual fue elegido puesto que esto permitía alcanzar velocidades de transmisión desde los 384 Kbps hasta los 2 Mbps dependiendo de las condiciones climáticas.[4]

## 1. Arquitectura de red 3G

En la arquitectura básica de una red UMTS existen elementos que interactúan constantemente que son los siguientes:

- Equipo de usuario (UE)
- Red de acceso (UTRAM)
- Núcleo de red (CN)

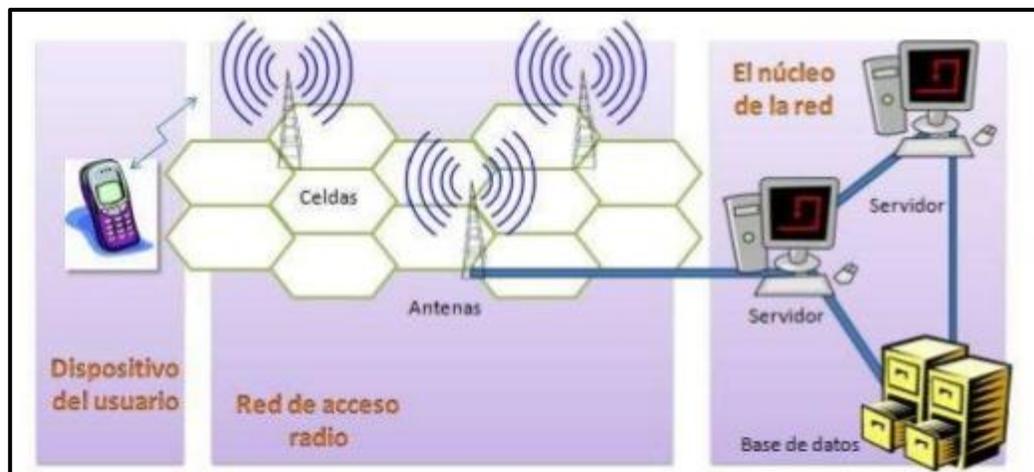
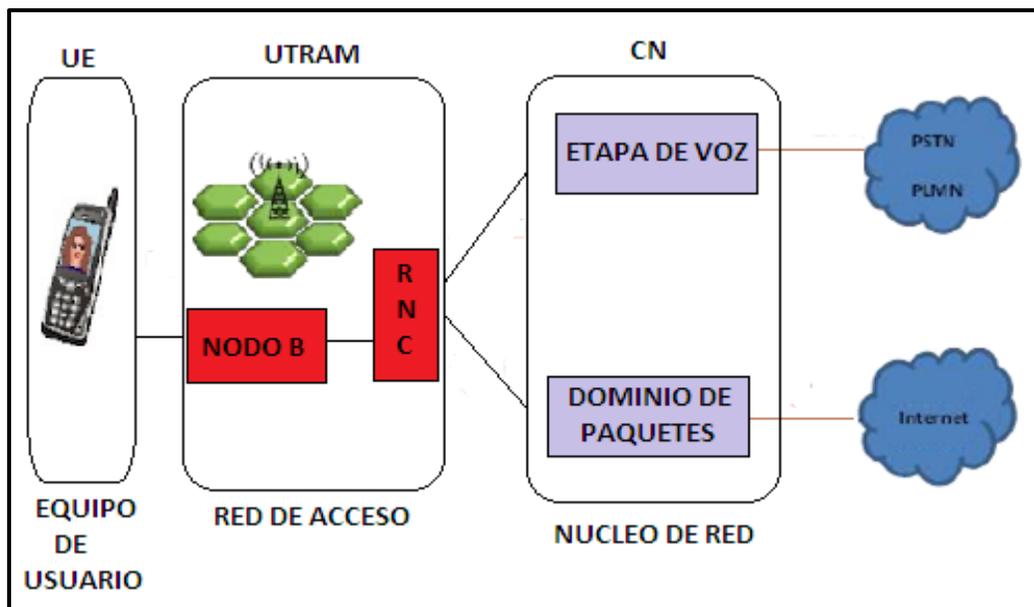


Figura 2-1 Arquitectura 3G

Fuente: <http://es.slideshare.net/aetiova1/umts-49113982>

El equipo de usuario (UE), también llamado móvil es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con una estación base en el momento que lo desee y en el lugar donde exista cobertura. Este puede variar en su tamaño y forma, sin embargo debe estar preparado para soportar el estándar y los protocolos para los que fue diseñado. Por ejemplo, si un móvil trabaja bajo el sistema UMTS debe ser capaz de acceder a la red UTRAN mediante la tecnología WCDMA para lograr la comunicación con otro móvil.

La red de acceso (UTRAN) está conformada por un punto de acceso llamado Nodo B, responsable de garantizar la cobertura de la red y el RNC (controlador de red de radio) los cuales en conjuntos proveen el método de acceso ya sea por dominio de paquetes o dominio de circuitos.

Después de la RNC la información puede tomar dos caminos distintos dependiendo de si se requiere enviar voz o datos. A esta división en conjunto, es decir, que tanto la etapa de voz y el dominio de paquetes conforman el núcleo de la red (NC) que es el responsable de todo el control de los recursos lógicos de una estación base. [5]

## **2. Ventajas**

- Mejora de la calidad de transmisión de voz y eliminación de los efectos audibles del “fading” (atenuación)
- Conmutación basada mayormente en paquetes, por ende las comunicaciones son menos costosas.
- Las redes 3G ofrecen mayor grado de seguridad en comparación con las anteriores tecnologías 2G, al permitir al UE autenticar la red a la que se está conectando.
- Mejora el tráfico telefónico
- Reducción de la interferencia

- Permite ofrecer telefonía de alta calidad, video llamada, sonido de alta fidelidad, servicios interactivos, acceso a internet móvil, etc. [14]

### **2.2.1.2 Cuarta Generación**

La demanda de mayor velocidad de transmisión, especialmente cuando se tiene alta movilidad, ha experimentado un crecimiento junto con la evolución de las tecnologías móviles y el crecimiento de los operadores que proveen el servicio. La velocidad que se ha conseguido hasta la tercera generación sigue siendo insuficiente, por lo que la cuarta generación continúa con la evolución de los sistemas móviles.

La tecnología 4G-LTE (Evolución a largo plazo) está basada totalmente en IP (Protocolo de internet), siendo considerada un sistema de sistemas y una red de redes. Utiliza el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal OFDMA que es una técnica múltiple de multi-portadoras que permiten a la estación base comunicarse en varios terminales a la vez, como también reducir problemas por desvanecimiento e interferencia, permite tener mayor número de portadoras gracias a su naturaleza ortogonal. Cada portadora tiene un ancho de banda de 15 MHz. [6]

#### **1. Arquitectura de red 4G**

La arquitectura de una red del sistema LTE es conocida como EPS (Evolved Packet System, Sistema de Paquetes Evolucionado). Básicamente este sistema está compuesto, como se muestra en la figura 2-2, por los Equipos de Usuario (UE), la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC (Evolved Packet Core, Núcleo de Paquetes Evolucionado). Estos últimos representan la capa de conexión IP cuyo objetivo principal es garantizar una alta conectividad.

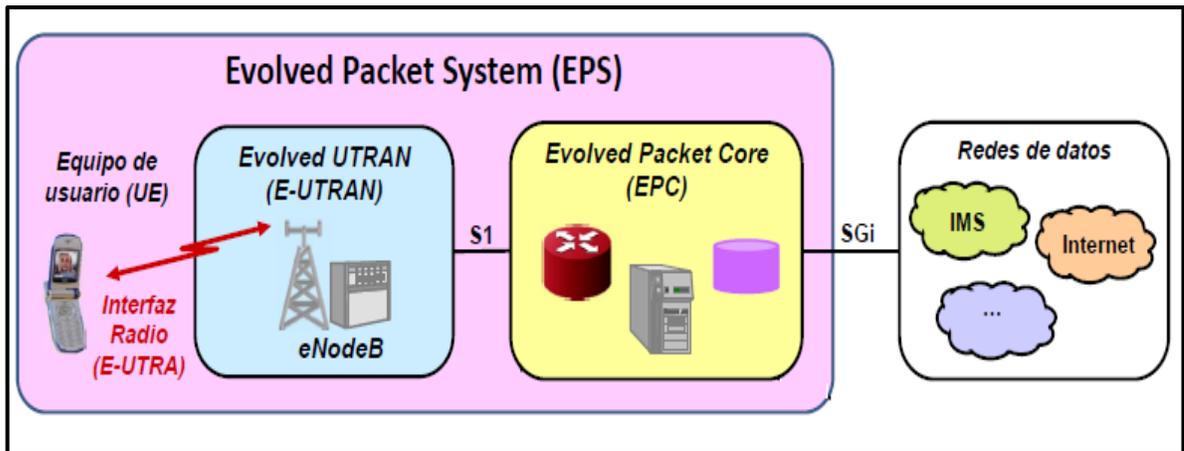


Figura 2-2 Arquitectura 4G

Fuente: <http://docplayer.es/3173926-Curso-lte-3-arquitectura-funcional-y-protocolos.html>

### **Equipo de Usuario (UE)**

Está compuesto por el equipo móvil (cumple funciones de comunicación, transmisión de voz y datos) y la tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*), que contiene la identificación del usuario en la red.

### **Red de acceso (E-UTRAN)**

En LTE la red de acceso es conocida como E-UTRAN, que no es otra cosa que el eNodeB, en pocas palabras la red de acceso está conformada únicamente por el Nodo B, el cual es una estación de radio base que está en control de todas las funciones de radio en la parte fija del sistema. Comúnmente los eNodeB se distribuyen a lo largo del área de cobertura de la red LTE, manteniéndose cerca de las antenas de radio.

El EUTRAM tiene la función de conexión con la red troncal, gestión de recursos de radio, seguridad de encriptación y manejo de los recursos de radio, asignación de portadoras a terminales. Se encarga de controlar el uso de la interfaz de radio, lo que incluye por ejemplo la asignación de recursos en función de las solicitudes, priorización y programación de tráfico de acuerdo a la calidad requerida de

servicio, y el monitoreo constante del recurso en uso. Tiene un papel importante en la gestión de la movilidad, mediante el análisis de las mediciones de nivel de señal del UE se toma decisiones y se hace el traspaso de UE entre celdas.

### **Red troncal (EPC)**

El núcleo de red o red troncal, es la parte del sistema encargado de realizar el control de acceso a la red celular, autenticación de usuarios, gestión de movilidad de usuarios, mecanismos de interconexión con otras redes, así como también control de servicios de usuario final. [6]

### **2. Ventajas**

- Mejor velocidad de transmisión y acceso sin saturar la red
  - Disminuye la congestión de las redes. Por lo que más usuarios pueden estar conectados al mismo tiempo en una zona.
  - El caudal de velocidad llega hasta los 100Mbps (descarga) y 50Mbps (subida), e incluso llegar a 1Gbps para usuarios que precisen de poca movilidad.
  - Compatibilidad con otras tecnologías móviles ya existentes, asegurando la interconexión entre las mismas y extendiendo la actual cobertura debido a que es posible migrar a LTE a partir de tecnologías ya existentes.
  - Arquitectura de red basada totalmente en el protocolo IP, por ende todos sus servicios utilizan conmutación de paquetes, permitiendo que el costo de los servicios que ofrecen los operadores móviles sea notablemente reducido.
  - Permite que los usuarios de los Smartphone compatibles con LTE naveguen en internet a velocidades superiores a las actuales, realicen video conferencias y video llamadas con alta calidad en imagen y sonido.
- [15]

## **2.2.2 Planificación y Optimización de acceso de radio**

Al momento de desplegarse una red de telefonía móvil hay dos factores que son fundamentales, los cuales son la planificación y la optimización. En todo proyecto en donde se requiera acceso de radio éstos dos puntos son vitales para el buen desempeño futuro y el cumplimiento de los objetivos de lo que se espera implementar. Es por esto que se detallará puntualmente lo más resaltante de estos dos conceptos.

### **2.2.2.1 Definición**

La planificación de una red móvil es el primer paso antes que ésta pueda ser desplegada. En esta etapa se definen los componentes a utilizar, la forma en que se instalarán, y cuáles serán los niveles de los parámetros de radio. Esto es decidido teniendo en cuenta factores técnicos para el correcto funcionamiento de la red, factores geográficos y climáticos puesto que cada red tendrá un contexto distinto, y la limitante económica ya que el costo siempre es un factor a tomar en cuenta cuando se planifica.

Por otro lado, la optimización significa el modificar algo que ya esté desplegado o realizar cambios sobre un proceso que se esté llevando a cabo con el fin de mejorar el desempeño o ampliar sus prestaciones. Es muy común en la redes de telecomunicaciones la optimización periódica debido al continuo avance de las tecnologías y lo cambiante de las demandas del mercado que impulsan la constante mejora de equipos e incremento de capacidades. [7]

### **2.2.2.2 Consideraciones para la planificación y Optimización**

Al momento de realizar la planificación, específicamente para redes de telefonía celular en la etapa de acceso de radio, se debe de tomar en cuenta ciertas consideraciones para realizar una buena planificación. Entre estas consideraciones se encuentran, en primer lugar, un pronóstico de la cobertura celular, lo más ajustado a la realidad posible, para lograr un correcto

dimensionamiento de red y que contemple un crecimiento futuro. Luego está el realizar visitas técnicas ó *Technical Site Surveys* (TSS) para conocer con exactitud el estado del sitio donde se va a trabajar e identificar los problemas más relevantes a superar. Como el factor económico es importante, se debe de procurar diseñar una topología de solución que satisfaga las demandas y que tenga el menor costo. Por último, es importante el uso de un software potente que ayude a simular los diseños que se propongan y que permita hacer cálculos importantes como es el caso del *Link Budget*, que es el balance de todas las pérdidas y ganancias de potencia desde los transmisores hasta los receptores. [7]

Por otro lado tenemos la optimización que, como ya se dijo anteriormente, se lleva a cabo una vez que se tiene ya una red desplegada. Este proceso se ejecuta tan pronto como la implementación entra a estar operativa. Como en el ámbito de la tecnología el tiempo de obsolescencia de las prestaciones es corto, la optimización debe ser un proceso iterativo en el cual se debe constantemente mejorar en cuatro aspectos bien marcados. Primero se debe buscar periódicamente el aumentar la capacidad de la red, constantemente reducir el costo de operabilidad de red ya sea sustituyendo equipos que no tengan un costo alto de operabilidad, implementando valores agregados sobre la arquitectura ya desplegada, incrementar la cobertura y mejorar constantemente la calidad y el rendimiento de la red para mantener contentos a los clientes de la red y no perder terreno frente a la competencia. [8]

### **2.2.2.3 Principales indicadores de rendimiento para la señal de radio**

Para la planificación de soluciones de acceso de radio existe un gran número de parámetros que se utilizan para medir la calidad de la cobertura y de la comunicación cuando una llamada está desarrollándose. Estos parámetros son distintos si es que se quiere analizar una red GSM, UMTS ó una red LTE, e intentar definir la totalidad de éstos sería muy extenso, por lo tanto, se mencionará aquellos que serán de importancia en el presente trabajo.

### **2.2.2.3.1 Indicadores para 3G**

#### **1. RSCP**

Es una medida de la intensidad de señal y sirve de indicador principal de cobertura. Un valor aceptable de esta medida es de mayor o igual -75dBm.

#### **2. Ec/No**

Es la energía del chip sobre el total de la densidad espectral de potencia. Esto permite cuantificar el nivel de interferencia en el medio. Un valor aceptable de esta medida es de mayor o igual -6dB.

### **2.2.2.3.2 Indicadores para 4G**

#### **1. RSRP**

Es una medida de la intensidad de señal y sirve de indicador principal de cobertura. Un valor aceptable de esta medida es de mayor o igual -100dBm.

#### **2. SNIR**

Es la relación de potencia entre la señal de referencia y la interferencia de los vecinos más el ruido. Un valor aceptable de esta medida es de mayor o igual -20dB. [9]

## **2.2.3 Soluciones de Optimización Indoor**

### **2.2.3.1 Repetidores**

Su concepto es usar una antena donadora que capta la señal del *outdoor* y la repite en el área *indoor*. Su desventaja es que repite todo lo que capta: múltiples portadoras, ruido, frecuencias espurias, baja señal, etc. Es más usada en trenes y transporte rápido por su gran movilidad. Usado también en situaciones en donde no se tenga gran presupuesto o se requiera una rápida implementación a bajo costo. [10]

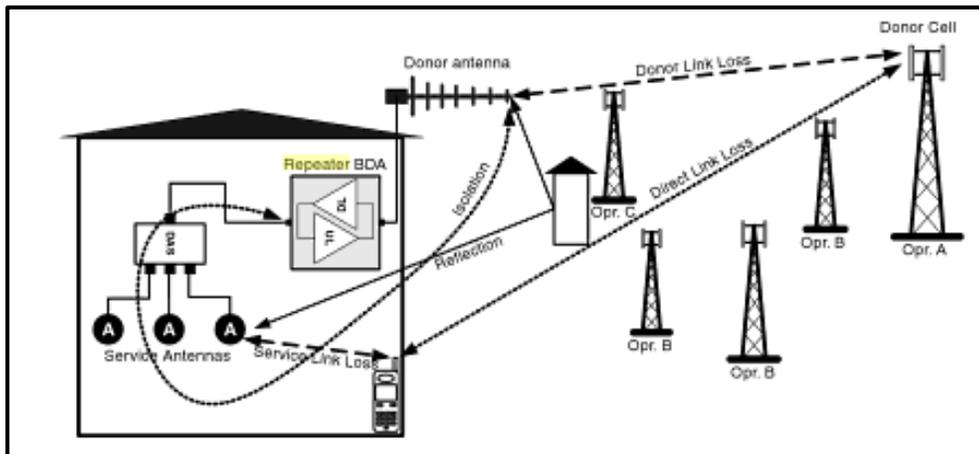


FIGURA 2-3 SOLUCIÓN INDOOR CON REPETIDORES

Fuente: Tolstrup Morten, "Indoor Radio Planning: A Practical Guide for Gsm, Dcs, Umts and Hspa" Jhon Wiley & Son, Noviembre de 2008

### 2.2.3.2 Femtoceldas

Las femtoceldas también parten de una idea muy simple, si las celdas no pueden dar cobertura en un recinto, entonces se lleva una celda pequeña que resuelva el problema. Precisamente eso es lo que es una femtocelda en términos prácticos, es una celda de dimensiones muy pequeñas. Este concepto de celda en casa no sólo fue pensado para mejorar cobertura sino también para aliviar el tráfico de las celdas. La femtocelda usa la red de Internet casera para conectarse a un Gateway específico que conectará el intento de llamada a la red móvil del operador suscrito. Lo novedoso de esta solución es que si no se intenta realizar una llamada de voz sino que se desea cursar datos por Internet, no se utilizará la red móvil sino que se enviarán los datos sobre la red de Internet que uno posea en casa, por lo tanto está sujeto a disminuciones dependiendo de los obstáculos propios de una vivienda. Como se ve es una solución de poca capacidad y cobertura pero su mayor atractivo es su facilidad de instalación ya que bastaría con conectar la femtocelda a la conexión de Internet y con una configuración sencilla se tendría ya la femtocelda operativa, esto hace posible que cualquier persona pudiera conectar uno de estos equipos. [11]

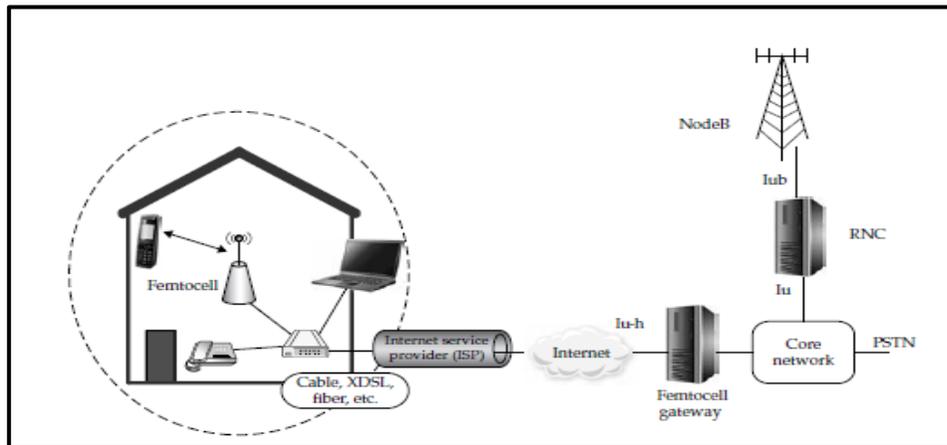


FIGURA 2-4 SOLUCIÓN INDOOR CON FEMTOCELDAS

Fuente: Bocuzzi Joseph & Ruggiero Michael, "Femtocells: Design & Applications"  
The MacGraw-Hill Companies, 2001

### 2.2.3.3 Sistema Distribuido de Antenas (DAS)

Los sistemas distribuidos de antenas (DAS) mejoran la cobertura y el entorno móvil en sistemas urbanos que muchas de las veces son difíciles de adaptar ya sea porque tenemos limitaciones en el terreno o zonas (edificios, túneles, centros comerciales, etc.) para transmitir señales. DAS viene a mejorar las coberturas de señal para móviles en voz y datos. [10]

#### 2.2.3.3.1 Elementos del DAS

- **Cable coaxial:** Medio de guía para la señal.
- **Splitter:** Divide la potencia en la relación que se desee de forma equitativa. Si no se usa una terminación o puerto se debe poner una carga para evitar pérdidas de señal de retorno. Existen splitters de 2, 3 y 4 vías.
- **Coupler:** Divide la potencia pero no de forma equitativa. La potencia central es mantenida en gran porcentaje en una salida pero en la otra es reducida dependiendo del coupler escogido (6dB, 8dB, 10dB, 15dB, 20dB, etc.)
- **Carga:** Sirve para cerrar puertos no usados y evitar insertar pérdidas.

- **Filtros:** Son los diplexer (separan 2 bandas de frecuencia), triplexer (separan 3 bandas de frecuencias), duplexer (separan una señal combinada de Tx/Rx en Tx y Rx).
- **Antenas Panel:** Es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio las antenas tipo Panel son muy direccionales ya que la mayoría de su potencia radiada es una sola dirección.
- **Antenas Omnidireccionales:** Es una antena que irradia ondas de radio de potencia de manera uniforme en todas las direcciones en un plano. [10]

#### 2.2.3.3.2 Equipos Centrales del DAS

- **BBU (*Base Band Unit*):** Equipo responsable de la comunicación a través de la capa física. Recibe y envía la señal en banda base, es decir, las señales no son moduladas y son transmitidas a su frecuencia original. La BBU está compuesta de un procesador de señal digital que permite procesar las señales transmitidas hacia el móvil y desde el móvil. Junto a la RRU forman una estación base INDOOR.
- **RRU (*Remote Radio Unit*):** Es la estación de radio que convierte las señales de la BBU a señales de radio DL y las señales de radio UL a señales para la BBU. Es decir convierte la señal de banda base de la BBU a la banda a la que trabaja el operador. Está compuesta por amplificadores y se conecta a la BBU mediante fibra óptica. [10]

#### 2.2.3.3.3 Ventajas de implementación DAS

- Asegura la cobertura en interiores como: edificios, centros comerciales, aeropuertos, hoteles, etc.
- Mejora la calidad de señal en interiores
- Permite la sectorización para evitar la interferencia

- Permite ofrecer altas velocidades ya que su área de cobertura es menor.
- Descongestiona las redes outdoor ya que al aplicarse a lugares con alta concurrencia permite liberar recursos de la red outdoor para ofrecerlas a otros clientes. [10]

#### **2.2.3.3.4 Indicadores aplicables para el sistema RF Indoor (DAS)**

Para verificar la calidad de la instalación del sistema radiante, se necesita de dos parámetros clave que deben estar dentro de los rangos límite establecidos por el cliente (Telefónica, Claro o Entel): el VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) o ROE (en español, Relación de Onda Estacionaria) y el DTF (Distance To Fault). Cabe resaltar que estas medidas se aplican sólo a los sistemas que usan cable coaxial como medio de transmisión.

Estas mediciones no se aplican en los sistemas que usan Fibra Óptica, ya que en la práctica, como sabemos, la F.O. se considera como un medio perfecto, sin pérdidas ni atenuación. Se dará una breve descripción de los conceptos de cada uno de ellos para entender su importancia dentro de telefonía móvil. [13]

#### **1. ROE**

Una línea de transmisión ordinaria es bidireccional; la potencia puede propagarse, igualmente bien, en ambas direcciones.

La relación de onda estacionaria (ROE) se define como la relación del voltaje máximo con el voltaje mínimo de una onda estacionaria en una línea de transmisión, por lo tanto, no tiene unidades. Esencialmente, el ROE es una medida del desacoplamiento de todas las cargas en el sistema radiante (feeders, jumpers, conectores, antenas, y otros dispositivos que formen parte del sistema radiante).

La variación del ROE depende mucho de la variación de las ondas existentes en una línea de transmisión, pero principalmente, de la onda reflejada. En términos prácticos, un feeder golpeado, un conector mal hecho, un mal ajuste en el

empalme de dos conectores o un puerto de antena oxidado hacen que la impedancia de la línea de transmisión varíe en toda su longitud y a su vez hará que la onda reflejada incremente, por lo que, en consecuencia, el valor de VSWR o ROE se elevará.

El valor límite de ROE aceptable por el operador de telefonía móvil Entel es de 1.5. [13]

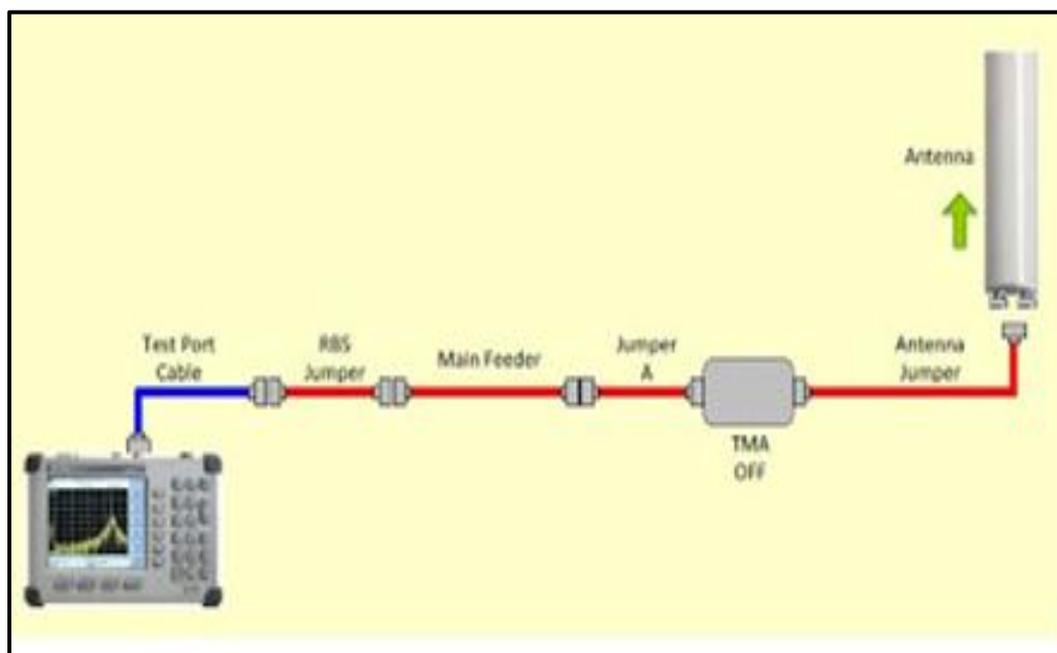


Figura 2-5 Medición ROE o VSWR

Fuente: <http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.pe/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-dtf.html>

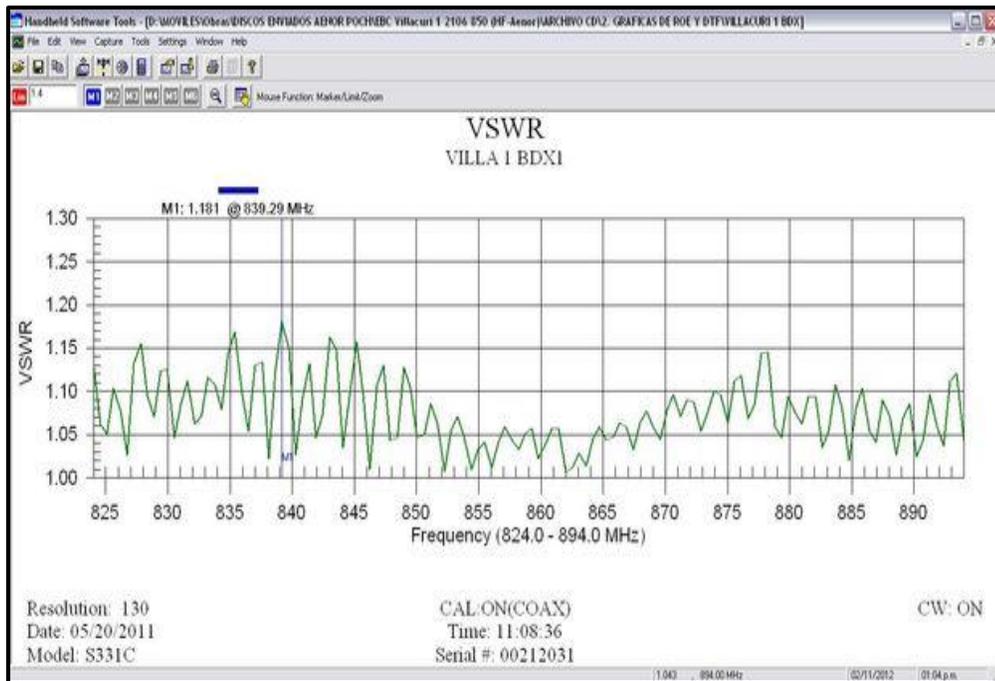


Figura 2-6 Grafica de medición VSWR

Fuente: <http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.pe/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-dtf.html>

## SWR

La relación de onda estacionaria (ROE) es una expresión matemática de no uniformidad de un campo electromagnético (campo EM) en una línea de transmisión tal como cable coaxial. Por lo general, en los cables se define como la relación de la tensión máxima de radiofrecuencia (RF) a la tensión mínima de RF a lo largo de la línea. Esto también se conoce como la relación de onda estacionaria de tensión (VSWR). El SWR también se puede definir como la relación de la corriente máxima de RF a la corriente de RF mínimo en la línea (relación de onda estacionaria actual o ISWR). Para los propósitos más prácticos, ISWR es el mismo que VSWR. [12]

## VSWR

La relación del máximo voltaje y mínimo voltaje sobre una línea de transmisión es llamado voltaje standing wave ratio VSWR, por tanto:

$$VSWR = \frac{E_{max}}{E_{min}}$$

Las ecuaciones anteriores son absolutas y se toman los dos valores sin tener en cuenta la polaridad. Dependiendo de la naturaleza de las ondas estacionarias, el valor numérico de VSWR oscila desde un valor de 1 a un valor infinito para la reflexión teóricamente completa. Ya que siempre hay una pequeña pérdida en una línea, la tensión mínima no es cero y el VSWR es siempre un valor finito. [12]

## PSWR

El cuadrado del voltaje standing wave ratio VSWR es llamado Power standing wave ratio, por tanto:

$$PSWR = \frac{P_{max}}{P_{min}}$$

Esta relación es útil porque los instrumentos utilizados para detectar ondas estacionarias reaccionan al cuadrado de la tensión. Como la potencia es proporcional al cuadrado de la tensión, la relación de los voltajes máximo y mínimo se denomina relación de potencia de onda estacionaria PSWR. En cierto sentido, el nombre es engañoso porque la potencia a lo largo de una línea de transmisión no es constante. [12]

## ISWR

La relación entre la máxima y mínima corriente a lo largo de una línea de transmisión es llamada relación de corriente de onda estacionaria ISWR, por tanto:

$$i_{SWR} = \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

Esta relación es la misma que para los voltajes. se puede usar donde las mediciones se hacen con bucles como por ejemplo El campo magnético a lo largo de una línea de transmisión. Da los mismos resultados que las mediciones de VSWR. [12]

## 2. DTF

El DTF (Distance To Fault) es otro de los parámetros de calidad de instalación del sistema radiante. Su propósito es verificar que no haya malas conexiones u otras fallas (conectores mal hechos, cables golpeados, conectores oxidados, antenas en mal estado, etc) en el sistema radiante. Además calcula la longitud del feeder para ser usado en el cálculo de atenuación del feeder. Básicamente es una gráfica de VSWR o ROE vs distancia, es decir, indica la distribución del VSWR por toda la longitud de la línea de transmisión, incluso hasta llegar a la antena.

Este es un parámetro clave en la determinación de fallas, ya que nos permite la detección de errores para su posterior corrección. [13]

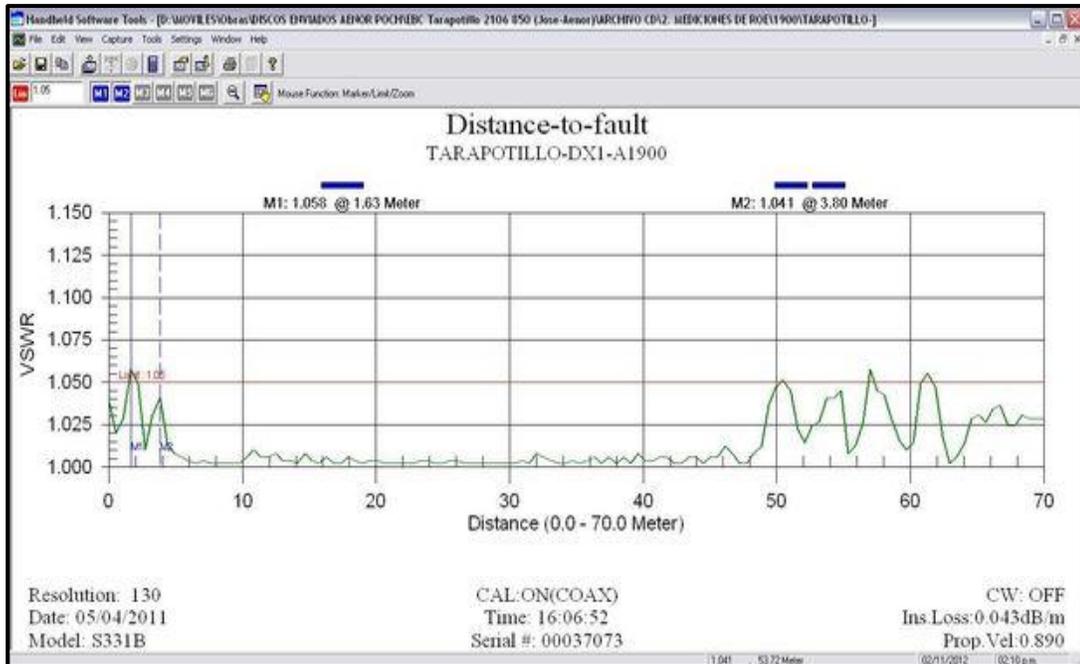


Figura 2-7 Grafica de medición DTF

Fuente: <http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.pe/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-dtf.html>

### 2.2.3.3.5 Equipo de medición “SITE MASTER”

Para la medición del VSWR y DTF se usa un equipamiento especial llamado Site Master. La marca más popular y comercial es Anritsu. Esta proporciona diversos modelos con funciones específicas de acuerdo a su uso y aplicación, desde las más simples hasta las más sofisticadas. Las más comerciales usadas en Perú actualmente son las series S331B, S331D, S332C y S332D.



Figura 2-8 Equipo de medición Site Master

Fuente: <http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.pe/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-df.html>

El Site Master proporciona una interfaz amigable para el usuario, con botones bien marcados, identificando cada uno la función que desempeña.

Cabe resaltar que este equipo permite una comunicación serial con la PC, en el cual se pueden descargar las mediciones grabadas y tener una mejor administración y observación de nuestras medidas tomadas. [13]

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1 Definición de términos concerniente a la elaboración del Proyecto.

- **ANTENA:** Es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio.
- **BBU:** Unidad de Banda Base, recibe y envía la señal en banda base, es decir, las señales no son moduladas y son transmitidas a su frecuencia original. La BBU está compuesta de un procesador de señal digital que permite procesar las señales transmitidas hacia el móvil y desde el móvil. Junto a la RRU forman una estación base *indoor*.
- **COUPLER:** Divide la potencia pero no de forma equitativa. La potencia central es mantenida en gran porcentaje en una salida pero en la otra es reducida dependiendo del coupler escogido (6dB, 8dB, 10dB, 15dB, 20dB, etc.).
- **DAS:** Sistema distribución de antenas, se implementa para mejorar la cobertura y el entorno móvil en sistemas urbanos que muchas de las veces son difíciles de adaptar ya sea porque tenemos limitaciones en el terreno o zonas (edificios, túneles, centros comerciales, etc.) para transmitir señales. DAS viene a mejorar las coberturas de señal para móviles en voz y datos.
- **DTF (Distance To Fault):** Es otro de los parámetros de calidad de instalación del sistema radiante. Su propósito es verificar que no haya malas conexiones u otras fallas (conectores mal hechos, cables golpeados, conectores oxidados, antenas en mal estado, etc) en el sistema radiante.
- **LTE:** Tecnología 4G que significa: “Evolución a Largo Plazo”, está basada totalmente en IP (Protocolo de internet). Utiliza el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal OFDMA que es una técnica múltiple de multi-portadoras que permiten a la estación base comunicarse en varios terminales a la vez.
- **OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal):** Se utiliza para conseguir que un conjunto de usuarios de un sistema de telecomunicaciones puedan compartir el espectro de un cierto canal. El

acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras (subcarriers) que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios.

- **RRU:** Unidad de Radio Remoto, es la estación de radio que convierte las señales de la BBU a señales de radio DL y las señales de radio UL a señales para la BBU. Es decir convierte la señal de banda base de la BBU a la banda a la que trabaja el operador. Está compuesta por amplificadores y se conecta a la BBU mediante fibra óptica.
- **SPLITTER:** Divide la potencia en la relación que se desee de forma equitativa. Si no se usa una terminación o puerto se debe poner una carga para evitar pérdidas de señal de retorno.
- **UMTS:** Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles. Tecnología utilizada por los móviles de tercera generación 3G, también llamado W-CDMA, sucesora de GSM.
- **VSWR:** O también llamado ROE que significa relación de ondas estacionarias, se define como la relación del voltaje máximo con el voltaje mínimo de una onda estacionaria en una línea de transmisión.
- **WCDMA:** Acceso múltiple por división de código de banda ancha, es una tecnología móvil inalámbrica de tercera generación que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA en lugar de TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo) y por ello ofrece velocidades de datos mucho más altas en dispositivos inalámbricos móviles y portátiles.

## **CAPITULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED RF INDOOR**

#### **3.1 Análisis e interpretación de las pruebas iniciales de Cobertura Móvil**

Antes de comenzar a detallar las etapas de la implementación se dará una breve descripción de las pruebas iniciales para saber el estado de la cobertura en el Centro Comercial Parque Agustino, y en el ITEM 3.2 se mencionara las predicciones para la cobertura en 3G y 4G realizadas por Huawei.

Para realizar estas pruebas se utilizó el Nemo Handy, que es un software de toma de medidas que se puede instalar en un equipo móvil compatible con Android. Este software soporta las tecnologías GSM, CDMA, WCDMA, HSPA y LTE; permite tomar medidas de rendimiento y visualizarlos en tiempo real, para verificar la funcionalidad y calidad de la red celular.

A continuación se analizan los principales indicadores de rendimiento de 3G para una red desplegada en la banda 1900 MHz.

## Indicador RSCP

- Sótano

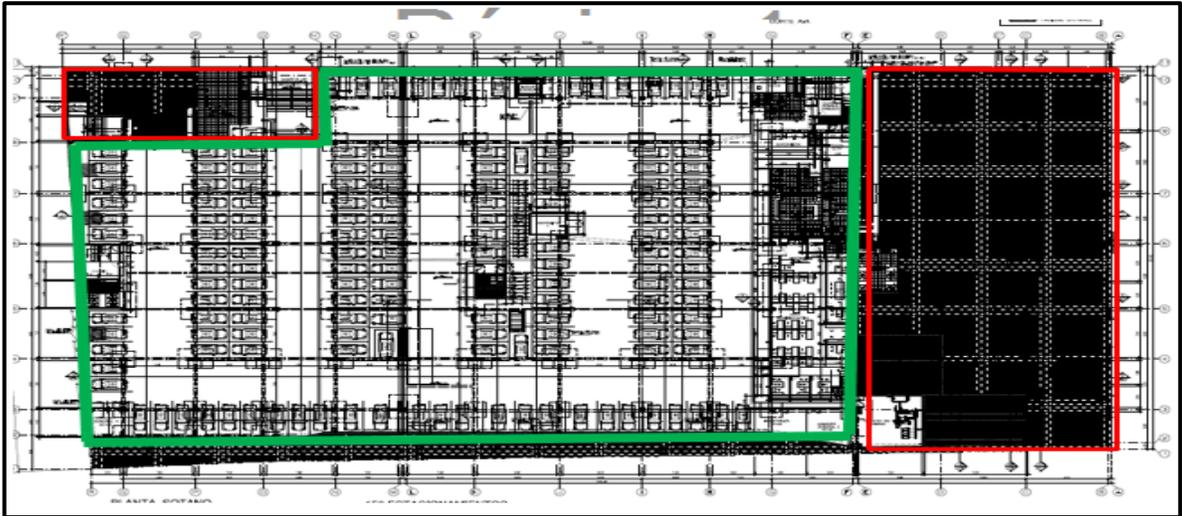


Figura 3-1 Grafica del área de Cobertura inicial en el Sótano

Fuente: Huawei

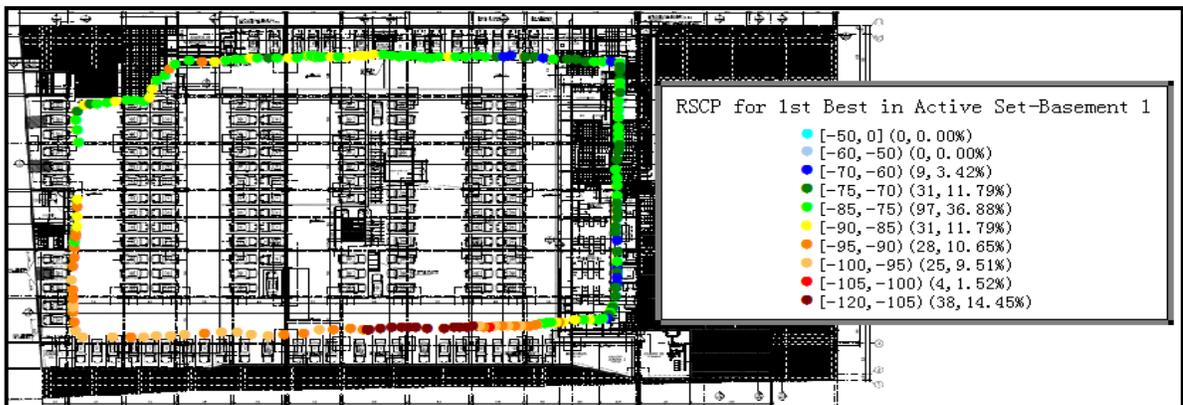


Figura 3-2 Grafica del Indicador RSCP inicial en el Sótano

Fuente: Huawei

### INTERPRETACION:

Según lo mencionado en el capítulo II el parámetro RSCP es una medida de la intensidad de señal y sirve de indicador principal de cobertura. Un valor aceptable de esta medida es de mayor o igual -75dBm.

Con esto se concluye que las medidas realizadas para saber la cobertura en el sótano no son favorables ya que un 84.79% tienen valores menores a -75dBm. Por lo tanto surge un alto riesgo de caída de la llamada y mala calidad de señal.

- **Piso\_1**

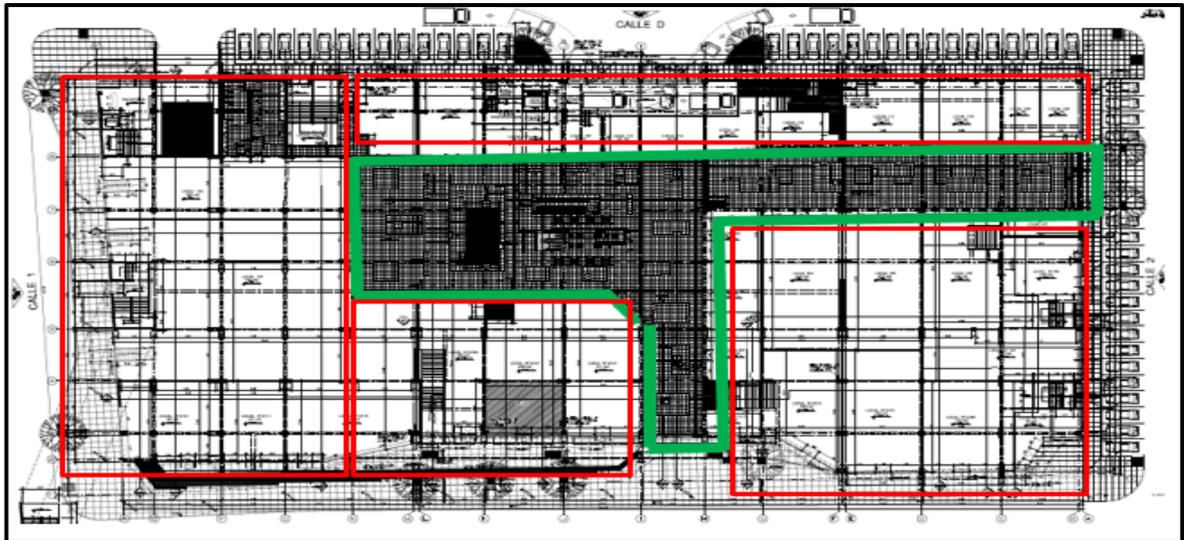


Figura 3-3 Grafica del área de Cobertura inicial en el Piso\_1

Fuente: Huawei

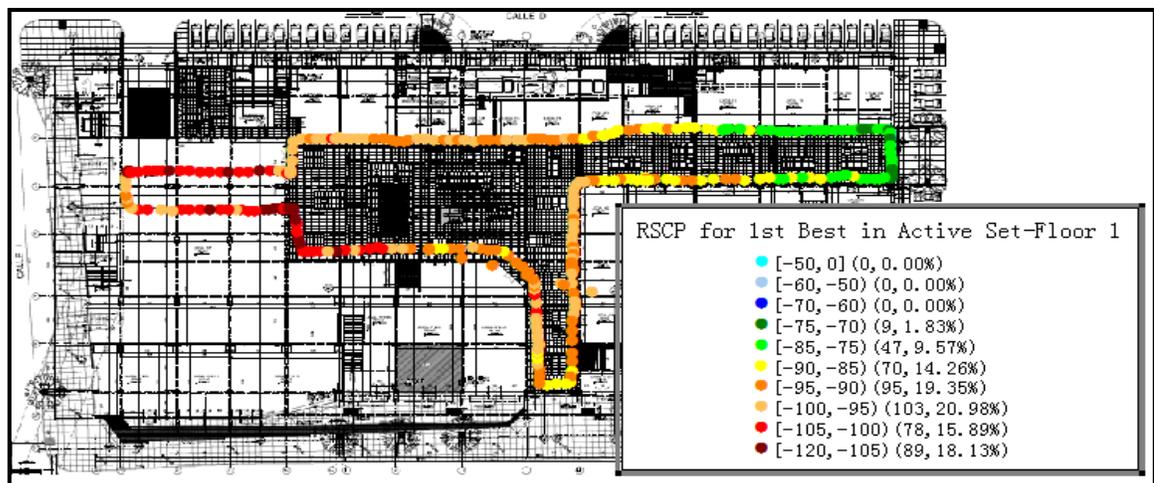


Figura 3-4 Grafica del Indicador RSCP inicial en el Piso\_1

Fuente: Huawei

## INTERPRETACION:

Se observa que el 98.17% de las medidas tomadas tienen niveles menores a -75dBm, los valores obtenidos están muy por debajo de lo mínimo aceptable para que el móvil reciba la información de parámetros de la estación base y pueda realizar o recibir una llamada; surge un alto riesgo de caída de la llamada y mala calidad de señal.

- **Piso\_2**

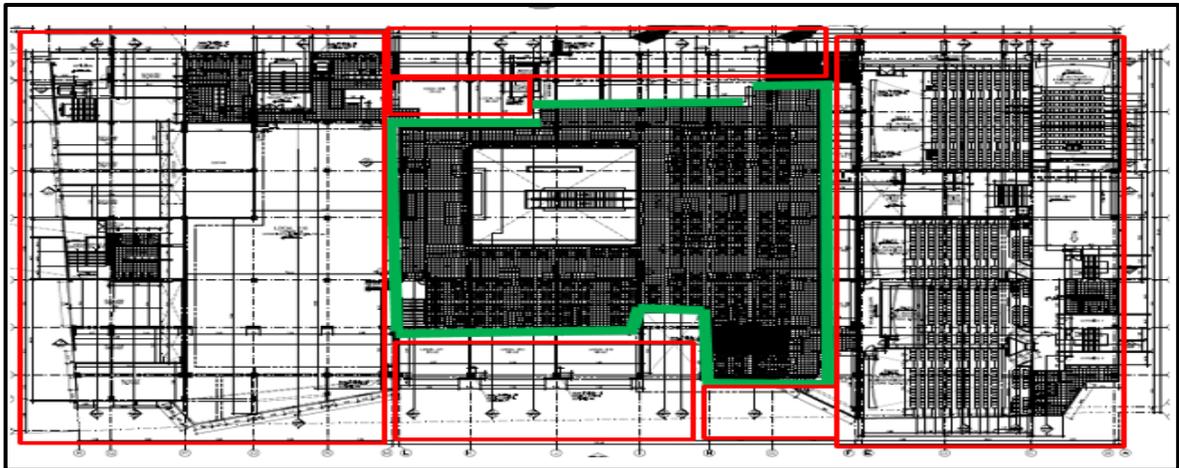


Figura 3-5 Grafica del área de Cobertura inicial en el Piso\_2

Fuente: Huawei

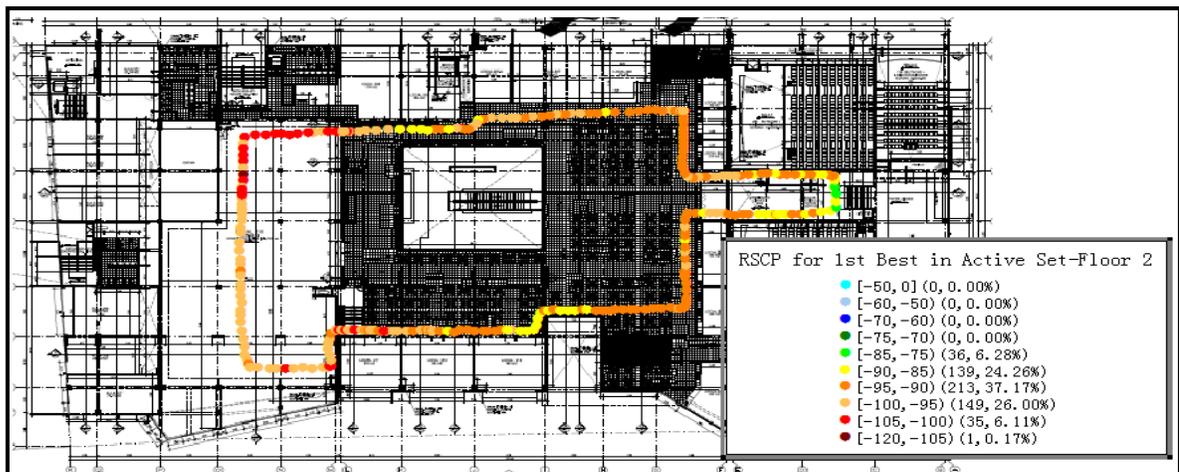


Figura 3-6 Grafica del Indicador RSCP inicial en el Piso\_2

Fuente: Huawei

## INTERPRETACION:

Se observa que el 100% de las medidas tomadas tienen niveles menores a -75dBm, los valores obtenidos están muy por debajo de lo mínimo aceptable para que el móvil reciba la información de parámetros de la estación base y pueda realizar o recibir una llamada; con esto se concluye que no se podrá realizar llamadas en el Piso\_2.

## Indicador Ec/Io

- Sótano

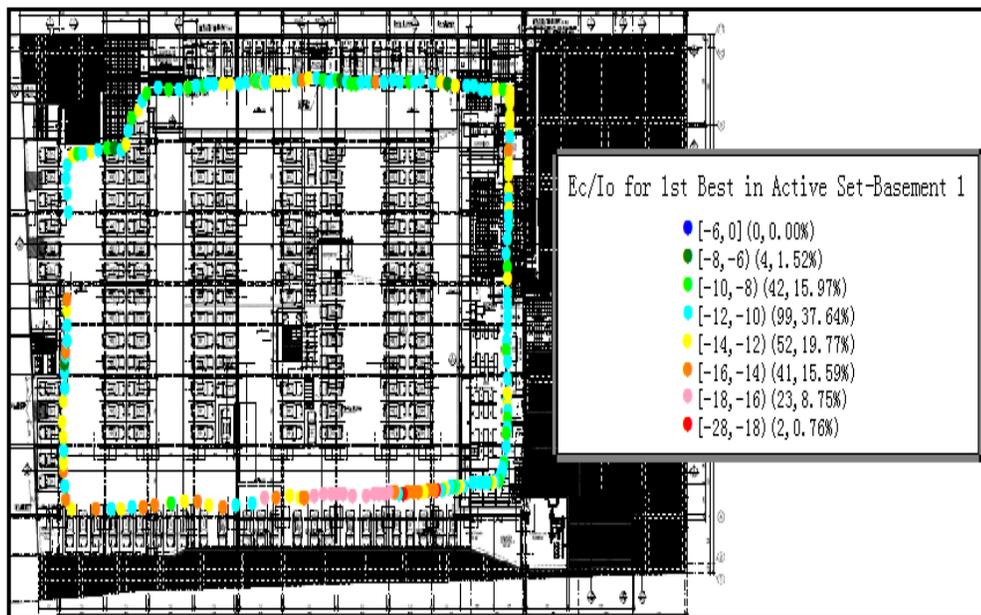


Figura 3-7 Grafica del indicador Ec/Io inicial en el Sotano

Fuente: Huawei

## INTERPRETACION:

Según lo mencionado en el capítulo II el parámetro Ec/Io permite cuantificar el nivel de interferencia en el medio. Un valor aceptable de esta medida es de mayor o igual -6dB.

Se observa que el 98.48% de las medidas tomadas tienen niveles menores a -6dB, los valores obtenidos están muy por debajo de lo mínimo aceptable; esto

afecta la calidad de la señal teniendo como consecuencia mayor posibilidad de caída de la llamada.

- **Piso\_1**

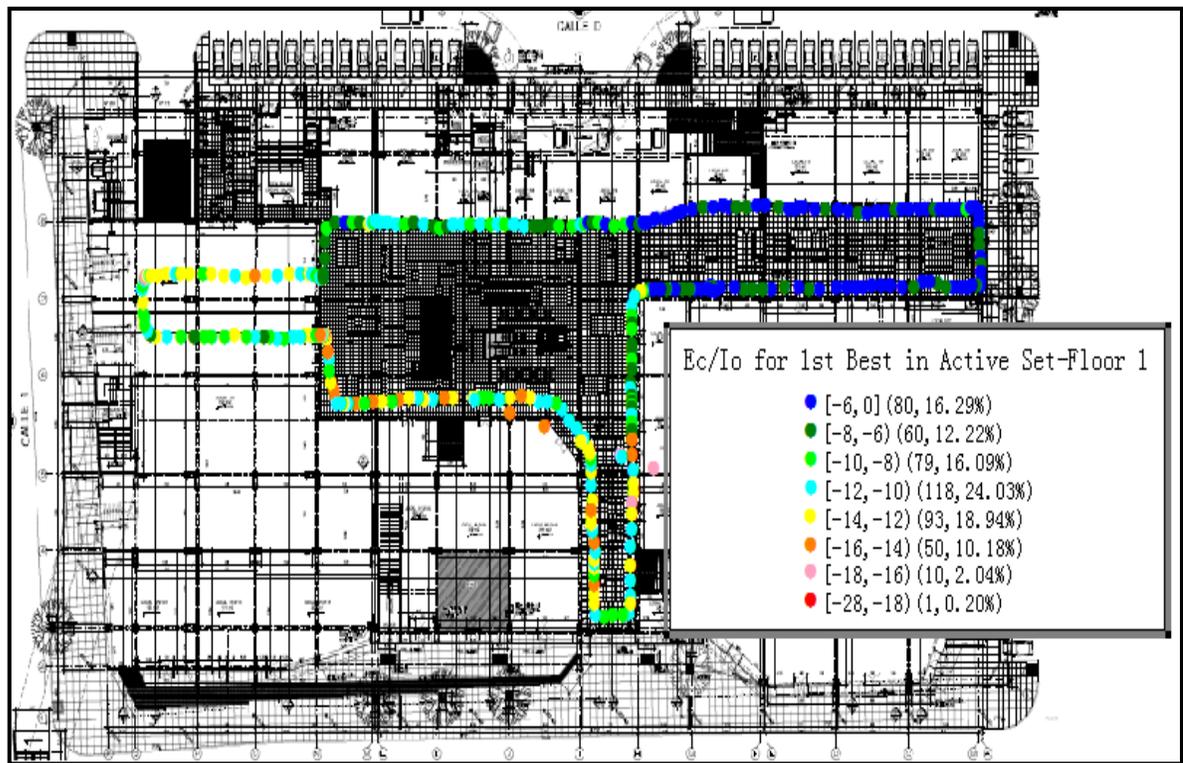


Figura 3-8 Grafica del indicador Ec/Io inicial en el Piso\_1

Fuente: Huawei

**INTERPRETACION:**

Se observa que el 71.49% de las medidas tomadas tienen niveles menores a -6dB, los valores obtenidos están muy por debajo de lo mínimo aceptable; esto afecta la calidad de la señal teniendo como consecuencia mayor posibilidad de caída de la llamada.

- Piso\_2

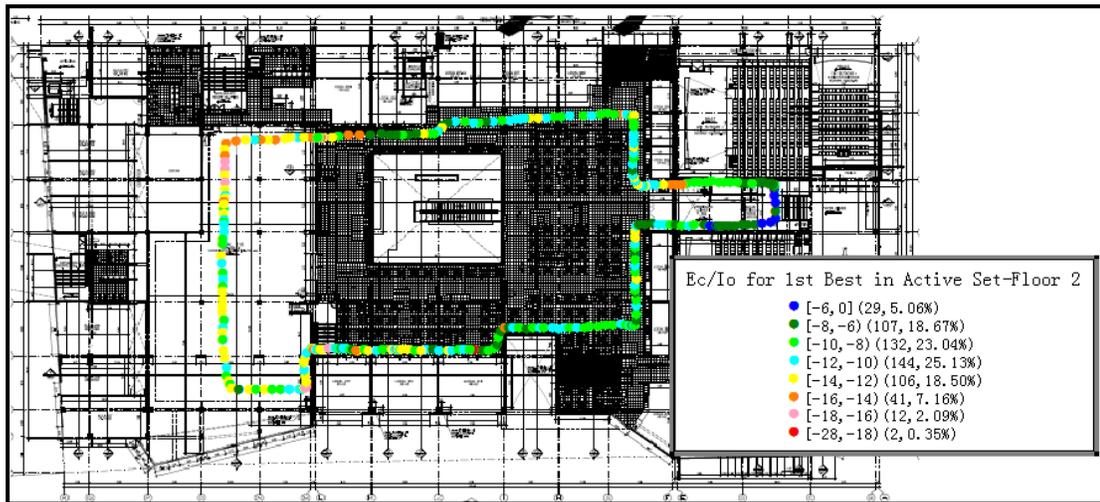


Figura 3-9 Grafica del indicador Ec/Io inicial en el Piso\_2

Fuente: Huawei

### INTERPRETACION:

Se observa que el 76.27% de las medidas tomadas tienen niveles menores a -6dB, los valores obtenidos están muy por debajo de lo mínimo aceptable; esto afecta la calidad de la señal teniendo como consecuencia mayor posibilidad de caída de la llamada.

### 3.2 Predicción de cobertura

Para realizar el diseño se utiliza un programa profesional para este tipo de trabajo llamado iBwave Design en su versión 5.2.7. Este programa es muy versátil y permite realizar predicciones de cobertura muy precisas puesto que permite modelar el edificio en el que se pretende dar cobertura.

Huawei realizó la parte del diseño del sistema de distribución de antenas para el Centro Comercial Parque Agustino dando como resultado las siguientes predicciones antes de la implementación.

### 3.2.1 Predicción de cobertura 3G

#### Indicador RSCP

- Sótano

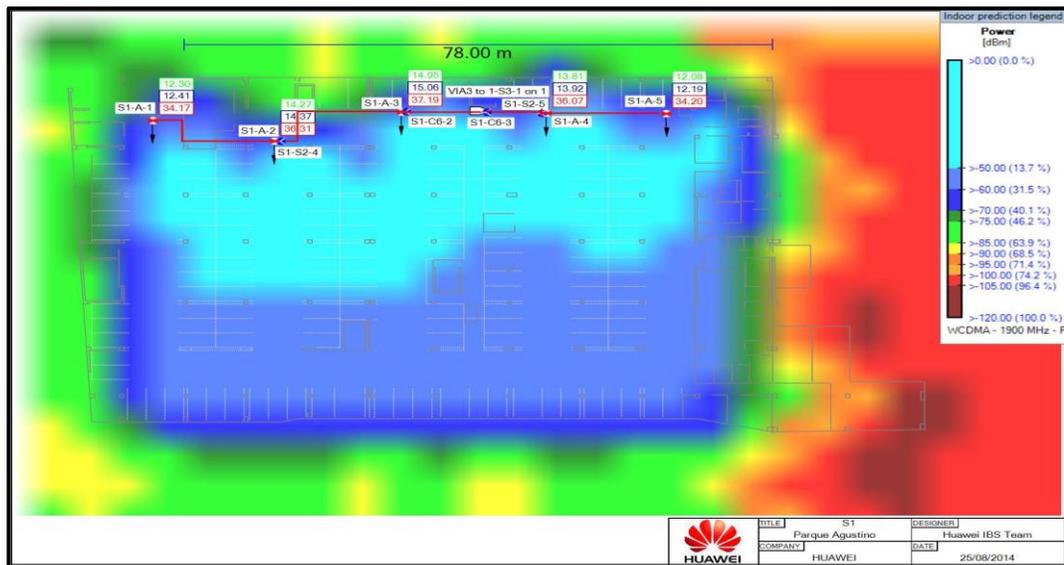


Figura 3-10 Predicción de cobertura 3G\_Indicador RSCP – Sótano

Fuente: Huawei

- Piso\_1

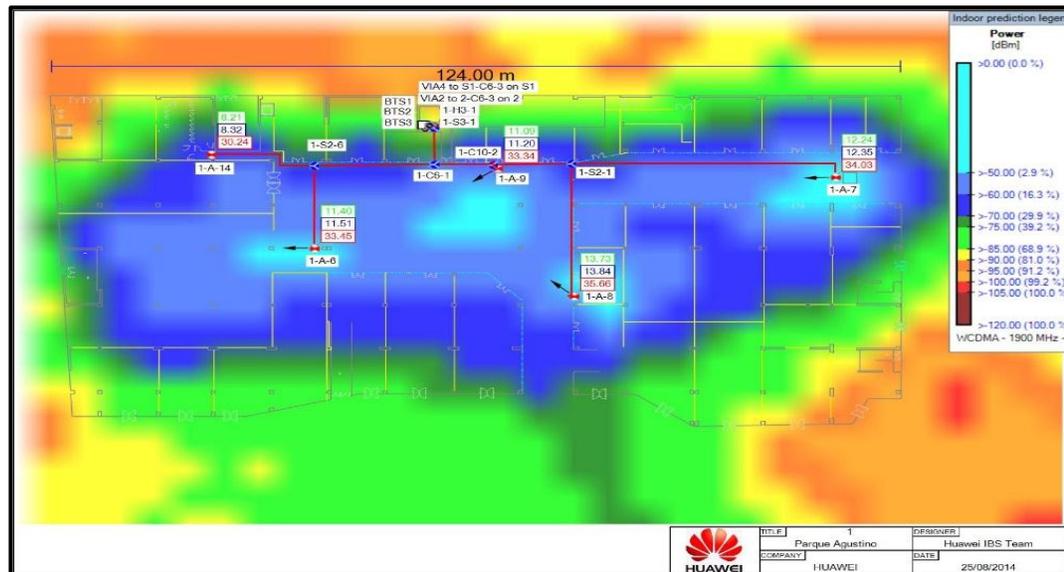


Figura 3-11 Predicción de cobertura 3G\_Indicador RSCP – Piso\_1

Fuente: Huawei

- Piso\_2

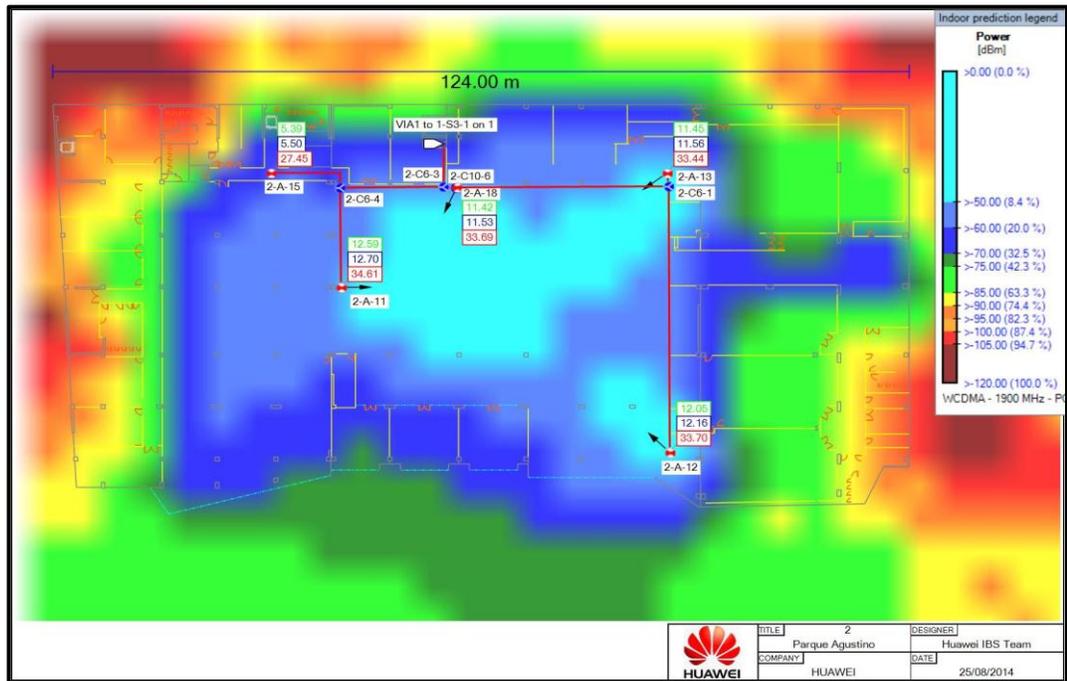


Figura 3-12 Predicción de cobertura 3G\_Indicador RSCP– Piso\_2

Fuente: Huawei

**INTERPRETACION:**

Se puede observar que en la figura 3-10, 3-11 y 3-12 correspondiente a las mediciones tomadas en el Sótano, Piso\_1 y Piso\_2 los valores del indicador de rendimiento RSCP obtienen niveles mayores a -75dBm en la mayoría del área cubierta por el proyecto. Por lo tanto se lograría mejorar considerablemente la cobertura 3G dentro del Centro comercial.

### 3.2.2 Predicción de cobertura 4G

#### Indicador RSRP

- Sótano

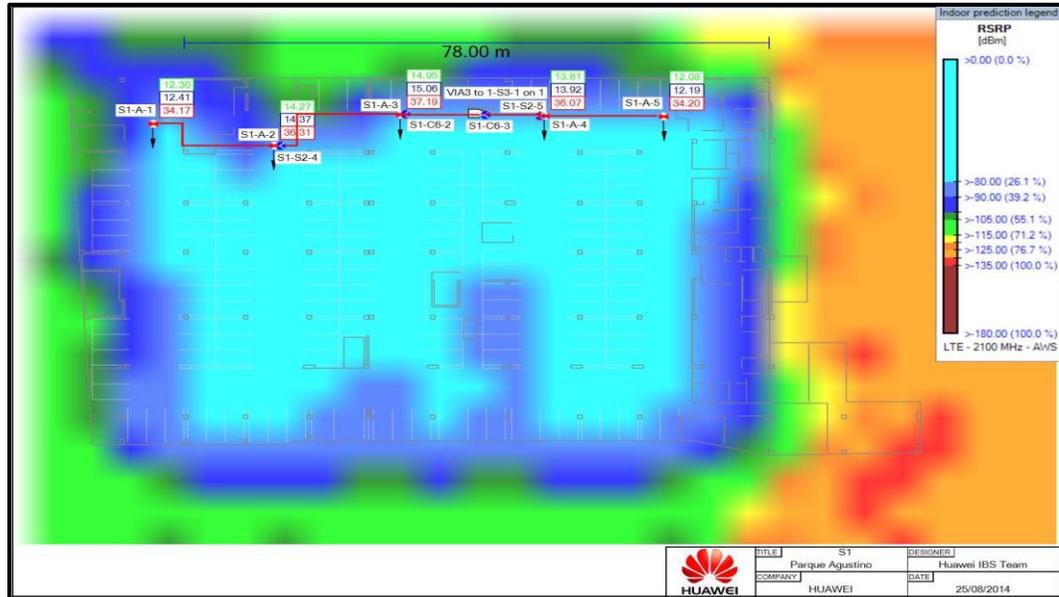


Figura 3-13 Predicción de cobertura 4G\_Indicador RSRP – Sótano

Fuente: Huawei

- Piso\_1

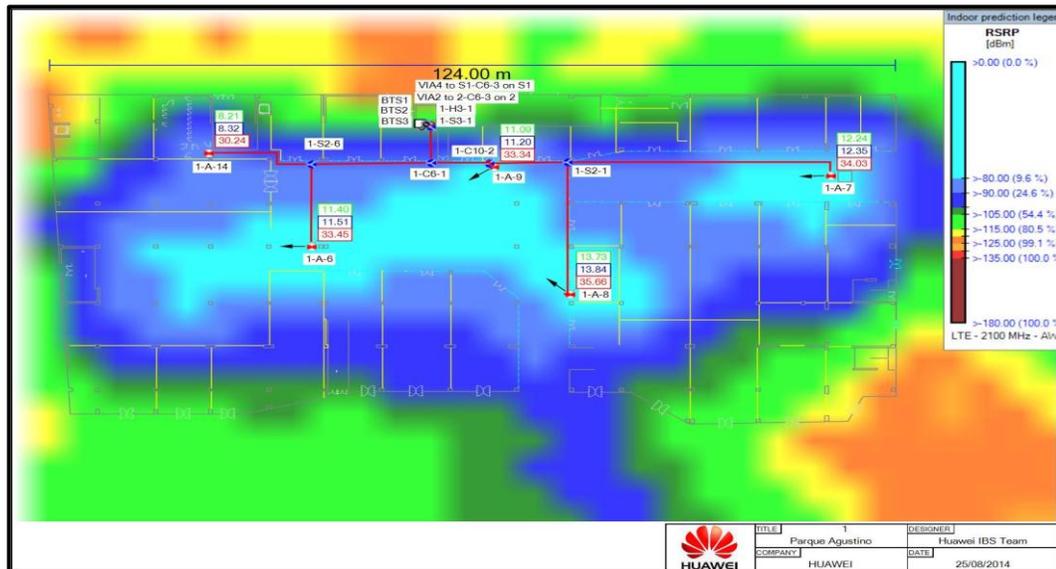


Figura 3-14 Predicción de cobertura 4G\_Indicador RSRP – Piso\_1

Fuente: Huawei



Los resultados a detalle se mostrarán en el ANEXO, en este apartado sólo se mencionara las potencias de salida de las antenas omnidireccionales y panel tanto para la tecnología 3G y 4G.

Como se puede observar en la tabla 3-1, la potencia de salida para la antena panel en 3G varía de 27 a 31 dBm y para la omnidireccional de 21 a 24 dBm. En el caso de las antenas panel en 4G varía desde 33 a 37 dBm y para la omnidireccional de 27 a 30 dBm.

Las antenas omnidireccionales tiene menor potencia de salida que las panel, esto se debe a que no pueden tener mayor radiación fuera del centro comercial para evitar interferencia con otras señales.

Teniendo esta predicción se procederá a la implementación del Sistema Distribuido de Antenas (DAS), para contrastar las mediciones realizadas antes y después de la implementación, de esta manera cumplir con el objetivo de este proyecto.

ANTENA	OPERADOR	TECNOLOGIA	POTENCIA DE SALIDA DE LA ANTENA(dBm)
1-A-6	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	27.42
		LTE - 2100 MHz - AWS	33.45
1-A-7	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	28.26
		LTE - 2100 MHz - AWS	34.03
1-A-8	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	29.75
		LTE - 2100 MHz - AWS	35.66
1-A-9	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	27.11
		LTE - 2100 MHz - AWS	33.34
1-A-14	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	24.23
		LTE - 2100 MHz - AWS	30.24
2-A-11	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	28.61
		LTE - 2100 MHz - AWS	34.61
2-A-12	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	28.07
		LTE - 2100 MHz - AWS	33.7
2-A-13	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	27.47
		LTE - 2100 MHz - AWS	33.44
2-A-15	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	21.41
		LTE - 2100 MHz - AWS	27.45
2-A-18	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	27.44
		LTE - 2100 MHz - AWS	33.69
S1-A-1	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	28.32
		LTE - 2100 MHz - AWS	34.17
S1-A-2	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	30.29
		LTE - 2100 MHz - AWS	36.31
S1-A-3	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	30.98
		LTE - 2100 MHz - AWS	37.19
S1-A-4	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	29.83
		LTE - 2100 MHz - AWS	36.07
S1-A-5	Entel	WCDMA - 1900 MHz - PCS	28.1
		LTE - 2100 MHz - AWS	34.2

Tabla 3-1 Cuadro de potencia 3G y 4G

Fuente Huawei

### 3.3 Diagrama de Arquitectura de la solución DAS

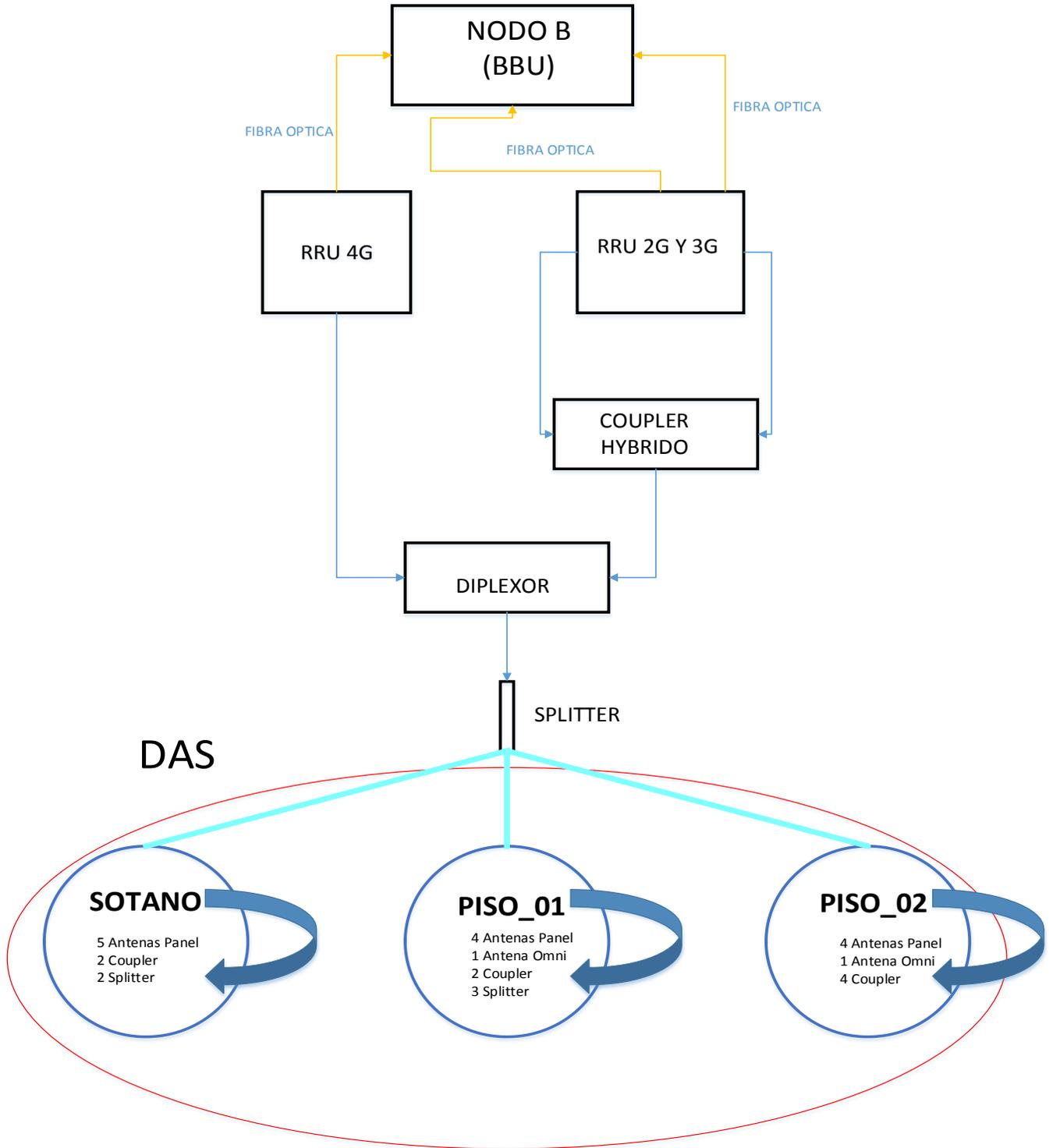


Figura 3-16 Diagrama de solución DAS

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.1 Breve descripción de la comunicación de los equipos principales**

El servicio celular es brindado por el operador el cual hará llegar el servicio a través de una fibra óptica que se conectará al sistema. La forma en que ésta fibra óptica llegue a la ubicación de los equipos no será motivo de análisis puesto que eso será diseñado e implementado por el operador.

La señal del operador móvil llega a la BBU (Base Band Unit) la cual va a procesar la señal en banda base, además tendrá funciones de control y señalización.

La potencia de la BBU se lleva a través de fibra óptica, en este caso se tendrá 3 jumper FO como puede observar en la figura 2-24, estas se conectaran a la RRU (*Remote Radio Unit*) la cual amplifica y modula a la banda elegida por el operador; además, brinda la potencia que será entregada al Splitter.

Las dos señales, de 3G y 4G, pasarán por un diplexor que combinará a ambas para que sean transportadas a través de los Splitter la cual dividirá la potencia para ser distribuida hacia las antenas que se encuentran en el Sótano, Piso\_1 y Piso\_2, con lo cual se puede controlar el área que se desea cubrir. Estas antenas darán al mismo momento cobertura 3G y 4G, ya que tienen un amplio rango de frecuencias de operación lo cual hace esto posible.

### 3.4 Característica de los equipos y accesorios para la Implementación

COMPONENTE	DESCRIPCION	COMPONENTE	DESCRIPCION
	RRU_3942 - 3G		Coupler de 6dB y 10dB
	RRU_3832 - 4G		Carga de 25 Watts
	BBU3900		Cable coaxial de 1/2"
	Diplexer		Coupler Hybrid
	Antena Panel	 N hembra a N hembra    N macho a N macho	Conector N
	Antena Omnidireccional		Conector DIN
	Splitter de 2 vias		Splitter de 3 vias

Figura 3-17 Equipos y accesorios para la implementación

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación del DAS se utilizó la BBU 3900 de proveedor Huawei, soporta las tecnologías GSM, UMTS y LTE, con las dimensiones 86mm x 442mm x 310mm, teniendo un peso de 12 kg, trabajando a una temperatura no mayor a 55°C. Las RRU's que se utilizaron son del proveedor Huawei. Para la tecnología 3G se tiene la RRU 3942 cuyas dimensiones son 485mm x 356mm x 140mm, con un peso de 23.5 kg y trabaja en la banda de frecuencia 1900 MHz. En el caso de la tecnología 4G se utilizó la RRU 3832 cuyas dimensiones son 400mm x 300mm x 100mm, con un peso de 14 kg, trabajando en la banda de 2100 MHz, ambos equipos se energizan con -48VDC.

Los Splitter utilizados son del modelo HAS0727N300L-2/3 del proveedor Huawei, tipo de conector N y trabaja en la banda de frecuencia de 698 - 2700 MHz.

Los Coupler utilizados son del modelo HAT0727N300L-6/10 del proveedor Huawei, tipo de conector N y trabaja en la banda de frecuencia de 698 - 2700 MHz.

Las Antenas Panel utilizadas son del modelo HADA-0709/1827-N-5/8/6 del proveedor Huawei, con las dimensiones 250mm x 190mm x 55mm, pesando 0.5 Kg, tipo de conector N-Female y trabaja en la banda de frecuencia de 698 – 2700 MHz. Las Antenas Antenas Omnidireccional utilizadas son del modelo HAOA-0709/1827-N-2/5 del proveedor Huawei, con las dimensiones 180mm x 150mm x 150mm, pesando 0.3 Kg, tipo de conector N-Female y trabaja en la banda de frecuencia de 698 – 2700 MHz.

El Diplexor utilizado, modelo FDAP5002/1C-3L de la marca RFS(Sistema de Radio Frecuencia), tiene un peso de 3 Kg con las dimensiones 192mm x 186mm x 65.5mm y trabaja en la banda de frecuencia de 1930-2155 MHz.

La carga que se utilizo es de 25W y sirve para cerrar puertos no usados y evitar insertar perdidas.

Por último los conectores DIN y N son los que se conectaran a los puertos de las RRU's, splitter y Coupler respectivamente, teniendo baja perdida de inserción.

Tanto las RRU's, BBU y accesorios RF son del proveedor Huawei se vio conveniente utilizar un solo proveedor para los equipos, ya que de esta manera será más fácil y accesible el cambio de alguno de estos equipos cuando sufran alguna falla.

Los demás datos técnicos de los equipos se mencionaran en el ANEXO correspondiente.

### 3.5 Diagrama General de la solución

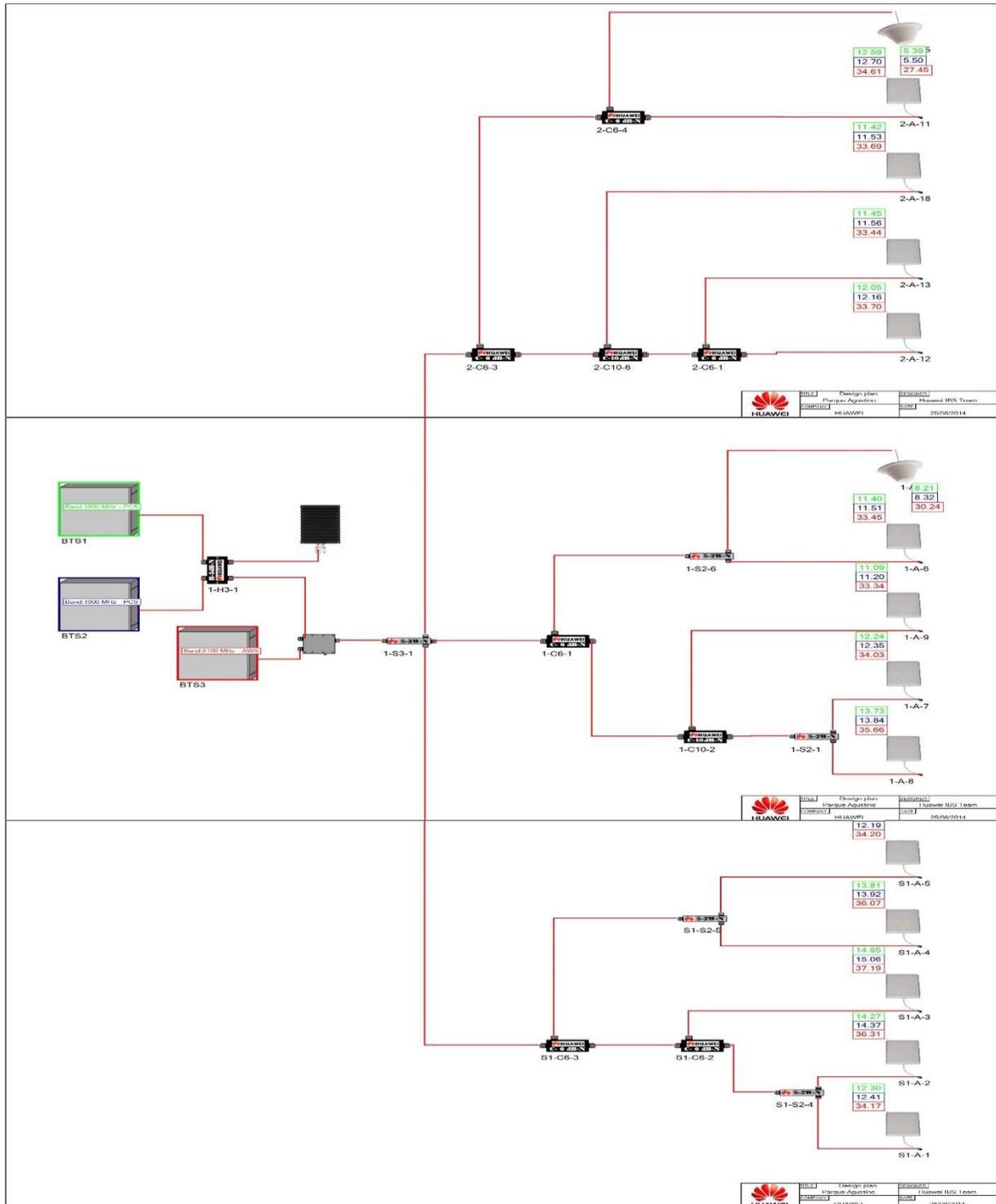


Figura 3-18 Diagrama Unilaneal

Fuente - Huawei

### 3.6 Procedimientos de la implementación

- Verificación del área para la colocación de los equipos RF



Figura 3-19 Ubicación del APM\_AZOTEA

Fuente: Elaboración propia



Figura 3-20 Ubicación de RRU - PISO\_1 (Cuarto Eléctrico)

Fuente: Elaboración propia

Proyección de las antenas Panel en el sotano\_1



Figura 3-21 Antenas S1-A-1; S1-A-2; S1-A-3; S1-A-4; S1-A-5

Fuente: Elaboración propia

Proyección de las antenas Panel y Omnidireccional en el Piso\_1



Figura 3-22 Antenas 1-A-6; 1-A-7; 1-A-8; 1-A-9; 1-A-14

Fuente: Elaboración propia

### Proyección de las antenas Panel y Omnidireccional en el Piso\_2



Figura 3-23 Antenas Panel 2-A-11; 2-A-12; 2-A-13; 2-A-18

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la altura donde se ubicarán las antenas panel y omnidireccional, estas estarán como mínimo sobre los 2.10 metros con respecto al nivel de piso terminado.

- Verificación de los materiales en el almacén del Centro Comercial Parque Agustino



Figura 3-24 Materiales principales en el almacén

Fuente: Elaboración propia

- De acuerdo al plano se inició la implementación con la instalación de lo tubería conduit rígida, corrugada de 1/2" y cable coaxial; en el caso del tubo corrugado se empleara en las zonas donde se necesite tener una curvatura como son los muros, columnas, vigas en los respectivos ambientes del Centro Comercial.

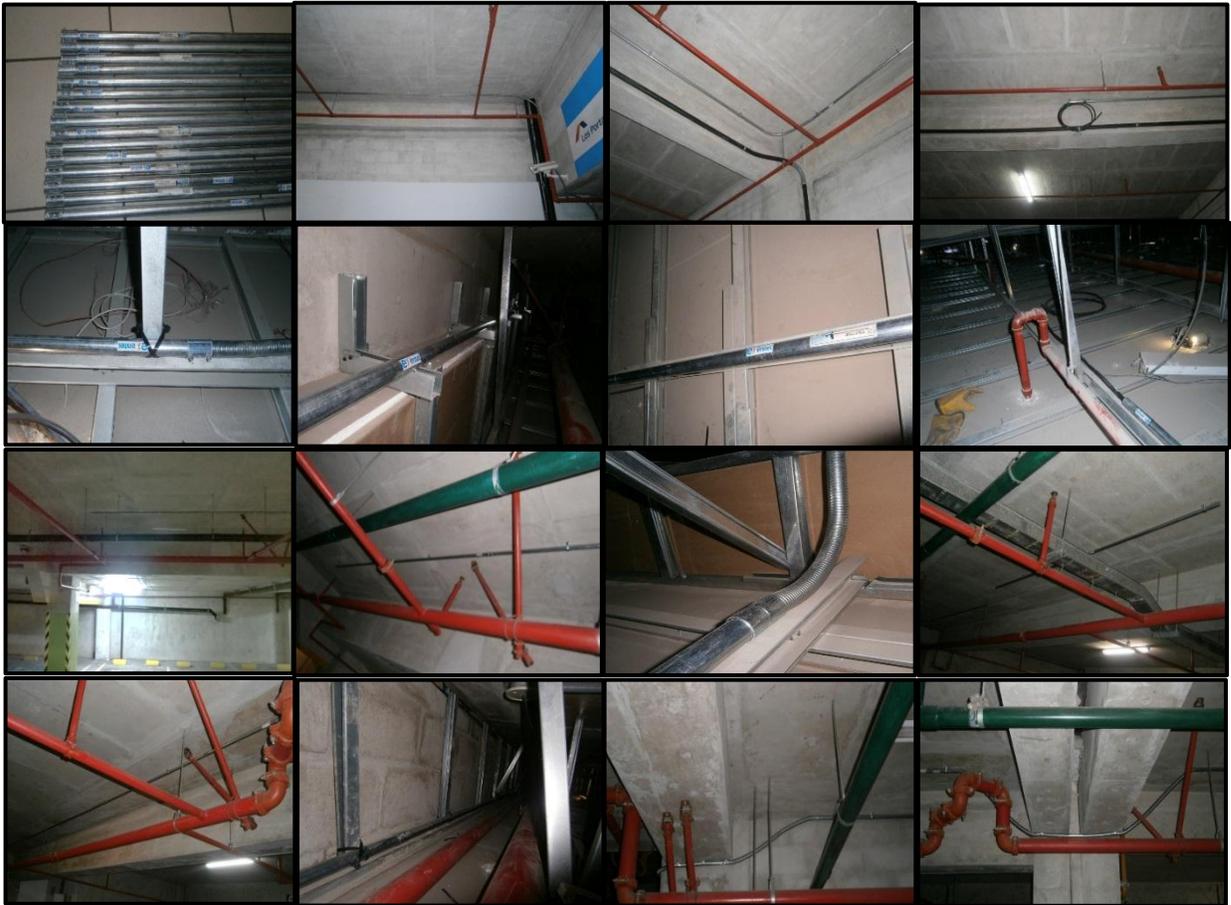


Figura 3-25 Instalación de tubería y cable coaxial

Fuente: Elaboración propia

- Instalación y conectorización de splitter y coupler. A pedido del cliente se colocaron los dispositivos dentro de una caja de paso para protegerlos de daños y tener un orden al querer ubicarlos.



Figura 3-26 Instalación de Splitter y Coupler

Fuente: Elaboración propia

- Se continuo con la instalación y conectorización de las antenas panel y omnidireccionales en los diferentes ambientes del Centro Comercial (Sótano, Piso\_1, Piso\_2)

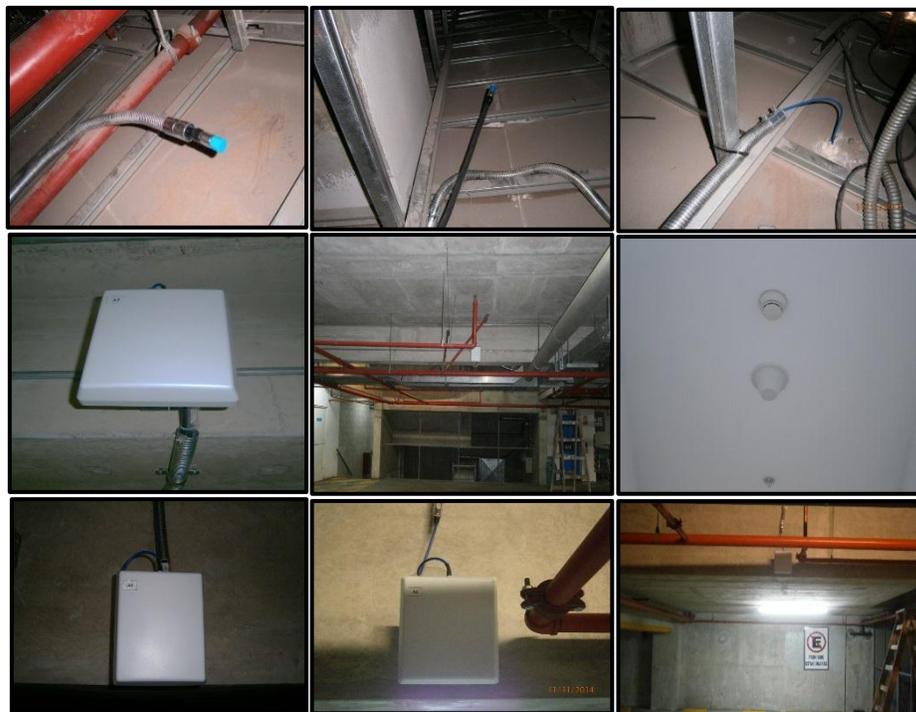


Figura 3-27 Instalación de Antenas Panel y Omnidireccional

Fuente: Elaboración propia

- Instalación y conectorización de las RRU's 3G y 4G, Diplexor, Coupler Hybrido, y Splitter de 3 vías en el cuarto eléctrico ubicado en el Piso\_1



Figura 3-28 Instalación de RRU 3G\_4G, Splitter, Coupler, Diplexor y Carga  
Fuente: Elaboración propia

- Recorrido de la tubería de PVC desde el cuarto eléctrico (Piso\_1) hasta la azotea por medio de una bandeja que llevara los cables de FO, cable de energía, aterramiento, etc para el conexionado de la RRU's con la BBU y todo el sistema de distribución de antenas.



Figura 3-29 Recorrido de la tubería para conectar la RRU con la BBU

Fuente: Elaboración propia

- Implementación de una losa de concreto en la azotea para la ubicación del equipo donde se instalara la BBU, en la cual se colocaran los jumper de FO que se comunicaran con las RRU's.



Figura 3-30 Instalación de la BBU

Fuente: Elaboración propia

- Se colocara en el jumper y cajas de paso etiquetas para poder identificar los componentes instalados.
- Por último se realiza las mediciones ROE – DTF para verificar que el sistema radiante instalado este en buenas condiciones ya que esta medida indica la adaptación del sistema y si cumplen sus especificaciones de trabajo definidas por el operador.

### 3.7 Diagrama eléctrico para energizado de equipos

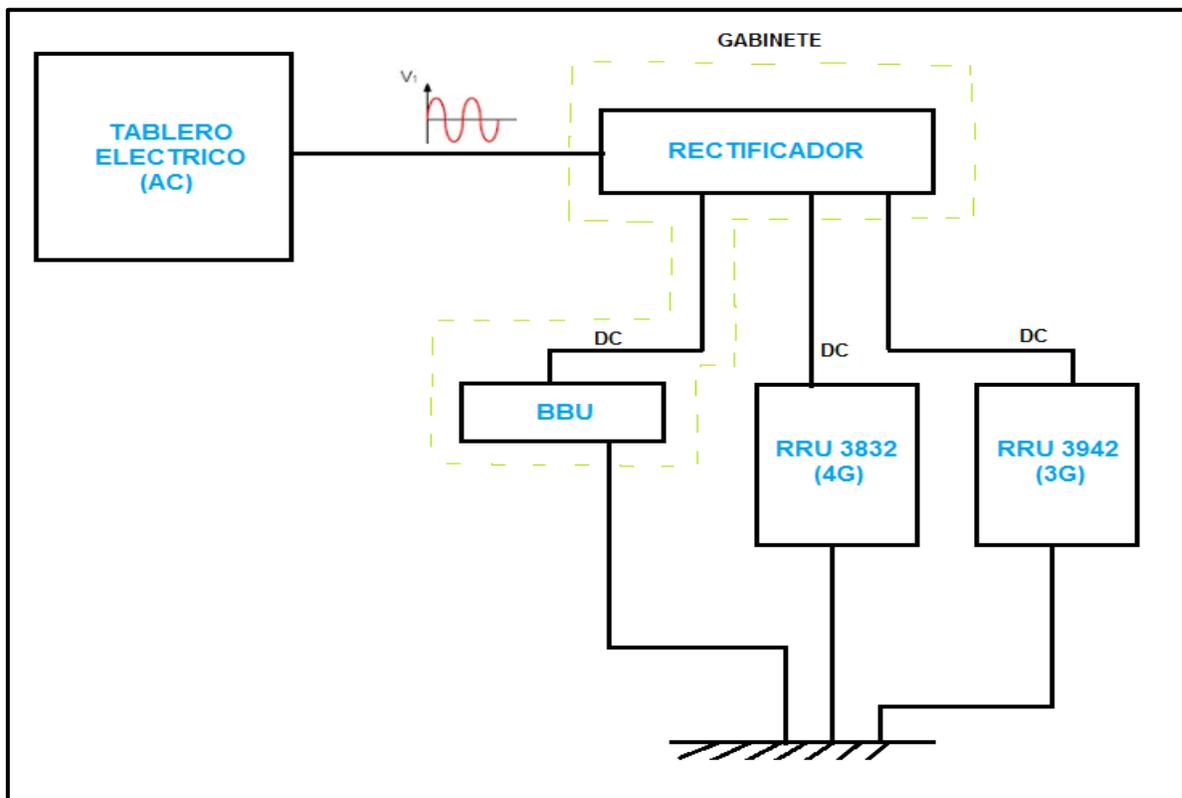


Figura 3-31 Diagrama Eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 3-31 los equipos como la BBU y RRU's se energizan por el tablero eléctrico del Centro Comercial pasando antes por el rectificador ya que se necesita una tensión de -48VDC para poner en marcha a los equipos.

### 3.8 Análisis de los resultados.

Para realizar las mediciones VSWR Y DTF se ha utilizado el site master de la serie S331B y se configuro en la banda de frecuencia de 1700 – 2180 MHz.

#### MEDICIONES EN ROE Y DTF EN EL SOTANO

- S1-S2-5 TO S1-A-5

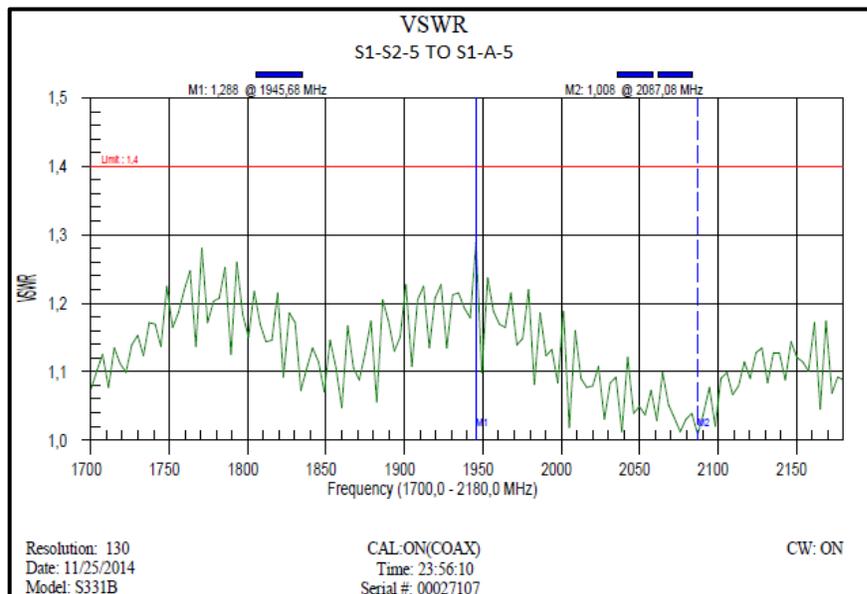


Figura 3-32 Grafica VSWR desde el Splitter 5 hacia Antena 5

Fuente: Elaboración propia

#### INTERPRETACION:

Se observa que la medición VSWR realizada desde el splitter 5 hacia la antena 5 arroja un valor menor a 1.28 cumpliendo así con los valores establecidos por el operador de ENTEL mencionados en el capítulo II.

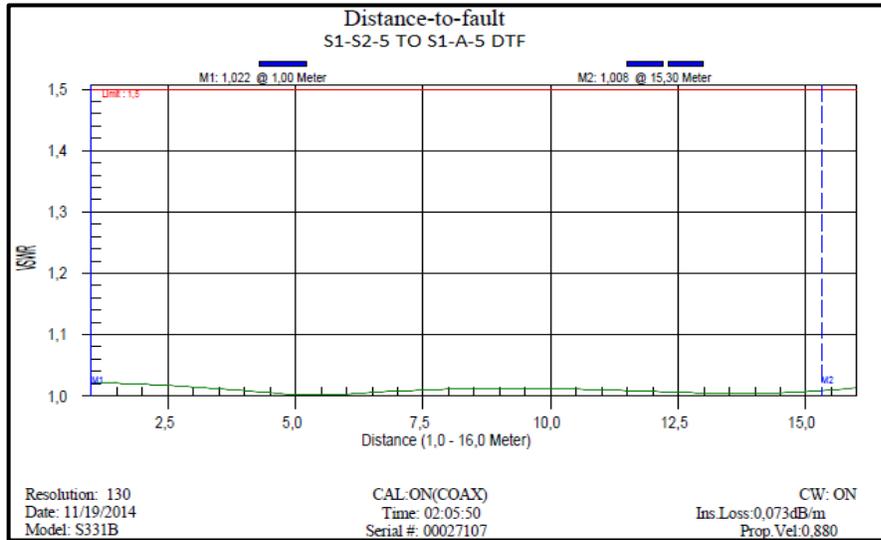


Figura 3-33 Grafica DTF desde el Splitter 5 hacia Antena 5

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Como se observa el DTF arroja una longitud aproximadamente de 15 metros desde el splitter 5 hacia la antena 5 con valores de VSWR menores a 1.01 cumpliendo con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

- **S1-S2-4 TO S1-A-1**

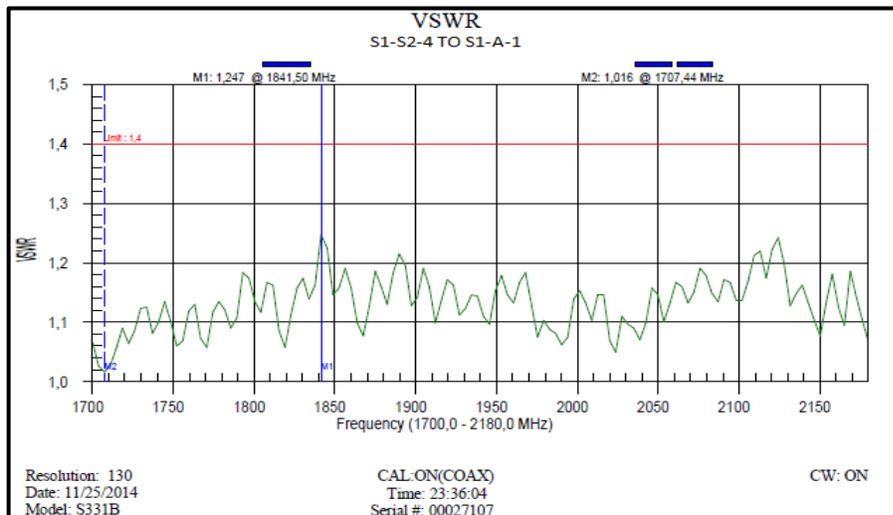


Figura 3-34 Grafica VSWR desde el Splitter 4 hacia Antena 1

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Se observa que la medición VSWR realizada desde el splitter 4 hacia la antena 1 arroja un valor menor a 1.25 cumpliendo así con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

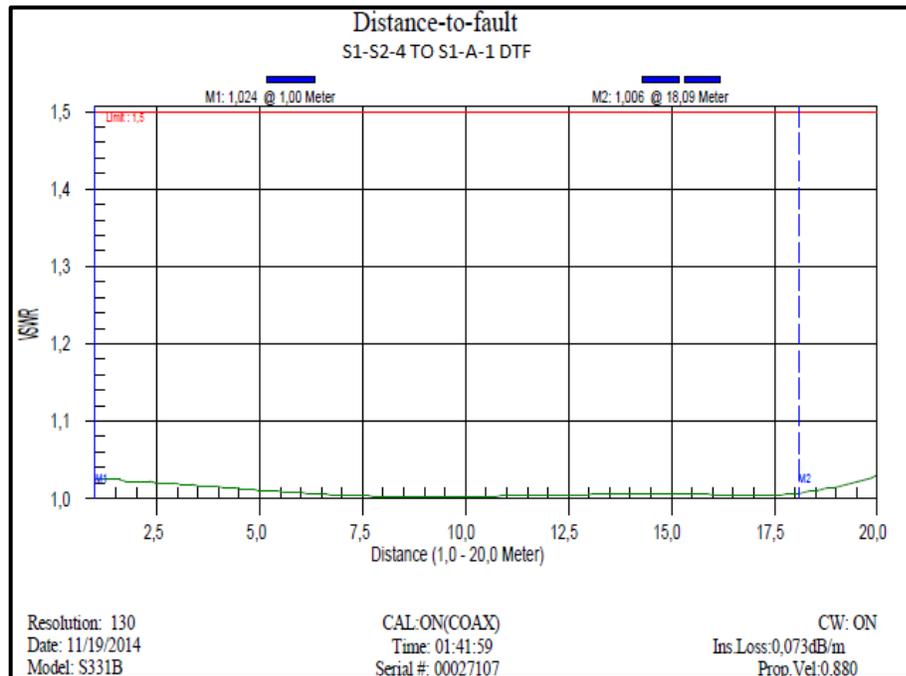


Figura 3-35 Grafica DTF desde Splitter 4 hacia Antena 1

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Como se observa el DTF arroja una longitud aproximadamente de 18 metros desde el splitter 4 hacia la antena 1 con valores de VSWR menores a 1.01 cumpliendo con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

## MEDICIONES EN ROE Y DTF EN EL PISO\_01

- 1-C10-2 TO 1-A-9

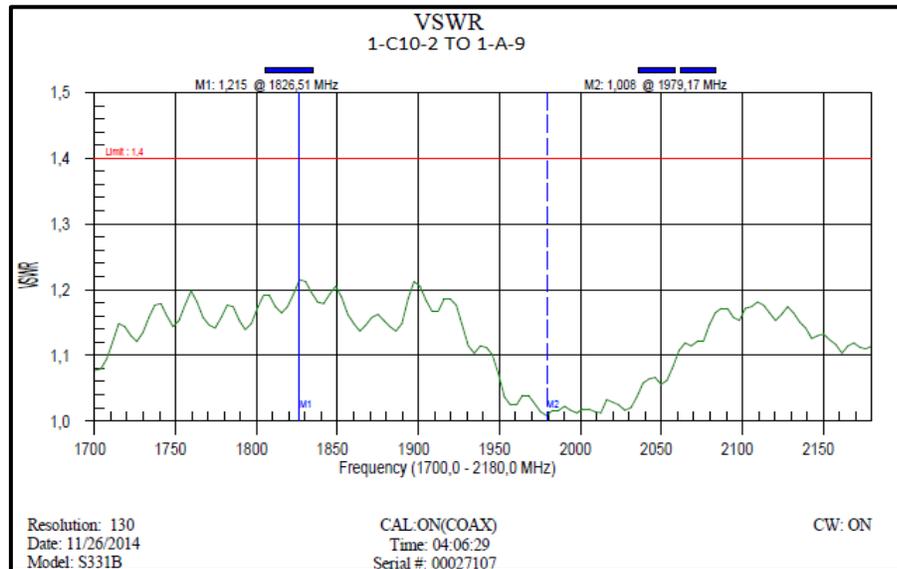


Figura 3-36 Grafica VSWR desde Coupler 2 hacia Antena 9

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Se observa que la medición VSWR realizada desde el coupler 2 hacia la antena 9 arroja un valor menor a 1.22 cumpliendo así con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

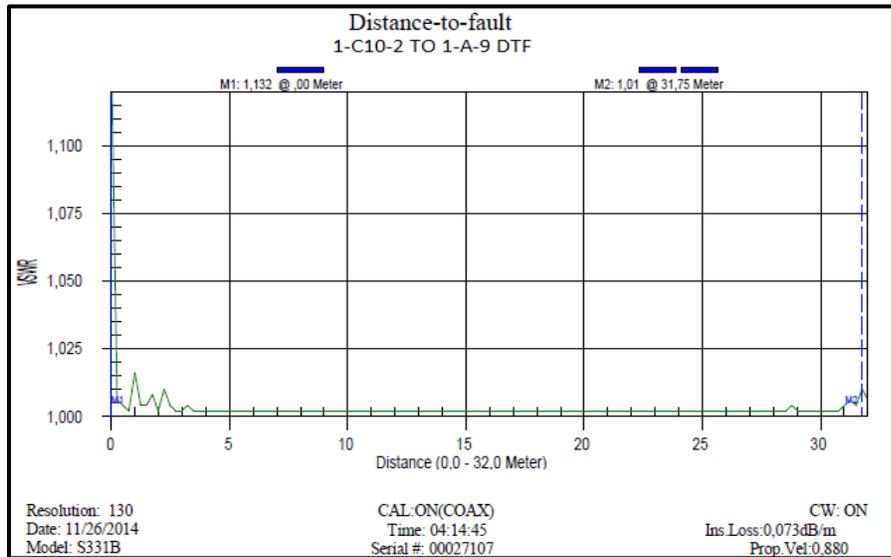


Figura 3-37 Grafica DTF desde Coupler 2 hacia Antena 9

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Como se observa el DTF arroja una longitud aproximadamente de 31.75 metros desde el coupler 2 hacia la antena 9 con valores de VSWR menores a 1.01 cumpliendo con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

- **1-S2-1 TO 1-A-8**

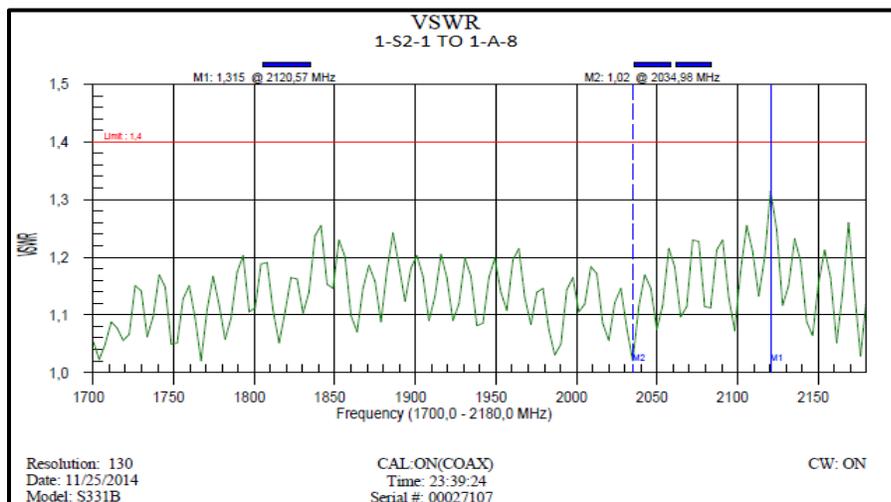


Figura 3-38 Grafica VSWR desde Splitter 1 hacia Antena 8

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Se observa que la medición VSWR realizada desde el splitter 1 hacia la antena 8 arroja un valor menor a 1.3 cumpliendo así con los valores establecidos por el operador de ENTEL

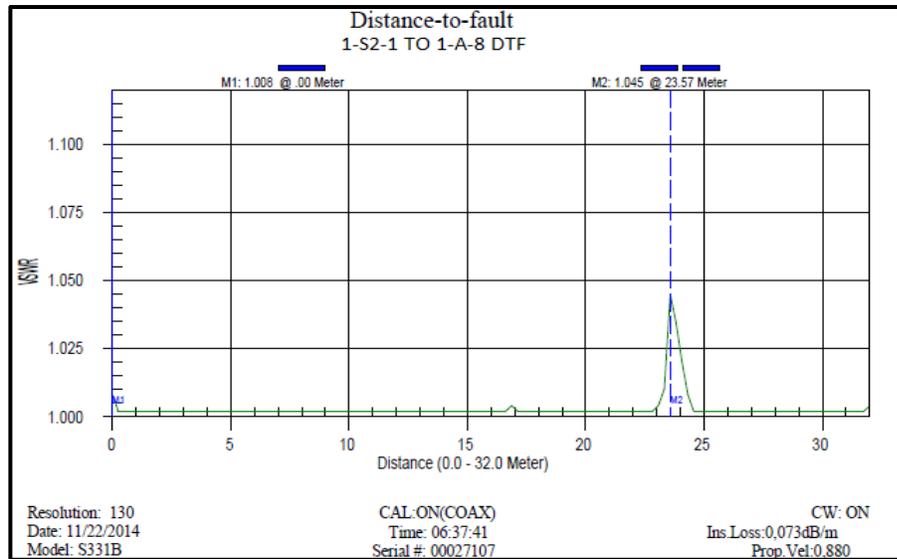


Figura 3-39 Grafica DTF desde Splitter 1 hacia Antena 8

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Como se observa el DTF arroja una longitud aproximadamente de 23.57 metros desde el splitter 1 hacia la antena 8 con valores de VSWR menores a 1.045 cumpliendo con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

## MEDICIONES EN ROE Y DTF EN EL PISO\_02

- 2-C6-4 TO 2-A-15

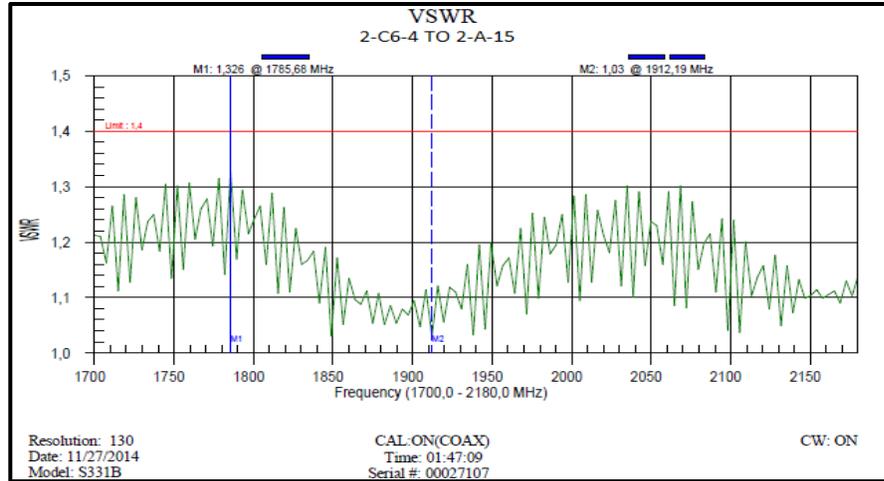


Figura 3-40 Grafica VSWR desde Coupler 4 hacia Antena 15

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Se observa que la medición VSWR realizada desde el coupler 4 hacia la antena 15 arroja un valor menor a 1.3 cumpliendo así con los valores establecidos por el operador de ENTEL

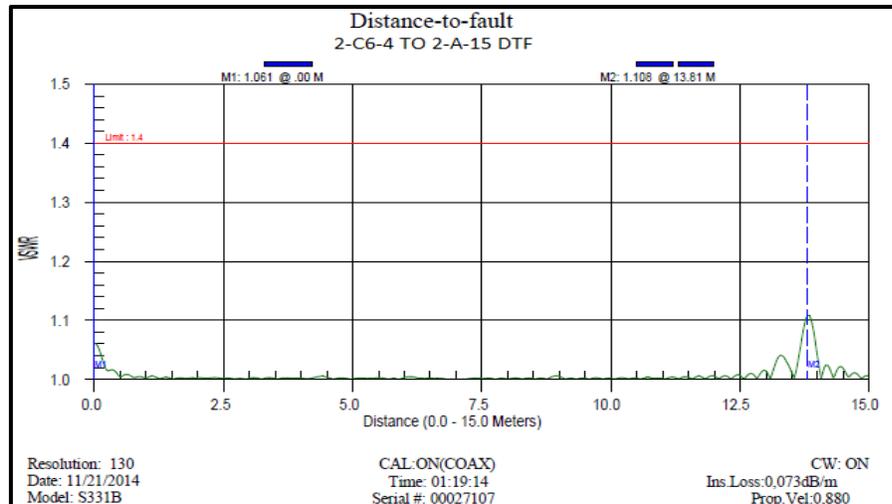


Figura 3-41 Grafica DTF desde Coupler 4 hacia Antena 15

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Como se observa el DTF arroja una longitud aproximadamente de 13.81 metros desde el coupler 4 hacia la antenna 15 con valores de VSWR menores a 1.1 cumpliendo con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

- **2-C6-1 TO 2-A-12**

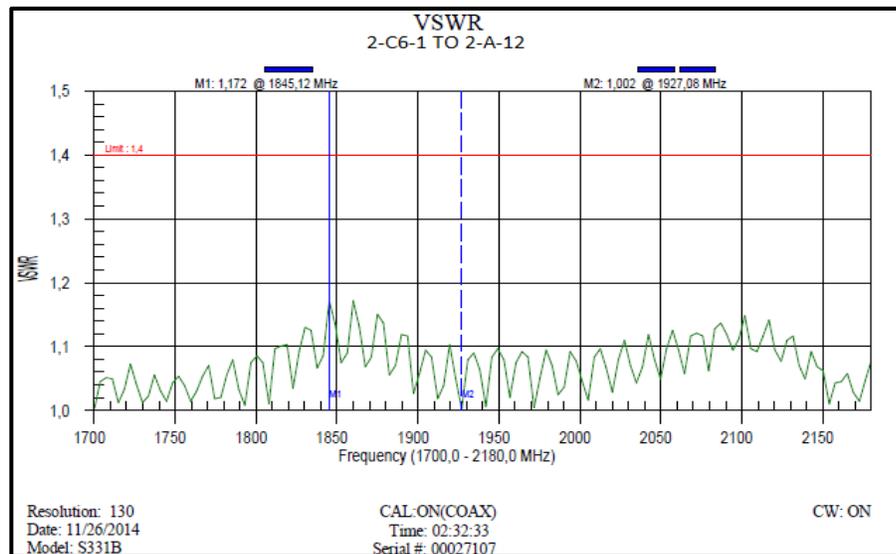


Figura 3-42 Grafica VSWR desde Coupler 1 hacia Antena 12

Fuente: Elaboración propia

### INTERPRETACION:

Se observa que la medición VSWR realizada desde el coupler 1 hacia la antenna 12 arroja un valor menor a 1.17 cumpliendo así con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

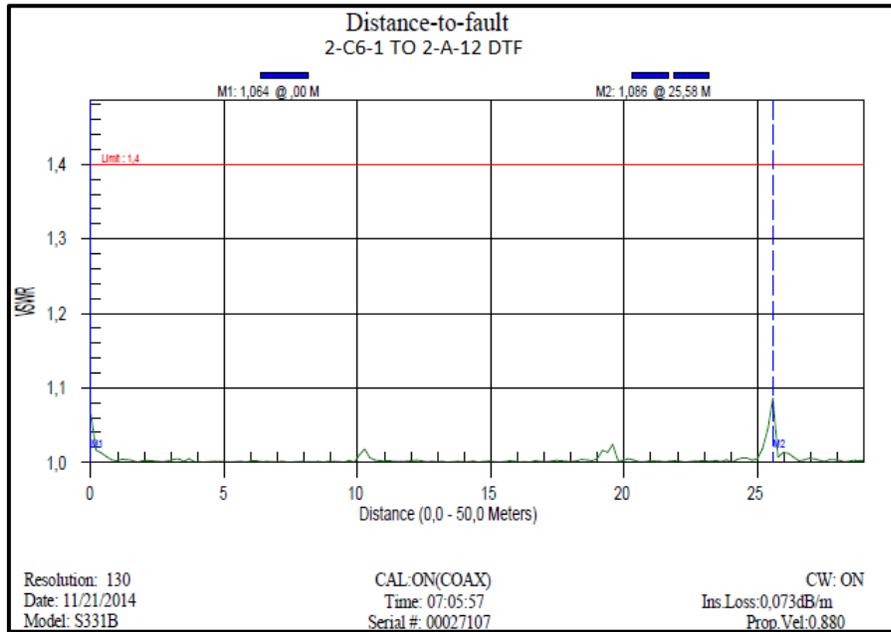


Figura 3-43 Grafica DTF desde Coupler 1 hacia Antena 12

Fuente: Elaboración propia

**INTERPRETACION:**

Como se observa el DTF arroja una longitud aproximadamente de 25.58 metros desde el coupler 1 hacia la antena 12 con valores de VSWR menores a 1.08 cumpliendo con los valores establecidos por el operador de ENTEL.

Lo que se quería comprobar con las mediciones VSWR y DTF es la adaptación del sistema distribuido de antenas. Todas las mediciones realizadas están por debajo de 1.5, cumpliendo así con los parámetros establecidos por el operador.

Al finalizar la implementación se realizaron mediciones de cobertura celular con los indicadores para 3G y 4G que se pueden visualizar en el ANEXO 2.

Concluyendo que casi el 100% de las medidas tomadas tanto en el Sótano, Piso\_1 y Piso\_2 para 3G y 4G proporcionan valores de RSCP mayores a -75dBm y RSRP mayores a -100 dBm en toda el área cubierta por el proyecto, teniendo una mejora respecto de las mediciones realizadas antes de la implementación.

Se comprueba que se tiene un nivel óptimo de cobertura en las zonas cubiertas por el proyecto, para el beneficio de los usuarios asistentes que podrán acceder a una comunicación 3G y 4G desde cualquier punto del centro comercial Parque Agustino.

### 3.9 Lista de Materiales

Se menciona a continua la cantidad exacta de los materiales que se utilizaron para la implementación de la red RF INDOOR.

ITEM	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	CANTIDAD
1	ANTENA DIRECCIONAL	HUAWEI	HADA-0709/1827-N-5	13
2	ANTENA OMIDIRECCIONAL	HUAWEI	HADA-0709/1827-N2/5	2
3	SPLITTER - 2 VIAS	HUAWEI	HAS0727N300L-02	4
4	SPLITTER - 3 VIAS	HUAWEI	HAS0727N300L-03	1
5	COUPLER - 6 dB	HUAWEI	HAT0727N300L-06	6
6	COUPLER - 10 dB	HUAWEI	HAT0727N300L-10	2
7	COUPLER HYBRID	HUAWEI	HAT0727N200L-03	1
8	DIPLEXOR	RADIO FREQUENCY SYSTEMS	FDAP5002/1C-3L	1
9	CARGA	AGISSON	HAL0830N025 - YD	1
10	BBU	HUAWEI	21021127226TE6918663	1
11	RRU3942	HUAWEI	2102310CYU10E8001110	1
12	RRU3832	HUAWEI	2102310PTJ10E6000001	1

Tabla 3-2 Cuadro de materiales

Fuente: Elaboración propia

Aparte de estos materiales se utilizó tubo conduit metálico y de PVC de 1" para el paso del cable coaxial y fibra óptica, cajas de paso donde se colocara los splitter y coupler para su protección, sicaflex para el sellado de la tubería, etiquetas que se colocaran en los splitter, coupler, cables y cajas de paso para identificarlos cuando se requiera hacer un cambio del mismo.

## CONCLUSIONES

- Las mediciones mostradas en el tercer capítulo inciso 3.1 evidencian una inadecuada cobertura celular dentro del Centro Comercial Parque Agustino como consecuencia se presentan caídas de llamadas, mensajes de textos no enviados, generando incomodidad en los usuarios asistentes al centro comercial.
- Con las mediciones ROE-DTF realizadas luego de la implementación se comprobó la adaptación del sistema radiante de antenas instalado, cumpliendo así con los parámetros establecidos por el operador.
- Se concluye que casi el 100% de las medidas tomadas tanto en el Sótano, Piso\_1 y Piso\_2 para 3G y 4G proporcionan valores de RSCP mayores a -75dBm y RSRP mayores a -100 dBm, en toda el área cubierta por el proyecto, teniendo una mejora respecto de las mediciones realizadas antes de la implementación, que conlleva a una óptima cobertura celular dentro del centro comercial Parque Agustino.
- Las antenas panel y omnidireccionales permiten cubrir áreas específicas en una implementación RF INDOOR.

## RECOMENDACIONES

- Para los problemas de cobertura celular que se tienen en la mayoría de los centros comerciales, oficinas, hospitales, etc. Se recomienda implementar un sistema distribuido de antenas para poder aprovechar mejor la señal y poder cubrir áreas específicas, ya que sin este sistema se tendrá pérdidas de señal causando incomodidad en los usuarios.
- Luego de terminar con las mediciones ROE en todo el sistema radiante se recomienda hacer el sellado de cajas de paso y vulcanizado en los conectores de las RRU's, ya que si lo realizamos antes ocasionaría problemas si se quiere cambiar un conector mal hecho.
- Antes de realizar la implementación de una red RF INDOOR se recomienda hacer un estudio previo para saber en qué condiciones y a que obstáculos enfrentarnos al momento de la implementación. También se recomienda hacer una simulación para ver si el proyecto es viable.
- Se debe evitar que las antenas panel y omnidireccionales estén cerca de algún material metálico ya que esto puede ocasionar mayor interferencia de la señal.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Vera Tudela Aldo Duarte. (2013). "RED RF INDOOR"
- [2] José Núñez Yupanqui. (2015). "Análisis e implementación de la red RF Indoor 3G para la mejora de cobertura de Telefonía Móvil en el Centro Comercial San Borja Grupo Sandoval"
- [3] Michael Eduardo Chancasana Cueto. (2015). "Diseño de una red 4G-LTE Indoor para el Centro Comercial Real Plaza Santa Clara"
- [4] Korhonen Juha. (2003). "Introduction to 3G Mobile Communication" Artech House.
- [5] Harri Holma & Antti Toskala. (2006). "HSDPA/HSUPA para UMTS" Jhon Wiley & Son.
- [6] Cox Christopher. (2012). "Introduction a LTE". Primera edición. UK: John Wiley & Sons Ltd, Fondo Editorial.
- [7] Nokia Siemens Networks. (2000). "Extended Planning Introduction" Nokia Networks.
- [8] Nokia Siemens Networks. (2003). "Optimization Parameter Planning and Network Optimization" Nokia Networks.
- [9] SESIA, Stefania, TOUFIK, Issam y BAKER, Matthew. (2011). "LTE-the UMTS Long Term Evolution: from theory to practice". Segunda edición. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.

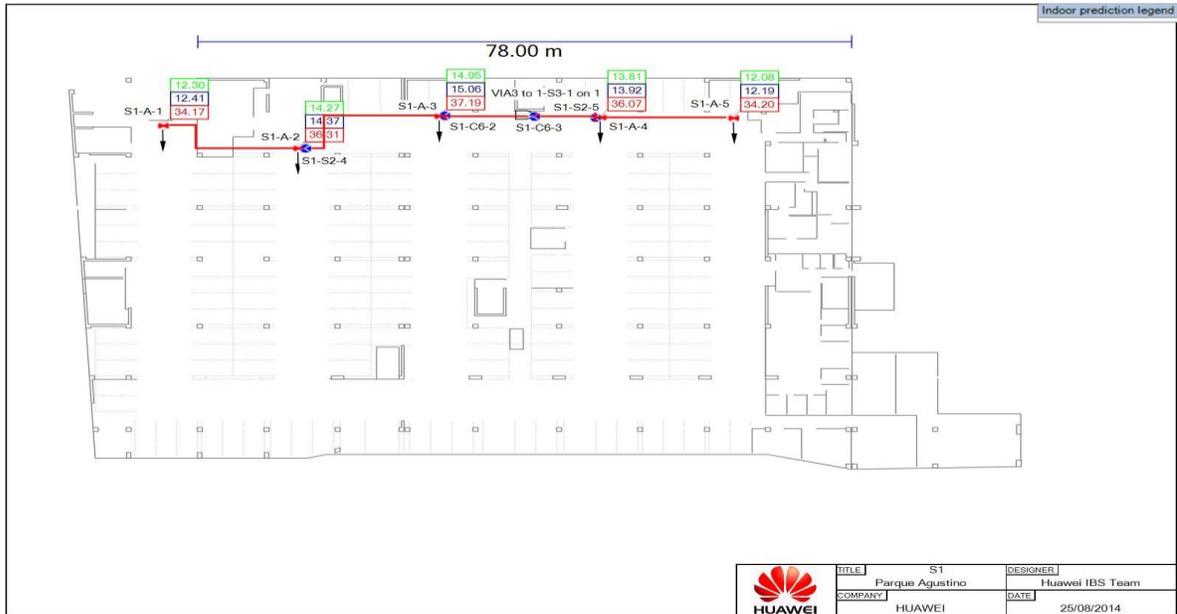
- [10] TOLSTRUP, Morten. (2011). "Indoor Radio Planning: A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE". Segunda edición. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- [11] Bocuzzi Joseph & Ruggiero Michael. (2011). "Femtocells: Design & Applications". The MacGraw-Hill Companies.
- [12] Olivier Cauvin. (1998). "Introducion a wave propagation, transmition lines, and antennas". EDITORIAL NAVEDTRA 14182
- [13]<http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.pe/2012/11/vswr-voltage-standing-wave-ratio-y-dtf.html>.
- [14][http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/fajardo\\_p\\_d/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo1.pdf)
- [15] <http://www.taringa.net/posts/celulares/18666827/Todo-sobre-Velocidad-Conexiones-2G-3G-y-4G.html>

# ANEXOS

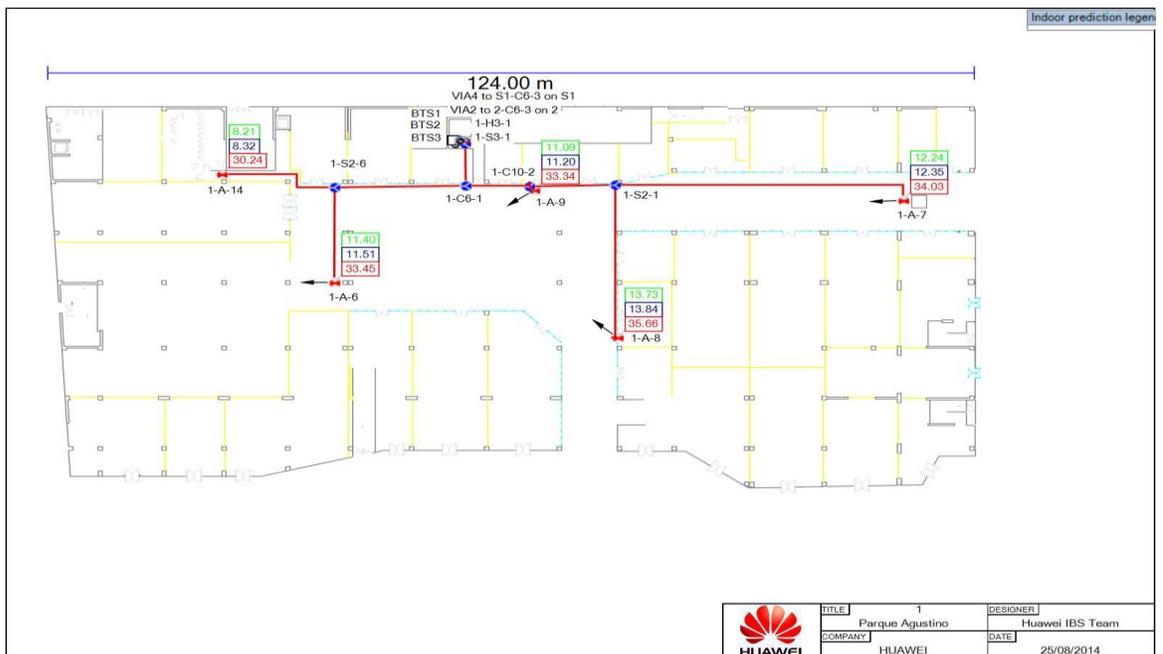
## ANEXO 1

### Sistema de Distribución de Antenas

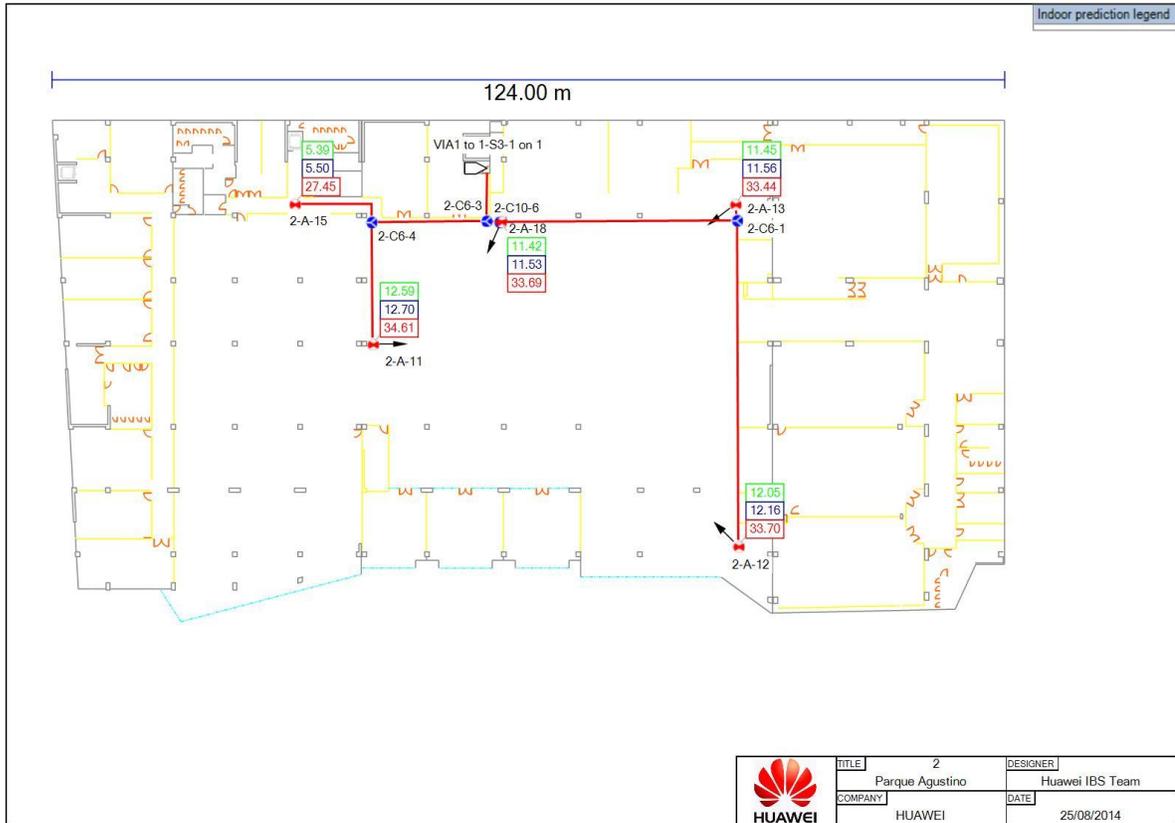
#### 1.- Distribución en el Sótano



#### 2.- Distribución en el Piso 1



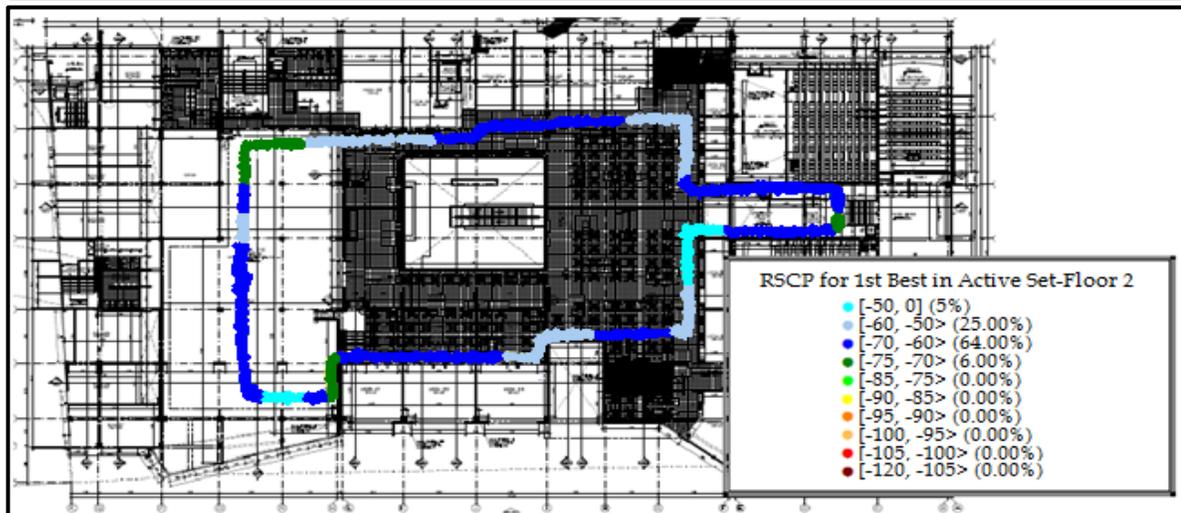
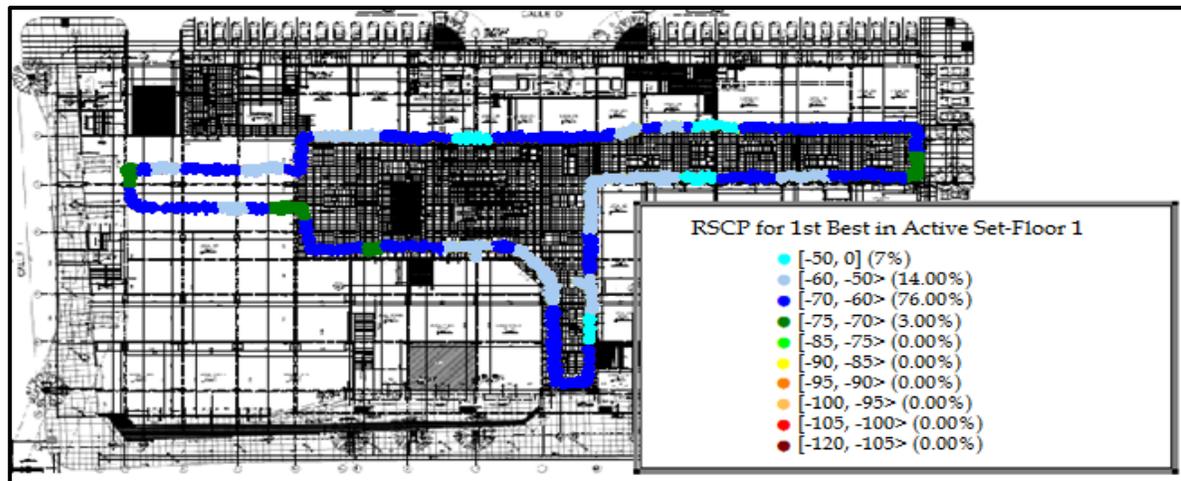
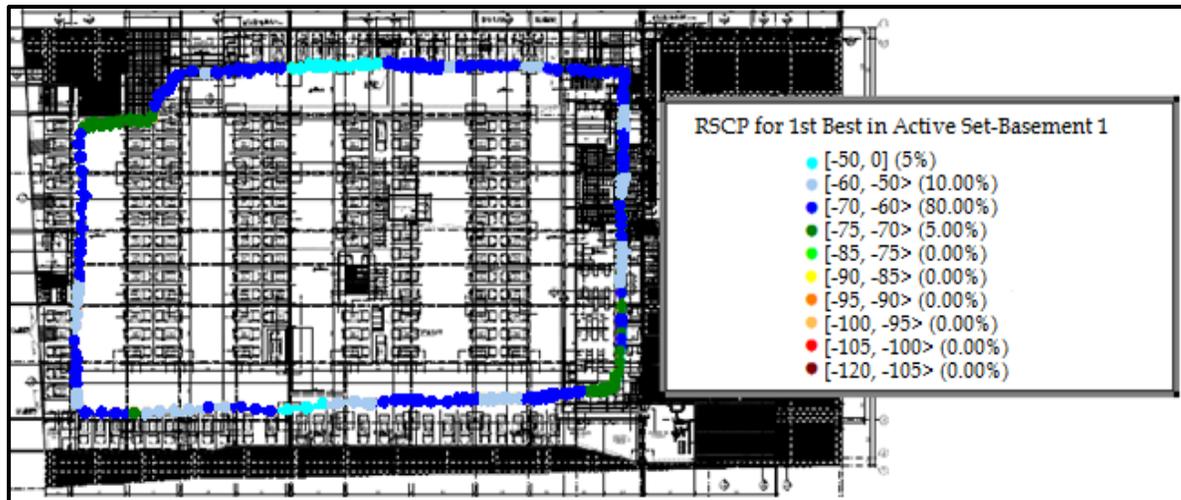
### 3.- Distribución en el Piso 2

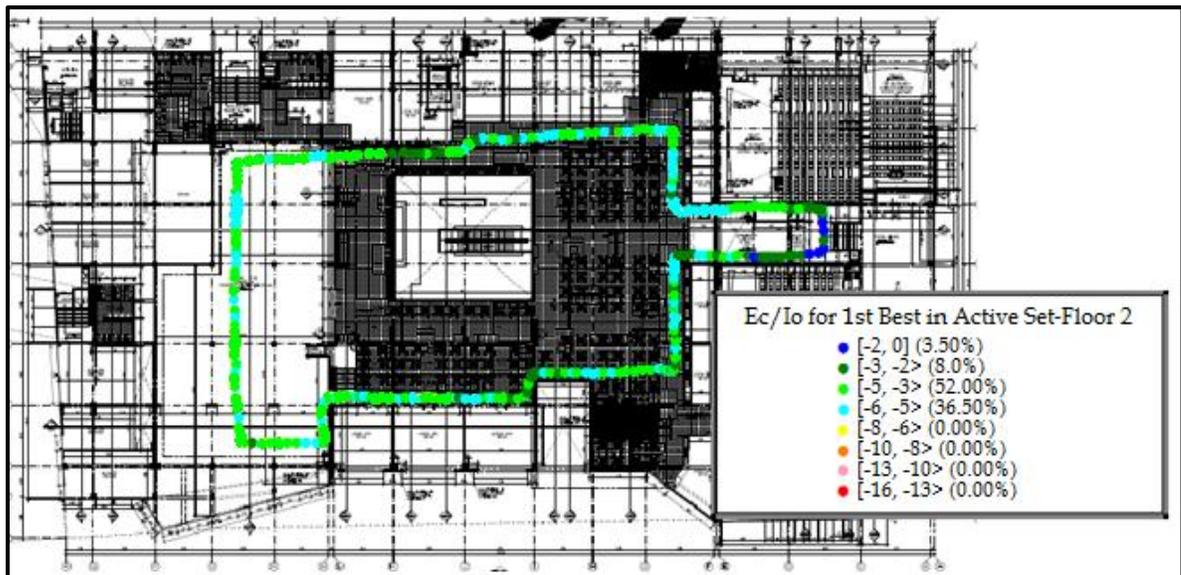
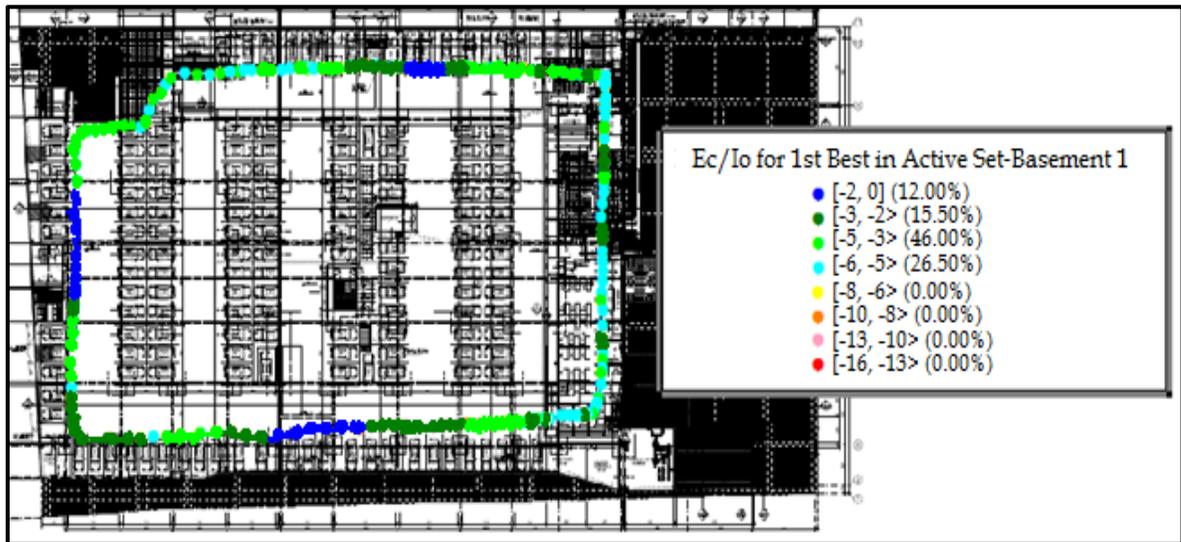


## ANEXO 2

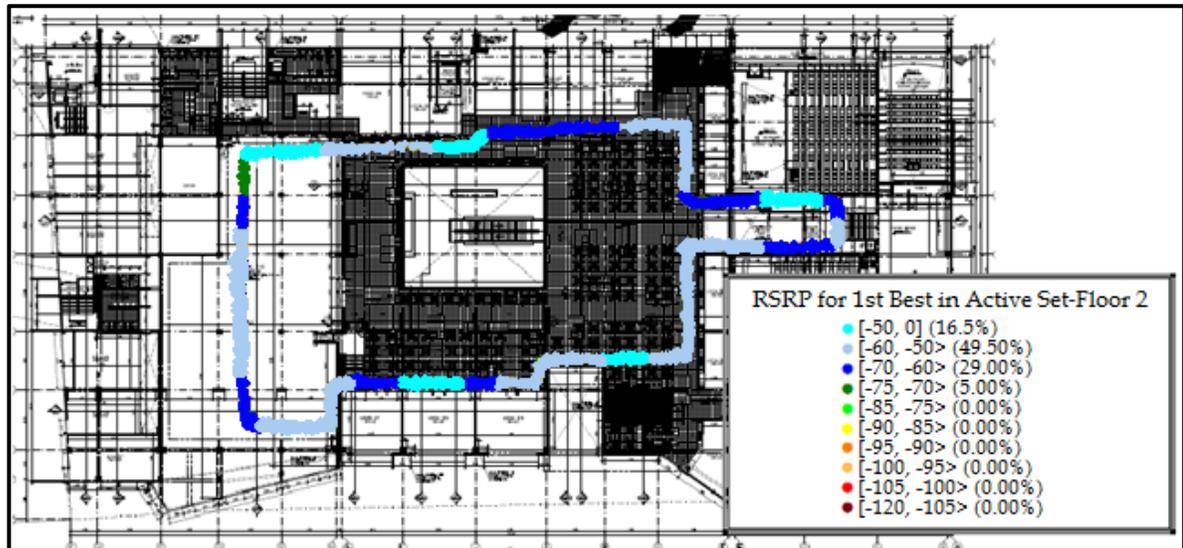
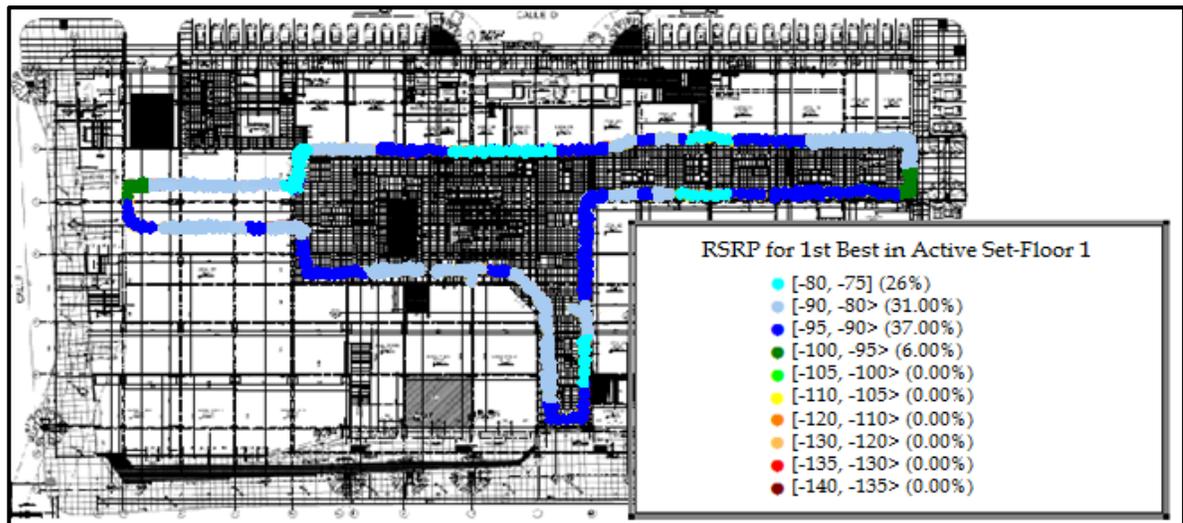
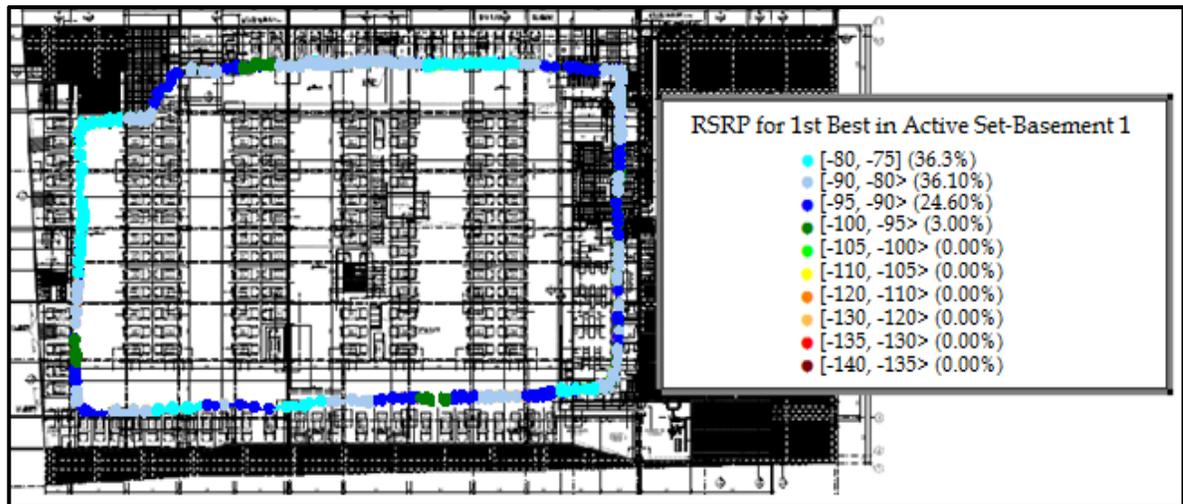
Indicadores de cobertura después de la implementación.

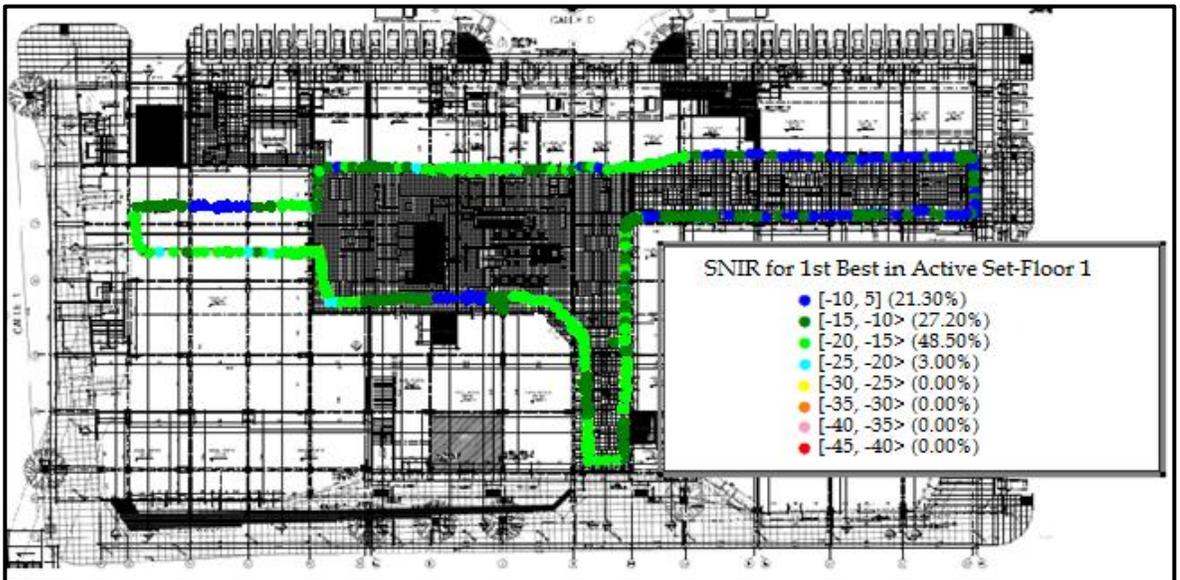
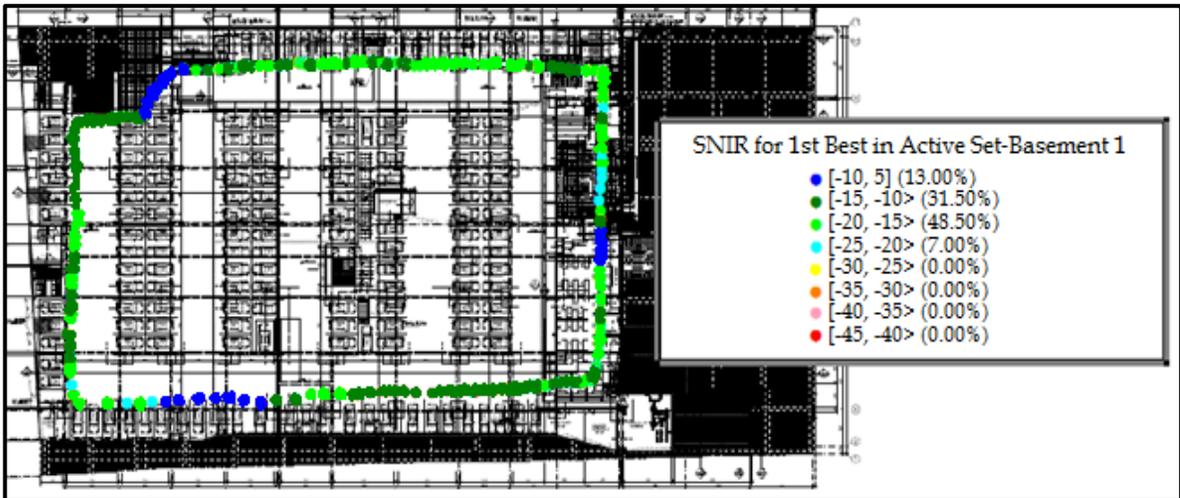
### 1.- Indicadores de cobertura 3G (RSCP y Ec/Io)





## 2.- Indicadores de cobertura 4G (RSRP y SNIR)







## ANEXO 4

### Fotos después de la implementación

- SOTANO

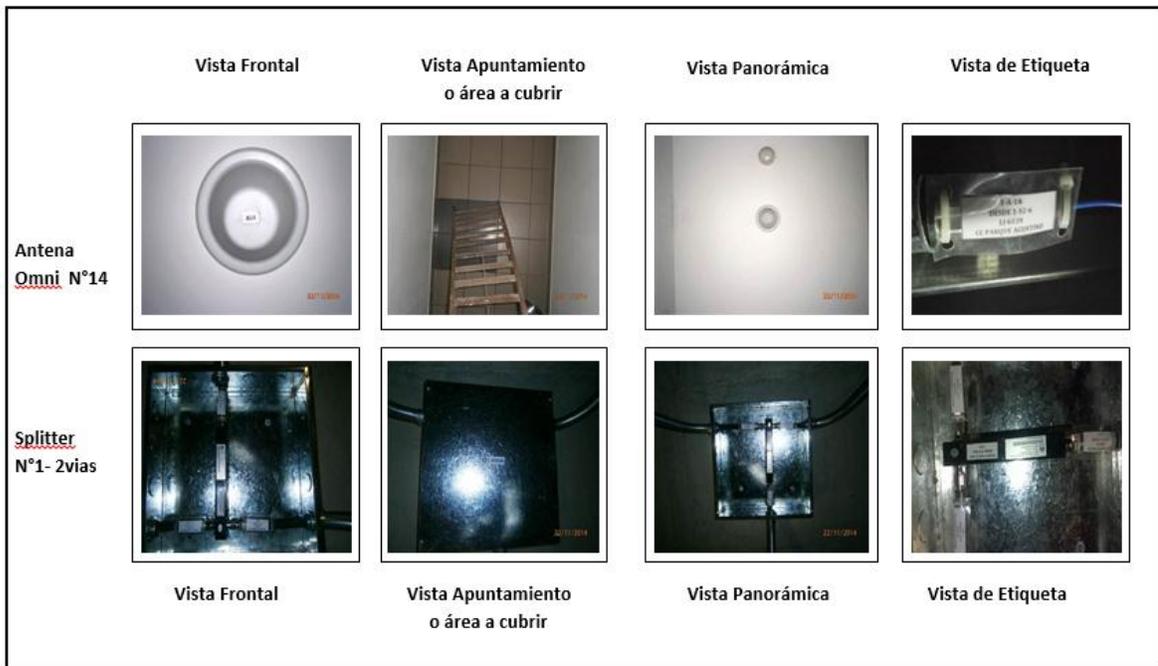




- PISO 1

	Vista Frontal	Vista Apuntamiento o área a cubrir	Vista Panorámica	Vista de Etiqueta
Antena Panel N°6				
Antena Panel N°7				
	Vista Frontal	Vista Apuntamiento o área a cubrir	Vista Panorámica	Vista de Etiqueta

	Vista Frontal	Vista Apuntamiento o área a cubrir	Vista Panorámica	Vista de Etiqueta
Antena Panel N°8				
Antena Panel N°9				
	Vista Frontal	Vista Apuntamiento o área a cubrir	Vista Panorámica	Vista de Etiqueta





- PISO 2



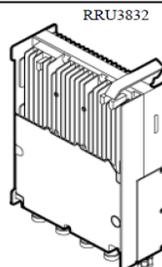




## ANEXO 5

### Datos Técnicos - RRU 3832

Item	Specification	
Dimensions (H x W x D)	400 mm x 300 mm x 100 mm (without the housing) 400 mm x 300 mm x 120 mm (with the housing)	
Weight	14 kg (without the housing) 15 kg (with the housing)	
Operating temperature	-40 °C to +55 °C (without solar radiation) -40 °C to +50 °C (with solar radiation)	
Relative humidity	5% RH to 100% RH	
Absolute humidity	1 g/m <sup>3</sup> to 30 g/m <sup>3</sup>	
Atmospheric pressure	70 kPa to 106 kPa	
Operating environment	Compliance standards: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3GPP TS 25.141</li> <li>• 3GPP TS 36.141</li> <li>• ETSI EN 300019-1-4 V2.1.2 (2003-04) Class 4.1: "Non-weather protected locations"</li> </ul>	
Shockproof protection	NEBS GR63 zone4	
Ingress Protection (IP)	IP65	
Item	Specification	
Input power	-48 V DC; voltage range: -36 V DC to -57 V DC  <b>NOTE</b> The RRU3832 supports AC applications after being configured with an AC/DC power module. For details, see the <i>AC/DC Power Module User Guide</i> .	
Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	TX Frequency Band (MHz)
AWS	1710 to 1755	2110 to 2155



## ANEXO 6

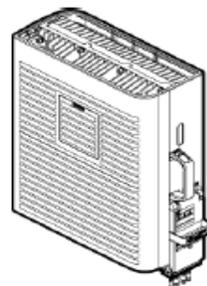
### Datos Técnicos - RRU 3942

Item	Specifications
Dimensions (H x W x D)	485 mm x 380 mm x 170 mm (with the housing) 485 mm x 356 mm x 140 mm (without the housing)
Weight	25 kg (with the housing) 23.5 kg (without the housing)
Operating temperature	-40°C to +50°C (without solar radiation) -40°C to +45°C (with solar radiation)
Relative humidity	5% RH to 100% RH
Absolute humidity	1 g/m <sup>3</sup> to 30 g/m <sup>3</sup>
Atmospheric pressure	70 kPa to 106 kPa
Operating environment	The RRU complies with the following standards: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3GPP TS 45.005</li> <li>• 3GPP TS 25.141</li> <li>• 3GPP TS 36.141</li> <li>• 3GPP TS 37.141</li> <li>• ETSI EN 300019-1-4 V2.1.2 (2003-04) Class 4.1: "Non-weather protected locations."</li> </ul>
Shockproof protection	NEBS GR63 zone4
Ingress Protection (IP) rating	IP65

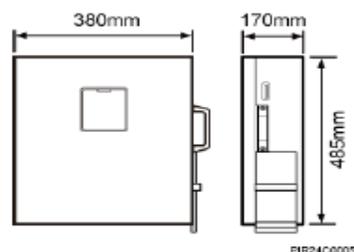
Item	Specifications
Input power	-48 V DC; voltage range: -36 V DC to -57 V DC   <b>NOTE</b> The RRU3942 supports AC applications after being configured with an AC/DC power module. For details, see the AC/DC Power Module User Guide.

Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	TX Frequency Band (MHz)
1900	1850-1910	1930-1990
850	824-849	869-894

RRU exterior



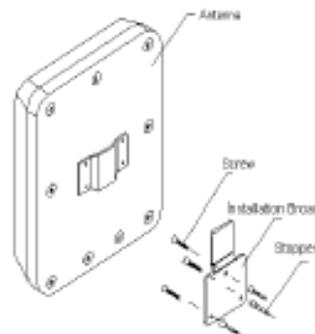
RRU dimensions



## ANEXO 7

### Datos Técnicos - Antena Panel

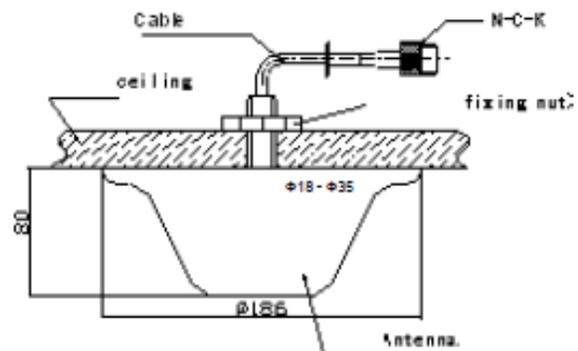
<b>5/8/6 dBi Wall Mount Antenna</b>		
<b>Model: HADA-0709/1827-N-5/8/6</b>		
<b>Electrical Properties</b>		
Frequency range (MHz)	698 - 960	1710 - 2700
Polarization	Vertical	
VSWR	≤ 1.8 (698 - 800 MHz) ≤ 1.6 (800 - 960 MHz)	≤ 1.6
Gain (dBi)	5	8 (1710 - 2200 MHz) 6 (2201 - 2700 MHz)
Horizontal 3dB beam width (°)	115 (698 - 800 MHz) 95 (800 - 960 MHz)	75 (1710 - 2200 MHz) 115 (2200 - 2700 MHz)
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -140 (2 x 33 dBm carrier)	
Front to back ratio (dB)	> 8	
Max. CW average power (W)	50	
Impedance (Ω)	50	
Grounding	DC Grounding	
<b>Mechanical Properties</b>		
Dimensions (H x W x D) (mm)	210 x 180 x 44	
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	250 x 190 x 55	
Net weight(with installation kit) (kg)	0.45	
Packing weight (kg)	0.5	
Mechanical tilt (°)	0	
Radome material	UV ABS	
Application scene	Indoor	
Operating temperature (°C)	-30 ... +55	
Connector	N - Female	



## ANEXO 8

### Datos Técnicos - Antena Omnidireccional

<b>2/5 dBi Omnidirectional Ceiling Antenna</b>		
<b>Model: HAOA-0709/1827-N-2/5</b>		
<b>Electrical Properties</b>		
Frequency range (MHz)	698 - 960	1710 - 2700
Polarization	Vertical	
VSWR	≤ 1.8 (698 - 800 MHz) ≤ 1.5 (800 - 960 MHz)	≤ 1.5
Gain (dBi)	2	5
Horizontal 3dB beam width (°)	360	
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -140 (2 x 33 dBm carrier)	
Max. CW average power (W)	50	
Impedance (Ω)	50	
Grounding	DC Grounding	
<b>Mechanical Properties</b>		
Dimensions (H x D) (mm)	85 x Φ186	
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	180 x 150 x 150	
Net weight (with installation kit) (kg)	0.23	
Packing weight (kg)	0.3	
Radome material	UV ABS	
Application scene	Indoor	
Operating temperature (°C)	-30 ... +55	
Connector	N - Female	



## ANEXO 9

### Datos Técnicos - BBU3900

Item	Specifications
Dimensions (H x W)	86 mm x 442 mm x 310 mm
Item	Specifications
Weight	<ul style="list-style-type: none"><li>● <math>\leq 12</math> kg (full configuration, BBU3900)</li><li>● <math>\leq 7</math> kg (typical configuration, BBU3900)</li></ul>
Operating temperature	<ul style="list-style-type: none"><li>● <math>-20^{\circ}\text{C}</math> to <math>+55^{\circ}\text{C}</math> (long term)</li><li>● <math>+55^{\circ}\text{C}</math> to <math>+60^{\circ}\text{C}</math> (short term)</li></ul>
Relative humidity	5% RH to 95% RH
Protection level	IP20
Atmospheric Pressure	70 kPa to 106 kPa
Input Power	Voltage Range
-48 V DC (UPEU <sub>c</sub> )	-38.4 V DC to -57 V DC



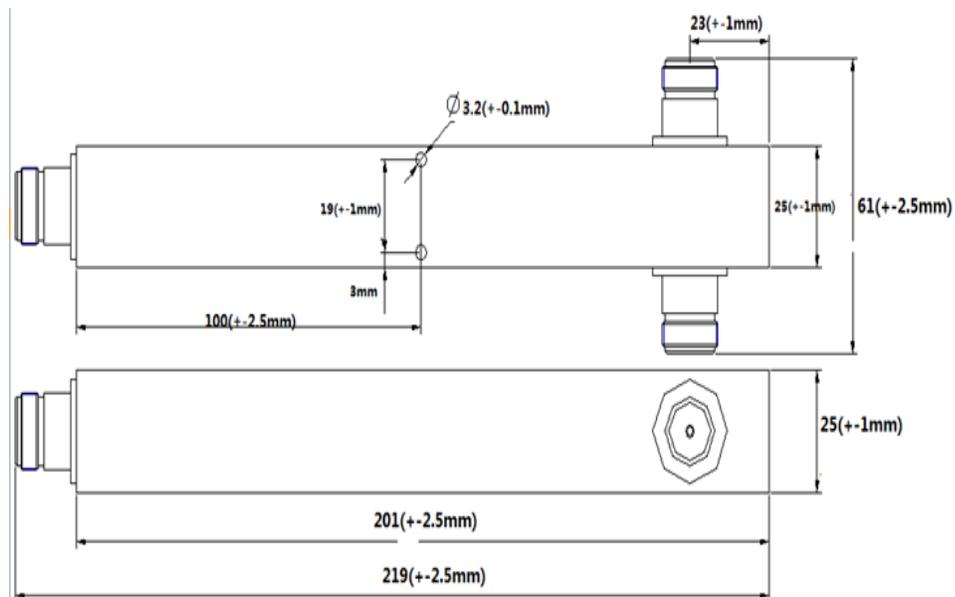
## ANEXO 10

### Datos Técnicos – Splitter

#### Cavity Power Splitter

Model: **HAS0727N300L-02 / 03**

Mechanical Properties	
Dimensions (H x W x D) (mm) (without connector)	201 x 25 x 25
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	245 x 70 x 45
Net Weight (kg)	0.39
Packing weight (kg)	0.42
Operating temperature (°C)	-40°C to +65°C
Relative humidity	5%~95%
Application scene	Indoor / Outdoor IP65
Connector	N-Female



## ANEXO 11

### Datos Técnicos – Coupler

Model: **HAT0727N300L-05**

**HAT0727N300L-06 HAT0727N300L-07 HAT0727N300L-08**

**Model: HAT0727N300L-10 HAT0727N300L-13 HAT0727N300L-15**

Electrical Properties				
Model	HAT0727N300L-05	HAT0727N300L-06	HAT0727N300L-07	HAT0727N300L-08
Frequency range (MHz)	698-2700			
Coupling(dB)	5.0±0.6	6.0±0.6	7.0±0.8	8.0±0.8
Coupling loss(dB)	1.65	1.26	0.97	0.75
Insertion loss (dB)	≤0.3 (Exclude Coupling Loss )			
Isolation between ports (dB)	≥25	≥26	≥27	≥28
VSWR	≤1.2			
Inter modulation IM3 (dBc)	≤ - 150 (2 x 43 dBm carrier)			
Max. CW average power (W)	300			
Peak power (W)	2000			
Impedance (Ω)	50			
Mechanical Properties				
Dimensions (H x W x D) (mm) (without connector)	119 x 47 x 22			
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	165 x 80 x 30			
Net Weight ( kg )	0.36			
Packing weight (kg)	0.385			
Operating temperature (°C)	-40°Cto + 65°C			
Relative humidity	5%~95%			
Application scene	Indoor / Outdoor IP65			
Connector	N-Female			



## ANEXO 12

### Datos Técnicos – Diplexor

<b>Environmental Specifications</b>	
Ingress Protection Test Method	IEC 60529:2001, IP67
Operating Temperature	-40 °C to +65 °C (-40 °F to +149 °F)
Relative Humidity	Up to 100%

<b>Dimensions</b>	
Depth	65.5 mm   2.6 in
Height	192.0 mm   7.6 in
Volume	2.3 L
Width	186.0 mm   7.3 in
Weight, without mounting hardware	3.0 kg   6.6 lb



## ANEXO 13

### Datos Técnicos – Cable Coaxial 1/2"

#### Especificaciones de Cables

#### (1/2" ) RF CABLE

Constuction Specifications	Material
Inner Conductor	Copper-Clad Aluminum Wire or Copper
Dielectric	Physical Foam Polyethylene
Outer Conductor	Corrugated Copper Tube
Jacket	Low Smoke Halogen-free Fire-retardant

Physical Dimensions	
Inner Conductor Diameter, mm	4.80±0.03
Dielectric Diameter, mm	12.30±0.15
Outer Conductor Diameter, mm	13.80±0.15
Over Jacket Diameter, mm	15.70±0.30

Electrical Specifications	
Capacitance, pF/m(ft)	76 (23.2)
Impedance, ohms	50±1
Velocity, Percent	88
Peak Power Rating, kW	40
RF Peak Voltage, KV	1.6
Insulation Resistance, MΩ·km	>5000
Cut-off Frequency, (GHz)	8.8
Insulation Voltage, KV	6.0
Jacket Spark, KV	8.0
Shielding Effectiveness, dB	>120
VSWR(Return Loss)	
0.8~1.0GHz	≤1.15(≥23dB)
1.7~2.0GHz	≤1.15(≥23dB)

Mechanical and Environmental Specifications	
Minimum Bending Radius	
Single Bend, mm(in)	50(2)
Repeated Bends, mm(in)	125(5)
Number of Bends	15
Mobile Apply, mm(in)	350(14)
Bending Moment, N·m(lb-ft)	5.0(3.7)
Tensile Strength, kg(lb)	110(247)
Storage Temperature, °C(°F)	-55to+85(-67to+185)
Installation Temperature, °C(°F)	-40to+60(-40to+140)
Operating Temperature, °C(°F)	-55to+85(-67to+185)



Attenuation and Average Power			
Frequency	Attenuation		Average Power(kW)
MHz	dB/100 m	dB/100 ft	
100	2.17	0.661	3.94
200	3.11	0.948	2.75
450	5.32	1.62	1.80
800	7.22	2.20	1.33
900	7.70	2.35	1.25
1500	10.16	3.10	0.95
1800	11.23	3.42	0.86
2000	11.90	3.63	0.81
2400	13.17	4.01	0.75
3000	14.93	4.55	0.65

Standard Conditions:

For attenuation: VSWR 1.0, cable temperature 20°C(68°F)

For average power: VSWR 1.0, ambient temperature 40°C(104°F)

inner conductor temperature 100°C(212°F). No solar loading.