

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE
ANTENAS PARA LA RED MOVIL EN EL INTERIOR DE CENTROS
COMERCIALES**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR:
PABLO MINAYA BARRERA**

**PROMOCIÓN
2010-II**

**LIMA-PERÚ
2014**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO DE
ANTENAS PARA LA RED MOVIL EN EL INTERIOR DE CENTROS
COMERCIALES**

DEDICATORIA:

A mis padres y hermanos, por acompañarme en este largo camino.

A mi novia Sally, por decidir ser mi compañera de vida.

A mi querida Universidad, mi alma mater.

SUMARIO

El presente trabajo describe el diseño e implementación de una red RF Indoor ubicada en el interior del Centro Comercial Jockey Plaza con la finalidad de solucionar los problemas de cobertura de señal del servicio de telefonía móvil tanto para la tecnología 3G, así como también incluir cobertura del servicio móvil 4G dentro del centro comercial.

En este trabajo se presenta un estudio técnico y económico para el diseño de un sistema distribuido de antenas que permite suministrar cobertura del servicio móvil en el interior del edificio principal del Centro Comercial, en la construcción comprendida entre las tiendas por departamento Ripley en el extremo Este y las tiendas por departamento Saga Falabella en el extremo Oeste. Para tal efecto, se presenta un análisis del problema de cobertura en dicha zona, a través de mediciones de cobertura de señal dentro de la edificación ubicando los puntos con mayor deficiencia de señal móvil.

El presente trabajo también explica la metodología para el diseño, selección de equipamiento, instalación, montaje, configuración y puesta en operación, además de la estructura de costos y del cronograma de trabajos.

Finalmente, en base del análisis realizado, se presentan las conclusiones y se proponen recomendaciones a futuro pertinentes.

LISTADO DE ACRONIMOS

AMC	<i>Adaptative Modulation and Coding</i> Modulación Adaptativa y Codificación
BBU	<i>Band Base Unit</i> Unidad de Banda Base
BS	<i>Base Station</i> Estación Base
CN	<i>Core Network</i> Red de Núcleo
DAS	<i>Distrbuted Antenna System</i> Sistema Distribuido de Antenas
DCH	<i>Dedicated Channel</i> Canal Dedicado
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i> Transformada Discreta de Fourier
DPCCH	<i>Dedicated Physical Common Channel</i> Canal Dedicado Físico Común
DPDCH	<i>Dedicated Physical Data Channels</i> Canales de Datos Físico Dedicado
DRNC	<i>Drifting Radio Network Controller</i> Controlador de Red de Radio Drifting
eNB	eNode B eNodo B
E-UTRAN	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i> Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionada
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i> Duplexación por División de Frecuencia
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> Servicio General de Paquetes de Radio

GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> Sistema Global para Comunicaciones Móviles
HARQ	<i>Hybrid Automatic Repeat Request</i> Solicitud de Repetición Híbrida Automática
HeNB	Home eNodeB eNodo B de Casa
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i> Acceso de Paquetes de Alta Velocidad
IP	<i>Internet Protocol</i> Protocolo de Internet
LTE	<i>Long-Term Evolution</i> Evolución a Largo Plazo
MAC	<i>Medium Access Control</i> Control de Acceso del Medio
MBMS	<i>Multimedia Broadcast Multicast Service</i> Servicio Multimedia Broadcast Multicast
MBPS	<i>Mega Bit Per Second</i> Mega Bit Por Segundo
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i> Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal
QAM	<i>Quadrature amplitude modulation</i> Modulación por Amplitud en Cuadratura
QoS	<i>Quality of Service</i> Calidad de Servicio
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> Modulación por desplazamiento de fase
PAC	<i>Peak Average Rate</i> Razón Promedio Pico
RAB	<i>Radio Access Bearer</i> Portador de Acceso de Radio
RAN	<i>Radio Access Network</i> Red de Acceso de Radio
RF	<i>Radio Frequency</i> Radio Frecuencia
RNC	<i>Radio Network Controller</i> Controlador de la Red de Radio

RRM	<i>Radio Resource Management</i> Gestión de Recursos de Radio
RRU	<i>Radio Remote Unit</i> Unidad Remota de Radio
RX	<i>Reception</i> Recepción
SC-FDMA	<i>Carrier Individual - Frequency Division Multiple Access</i> Acceso Múltiple por División de Frecuencia – Portadora Individual
SRNC	<i>Serving Radio Network Controller</i> Controlador de la Red de Radio de Servicio
TB	Transport Block Bloque de Transporte
TDD	<i>Time Division Duplex</i> Duplexación por División de Tiempo
TDMA	<i>Time division multiple Access</i> Acceso Múltiple por División de Tiempo
TRX	<i>Transmitter–Receiver</i> Transmisor - Receptor
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>
TTP	<i>Traffic Termination Point</i> Punto de Terminación de Trafico
	Intervalo de Tiempo de Transmisión
TX	<i>Transmission</i> Transmisión
UE	<i>User Equipment</i> Equipo Usuario
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> Sistema de Telecomunicaciones Móvil Universal
UTRAN	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i> Red de Acceso de Radio Terrestre Universal
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i> Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha

LISTADO DE SIGNIFICADO DE TÉRMINOS

3G	Tercera generación celular
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
4G	Cuarta generación
Bearer	Enlace entre dos puntos, que se define por un cierto conjunto de características.
BIT	Unidad básica de información en computación y las comunicaciones digitales
Broadcast channel	Canal de difusión
Cell ID	Identificador de celda.
Downlink	Para las redes celulares, el downlík o enlace descendente de radio es la trayectoria de transmisión de una celda hacia el teléfono celular.
Drifting RNC	RNC "a la deriva", modo en que la RNC asigna el contexto de un UE a si mismo
Duplexor	Dispositivo que permite comunicación bidireccional (dúplex) a través de un único camino.
End-to-end	Es un principio clásico diseño de las redes de computadoras que afirma que las funciones específicas de la aplicación debe residir en los hosts finales de una red en lugar de en los nodos intermedios.
eNode B	También conocido como Evolved node B (Nodo B evolucionado, abreviado como eNodeB o eNB) es el elemento en E-UTRA de LTE que es la evolución del elemento de Nodo B en UTRA de UMTS.
Femtocelda	Estación base celular pequeña y de baja potencia por lo general diseñados para su uso en el hogar o la pequeña empresa.
GMon	Herramienta de monitoreo para redes móviles.
Google earth	<i>programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital.</i>

PLANO 01

Handover	Se denomina handover o traspaso al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.
Hardware	Todas las partes tangibles de un sistema informático
Interfaz Uu	Interfaz que se encuentra entre el equipo de usuario y la red UTRAN.
Interfaz Iu	Interfaz que conecta a la red central con la red de acceso de radio de UMTS
Link Budget	contabilidad de todas las ganancias y pérdidas de un transmisor, a través del medio (espacio libre, cable, guía de onda, fibra, etc) para el receptor en un sistema de telecomunicaciones.
Nodo B	Nombre que recibe la estación base en UMTS
RF Indoor	Nodo B en interiores de edificios.
Serving RNC	RNC de servicio.
Single RAN	Solución unificada donde coexisten las tecnologías GSM, UMTS y LTE a través de un solo equipamiento.
Smartphone	También conocido como teléfono inteligente (<i>smartphone</i> en inglés) es un teléfono móvil construido sobre una plataforma informática móvil, con una mayor capacidad de almacenar datos y realizar actividades semejantes a una minicomputadora, y con una mayor conectividad que un teléfono móvil convencional.
Software	<i>Equipamiento lógico o soporte lógico</i> de un sistema informático,
Soft Handover	Característica utilizada por los estándares CDMA y W-CDMA, donde un teléfono celular está conectado simultáneamente a dos o más celdas durante una llamada.
Splitter	Elemento pasivo que se utiliza para dividir la potencia en 2 o más partes iguales.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA..... 2

1.1 Descripción del problema..... 2

1.2 Objetivos del trabajo..... 3

1.3 Evaluación del problema..... 3

1.3.1 Descripción del caso 5

1.3.2 Mediciones tomadas..... 7

1.4 Alcance del trabajo..... 9

1.5 Síntesis del trabajo..... 9

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DE LA SOLUCIÓN PROYECTADA.....10

2.1 Alternativas de solución 10

2.1.1 Tecnología UMTS..... 10

2.1.2 Tecnología LTE 18

2.1.3 Soluciones de Optimización Indoor..... 23

2.1.4 Conclusión..... 27

2.2 Solución del problema..... 28

2.2.1 Topología de la solución 29

2.2.2 Montaje de equipamiento..... 31

2.2.3 Cálculos de niveles de potencia..... 33

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ECONÓMICOS.....36

3.1 Análisis de costos..... 36

3.2 Análisis de ingresos..... 37

CAPÍTULO IV

PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN.....40

4.1 Implementación 40

4.2 Cronograma.....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
ANEXOS	46
BIBLIOGRAFIA	59

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Evolución de suscripciones de Internet Móvil	4
Figura N°1.2 Ubicación de nodos según operador en las inmediaciones del Centro Comercial.....	6
Figura N° 1.3 Móvil con aplicación G-Mon.....	7
Figura N° 1.4 Imagen de Google earth donde se muestran las mediciones tomadas con el móvil y la aplicación G-Mo.....	8
Figura N° 1.5 Porcentajes según los niveles de potencia detectados dentro del Centro comercial.....	9
Figura N° 2.1 UTRAN, Arquitectura general.....	11
Figura N° 2.2 La estructura básica de una Estación Base.....	12
Figura N° 2.3 Arquitectura lógica de la estación base.....	13
Figura N° 2.4 Principal principio en la modulación QPSK.....	14
Figura N° 2.5 Uplink modulation in UTRAN.....	15
Figura N° 2.6 The result of combining I/Q code-multiplexing with uplink modulation.....	16
Figura N° 2.7 El proceso básico de la modulación QAM y su constelación de 16QAM....	17
Figura N° 2.8 Arquitectura lógica básica de la RNC.....	18
Figura N° 2.9 Arquitectura desde GSM hasta LTE.....	19
Figura N° 2.10 Interfaces X2 y S1.....	20
Figura N° 2.11 OFDMA y SC-FDMA	22
Figura N° 2.12 Solución Indoor con repetidores.....	24
Figura N° 2.13 Femtocelda.....	24
Figura N° 2.14 Sistema distribuido de antenas.....	25
Figura N° 2.15 Esquema de la arquitectura de la solución.....	28
Figura N° 2.16 Topología de la solución.....	30
Figura N° 2.17 Ubicación de los equipos en el Centro Comercial.....	32
Figura N° 4.1 Imágen de antena omnidireccional.....	40
Figura N° 4.2 Imágen de antena tipo panel.....	41
Figura N° 4.3 Imagen de splitter y acoplador respectivamente.....	41

Figura N° 4.4 Estructura de un gabinete APM30.....	42
Figura N° 4.5 Estructura de la RRU	42
Figura N° 4.6 Diagrama de Gantt.....	43

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1.1 Estadística del número de hogares con al menos un miembro que posee teléfono celular.....	3
TABLA N° 1.2 Lista de nodos cercanos al centro comercial Jockey Plaza.....	5
TABLA N° 2.1 Valores promedio de atenuación.....	27
TABLA 2.1 Potencias del sistema distribuido de antenas.....	34
TABLA N° 3.1 Precios de los equipos.....	36
TABLA N° 3.2 Costos de los materiales de construcción.....	37
TABLA N° 3.3 Costos de los servicios de instalación.....	37
TABLA N° 3.4 Inversión total.....	37
TABLA N° 3.5 Tarifas por minuto y por Mb.....	38
TABLA N° 3.6 Porcentaje según modalidad para Movistar en la ciudad de Lima.....	38
TABLA N° 3.7 Análisis de ingresos por conceptos de llamadas.....	38
TABLA N° 3.8 Análisis de ingreso por concepto de uso de datos.....	39
TABLA N° 3.5 Ganancia total mensual.....	39

INTRODUCCIÓN

En los últimos 10 años ha sido impresionante el crecimiento de la telefonía móvil, según estadísticas a Marzo del 2014 se ofrecían más de 30 millones de líneas en servicio móvil en el país [1], debido a la gran demanda de usuarios y servicios que ésta tiene. Sin embargo, detrás de estos servicios hay una gran evolución y años de desarrollo tecnológico que han hecho posible una evolución de las comunicaciones móviles que ha pasado de ser algo que mejoraba nuestra forma de vivir a una necesidad vital. En la actualidad se puede decir que todas las actividades humanas están regidas por la necesidad de estar siempre comunicados, desde acciones triviales como planear una salida al cine con los amigos hasta acciones de alto riesgo como sería el informar de un accidente grave. No tener un teléfono celular es casi inconcebible.

Es por esto que resulta muy necesaria que la cobertura de este servicio esté disponible en todo momento. Lamentablemente esto no ocurre así, siendo muy común quedar totalmente sin servicio cuando se está dentro de una edificación. El presente trabajo brindará una solución para la cobertura de telefonía móvil al interior del centro comercial Jockey Plaza utilizando el esquema de optimización RF Indoor.

En este trabajo se realiza un estudio teórico de los conceptos ligados a la telefonía móvil y las tecnologías que la definen, así como también las consideraciones para la optimización de redes móviles y las soluciones que existen para la mejora de cobertura en interiores. Luego se efectúan estudios prácticos y mediciones dentro de la edificación. En base a estos estudios se procede a la definición de objetivos medibles para luego hacer el diseño e implementación de una red RF Indoor con el fin que los niveles de señal dentro del recinto sean superiores a -69dBm y garanticen la cobertura del servicio de telefonía móvil.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

Este capítulo se desarrolla con la finalidad de presentar de una manera clara y concisa el escenario bajo el cual nace la motivación de este trabajo y a qué necesidad responde. Se definen también cuáles son los alcances y aportes del mismo. Finalmente se dedica un punto a la síntesis de este trabajo.

1.1 Descripción del Problema

El centro comercial Jockey Plaza ubicado en la Av. Javier Prado Oeste 420 en el distrito de Santiago de Surco en la provincia de Lima, departamento de Lima, con un área de unos 136.834 metros cuadrados es uno de los centros comerciales de mayor movimiento económico en nuestra ciudad (el año 2013 facturó US\$730 millones), tiene una tasa de visitas mensual de 2,500,000 personas [2].

En el 79.8 por ciento de los hogares a nivel nacional existe por lo menos uno de sus miembros con teléfono celular, según un trabajo del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [3] correspondiente trimestre de Octubre – Noviembre – Diciembre de 2012. Siendo Lima Metropolitana el ámbito geográfico con mayor índice, tal como se puede apreciar en la Tabla N° 1.1.

Según un estudio de Ipsos – Apoyo realizado en febrero del 2013 [4] en Lima, la penetración de smartphones alcanzó el 20%, mientras que en zonas urbanas a nivel nacional representó el 16%, que significa un crecimiento de más del 200% de lo obtenido en el 2011 (6.3%).

Además actualmente entre el 70% y el 80% del tráfico móvil proviene del interior de edificios, pero la solución de nodos B está enfocada principalmente para exteriores.

Estos datos en consenso generan un problema de cobertura y tasa de descarga reducida en lugares de alta densidad de usuarios tal como lo es un centro Comercial.

Sumado el hecho de que la propia infraestructura del centro comercial atenúa cualquier señal móvil.

TABLA N° 1.1 Estadística del número de hogares con al menos un miembro que posee teléfono celular. [3]

Ámbito geográfico	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Total	7.9	8.9	12.1	16.4	20.7	29.8	45.0	59.7	67.0	73.1	75.2	79.7	82.0
Lima Metropolitana 1/	18.0	18.7	25.8	34.2	39.5	51.3	65.7	75.7	80.3	83.3	85.6	88.8	88.5
Resto país	3.6	4.6	6.2	9.0	12.6	20.3	36.0	52.6	61.0	68.4	70.6	75.8	79.1
Área de residencia													
Urbana	11.2	12.7	17.1	22.9	28.6	40.1	57.8	72.4	78.0	82.2	83.9	86.9	88.2
Rural	0.6	0.4	0.5	1.3	1.4	3.7	11.3	24.3	36.0	46.2	49.8	58.2	63.1

1.2 Objetivos del Trabajo

Presentar un diseño de una solución de un sistema distribuido de antenas para interiores con la finalidad de distribuir homogéneamente la señal.

Mejorar la cobertura de señal móvil al interior del centro comercial.

Ampliar las tasas de descarga de datos a los móviles dentro del Centro Comercial.

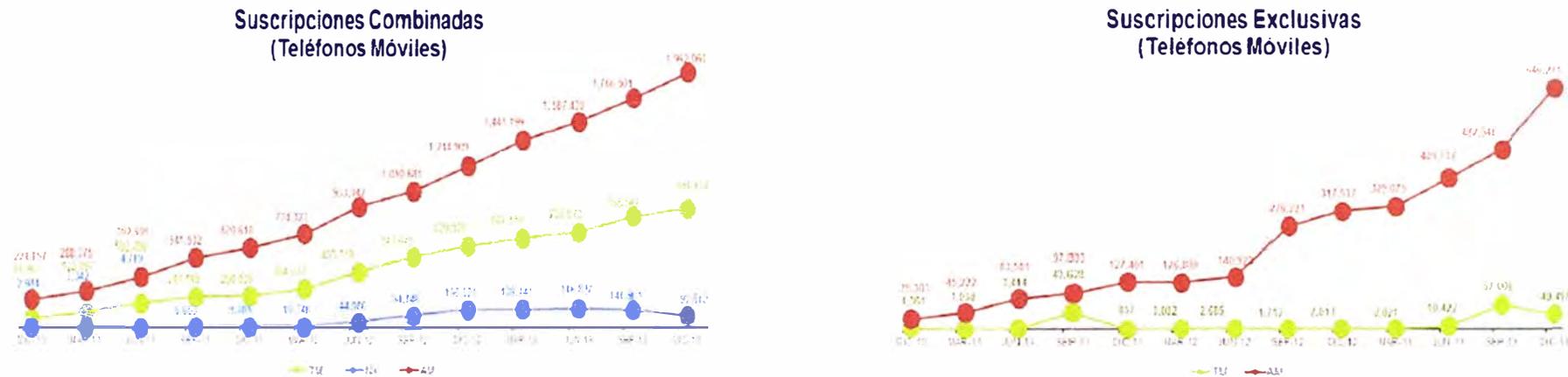
1.3 Evaluación del Problema

El problema de la falta de cobertura en interiores de edificios está siendo estudiado actualmente en el Perú por algunas operadoras móviles (Telefónica Móviles S.A. América Móvil Perú S.A.C., Nextel del Perú S.A.), quienes están poniendo en marcha proyectos para llevar mayor cobertura en interiores según la necesidad se presente.

Dentro de este escenario, la implementación de un sistema distribuido de antenas utilizando las tecnologías WCDMA y LTE es la solución para optimizar la cobertura dentro de la edificación del centro comercial Jockey Plaza.

En la figura 1.1 se muestra la evolución de suscripciones de Internet Móvil desde diciembre del 2010 hasta diciembre del 2013, tal como se observa en la gráfica todos los operadores han tenido un crecimiento continuo en los últimos años, siendo América Móvil el operador con mayor número de suscripciones, alcanzando la cifra de 1,962,060 suscripciones combinadas seguido por Telefónica Móviles con 916,837 suscripciones y dejando en tercer lugar al operador Nextel con 92,612 suscripciones, estas cifras estimadas por Osipitel a finales del 2013 en la modalidad de Suscripciones Combinadas.

Evolución de Suscripciones de Internet Móvil (Según Empresa)



Suscripciones Exclusivas (Módem USB y Otros*)

(*) "Otros": incluye Tablets, netbooks con SIM-Card incorporado y otros dispositivos con SIM-Card.

- TM, AM, NX, VT y OLO, hacen referencia a Telefónica Móviles, Aménca Móvil, Nextel, Velatel y OLO del Perú respectivamente.
- Grupo Telefónica representa a Telefónica Móviles y Telefónica del Perú.
- Otros Operadores representa a TVS Wireless y a Cable Visión.
- Información de líneas móviles activas que accedieron al menos una vez a Internet con velocidad mayor o igual a 256 Kbps. Se excluyen líneas cuyos planes o paquetes permiten acceso a internet restringido (solo chat, solo redes sociales, solo e-mail, etc.).

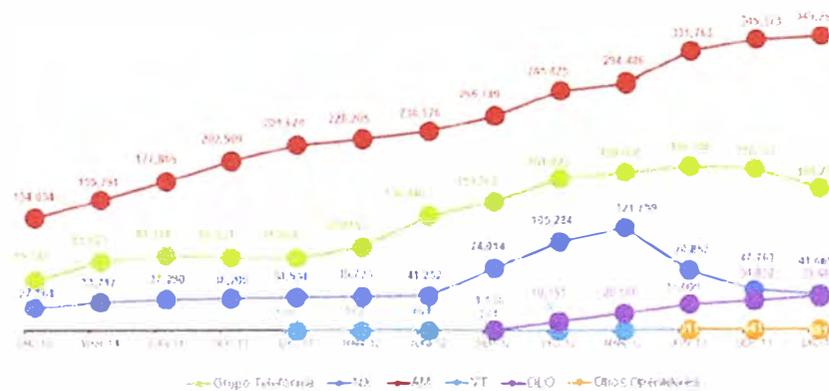


Figura N° 1.1 Evolución de suscripciones de Internet Móvil [1]

1.3.1 Descripción del caso

Para un mejor análisis se han identificado los nodos más cercanos al centro comercial para los principales operadores, tal y como se observa en la tabla N° 1.2, esto con el fin de analizar la cobertura que las estaciones indicadas puedan proporcionar.

TABLA N° 1.2 Lista de nodos cercanos al centro comercial Jockey Plaza.

Fuente: Aplicación Open Signal

Operador	Nombre	Latitud	Longitud
Nextel	Neptuno	12° 4'52.57"S	76°58'29.21"W
	Jockey Plaza	12° 5'3.88"S	76°58'23.11"W
	Jockey Club	12° 5'11.31"S	76°58'36.67"W
Telefónica	Trebol	12° 5'0.93"S	76°58'55.45"W
	Jockey Plaza	12° 5'1.01"S	76°58'31.71"W
	Olguin	12° 5'29.69"S	76°58'24.57"W
América Móvil	Nodo 1	12° 5'21.51"S	76°58'49.83"W
	Nodo 2	12° 4'49.88"S	76°58'45.95"W

De las coordenadas mostradas en la Tabla N° 1.2, se procede a ubicar en el mapa dichas estaciones, para ello hemos utilizado la herramienta Google Earth. A fin de una fácil identificación cada operador utiliza iconos del mismo color.

Tal como se observa en la figura N° 1.2 la estación más cercana dista unos 200m del centro comercial, que si bien no es una gran distancia, debido a la propia edificación de concreto del centro comercial, esta señal se atenúa en muchas de las tiendas comerciales.

También se debe tener en cuenta que el tráfico que se cursa en el Centro Comercial es grande debido a la gran cantidad de personas que a diario transitan en su interior, lo cual no deja canales disponibles para atender mayor número de llamadas. Los demás Nodos B están a distancias grandes que ya no son óptimas considerando los grandes edificios. El segundo nodo más cercano del operador Nextel llamado "Jockey Plaza" que está ubicado a 360 metros, que si bien es cierto aún está en el rango de distancia permisible, considerando la gran cantidad de edificios altos que están en el recorrido antes de alcanzar el edificio principal del Centro Comercial ya no suministrará de manera óptima la señal.

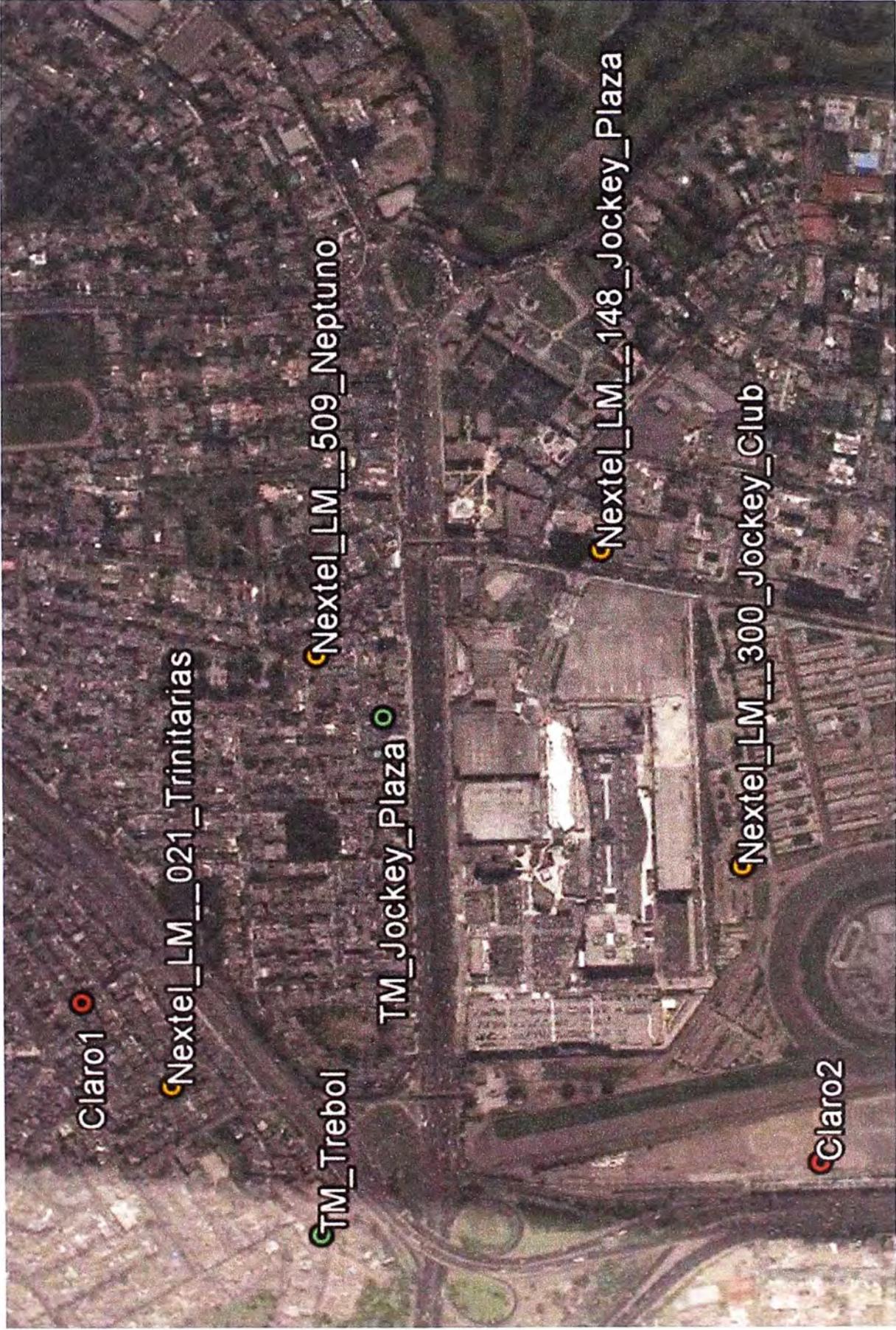


Figura N° 1.2 Ubicación de nodos según operador en las inmediaciones del Centro Comercial

1.3.2 Mediciones tomadas

Para el proceso de medición la herramienta fundamental fue la aplicación G-Mon, que es una aplicación gratuita para Smartphone, dicha aplicación fue instalada en un teléfono Samsung Galaxy S4 con los cuales se realizaron las mediciones de nivel de señal dentro de las tiendas del centro comercial. En la Figura N° 1.3 se aprecia el entorno de esta aplicación.

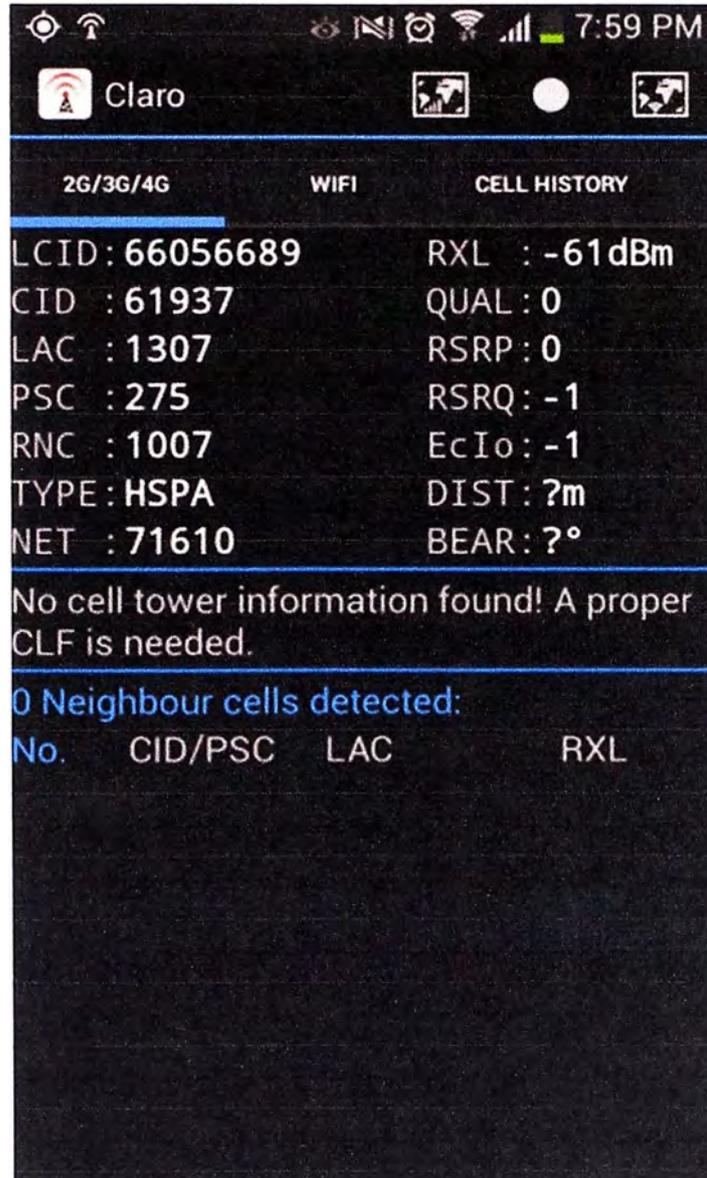


Figura N° 1.3 Móvil con aplicación G-Mon.

Fuente: Propia

Esta aplicación genera un archivo kml que puede ser visualizado posteriormente a través del programa google earth tal como se muestra en la figura N° 1.4.

Para cada medición registrada la aplicación genera en el programa google earth un punto que a través de un color en específico permite identificar el nivel de potencia que existe en determinada ubicación.

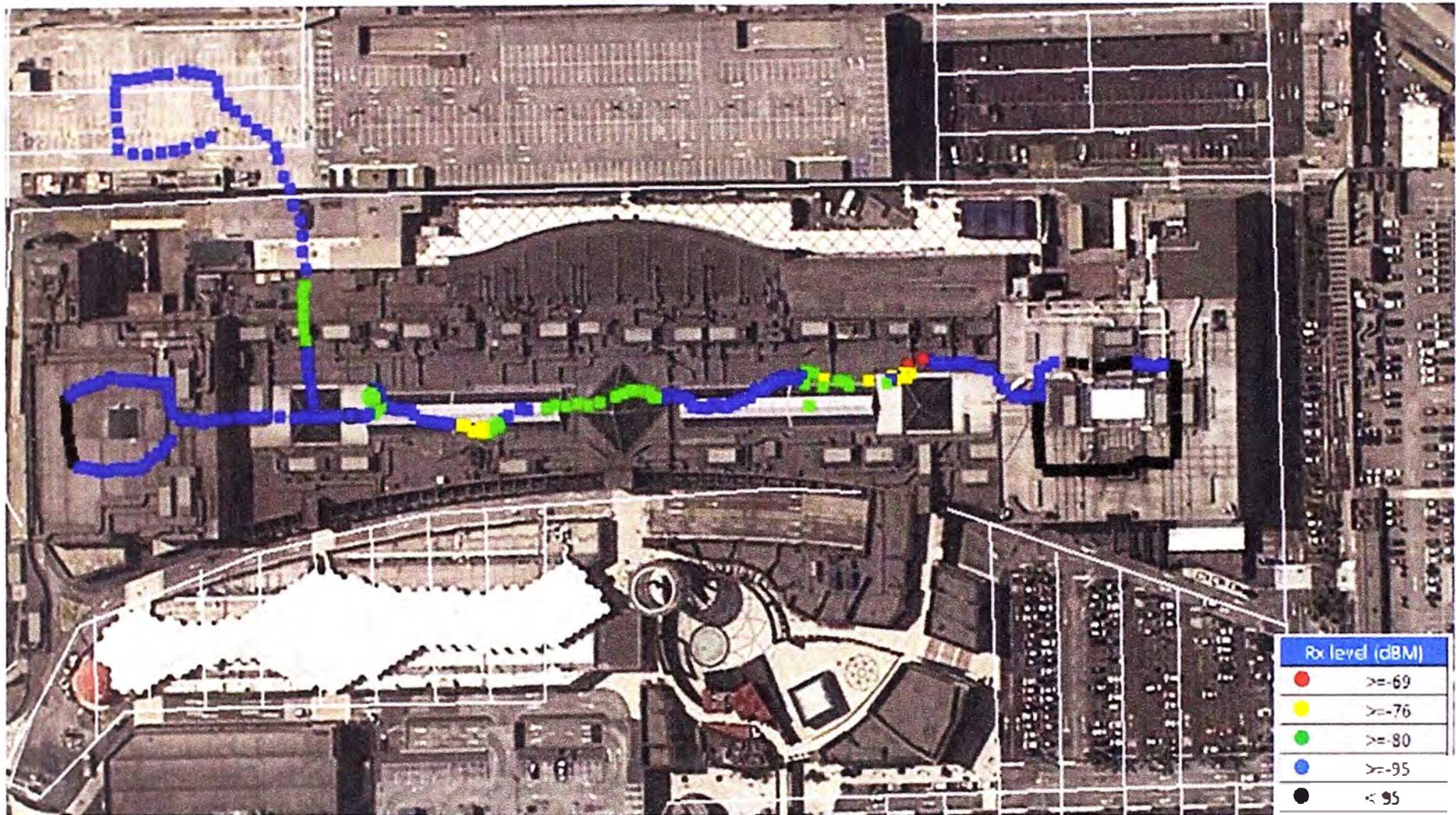


Figura N° 1.4 Imagen de Google earth donde se muestran las mediciones tomadas con el móvil y la aplicación G-Mo.

Fuente: Propia

En la figura N° 1.5 se puede apreciar los porcentajes según el nivel de potencia de las mediciones realizadas.

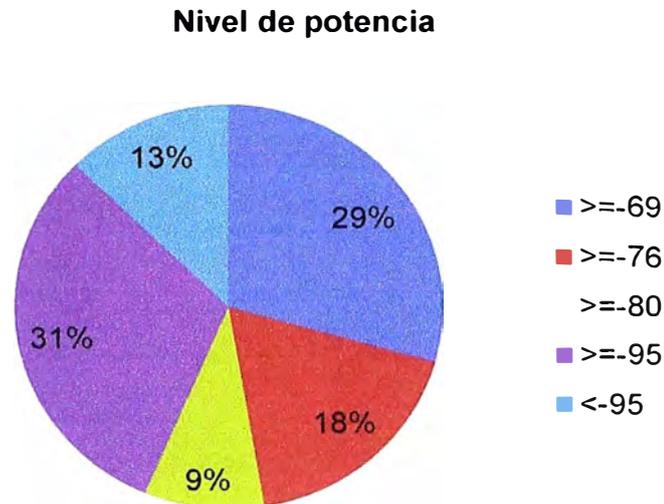


Figura N° 1.5 Porcentajes según los niveles de potencia detectados dentro del Centro comercial. Fuente propia, resultado de las mediciones realizadas.

1.4 Alcance del trabajo

Este trabajo constituye un estudio y planificación de la implementación de un sistema distribuido de antenas para la red móvil dentro de las edificaciones del Centro comercial Jockey Plaza, en el edificio principal que abarca desde la tienda por departamentos Saga Falabella hasta la tienda por departamentos Ripley ambas ubicadas en los extremos opuestos del edificio.

El análisis presentado contiene información sobre la cobertura actual brindada por las distintas empresas operadoras en los lugares próximos al centro comercial en mención y indicando la solución desde el enlace de transmisiones hasta el nodo distribuido dentro del centro comercial.

Cabe indicar que en el diseño se consideran equipos Huawei para la solución.

1.5 Síntesis del trabajo

Se exponen los fundamentos teóricos que permitan comprender el diseño del sistema distribuido de antenas.

Se presenta un análisis de la arquitectura de hardware y software de los equipos a utilizar para implementar esta solución.

Finalmente se exponen los lineamientos y recomendaciones a tener en cuenta en el proceso de implementación.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

2.1 Alternativas Tecnológicas

En este capítulo se realiza una breve descripción teórica de la tecnología a utilizar para el diseño del sistema distribuido de antenas y las tecnologías WCDMA y LTE utilizadas en esta solución, así como también, una descripción teórica de los enlaces microondas.

2.1.1 Tecnología UMTS

Aunque UMTS es rápidamente evolucionada hacia una red completamente de multi-acceso, La UTRAN forma su principal red de acceso de radio (RAN). La principal tarea de la UTRAN es crear y mantener RABs para la comunicación entre el UE y el CN. Con RAB los elementos del CN tienen una idea aproximada sobre un camino de comunicación hacia la UE, por lo tanto liberándolos de la necesidad de tener cuidado de los aspectos de la comunicación por radio.

La UTRAN está localizada entre dos interfaces: Uu y Iu. Desde el punto de vista de la arquitectura del bearer, la principal tarea de la UTRAN es suministrar un servicio de bearer sobre estas interfaces; en este aspecto la UTRAN controla la interface Uu, y la provisión del servicio de bearer en la interface Iu se realiza en cooperación con el CN.

El RAB cumple los requisitos de calidad de servicio establecidos por el CN. El manejo de los requisitos de calidad y servicio end-to-end en el CN y en el UE es la responsabilidad de la Gestión de Comunicación. Estos requerimientos son entonces mapeados en el RAB, el cual es "visible" para el Terminal Móvil (MT) y el CN. Como se acaba de mencionar, la principal tarea de la UTRAN es crear y mantener RABs de tal manera que los requerimientos punto a punto de QoS se cumplan en todos los aspectos.

Una de las principales ideas de esta estructura de capas es encapsular el acceso físico de radio, después puede ser modificado o reemplazado sin cambiar todo el sistema. Además, es un hecho conocido que la ruta de radio es muy compleja y continuamente cambia el medio de transmisión. Esta arquitectura del bearer concede el principal rol a la

RNC, desde la RNC y el CN se mapean los requerimientos de QoS end-to-end sobre la interfaz Iu y la RNC toma cuidado en satisfacer los requerimientos de QoS sobre el camino de radio. Estos dos bearers existen en el sistema porque el bearer Iu es más estable, el RAB experimenta más cambios durante la conexión.

La base física del servicio end-to-end suministrado por la interfaz Uu es el servicio UTRA. UTRA es implementado usando WCDMA como tecnología de acceso por radio. Desde el punto de vista de QoS UTRA contiene mecanismos que muestran como los requerimientos de QoS end-to-end son mapeados en el camino físico de radio. Respectivamente, cada conexión de interfaz Uu requiere una contraparte a través de la UTRAN. La base física terrestre equivalente para el servicio end-to-end es el Servicio Físico de Bearer.

a. Arquitectura de UTRAN

La figura N° 2.1 muestra la arquitectura de la UTRAN y los elementos en la red. La UTRAN está conformada por los Subsistemas de la red de Radio (RNSs) y cada RNS contiene diferente número de estaciones Base (BSs o, oficialmente, Nodos B, los cuales hacen la interfaz Iur una realidad) y una RNC.

Las RNSs están separadas una de la otra por la interfaz UMTS que está situada entre RNCs (Iur). La Iur, la cual se ha especificado como una interfaz abierta, soporta ambas señalización e información de tráfico.

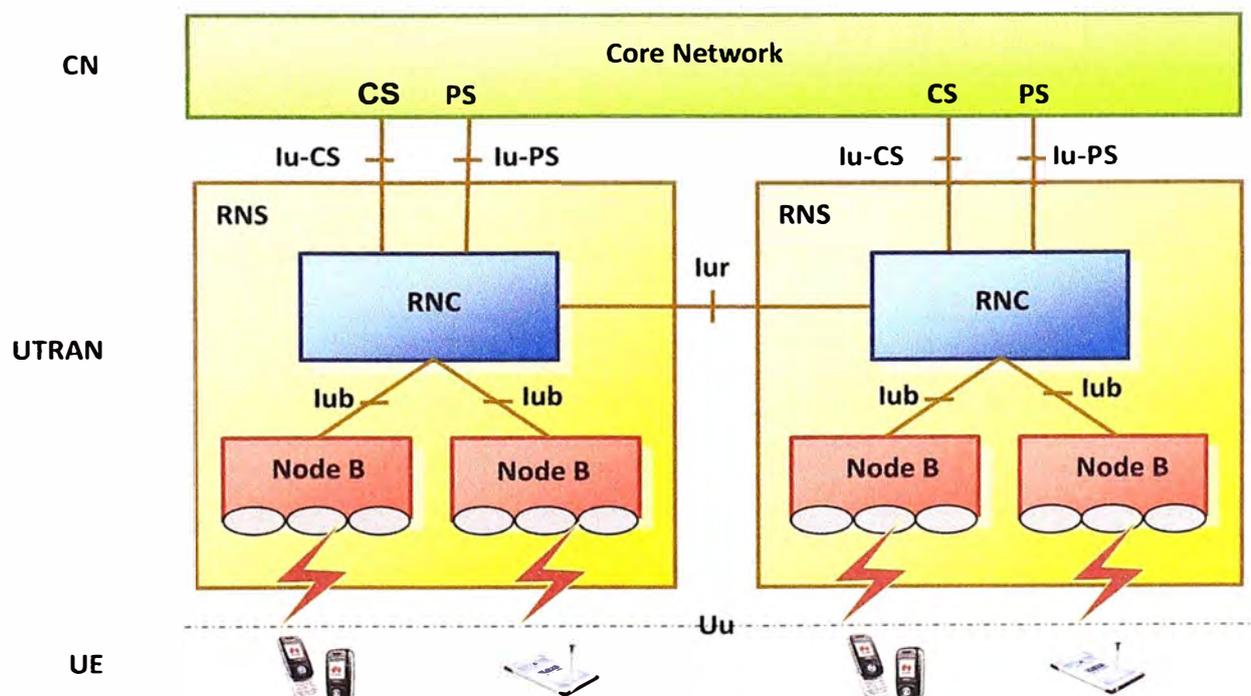


Figura N° 2.1 UTRAN, Arquitectura general [5]

b. Estación Base

La estación base (BS) está localizada entre las interfaces Uu y Iub. Su principal tarea es efectuar la implementación física de la interfaz Uu y, hacia la red, la implementación de la interfaz Iub. A través de la interfaz Uu, el Nodo B implementa canales físicos de radio acceso WCDMA y transfiere información desde canales de transporte hacia canales físicos basados en arreglos determinados por la RNC.

Estructura de la estación base

La estación base puede ser considerada como el borde de radio de la UTRAN y, por lo tanto, su subyacente tarea es llevar a cabo la señal de radio de recepción y transmisión (RX y TX), filtrado de la señal y amplificación, modulación y demodulación de señales, y la interconexión a la RAN.

La estructura interna del Nodo B depende mucho del proveedor, pero básicamente consiste de los componentes mostrados en la figura N° 2.2.

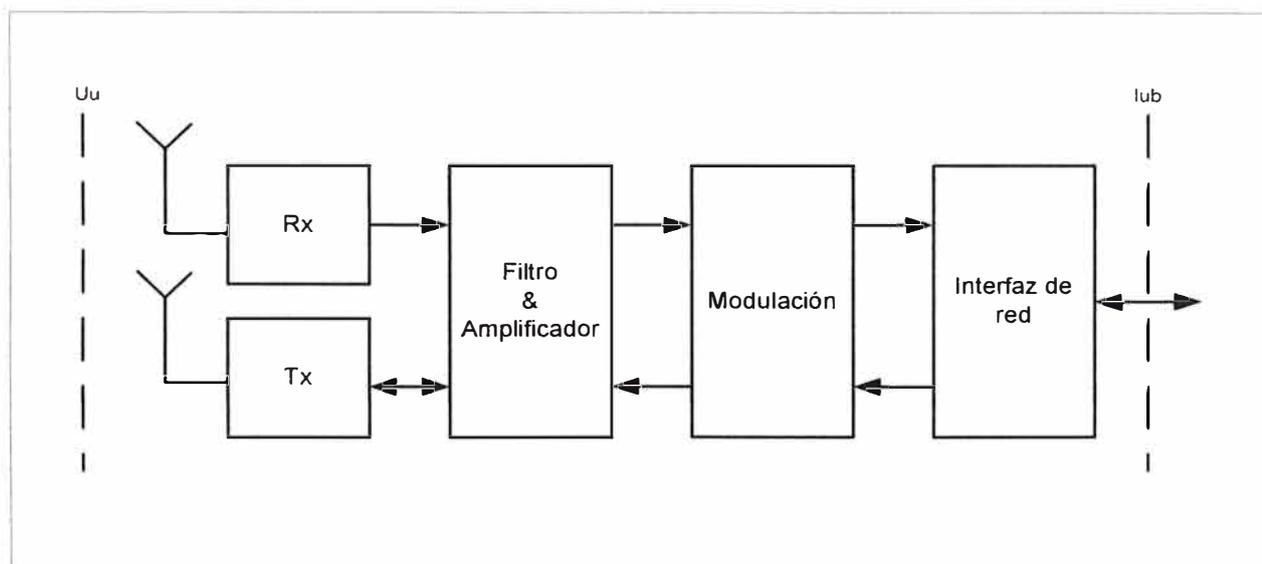


Figura N° 2.2 La estructura básica de una Estación Base

Fuente: Propia

Su estructura lógica es genérica. Desde el punto de vista de la red, el Nodo B puede ser dividido en varias entidades lógicas como se muestra en la Figura N° 2.3.

De lado de la Iub, un Nodo B es una colección de dos entidades: transporte común y número de Puntos de Terminación de Tráfico (TTPs). Transporte común representa aquellos canales de transporte que son comunes para todo UE en la celda así como aquellos canales usados para el acceso inicial. La entidad de transporte común también contiene un puerto de control de Nodo B usado para Operación y Mantenimiento. Un TTP consiste de un número de contextos de comunicación de Nodo B. Estos contextos de comunicación de Nodo B consisten de todos los recursos dedicados requeridos

cuando la UE se encuentra en modo dedicado (DCH).

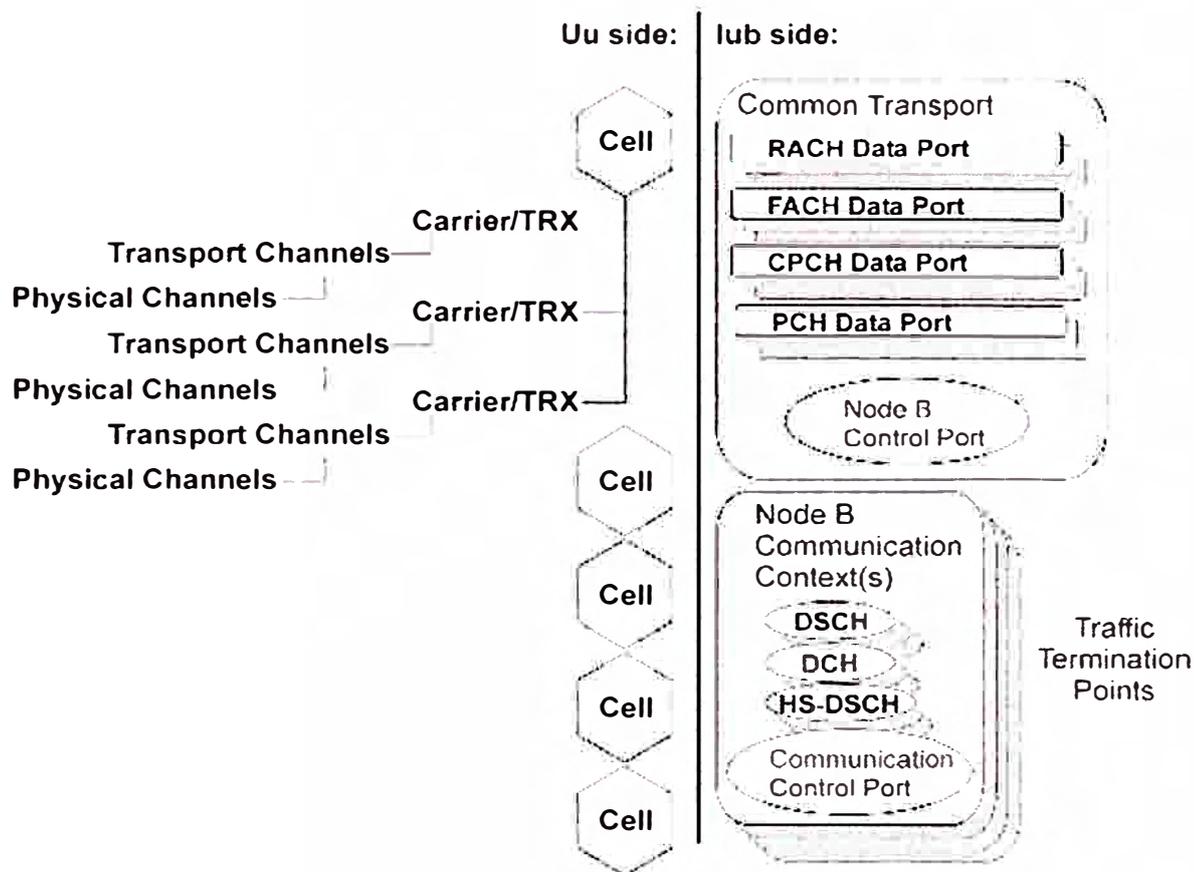


Figura N° 2.3 Arquitectura lógica de la estación base [6]

Desde el punto de vista de la red de radio y su control, el Nodo B consiste de varias entidades lógicas llamadas "celdas". Una celda es la más pequeña entidad de radio y posee un identificador (cell ID) que es visible para el UE.

Cada celda tiene un código de aleatorización, y el UE reconoce una célula por dos valores: código de aleatorización (al iniciar sesión en una célula) y el identificador de celda (en la topología de red de radio).

Una célula puede tener varios emisores-receptores (TRX, también llamados "portadores") bajo ella. El TRX de la célula proporciona la información de difusión hacia el UE; es decir, el Canal Físico Control Común Primario (P-CCPCH) que contiene el Broadcast Channel (BCH) se transmite información aquí.

Una TRX mantiene canales físicos a través de la interfaz Uu y estos llevan los canales de transporte que contienen real información, que puede ser común o dedicado en la naturaleza.

Una celda puede consistir en un mínimo de un TRX. El TRX es una parte física de la BS encargado de la realización de diversas funciones, tales como la conversión de los flujos de datos de la conexión Iub a la trayectoria de radio y viceversa.

Método de modulación

WCDMA utiliza QPSK, su variante – QPSK dual – así como 16QAM como sus métodos de modulación. QAM junto con AMC (Adaptive Modulation and Coding) y HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) fueron las novedades más significativas de WCDMA especificadas por 3GPP Release 5, en asociación con HSPA mejorado (Alto Speed Downlink Packet Access).

Mientras que algunos canales, tales como los canales de downlink utilizan modulación QPSK. El método de modulación QPSK expresa un solo bit y su estado utilizando una diferente fase de la portadora. Los bits en el proceso de modulación se manejan como pares y, por lo tanto, esto genera cuatro combinaciones posibles de 2 bits que deben ser indicadas.

Como se ilustra en la figura N° 2.4., cuando se aplica el proceso de modulación QPSK, los datos son los primeros en ser modulados (es decir, los canales físicos se convierten primero de serie a formato paralelo)

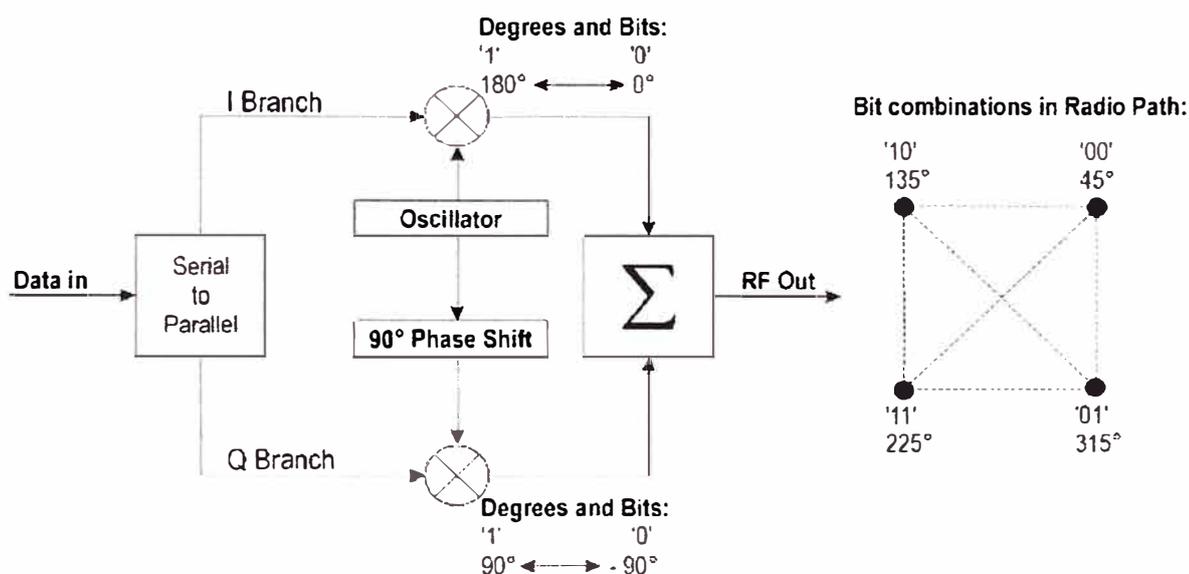


Figura N° 2.4 Principal principio en la modulación QPSK [6]

Después de esta conversión, el proceso de modulación divide los datos secuencia en dos ramas: I y Q. En la rama que el bit tiene un valor de "1" representa un desplazamiento de fase de +180 y un valor de "0" significa la fase de la portadora no está desplazado. En la rama Q el bit tiene un valor de "1" representa un desplazamiento de fase de +90 y un valor de "0" significa un cambio de fase de -90. Estas ramas, I y Q, son alimentados por el oscilador, la rama I directamente y la rama Q con un variación de fase de 90. Cuando el flujo entrante de datos se combina con la salida del oscilador, las combinaciones de 2 bits (un bit de la rama I y uno de Q) representan el cambio de fase se muestra al lado derecho de la figura. Las líneas finas en el cuadrado indican los caminos a lo largo de la

cual el sistema puede transferirse a sí mismo de un estado (fase) a otro.

Este sistema funciona bien, pero ciertas combinaciones de 2 bits son más difíciles de manejar. Por ejemplo, cuando los valores de los bits cambian de "00" a "11", esto significa que ha habido un desplazamiento de fase de 180 grados, que se considera un cambio de amplitud muy marcada. Cambios de amplitud muy grandes causan problemas, especialmente si el ancho de banda utilizado en la conexión de radio es amplio. En este caso, la BS debe tener amplificadores lineales con el fin de garantizar que los cambios de amplitud se representen correctamente en todo el ancho de banda utilizado.

Para eliminar el problema del cambio de amplitud muy rápidamente, otra variante de QPSK se utiliza: el llamado Dual QPSK. Como resultado, en lugar de multiplexación por tiempo, los canales DPCCH y DPDCH son multiplexados por código con la aleatorización compleja mostrada en la Figura N° 2.5. Esto conduce a un delay cercano de 0.5 bits (chips) en la rama Q del modulador. Como se muestra en la Figura 2.7 esto evita un cambio de fase de 180 y los limita a 90. Basado en esto, la transición de la combinación " 11 " a " 00 " " ahora " 11 " - " 10 " - " 00 " y toma el mismo período de tiempo como en el QPSK.

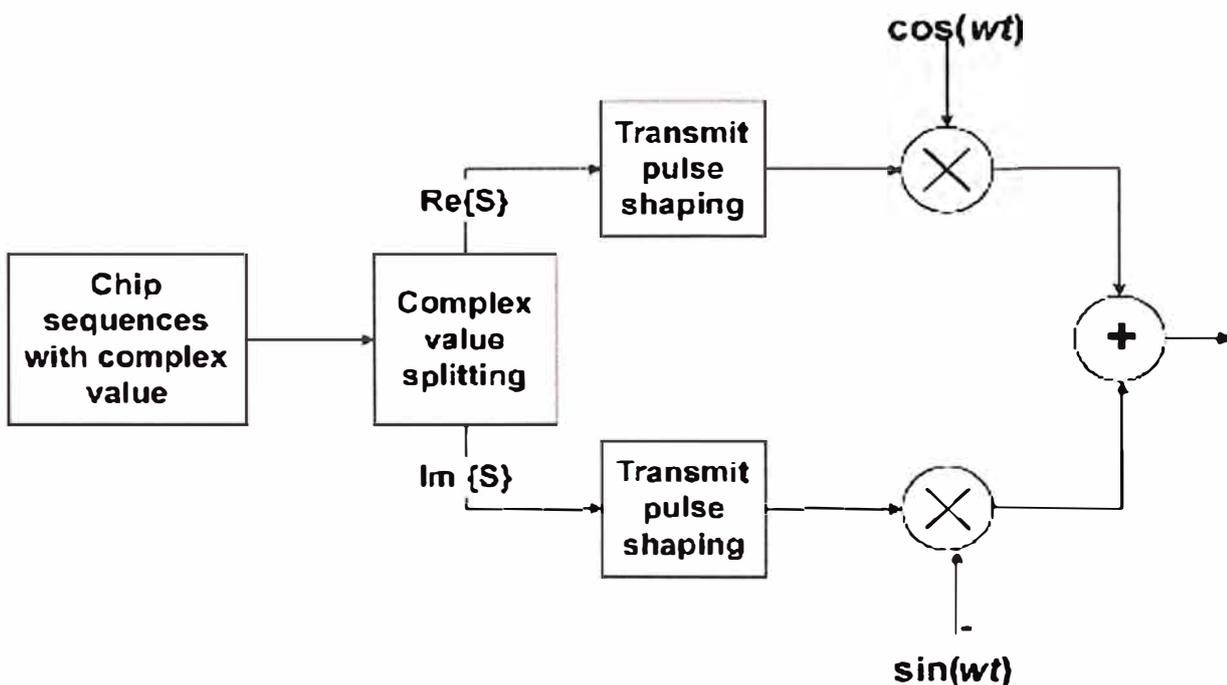


Figura N° 2.5 Uplink modulation in UTRAN [6]

Por lo tanto, el espectro utilizado para QPSK y dual QPSK es el mismo, pero dual QPSK, pero dual QPSK tiene una señal más suave. Esto permite también operar en áreas de operación sin problemas significantes. Esta operación aparentemente simple tiene un impacto significativo, especialmente en el diseño del terminal, ya que reduce la razón promedio de pico (PAR) requerida, lo que resulta en amplificadores de mayor potencia y,

en última instancia, relación costo eficiencia. Alternativamente, QPSK podría haber sido utilizada en ambas direcciones, pero entonces el UE habría sufrido problemas de consumo de energía y alto costo: el amplificador de potencia lineal debe ser muy preciso. Con el uso de QPSK dual estos problemas de amplificación se pueden evitar. Desde el punto de vista del nodo, sin embargo, dual QPSK no es lo suficientemente bueno debido a que la señal del nodo debe ser muy precisa y lograr la sincronización exacta. Usando dual QPSK, estas características están comprometidas por lo que el convencional QPSK es mejor para la modulación de la transmisión desde el nodo B.

Además de QPSK y dual QPSK, WCDMA utiliza modulación QAM también.

Como se puede ver en la figuras N° 2.6. y N° 2.7, esto mejora la transmisión de datos por varias veces dependiendo del nivel de modulación empleado. En QAM dos ramas de las portadoras, con diferencia de fase de 90, se utilizan para transmitir datos a través de un canal físico dado.

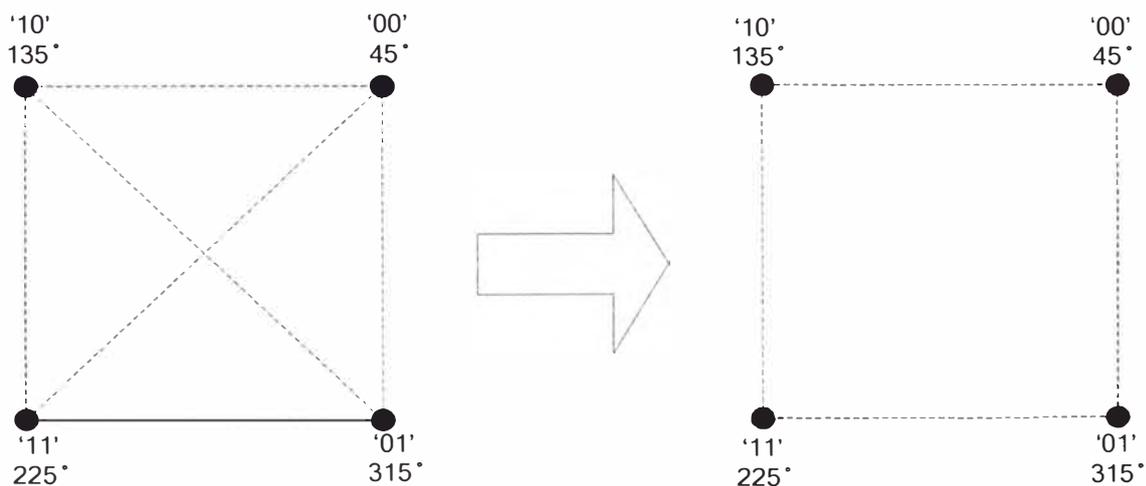


Figura N° 2.6 El resultado de la combinación del código de multiplexación I/Q con la modulación de enlace ascendente [6]

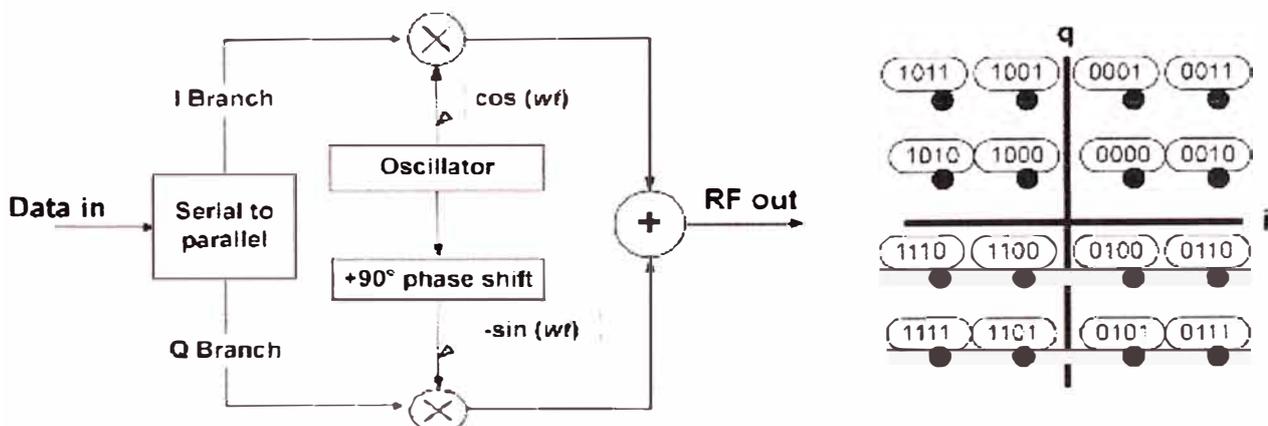


Figura N° 2.7 El proceso básico de la modulación QAM y su constelación de 16QAM [6]

Gracias a la 90 grados de diferencia de fase y la portadora ortogonal, cada una de estas ramas puede ser modulada de forma independiente y transmitida por el mismo canal y en última instancia separados por demodulación en el terminal (por ejemplo, en una aplicación de HSDPA) .

c. Controlador de la red de radio (RNC)

La RNC es el elemento de control y conmutación de la UTRAN. La RNC se encuentra entre las interfaces lub e IU. También cuenta con una tercera interfaz llamado "lur" para inter-conexiones entre RNSs. Implementación de la RNC es depende del proveedor, pero algunos puntos genéricos se pueden destacar, como se ilustra en la Figura N° 2.8.

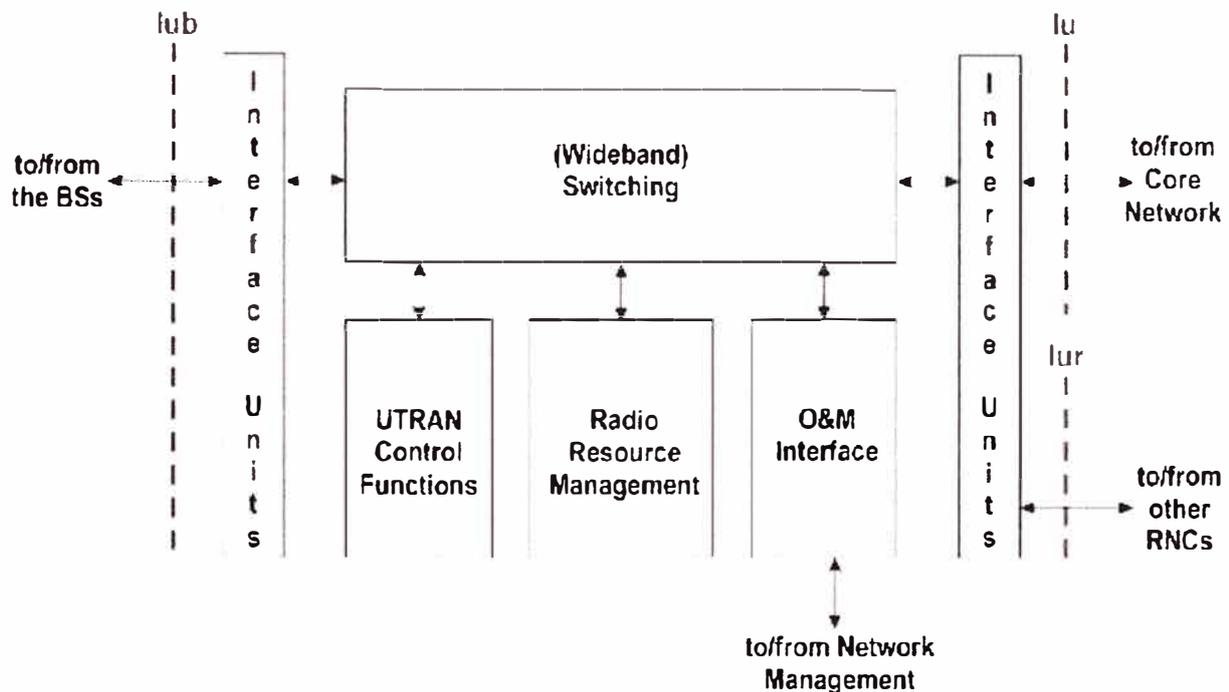


Figura N° 2.8 Arquitectura lógica básica de la RNC [6]

Como se explicó anteriormente, la RNC ve la BS como dos entidades: transporte y una colección de comunicaciones de Nodo B . La RNC que controla esto para un nodoB es llamado controlador de RNC.

En lo que se refiere a los portadores, la RNC es un punto de conmutación entre la portadora lu y el RB. Una de las conexiones de radio entre el UE y el RNC que llevan los datos de usuario es una RB. La RB a su vez está relacionada con el contexto de UE, que es un conjunto de definiciones necesarias en la interfaz lub para organizar las conexiones comunes y dedicadas entre el UE y el RNC. Desde la UTRAN utiliza macrodiversidad, la UE puede tener varias RBs entre sí mismo y el RNC. La RNC que sostiene el portador lu para algunos de UE es llamada Serving RNC (SRNC).

La tercera función lógica que la RNC puede desempeñar es el de la RNC de Drifting RNC (DRNC). En este modo la RNC asigna el contexto del UE a sí mismo - la solicitud para llevar a cabo esta actividad viene desde el SRNC a través de la interfaz Iur.

Ambos, SRNC y DRNC son funcionalidades que pueden cambiar ubicación física. Cuando el UE se mueve en la red ejecutando soft handovers, la conexión de radio del UE accederá por una completamente diferente RNC desde el SRNC que originalmente realizó el primer seteo de RAB para este UE. En este caso la funcionalidad SRNC será transferida a la RNC, que se ocupa de la conexión de radio a la UE. Este procedimiento se llama "SRNC o reubicación SRNS".

Toda la funcionalidad de RNC se puede clasificar en dos partes: RRM UTRAN y funciones de control. El RRM es una colección de algoritmos utilizados para garantizar la estabilidad de la trayectoria de radio y la calidad de servicio de conexión de radio por el intercambio eficiente y gestión de los recursos de radio.

Funciones de control UTRAN incluyen todas las funciones de la relacionada a la puesta en marcha, mantenimiento y versiones de los RBs, incluyendo las funciones de apoyo para los algoritmos RRM.

2.1.2 Tecnología LTE

LTE (Long Term Evolution) o la E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network), introducido en 3GPP R8, es la parte de acceso del Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS). Los principales requisitos para la nueva red de acceso son una alta eficiencia espectral, las altas tasas de datos pico, corto tiempo de ida y vuelta, así como flexibilidad en la frecuencia y ancho de banda.

En la figura 2.9 se aprecia la arquitectura de las tecnologías GSM, UMTS y LTE.

GSM fue desarrollado para llevar a servicios de tiempo real, en un circuito de conmutación de manera que con servicios de datos sólo es posible más de una conexión de circuito conmutado módem, con velocidades de datos muy bajas. El primer paso hacia un paquete basado en IP conmutada fue una solución tomada con la evolución de GSM a GPRS, utilizando la misma interfaz de aire y método de acceso, TDMA (Time Division Multiple Access).

Para alcanzar velocidades superiores a 2Mbps (Universal Mobile Terrestrial System) una nueva tecnología de acceso WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) se desarrolló. La red de acceso UMTS emula una conexión de circuito conmutado para servicios de tiempo real y una conexión de conmutación de paquetes para servicios de comunicación de datos. En UMTS la dirección IP se asigna a la UE cuando se establece un servicio de comunicaciones de datos y se liberan cuando se suelta el servicio.

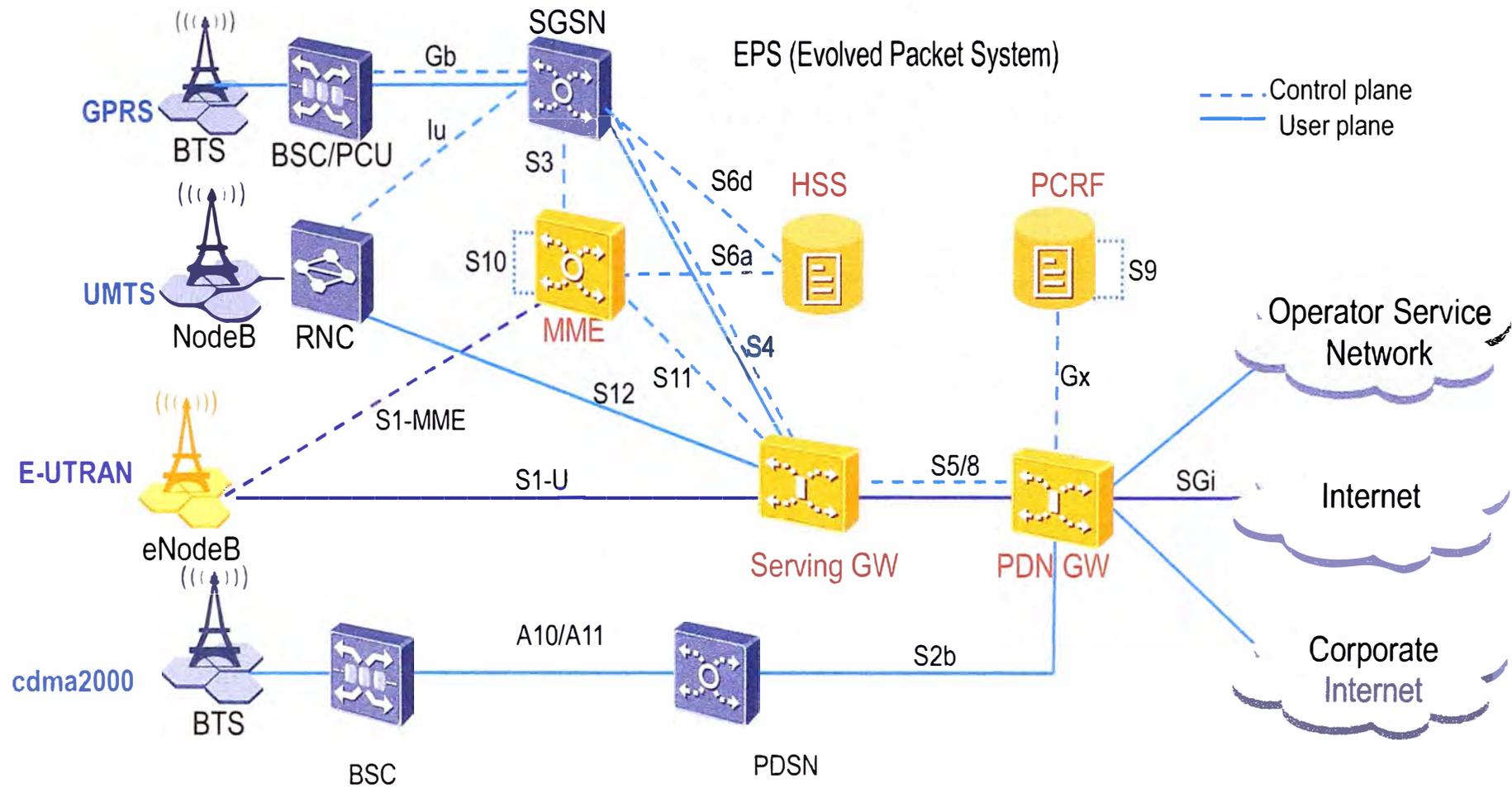


Figura N° 2.9 Arquitectura desde GSM hasta LTE.

Fuente propia.

Servicios de comunicación de datos entrantes son, por tanto, aún confiando en la conmutación de circuitos núcleo para paginación.

El Sistema de Paquetes Evolucionado se basa puramente IP. Ambos servicios en tiempo real y servicios de comunicación de datos se realizarán mediante el protocolo IP. La dirección IP se asigna cuando el móvil está encendido y puesto en libertad cuando se desconectan.

La nueva solución de acceso, LTE, se basa en OFDMA (División de Frecuencia Ortogonal Multiple Access) y en combinación con la modulación de orden superior (hasta 64QAM), grandes anchos de banda (hasta 20 MHz) y la multiplexación espacial en el enlace descendente (hasta 4x4) altas velocidades de datos se puede lograr. La velocidad de datos más alta teórico pico en el canal de transporte es 75 Mbp sin el enlace ascendente, y en el enlace descendente, utilizando la multiplexación espacial, la tasa puede ser tan alta como 300 Mbps.

La red de acceso LTE es simplemente una red de estaciones base, el Nodo B evolucionado (eNB), generando una arquitectura plana (figura N° 2.10). No hay ningún controlador inteligente centralizado, y las eNBs normalmente interconectado vía la interfaz X2 y hacia la red central de la interfaz S1.

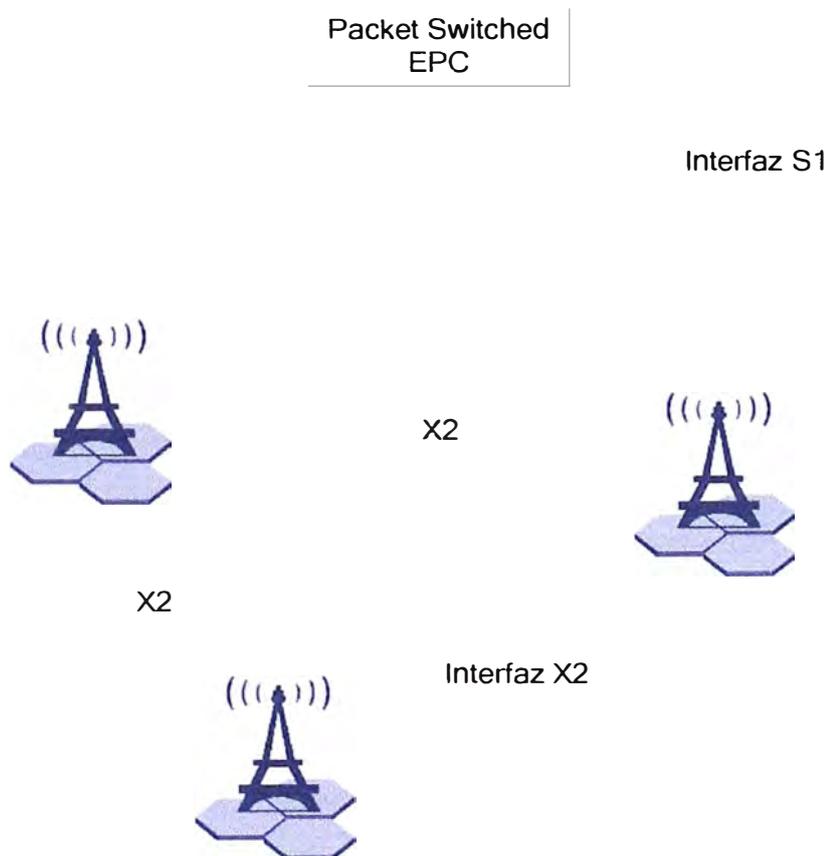


Figura N° 2.10 Interfaces X2 y S1

Fuente propia

La razón para la distribución de la inteligencia entre las estaciones base en LTE es para acelerar el establecimiento de la conexión y reducir el tiempo requerido para un traspaso. Para un usuario final el tiempo de establecimiento de conexión para una sesión de datos en tiempo real es, en muchos casos crucial, especialmente en los juegos en línea. El tiempo para un traspaso es esencial para los servicios en tiempo real donde los usuarios finales tienden a terminar las llamadas si la entrega tarda demasiado.

Otra ventaja con la solución distribuida es que la capa de protocolo MAC, que es responsable de la programación, está representado sólo en el UE y en la estación de base que conduce a una comunicación rápida y decisiones entre el eNB y el UE. En UMTS el protocolo MAC, y la programación, se encuentran en el controlador y cuando HSDPA se introdujo una sub-capa adicional MAC, responsable de la programación de HSPA se añadió en el NB.

El planificador es un componente clave para el logro de un recurso de radio ajustada rápida y utilizada de manera eficiente. El intervalo de tiempo de transmisión (TTI) se pone a sólo 1 ms.

Durante cada TTI el planificador eNB deberá:

- Considerar el ambiente físico de radio por UE. Las UE informan de su calidad de radio percibido, como un insumo para el programador para decidir qué esquema de modulación y codificación de usar. La solución se basa en una rápida adaptación a canalizar variaciones, empleando HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) con suave-la combinación y adaptación de velocidad.
- Dar prioridad a las necesidades de servicio QoS entre los UE. LTE soporta tanto retrasar los servicios sensibles en tiempo real, así como servicios de comunicación de datos que requieren altas tasas máximas de datos.
- Informar a los UE de recursos de radio asignados. Los eNB asignan los recursos para la descarga y la carga en los UE. Para cada UE programada en un TTI los datos de los usuarios se realizarán en un bloque de transporte (TB). DL puede haber un máximo de dos TBs generados por TTI por el UE - si se utiliza multiplexación espacial. La TB se entrega en un canal de transporte. En LTE se disminuye el número de canales en comparación con el UMTS. Para el plano de usuario hay solo un canal de transporte compartido en cada dirección. El TB enviado en el canal, por lo tanto, puede contener los bits de un número de servicios, multiplexados juntos.
- Para lograr una alta eficiencia espectral de radio, así como habilitar la programación eficiente en el tiempo y dominio de la frecuencia, un enfoque para la multiportadora de acceso múltiple fue elegido por el 3GPP. Para el enlace descendente, se seleccionó OFDMA (Orthogonal División de Frecuencia Multiple Access) y para el

enlace ascendente SC-FDMA (Carrier Individual - Frequency Division Multiple Access) como se aprecia en la figura N° 2.11.

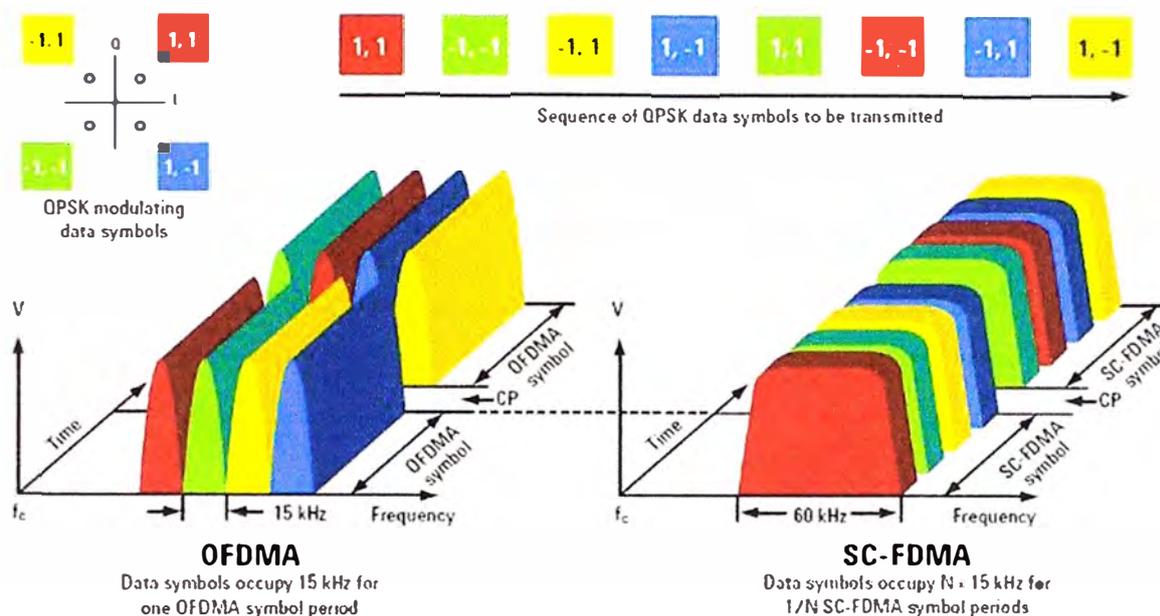


Figura N° 2.11 OFDMA y SC-FDMA [5]

OFDM es una tecnología multiportadora subdividir el ancho de banda disponible en una multitud de mutuos subportadoras ortogonales de banda estrecha. En OFDMA estas subportadoras se pueden compartir entre varios usuarios. La solución OFDMA conduce a alta relación de pico a media potencia (PAPR) que requieren amplificadores caros con altas exigencias de linealidad, lo que aumenta el consumo de energía para el remitente. Esto no es un problema en el eNB, pero llevaría a teléfonos muy caros. De ahí que una solución diferente fue seleccionada para el UL. Como se ilustra en la figura 2.13, la solución de SC-FDMA genera una señal con características de portadora simple, por lo tanto, con un PAPR bajo.

Para activar posible despliegue en todo el mundo, apoyando a tantos requerimientos regulatorios como sea posible, LTE es desarrollado por un número de bandas de frecuencia - E-UTRA operar bandas actualmente van desde 700 MHz hasta 2,7 GHz. Los anchos de banda disponibles también son flexibles a partir de 1,4 MHz hasta 20 MHz. LTE está desarrollado para apoyar tanto la tecnología de dúplex por división de tiempo (TDD), así como dúplex por división de frecuencia (FDD). En R8 hay 15 bandas especificadas para FDD y ocho bandas de TDD. En R9 se agregaron cuatro bandas para FDD. También se ha añadido en R9 eran por ejemplo Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS), y Home eNB (HeNB). MBMS se utiliza para proporcionar información de

difusión a todos los usuarios, por ejemplo, la publicidad, y de multidifusión a un grupo cerrado de suscribirse a un servicio específico, por ejemplo, la transmisión de TV. Los HeNBs se introducen principalmente para proporcionar cobertura en interiores, en los hogares u oficinas. Los HeNB es un eNB de baja potencia que se utiliza en pequeñas células - células femto. Normalmente será propiedad del cliente, desplegada sin ningún tipo de planificación de la red y se conecta a los operadores.

2.1.3 Soluciones de optimización Indoor

La telefonía móvil se ha hecho indispensable en todo ambiente, es preciso por ello que la cobertura de este servicio esté presente en cualquier lugar y en cualquier momento.

Sin embargo, la telefonía móvil se desarrolló desde sus inicios para ser una solución de comunicación cuando los usuarios estén fuera de su hogar o centro de trabajo, es por esto que es común experimentar problemas de cobertura en el hogar ó en la oficina. Es por esto que se idearon soluciones para mejorar la cobertura en interiores sin interferir la cobertura en el exterior, estas soluciones fueron los repetidores de banda y de canal, las femtoceldas y el denominado RF Indoor.

a. Repetidores de banda y de canal

Esta solución parte de una idea muy sencilla: Si la cobertura de la celda no llega al edificio y éste no se puede acercar a la celda, entonces se hace que la celda se acerque al edificio. Esto se logra captando la señal de la celda con una antena y luego retransmitiéndola en la edificación pero en una frecuencia y canal distinto.

En la Figura 2.12 se muestra cómo se lleva a cabo esta solución.

Primero se tiene una antena altamente directiva y de la misma polarización que la celda que capta la señal de la celda en el exterior, ubicada donde no debería haber problemas para captar señal. Se debe elegir la celda dominante para evitar problemas y hacer un buen cálculo de las pérdidas en el aire para que la señal captada se pueda redistribuir.

Una vez captada la señal, esta es llevada por cable coaxial hasta el equipo repetidor, el cual amplifica la señal, cambia la frecuencia y el canal de la señal que le llega y la retransmite ya sea por fibra óptica ó cable coaxial, dependiendo del diseño, a la etapa del Sistema Distribuido de Antenas (DAS) el cual distribuirá la señal repetida por todo el recinto con potencias pequeñas para evitar que se produzca una huella de señal grande en el exterior, este sistema de antenas podrá ser tanto pasivo como activo.

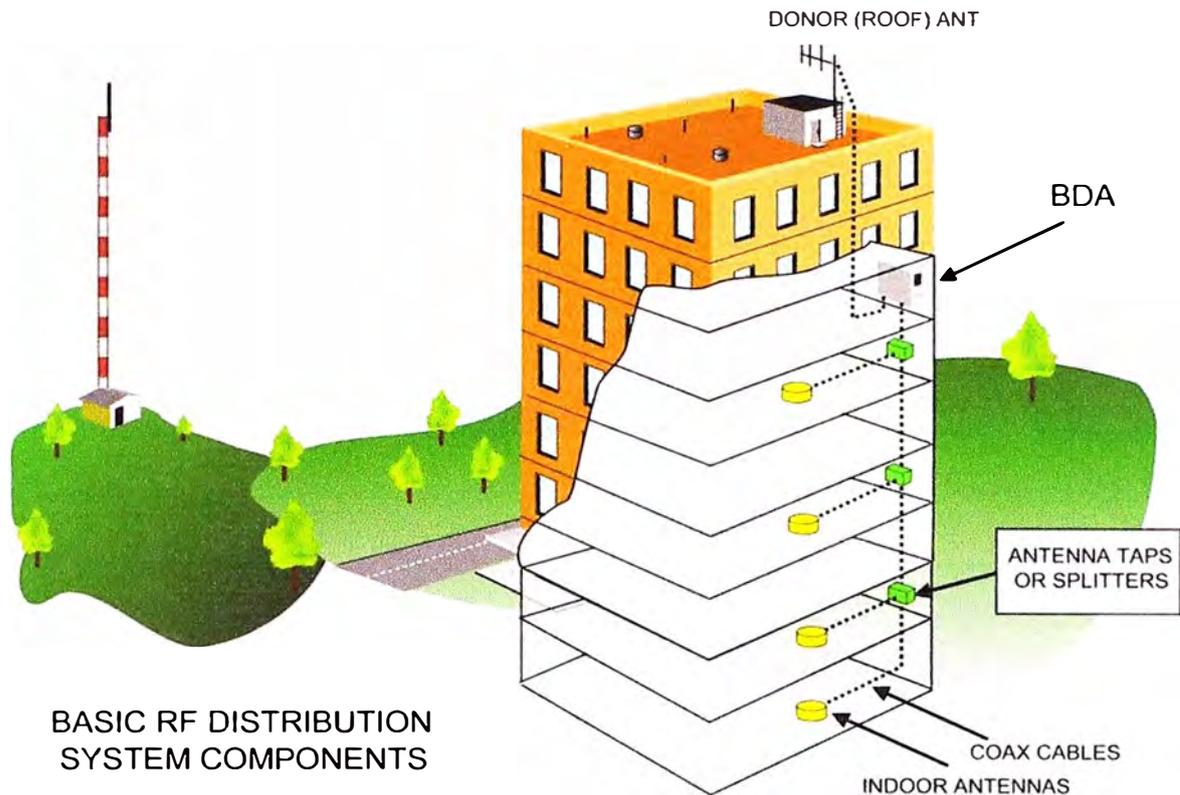


Figura N° 2.12 Solución Indoor con repetidores [9]

b. 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, como se puede apreciar en la Figura N° 2.13 en donde 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.

Esta solución permite un tráfico simultáneo de 7 a 10 llamadas y un área de cobertura entre 100 y 150 m² pero que está sujeto a disminuciones dependiendo de los obstáculos propios de una vivienda. Es una solución de poca capacidad y cobertura pero su mayor atractivo es su facilidad de instalación ya que basta con conectar la femtocelda a la

conexión de Internet y con una configuración sencilla se tiene ya la femtocelda operativa, esto hace posible que cualquier persona pudiera conectar uno de estos equipos.

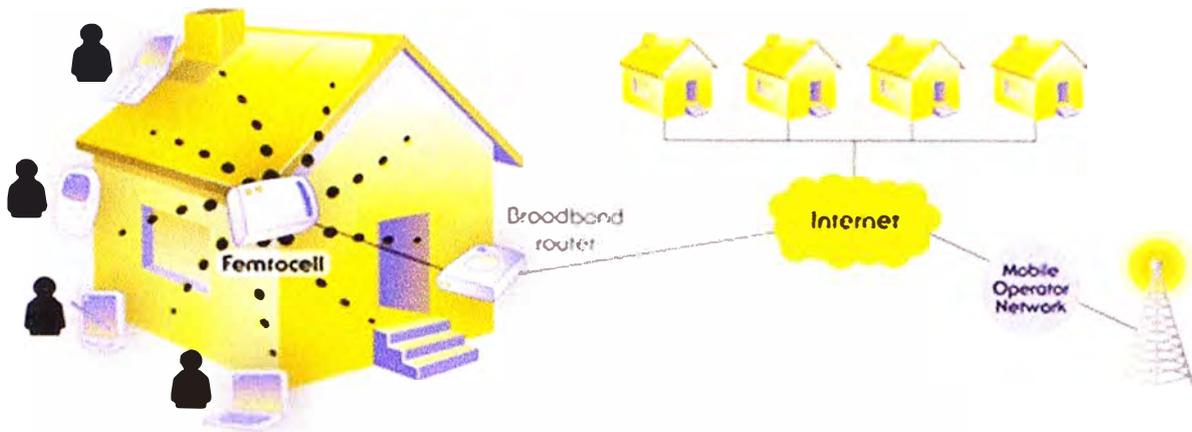


Figura N° 2.13 Femtocelda [9]

c. RF Indoor

El denominado RF Indoor tiene el siguiente principio: se tiene un nodo B pero en lugar de irradiar su potencia a través de una gran antena se divide ésta y se irradia a través de pequeñas antenas a baja potencia con lo cual se puede controlar el área que se desea cubrir. En esta solución se tiene una BBU (Base Band Unit), la cual es la unidad de Banda Base que convertirá la señal entrante de las antenas a banda base, además esta unidad tiene funciones de control y señalización, ésta BBU es la misma unidad de banda base que se utiliza en el despliegue de macro celdas. La potencia suministrada por esta BBU es distribuida como se observa en la Figura N° 2.14.

La potencia de la BBU se lleva a través de fibra óptica ó cable coaxial dependiendo el diseño y es dividida a través de splitters que dividirán la potencia y la distribuirán a las antenas que están por todo el edificio. Es preciso decir que antes de hacer esta división se debe pasar por un RRU (Remote Radio Unit) que ajusta la frecuencia que envía la BBU de banda base a la frecuencia en la que trabaja el operador. Una RRU puede soportar 18 antenas, por lo tanto, si el diseño de un edificio es muy grande se necesitará más de una RRU. Cada RRU define un sector de cobertura, esto quiere decir que mientras se esté bajo cobertura de las 18 antenas de una RRU el móvil en movimiento y cursando una llamada no se enterará que hay múltiples antenas, pero si se pasa a la cobertura de otra RRU se tiene un handover puesto que se cambió de sector. En caso se utilice fibra óptica en el diseño se deberá adicionar un rectificador al lado de la BBU para evitar el deterioro de la señal óptica.

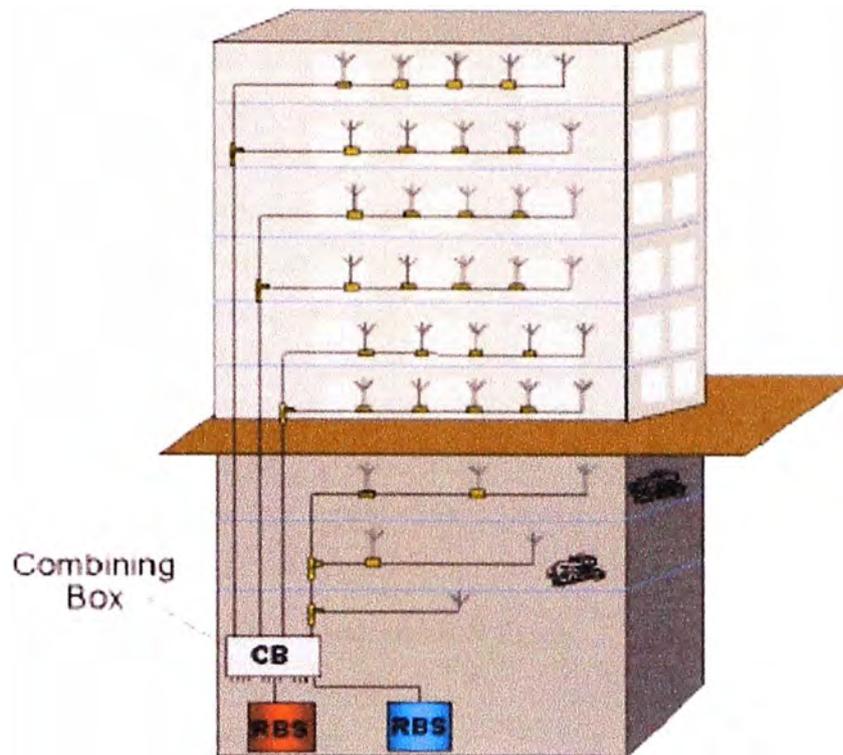


Figura N° 2.14 Sistema distribuido de antenas [9]

d. Atenuación en las edificaciones

El material usado para la construcción de una estructura influye de manera significativa en la atenuación de las ondas de radio. Construcciones de concreto y metal representa menor atenuación que edificaciones hechas con acero sólido. Edificios que poseen una vista de planta cuadrada tienen mayor grado de atenuación que construcciones con vista de planta rectangular. Ventanas con pinturas metálicas dificultan la transmisión de RF, causando mayores atenuaciones entre los pisos del edificio. En las edificaciones se encuentran algunos factores que contribuyen a la pérdida de la señal de radio. Esto se observa con mayor detalle en la tabla 2.1.

d.1 Atenuación debida al cuerpo humano

Con el aumento de la presencia de los teléfonos móviles los efectos de la atenuación debida al cuerpo humano y a la densidad de personas deben ser considerados, porque afectan a la pérdida de propagación como al desvanecimiento.

Estudios técnicos indican que la pérdida de propagación causada por el cuerpo humano es de 3 dB's en promedio. Además hay pérdidas adicionales cuando los teléfonos se encuentran guardados en estuches o bolsillos, que dependen del modelo del móvil utilizado. Por eso se deben considerar los peores escenarios de ubicación de las estaciones móviles para el diseño de un DAS. De ser posible, las mediciones de propagación se recomiendan realizar cuando el tráfico de público es normal.

d.2 Factores de atenuación en edificaciones típicas

Las pérdidas debidas a la penetración en edificios se han definido como la diferencia entre la señal medida en el exterior a nivel de la calle y la medida en el interior del edificio. Este punto se refiere únicamente a las pérdidas debidas a la estructura del edificio. Dentro del mismo pueden aparecer otras pérdidas a causa de los materiales de construcción empleados y del contenido interior. En la tabla N° 2.1 se muestran valores promedio de atenuación de la señal de radio.

TABLA N° 2.1 Valores promedio de atenuación [10]

Tipo de Obstáculo	Pérdida (dBs)
Área densa urbana	20
Área urbana	15
Área suburban	8
Bosques, arbustos, vegetación natural	13-15
Atenuación por vehículos	6
Atenuación del cuerpo	3
Atenuación por edificios	12-18
Ventana (Pintura no metálica)	3
Ventana (Pintura metálica)	5-8
Paredes delgadas	5-8
Divisiones de madera	10
Paredes de bloques de concreto	15-20
Pérdidas entre pisos	20-30
Suelo / Techo grueso	15-20
Suelo / Techo muy grueso	20-25
Material Aislante (Aluminio)	4
Revestimiento de Aluminio	20
Escaleras metálicas	5
Ductos	1-8

Las pérdidas de propagación que se producen en un edificio pueden variar considerablemente según el tipo de edificación y los materiales de construcción. La frecuencia de la señal y su ángulo de incidencia también son parámetros muy significativos. En consecuencia, los valores de dichas pérdidas pueden variar entre unos pocos y varias decenas de decibelios.

2.1.4 Conclusión

El diseño de un sistema distribuido de antenas en el interior del centro comercial brinda una solución al problema del déficit en la cobertura de señal móvil, esto al brindar una mejora en la cobertura de la señal en el interior de la edificación. En el presente trabajo se busca aprovechar los beneficios que ofrece este tipo de solución para poder brindar los servicios de voz y datos a los usuarios que se encuentre dentro de la edificación.

2.2 Solución del problema

Se implementa una solución que toma en cuenta tanto la tecnología 3G como 4G, esto a través de una solución Single RAN donde coexisten ambas tecnologías con el mismo equipamiento.

En la Figura N° 2.15 se aprecia de forma gráfica la arquitectura de la solución propuesta.

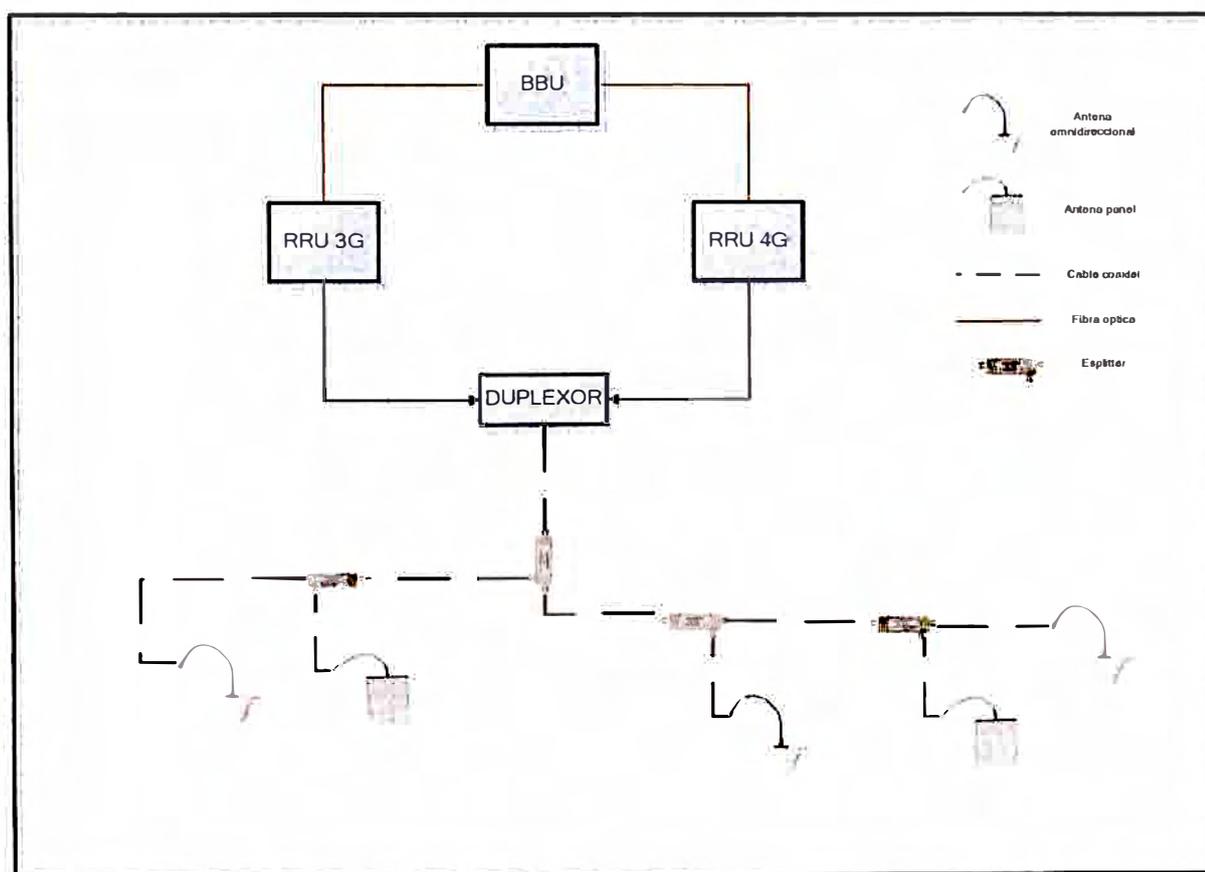


Figura N° 2.15 Esquema de la arquitectura de la solución

Fuente: Propia

La señal proveniente de la red principal del operador llega a una BBU que por medio de tarjetas independientes (una para 3G y otra para 4G) procesan las señales que luego a través de fibra óptica llegan a las unidades de radio donde se realizará el cambio de frecuencia y se pasa a transmitir por cable coaxial.

Las dos señales, de 3G y 4G, pasan por un duplexor que combina ambas señales para que sean transportadas a través de los splitters hacia las antenas, las que finalmente suministran la cobertura al recinto. Estas antenas suministran al mismo momento cobertura 3G y 4G ya que tienen un amplio rango de frecuencias de operación que fluctúa desde los 800 MHz hasta los 2500 MHz.

Se debe precisar que el número de RRUs y antenas mostrados en la figura es solamente referencial, la cantidad real de equipos a utilizar y la longitud del cableado se conocerá una vez realizado los diseños y simulaciones de cobertura respectivos.

Antes de iniciar la etapa de diseño es preciso detallar en qué consiste la tecnología a utilizar en la solución.

2.2.1 Topología de la solución

Luego de analizar los principales lugares con señal deficiente o nula se propone la solución según la Figura N° 2.16., el diseño de las ubicaciones de las antenas con el objetivo de que se tenga una señal superior a -69 dBm en todo el centro comercial.

Para efectos de conseguir este nivel de potencia, se procede a calcular el nivel óptimo en la salida de las antenas, considerando la pérdida de espacio libre. Se recuerda que para efectos de calcular la pérdida de espacio libre:

$$L_{fs} = 32.45 + 20 \cdot \log(D) + 20 \cdot \log(f)$$

Con D en km y f en MHz, teniendo en cuenta una distancia mínima de 2m y una frecuencia que varía entre 1700 MHz y 2100 MHz, podemos calcular el valor de LFs.

Para D=2m

$$L_{fs} = 32.45 + 20 \cdot \log(0.002) + 20 \cdot \log(1700) = 43.13$$

$$L_{fs} = 32.45 + 20 \cdot \log(0.002) + 20 \cdot \log(2100) = 44.96$$

Para una distancia máxima de 30m se tiene que:

$$L_{fs} = 68.48$$

$$P_{rx} = P_{out} - L_{fs}$$

Considerando el peor de los casos:

$$P_{rx} = P_{out} - 68.48 \text{ dB} \geq -69 \text{ dBm}$$

$$\text{Luego } P_{out} \geq -0.52$$

A fin de garantizar un buen nivel de recepción se considera un nivel de potencia a la salida de las antenas mayor o igual a 5dBm.

Los cálculos para los niveles de potencia en cada antena del sistema se muestran en la Tabla 2.1, con el uso de acopladores y splitters se diseña una sistema distribuido de antenas con un nivel de potencia que se adecua a los resultados obtenidos en los presentes cálculos.

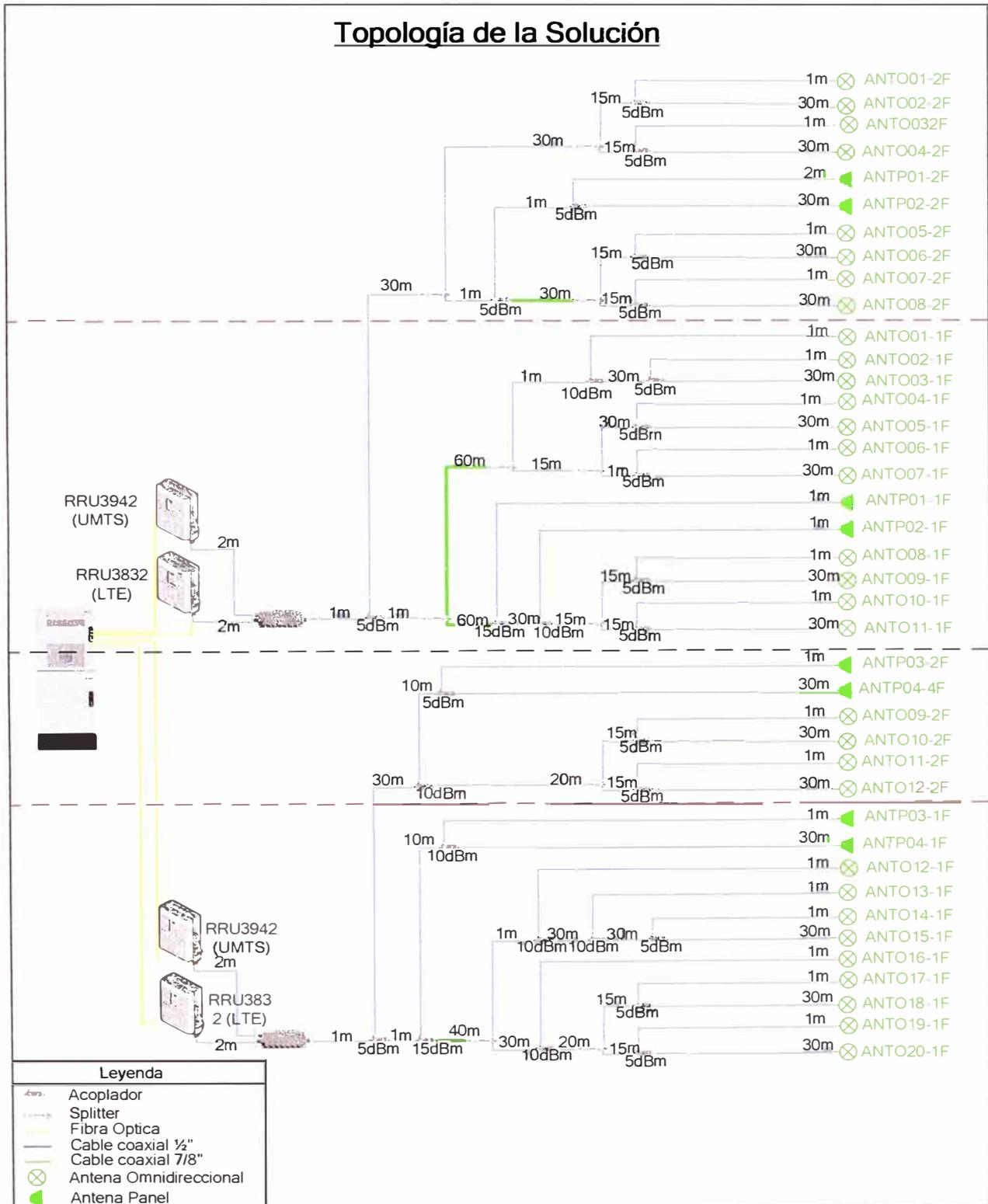


Figura N° 2.16 Topología de la solución

Fuente: Propia

2.2.2 Montaje de equipamiento

En esta sección se desarrollan los ítems correspondientes al montaje del equipamiento, detallando las características básicas de los equipos. En la figura N° 2.17 se aprecia la ubicación de los equipos en el centro comercial, mayor detalle de los equipos es incluido en el anexo 1 (Datasheet de los elementos pasivos) y el anexo 2 (Hojas técnicas de los elementos activos).

a. Equipamiento a Utilizar

Previamente se definen los elementos que componen una red RF Indoor y cómo es que estas partes se interconectan dentro de su arquitectura. Se definen conceptos como BBU, RRU, antenas, splitter, etc., sin embargo, estos equipos tienen distintas versiones y fabricantes los cuales hacen variar el desempeño del equipo así como también su precio. Es por ello necesario el determinar cuáles son los equipos específicos que se van a usar antes de realizar el diseño. La elección de estos equipos se hace pensando en las necesidades propias de la solución, el prestigio de ciertos fabricantes y la comodidad de precios.

Para la realización de la solución se utiliza una BBU 3900 del proveedor Huawei la cual soporta las tecnologías GSM, UMTS y LTE en simultaneo. Esta BBU tiene 8.6 cm. de alto, 44.2 de ancho y 31 cm. de profundidad, y no debe operarse a una temperatura mayor a 55° C. El equipamiento Huawei ofrece una solución Single RAN que permite que coexistan las tecnologías en el mismo hardware solo cambiando tarjetas.

Para el sistema de rectificación se utiliza un gabinete modelo APM del mismo fabricante que incluye equipos rectificadores y un sistema de baterías. Las dimensiones del APM30H son: (H x W x D) 700 mm x 600 mm x 480 mm (No incluye la base del gabinete 200x600x480).

En cuanto a las RRUs para la tecnología UMTS se escoge el modelo RRU 3942 en la banda 1900MHz y para la tecnología LTE se escoge el modelo RRU3832 que soporta la banda AWS, ya que dicha banda es utilizada por los operadores Movistar y Nextel.

Los splitters a utilizar son los modelos HAS0825N200-02, para splitters de 2 vías, del fabricante AGISSON, de conector N - Female y que operan en el rango de frecuencias desde 800 a 2500 MHz., lo cual satisface las bandas de frecuencias que se utilizan tanto para UMTS en 1900 y AWS de LTE.

El duplexor es del mismo fabricante y del modelo DBCS que tiene una pérdida de inserción menor a 0.4 dB. y que está diseñado para acoplar señales que estén en los rangos entre 800 a 960 MHz. y entre 1710 a 2170 MHz.

El cable coaxial elegido para el desarrollo de la solución es el cable LCF12-50J del fabricante RFS el cual se eligió debido a su baja pérdida ya que en la banda 850 se atenúa 6.5 dB cada 100 metros y en la banda 1900 se atenúa 10 dB cada 100 metros.

Se consideran cables de 1/2" y también cables de 7/8" (para los tramos largos).

Por último, las antenas a utilizar son antenas paneles y omnidireccionales cuyo rango de frecuencia soporta la banda 1900 y también la banda AWS ambos modelos en la marca Agissson.

2.2.3 Cálculos de niveles de potencia

Un punto clave que se debe tener en cuenta para verificar el diseño realizado es el denominado Link Budget ó cálculo de niveles de potencias en donde se calcula todas las ganancias y pérdidas de la red para determinar la potencia real que irradia el sistema radiante. En la tabla 2.1 se ven los cuadros de potencias del diseño. En estas tablas se puede observar campos como la atenuación del cable, la atenuación de los splitters que existen en el recorrido del cable, la ganancia de las antenas para concluir en el último campo que da la potencia que irradia la antena en cuestión. Es necesario precisar que para los cálculos de potencia realizados se asumió una potencia de salida de los equipos de 30 dBm referenciado a 1 miliwatt.

Para el cálculo de la pérdida por cable, simplemente se mide la longitud del cable y se multiplica por el valor de atenuación por metro, este último valor se puede obtener de la hoja técnica (dicha información figura en el anexo A), también debe ser tomada en cuenta el valor de la frecuencia, ya que la atenuación del cable varía en función de esta.

Para el cálculo de la pérdida en los splitter, se debe recordar que cada splitter divide la potencia en 2 valores iguales, esto traducido en decibelios es equivalente a 3dBs, según la hoja técnica del splitter (ver Anexo A) la pérdida de cada uno es 3.02 dBs, así que para calcular la pérdida total por splitters se debe multiplicar el número de splitters por 3.02 dBs.

Para el cálculo de la pérdida en los acopladores se suma los valores de atenuación de cada acoplador, es aquí donde el diseñador varía de acopladores a fin de obtener una pérdida deseada para el sistema.

También se debe considerar la pérdida del combinador, este elemento se coloca al inicio de la red de antenas para combinar las señales UMTS y LTE, por lo que la pérdida generada por el mismo debe ser añadida a la pérdida total.

Finalmente se considera las ganancias de las antenas, para cada antena se busca tener una salida de nivel de potencia superior a los 5dBm, que es un valor ideal de señal tal como se demuestra en el sub capítulo 2.2.1.

TABLA N° 2.1 Potencias del sistema distribuido de antenas. Fuente: Cálculos realizados.

Antena	Pérdida por Cable					Pérdida por Splitter		Pérdida por acoplador							Pérdida por combinator	Salida del sistema	Ganancia de la antena	Potencia irradiada por la antena
	Longitud 7/8"	Pérdida	Longitud 1/2"	Pérdida	Pérdida Total (dB)	Cantidad	Pérdida L=-3.02	C1	C2	C3	C4	C5	Cantidad	Pérdida Total (dB)				
ANTO01-1F	60	-3.40	6	-0.65	-4.05	2	-6	-1.65	-10.00				2	-11.65	-3.5	30	5	9.76
ANTO02-1F	60	-3.40	36	-3.89	-7.29	2	-6	-1.65	-0.45	-5.00			3	-7.10	-3.5	30	5	11.07
ANTO03-1F	60	-3.40	65	-7.02	-10.42	2	-6	-1.65	-0.45	-1.65			3	-3.75	-3.5	30	5	11.29
ANTO04-1F	60	-3.40	52	-5.62	-9.02	3	-9.1	-1.65	-5.00				2	-6.65	-3.5	30	5	6.77
ANTO05-1F	60	-3.40	80	-8.64	-12.04	3	-9.1	-1.65	-1.65				2	-3.30	-3.5	30	5	7.10
ANTO06-1F	60	-3.40	20	-2.16	-5.56	3	-9.1	-1.65	-5.00				2	-6.65	-3.5	30	5	10.23
ANTO07-1F	60	-3.40	50	-5.40	-8.80	3	-9.1	-1.65	-1.65				2	-3.30	-3.5	30	5	10.34
ANTP01-1F	0	0.00	15	-1.62	-1.62	1	-3	-1.65	-15.00				2	-16.65	-3.5	30	8	13.21
ANTP02-1F	0	0.00	47	-5.08	-5.08	1	-3	-1.65	-0.13	-15.00			3	-16.78	-3.5	30	8	9.62
ANTO08-1F	0	0.00	75	-8.10	-8.10	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-5.00		4	-6.91	-3.5	30	5	10.45
ANTO09-1F	0	0.00	104	-11.23	-11.23	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-1.65		4	-3.56	-3.5	30	5	10.67
ANTO10-1F	0	0.00	75	-8.10	-8.10	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-5.00		4	-6.91	-3.5	30	5	10.45
ANTO11-1F	0	0.00	104	-11.23	-11.23	2	-6	-1.65	-0.13	-0.13	-1.65		4	-3.56	-3.5	30	5	10.67
ANTP03-1F	0	0.00	15	-1.62	-1.62	0	0	-1.65	-15.00	-5.00			3	-21.65	-3.5	30	8	11.23
ANTP04-1F	0	0.00	44	-4.75	-4.75	0	0	-1.65	-15.00	-1.65			3	-18.30	-3.5	30	8	11.45
ANTO12-1F	40	-2.27	6	-0.65	-2.92	1	-3	-1.65	-0.13	-10.00			3	-11.78	-3.5	30	5	13.78
ANTO13-1F	40	-2.27	36	-3.89	-6.16	1	-3	-1.65	-0.13	-0.45	-10.00		4	-12.23	-3.5	30	5	10.09
ANTO14-1F	40	-2.27	66	-7.13	-9.40	1	-3	-1.65	-0.13	-0.45	-0.45	-5.00	5	-7.68	-3.5	30	5	11.40
ANTO15-1F	40	-2.27	95	-10.26	-12.53	1	-3	-1.65	-0.13	-0.45	-0.45	-1.65	5	-4.33	-3.5	30	5	11.62
ANTO16-1F	40	-2.27	35	-3.78	-6.05	1	-3	-1.65	-0.13	-10.00			3	-11.78	-3.5	30	5	10.65

TABLA 2.1 Potencias del sistema distribuido de antenas (continuación).

Antena	Pérdida por Cable					Pérdida por Splitter	Pérdida por acoplador					Pérdida por combinator	Salida del sistema	Ganancia de la antena	Potencia irradiada por la antena			
	Longitud 7/8"	Pérdida	Longitud 1/2"	Pérdida	Pérdida Total (dB)		Cantidad	Pérdida L=-3.02	C1	C2	C3					C4	C5	Cantidad
ANTO17-1F	40	-2.27	70	-7.56	-9.83	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-5.00		4	-7.23	-3.5	30	5	8.40
ANTO18-1F	40	-2.27	99	-10.69	-12.96	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-1.65		4	-3.88	-3.5	30	5	8.62
ANTO19-1F	40	-2.27	70	-7.56	-9.83	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-5.00		4	-7.23	-3.5	30	5	8.40
ANTO20-1F	40	-2.27	99	-10.69	-12.96	2	-6	-1.65	-0.13	-0.45	-1.65		4	-3.88	-3.5	30	5	8.62
ANTO01-2F		0.00	79	-8.53	-8.53	2	-6	-5.00	-5.00				2	-10.00	-3.5	30	5	6.93
ANTO02-2F		0.00	109	-11.77	-11.77	2	-6	-5.00	-1.65				2	-6.65	-3.5	30	5	7.04
ANTO03-2F		0.00	79	-8.53	-8.53	2	-6	-5.00	-5.00				2	-10.00	-3.5	30	5	6.93
ANTO04-2F		0.00	109	-11.77	-11.77	2	-6	-5.00	-1.65				2	-6.65	-3.5	30	5	7.04
ANTP01-2F		0.00	37	-4.00	-4.00	1	-3	-5.00	-5.00	-5.00			3	-15.00	-3.5	30	8	12.48
ANTP02-2F		0.00	65	-7.02	-7.02	1	-3	-5.00	-5.00	-1.65			3	-11.65	-3.5	30	8	12.81
ANTO05-2F	30	-1.70	50	-5.40	-7.10	2	-6	-5.00	-1.65	-5.00			3	-11.65	-3.5	30	5	6.71
ANTO06-2F	30	-1.70	79	-8.53	-10.23	2	-6	-5.00	-1.65	-1.65			3	-8.30	-3.5	30	5	6.93
ANTO07-2F	30	-1.70	50	-5.40	-7.10	2	-6	-5.00	-1.65	-5.00			3	-11.65	-3.5	30	5	6.71
ANTO08-2F	30	-1.70	79	-8.53	-10.23	2	-6	-5.00	-1.65	-1.65			3	-8.30	-3.5	30	5	6.93
ANTP03-2F		0.00	44	-4.75	-4.75	0	0	-5.00	-10.00	-5.00			3	-20.00	-3.5	30	8	9.75
ANTP04-2F		0.00	73	-7.88	-7.88	0	0	-5.00	-10.00	-1.65			3	-16.65	-3.5	30	8	9.97
ANTO09-2F		0.00	69	-7.45	-7.45	1	-3	-5.00	-0.45	-5.00			3	-10.45	-3.5	30	5	10.58
ANTO10-2F		0.00	98	-10.58	-10.58	1	-3	-5.00	-0.45	-1.65			3	-7.10	-3.5	30	5	10.80
ANTO11-2F		0.00	69	-7.45	-7.45	1	-3	-5.00	-0.45	-5.00			3	-10.45	-3.5	30	5	10.58
ANTO12-2F		0.00	98	-10.58	-10.58	1	-3	-5.00	-0.45	-1.65			3	-7.10	-3.5	30	5	10.80

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ECONÓMICOS

3.1 Análisis de costos

A continuación se realiza un análisis económico de la red instalada en donde se analiza la rentabilidad de este proyecto. En primer lugar se toma en cuenta la inversión a realizar en donde se considera el precio de los equipos a instalar, los materiales de construcción detallay los servicios de instalación, detallados en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 respectivamente. Para el caso de precio de los equipos se considera el valor de mercado de los elementos principales de la red.

Luego se listan los precios del equipamiento necesario y elementos como conectores y ductos. Por último se considera el precio de los servicios de instalación así como el del estudio de ingeniería.

Finalmente se calcula la totalidad del monto a invertir tomando en cuenta los puntos ya antes mencionados, esto se resume en la Tabla 3.4.

TABLA N° 3.1 Precios de los equipos [5]

Equipamiento	Precio unitario	Cantidad	Total
Antena Panel	\$75.00	8	\$600.00
Antena Omnidireccional	\$85.00	32	\$2,720.00
Cable coaxial de 1/2"	\$5.00	1060	\$5,300.00
Cable coaxial de 7/8"	\$6.00	190	\$1,140.00
Splitter	\$18.00	10	\$180.00
Acoplador	\$21.00	28	\$588.00
Conector 1/2"	\$15.00	108	\$1,620.00
Conector 7/8"	\$18.00	6	\$108.00
RRU 3841	\$4,840.00	2	\$9,680.00
RRU 3942	\$4,242.00	2	\$8,484.00
Gabinete	\$2,480.00	1	\$2,480.00
BBU 3900	\$5,150.00	1	\$5,150.00
Total			\$38,050.00

TABLA N° 3.2 Costos de los materiales de construcción (costos en el mercado local)

Materiales de Instalación	Precio	Cantidad	Total
Tubo conduit flexible 1"	\$3.06	844	\$2,579.44
Tubo conduit flexible 1 1/2"	\$7.78	69	\$534.72
Tubo conduit rígido 1"	\$3.52	216	\$759.36
Tubo conduit rígido 1 1/2"	\$7.04	121	\$853.24
Abrazadera 1"	\$4.50	313	\$1,406.25
Soporte de antenna	\$20.00	40	\$800.00
Prensa estopa 1"	\$3.00	147	\$441.00
Prensa estopa 1 1/2"	\$5.00	8	\$40.00
Unión conduit rígido 1"	\$2.33	72	\$167.86
Unión conduit rígido 1 1/2"	\$3.00	40	\$121.25
Caja de paso	\$16.67	79	\$1,316.67
Codo conduit 1"	\$6.00	25	\$150.00
Codo conduit 1 1/2"	\$8.67	2	\$17.33
cable de energía 2x10AWG	\$5.57	20	\$111.47
Cable de tierra 35mm	\$8.40	20	\$168.00
Total			\$9,466.59

TABLA N° 3.3 Costos de los servicios de instalación. Fuente: Estimación propia.

Servicio de Instalación			
Instalación	\$11,700.00	1	\$11,700.00
Estudio de ingeniería	\$10,000.00	1	\$10,000.00
Total			\$21,700.00

TABLA N° 3.4 Inversión total

Total Equipamiento	\$38,050.00
Total Materiales	\$9,466.59
Total Servicios	\$21,700.00
Total General	\$69,216.59

3.2 Análisis de ingresos.

Luego de calcular el monto de la inversión es importante analizar lo que el operador obtiene como ganancia con esta red. Para lograr esto primero se debe considerar lo que obtiene el operador por cada minuto de llamada concretada y también las ganancias por el consumo de datos, para ello se consideran las tarifas del Mercado por minuto de una llamada y también por consumo de Mb.

En la tabla 3.5 se observan los precios por minuto y Mb tanto para usuarios prepago y postpago.

TABLA N° 3.5 Tarifas por minuto y por Mb [1]

Costo por minuto de llamada	Costo	Costo por Earlang
Precio por minuto prepago	S/. 0.49	S/. 29.40
Precio por minuto postpago	S/. 0.10	S/. 6.00
Costo por uso de Mb	Costo	
Precio por Mb prepago	S/. 0.49	
Precio por Mb postpago	S/. 0.04	

Se ha considerado que el usuario promedio consume 25mE en llamadas. Según un estudio de Ipsos [1] realizado en Noviembre del 2013 el 58% de usuarios de celulares tiene conexión a Internet en sus móviles obteniendo un valor de 79% en zonas urbanas. Teniendo en cuenta el consumo de datos promedio de un usuario de 200 Mb por mes y tal como se mencionó en el capítulo 1, el centro comercial recibe en promedio 2.5 millones de visitas mensuales.

También se sabe:

TABLA N° 3.6 Porcentaje según modalidad para Movistar en la ciudad de Lima. [1]

% Usuarios Postpago	19.42%
% Usuarios Prepago	80.58%

Con los datos mencionados anteriormente se considera un estimado de ingresos para el operador. Se está considerando un costo de mantenimiento del 35%, por lo que la ganancia será del 65%.

Ahora se realiza el análisis del ingreso diario tanto por concepto de llamadas como de uso de datos, se está considerando que cada visita al centro dura aproximadamente 2 horas, por lo que se multiplica por un factor de 10% a los conceptos de uso diario. En la Tabla 3.7 se muestra los valores por conceptos de llamadas

TABLA N° 3.7 Análisis de ingresos por conceptos de llamadas [2]:

Cantidad de visitas diarias	83333.33	
Trafico promedio diario	208333.33	mE
	208.33	E

Ingreso diario por usuario prepago	S/. 6,125.00
Ingreso diario por usuario postpago	S/. 1,250.00
Total de ingresos por llamadas	S/. 7,375.00

También se analiza los conceptos por el uso de datos, tal como se muestra en la Tabla 3.8.

TABLA N° 3.8 Análisis de ingreso por concepto de uso de datos:

Cantidad de visitas diarias	83333.33	
Trafico promedio diario	55555.56	Mb

Ingreso diario por usuario prepago	S/. 27,222.22
Ingreso diario por usuario prepago	S/. 2,170.14
Total de ingresos por llamadas	S/. 29,392.36

Luego:

Ingresos totales diarios	S/. 36767.36
Ganancia neta (65%)	S/. 23,898.78

TABLA N° 3.5 Ganancia total mensual

Ganancia mensual	S/. 716,963.54	\$263,589.54
-------------------------	----------------	--------------

Luego de comparar la tabla 3.2 con la tabla 3.5 se puede observar que en menos de un mes se recupera en monto invertido.

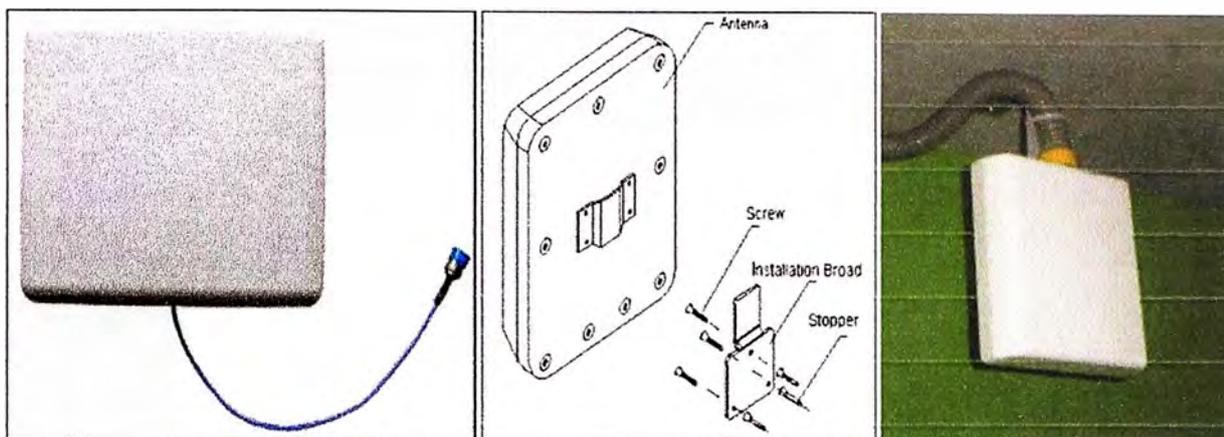


Figura N° 4.2 Imágen de antena tipo panel [5]

En la figura 4.3 se aprecian 2 presentaciones, la primera para un splitter y la segunda para un acoplador.

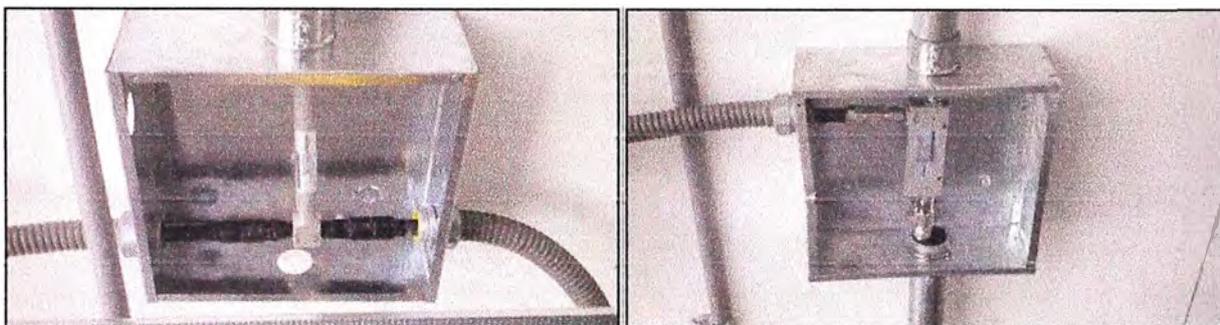


Figura N° 4.3 Imagen de splitter y acoplador respectivamente

Fuente propia

Adicionalmente a los elementos pasivos ya mencionados el presente trabajo incluye la instalación de los elementos activos tales como la BTS, equipos de energía y las unidades remotas RF denominadas RRUs.

Los principales elementos activos se colocaran dentro de un gabinete Huawei modelo APM30, en la figura 4.4 se puede apreciar la imagen de un APM30 con los principales equipos del nodo B, así como su respaldo de energía. La unidad denominada EPU es la que contiene el sistema rectificador, la unidad DCDCU es el distribuidor de energía continua, la unidad BBU es el propio nodo B que como se mencionó en capítulos anteriores, la tecnología Huawei permite una solución single RAN donde con un solo equipo podemos tener distintas tecnologías, es así, que para la solución propuesta en el presente trabajo se combinarán las tecnologías UMTS y LTE en el mismo equipo (mayor detalle en el anexo B "Elementos activos". Adicionalmente el gabinete APM30 proporciona espacio para los equipos de transmisiones (IDU). Finalmente se observa en la base del gabinete el banco de baterías para el respaldo de energía de la estación.

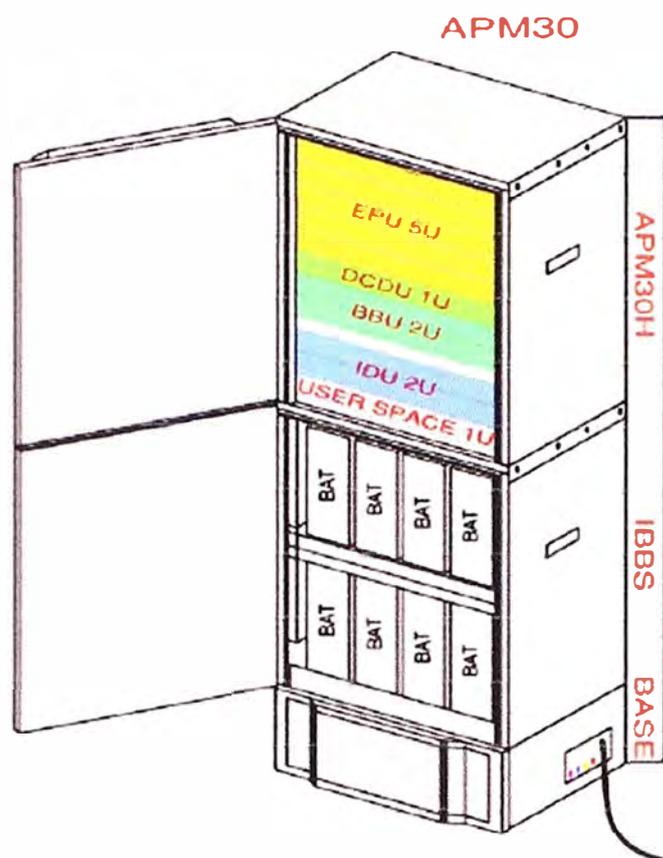


Figura N° 4.4 Estructura de un gabinete APM30 [5]

Finalmente tenemos la unidad RF o RRU, para la solución propuesta se utilizan 2 modelos, la RRU 3841 para la tecnología LTE y la RRU 3942 para la tecnología UMTS. Ambas RRUs tienen una estructura similar que puede apreciarse en la figura 4.5.

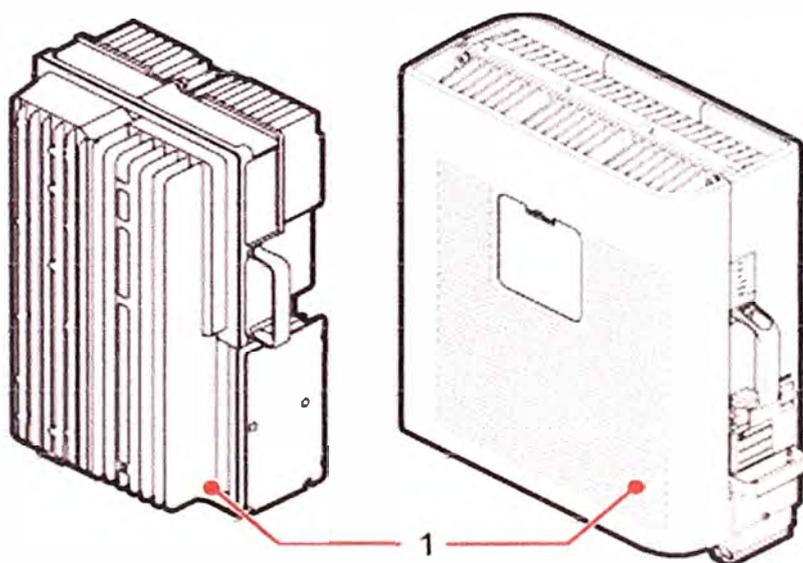


Figura N° 4.5 Estructura de la RRU [5]

4.2 Cronograma

En la figura 4.6 se observa un diagrama de Gantt propuesto que involucra las principales actividades:

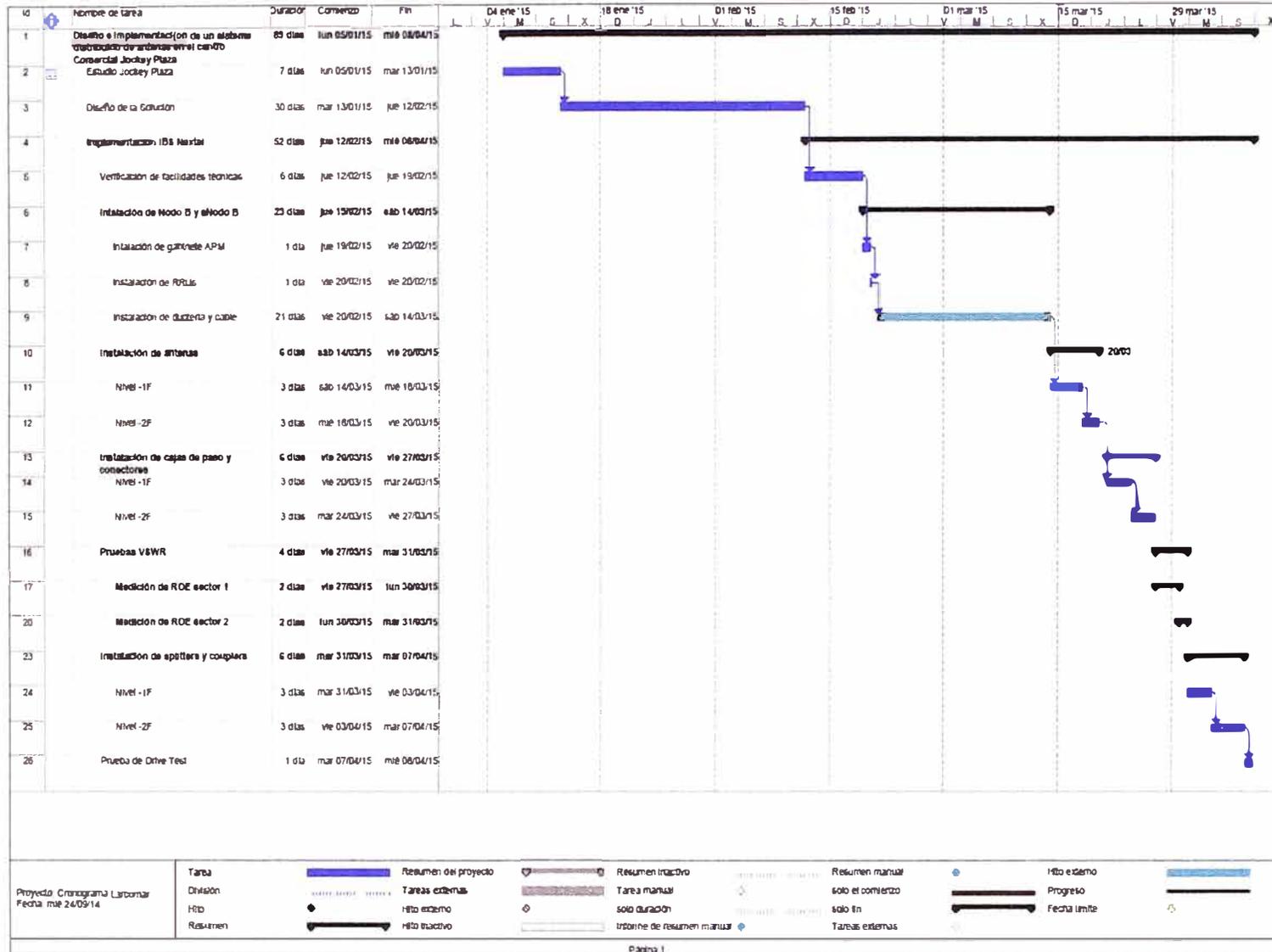


Figura N° 4.6 Diagrama de Gantt. Fuente propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Luego de medir la cobertura de señal móvil al interior del Centro Comercial Jockey Plaza y realizar el post procesamiento de estos datos se obtiene evidencia de los bajos niveles de potencia (por debajo a -76 dBm.) existentes comparados a los niveles aceptables que son los superiores a -60.9 dBm. Se concluye que la mejor alternativa de solución es el despliegue de una red RF Indoor dadas las dimensiones del centro comercial y demanda de tráfico del mismo.
2. Debido a la tendencia de la tecnología móvil se realiza el diseño de la solución para las tecnologías 3G y 4G, tomando en cuenta las visitas técnicas hechas al centro comercial y teniendo como objetivo garantizar niveles óptimos de cobertura superiores a -69 dBm dando prioridad a las zonas comunes y pasillos del Centro Comercial. Este diseño se comprueba con la implementación de la red al interior del Centro Comercial.
3. Se realiza el estudio económico de la solución tomando en cuenta los índices de tráfico promedio, las tarifas actuales del mercado y la concurrencia diaria de personas en el centro comercial; del cual se concluye que la solución es económicamente viable y que se recupera totalmente la inversión realizada al segundo año de operación con una tasa interna de retorno de 17% significando un negocio llamativo para las áreas financieras y comerciales.
4. Se concluye finalmente, tras el estudio tecnológico y económico realizado en el presente trabajo, 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 y los altos índices de potencia de recepción y baja tasa de interferencia que presenta.

Recomendaciones

1. Se recomienda para diseños de redes similares considerar colocar antenas paneles en lugar de antenas omnidireccionales en los extremos de la edificación debido a su naturaleza directiva que permite que la potencia irradiada apunte al interior del lugar a dar cobertura y no escape a las afueras lo cual puede generar problemas de interferencia con la cobertura outdoor.
2. Al momento de terminar los diseños y generar los link budgets, es recomendable considerar un margen de 2dB de pérdida adicional a todo el sistema debido a cuestiones propias de instalación como obstáculos en el recorrido del cableado, lugares en los que no se pueda pasar cable fácilmente lo cual genere más tramos de cable ó pérdidas adicionales en los conectores.
3. En la red desplegada se consideró utilizar 2 sectores definido por una única RRU para todo el edificio, sin embargo, en edificaciones más pequeñas puede utilizarse solo una RRU y un sector. En lugares que tienen muchos pisos se recomienda no tener dos sectores en un mismo piso sino que las antenas que irradian en un mismo piso pertenezcan al mismo sector.

ANEXO A
Hojas técnicas de los elementos pasivos

A.1 Hoja técnica de una antena omnidireccional

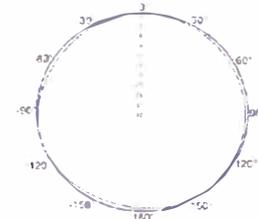
2/5 dBi Omnidirectional Ceiling Antenna

Model: HAOA-0809/1825-N-2/5



By HUAWEI
Electrical Properties

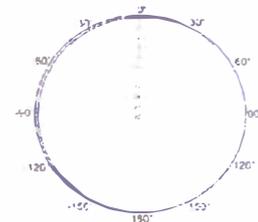
Frequency range (MHz)	806 - 960	1710 - 2500
Polarization	Vertical	
VSWR	< 1.5	
Gain (dBi)	2	5
Horizontal 3dB beam width (°)	360	
Max. CW average power (W)	50	
Impedance (Ω)	50	
Grounding	DC Grounding	



900 MHz horizontal pattern

Mechanical Properties

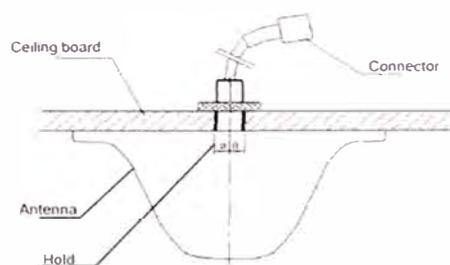
Dimensions (H x D) (mm)	90 x Φ185	
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	175 x 175 x 175	
Net weight (with installation kit) (kg)	0.28	
Packing weight (kg)	0.35	
Radome material	UV ABS	
Application scene	Indoor	
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55	
Connector	N - Female	



2100 MHz horizontal pattern

Install step

1. Drill a Φ18 hole on the ceiling.
2. Install the antenna as the following picture shows then tighten the bolts.
3. Fix the cable and antenna connector and use water proof tape at the point of connector.



A.2 Hoja técnica de una antena panel.

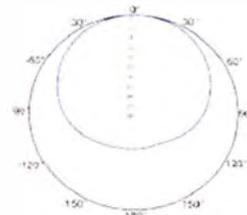
7/8 dBi Wall Mount Antenna

Model: HADA-0809/1825-N-7/8

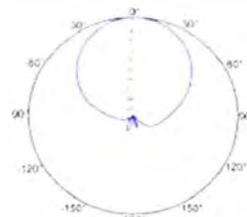


By HUAWEI
Electrical Properties

Frequency range (MHz)	805 - 960	1710 - 2500
Polanzation	Vertical	
VSWR	< 1.5	
Gain (dBi)	7	8
Horizontal 3dB beam width (°)	90	75
Front to back ratio (dB)	≥ 6	≥ 8
Max CW average power (W)	50	
Impedance (Ω)	50	
Grounding	DC Grounding	



900 MHz horizontal pattern



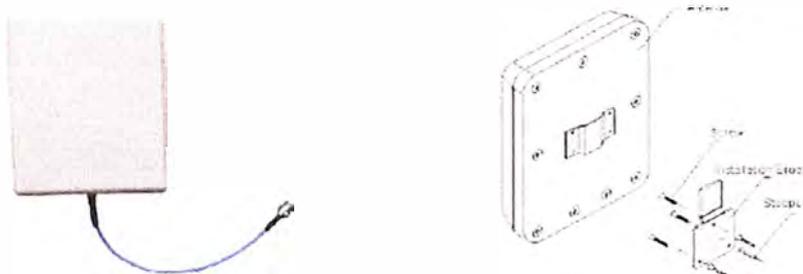
2100 MHz horizontal pattern

Mechanical Properties

Dimensions (H x W x D) (mm)	210 x 180 x 44	
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	255 x 190 x 60	
Net weight (with installation kit) (kg)	0.43	
Packing weight (kg)	0.51	
Radome material	UV ABS	
Application scene	Indoor	
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55	
Connector	N - Female	

Install step

1. Punch the correct size hole with the drill, and put the stopper into the hole, then after installing the M4 x 25 screw, fix them into the stepper.
2. Hang the antenna on the installation piece and install the connector.



Huawei Technologies Co., Ltd. Bantian, Longgang District, Shenzhen 518129, P.R.China

www.huawei.com

Any previous datasheet issues become invalid.

1

Issue: 2012-05-24



A.3 Hoja técnica de los splitters

Cavity Power Splitter

Model: HAS0825N200-02 HAS0825N200-03 HAS0825N200-04



By HUAWEI

Electrical Properties

Model	HAS0825N200-02	HAS0825N200-03	HAS0825N200-04
Frequency range (MHz)	800 - 2500		
Dividing	2	3	4
VSWR	≤ 1.3		
Insertion loss (dB)	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -140 (2 x 43 dBm carrier)		
Max. CW average power (W)	200		
Impedance (Ω)	50		
Passband ripple (dB)	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3
Channel balance (dB)	≤ 0.3		
FIT (ppm / year)	500		

Mechanical Properties

Dimensions (H x W x D) (mm) (without connector)	193 x 25 x 25	200 x 25 x 25	200 x 25 x 25
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	222 x 67 x 30	242 x 67 x 30	242 x 67 x 47
Net weight (kg)	0.19	0.21	0.24
Packing weight (kg)	0.22	0.24	0.28
Application scene	Indoor		
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55		
Connector	N-Female		



HAS0825N200-02



HAS0825N200-03



HAS0825N200-04

A.4 Hojas técnica de los acopladores

Cavity Coupler

Model: HAT0825N200-05 HAT0825N200-06 HAT0825N200-07 HAT0825N200-08
 HAT0825N200-15 HAT0825N200-20 HAT0825N200-30 HAT0825N200-40

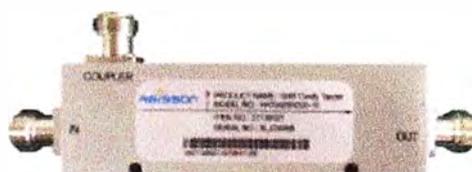


Electrical Properties

Model	HAT0825N200-05	HAT0825N200-06	HAT0825N200-07	HAT0825N200-10
Frequency range (MHz)	800 - 2500			
Coupling (dB)	5 ± 0.5	6 ± 0.5	7 ± 0.5	10 ± 1.0
Coupling pass band ripple (dB)	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 2
VSWR	≤ 1.25			
Isolation between ports (dB)	≥ 25	≥ 26	≥ 27	≥ 30
Insertion loss (dB)	≤ 0.5			
Intermodulation (IM3) (dBc)	≤ -120 (2 x 43 dBm carrier)			
Max. CW average power (W)	200			
Impedance (Ω)	50			
FTT (ppm / year)	500			

Mechanical Properties

Dimensions (H x W x D) (mm) (without connector)	120 x 40 x 16.5
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	175 x 75 x 30
Net weight (kg)	0.22
Packing weight (kg)	0.25
Application scene	Indoor
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55
Connector	N-Female



HAT0825N200

Cavity Coupler

Model: HAT0825N200-05 HAT0825N200-06 HAT0825N200-07 HAT0825N200-10
HAT0825N200-15 HAT0825N200-20 HAT0825N200-30 HAT0825D200-40

AGISSON
By HUAWEI

Electrical Properties

Model	HAT0825N200-15	HAT0825N200-20	HAT0825N200-30	HAT0825D200-40
Frequency range (MHz)	800 - 2500			
Coupling(dB)	15 ± 1	20 ± 1	30 ± 1	40 ± 1.5
Coupling passband ripple(dB)	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 3
VSWR	≤ 1.25			
Isolation between ports(dB)	≥ 35	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Insertion loss (dB)	≤ 0.3			≤ 0.3
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -120 (2 x 43 dBm carrier)			≤ -140 (2 x 43 dBm carrier)
Max. CW average power (W)	200			
Impedance (ohm)	50			
FIT (ppm / year)	500			

Mechanical Properties

Dimensions (H x W x D) (mm) (without connector)	120 x 40 x 16.5	109 x 47 x 38
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	175 x 75 x 30	175 x 75 x 45
Net weight (kg)	0.22	0.69
Packing weight (kg)	0.25	0.71
Application scene	Indoor	
Operating temperature (°C)	-30 ~ +55	
Connector	N-Female	Input port: 7 / 16DIN-Male Output port: 7 / 16DIN- Female Coupling port: N-Female



HAT0825D200-40

A.5 Hoja técnica del cable coaxial de 1/2"

Product Data Sheet		LCF12-50J		RFS																																																																																																																																																																																																									
1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable																																																																																																																																																																																																													
Product Description																																																																																																																																																																																																													
CELLFLEX® 1/2" low loss flexible cable																																																																																																																																																																																																													
Application: OEM jumpers, Main feed transitions to equipment, GPS lines																																																																																																																																																																																																													
																																																																																																																																																																																																													
1/2" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable																																																																																																																																																																																																													
Features/Benefits																																																																																																																																																																																																													
<ul style="list-style-type: none"> Low Attenuation The low attenuation of CELLFLEX® coaxial cable results in highly efficient signal transmission your RF system Complete Shielding The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference. Low VSWR Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise. Outstanding Intermodulation Performance CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermod. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory High Power Rating Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels Wide Range of Application Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects 																																																																																																																																																																																																													
Technical Features																																																																																																																																																																																																													
Structure																																																																																																																																																																																																													
Inner conductor	Copper-Clad Aluminum Wire	[mm (in)]	4.8 (0.19)																																																																																																																																																																																																										
Dielectric	Foam Polyethylene	[mm (in)]	11.9 (0.47)																																																																																																																																																																																																										
Outer conductor	Corrugated Copper	[mm (in)]	13.8 (0.54)																																																																																																																																																																																																										
Jacket	Polyethylene, PE	[mm (in)]	15.8 (0.62)																																																																																																																																																																																																										
Mechanical Properties																																																																																																																																																																																																													
Weight, approximately		[kg/m (lb/ft)]	0.2 (0.14)																																																																																																																																																																																																										
Minimum bending radius, single bending		[mm (in)]	70 (3)																																																																																																																																																																																																										
Minimum bending radius, repeated bending		[mm (in)]	125 (5)																																																																																																																																																																																																										
Bending moment		[Nm (lb-ft)]	6.5 (4.79)																																																																																																																																																																																																										
Max. tensile force		[N (lb)]	1100 (247)																																																																																																																																																																																																										
Recommended / maximum clamp spacing		[m (ft)]	0.6 / 1 (2 / 3.25)																																																																																																																																																																																																										
Electrical Properties																																																																																																																																																																																																													
Characteristic impedance		[Ω]	50 +/- 1																																																																																																																																																																																																										
Relative propagation velocity		[%]	88																																																																																																																																																																																																										
Capacitance		[pF/m (pF/ft)]	76 (23.2)																																																																																																																																																																																																										
Inductance		[μH/m (μH/ft)]	0.19 (0.058)																																																																																																																																																																																																										
Max. operating frequency		[GHz]	8.8																																																																																																																																																																																																										
Jacket spark test RMS		[V]	8000																																																																																																																																																																																																										
Peak power rating		[kW]	38																																																																																																																																																																																																										
RF Peak voltage rating		[V]	1950																																																																																																																																																																																																										
DC-resistance inner conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.57 (0.48)																																																																																																																																																																																																										
DC-resistance outer conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	2.7 (0.82)																																																																																																																																																																																																										
Recommended Temperature Range																																																																																																																																																																																																													
Storage temperature		[°C (°F)]	-70 to 85 (-94 to 185)																																																																																																																																																																																																										
Installation temperature		[°C (°F)]	-40 to 60 (-40 to 140)																																																																																																																																																																																																										
Operation temperature		[°C (°F)]	-50 to 85 (-58 to 185)																																																																																																																																																																																																										
Other Characteristics																																																																																																																																																																																																													
Fire Performance	Halogene Free																																																																																																																																																																																																												
VSWR Performance	Standard	[dB (VSWR)]		Contact RFS for your VSWR performance specification for your required frequency band																																																																																																																																																																																																									
Other Options	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.																																																																																																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency [MHz]</th> <th colspan="2">Attenuation [dB/100m dB/100ft]</th> <th>Power [kW]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td>0.149</td><td>0.0454</td><td>38.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.211</td><td>0.0643</td><td>38.0</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.258</td><td>0.0788</td><td>32.9</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.298</td><td>0.0910</td><td>28.5</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.671</td><td>0.204</td><td>12.7</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.951</td><td>0.290</td><td>8.93</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.17</td><td>0.356</td><td>7.26</td></tr> <tr><td>50</td><td>1.51</td><td>0.462</td><td>5.63</td></tr> <tr><td>88</td><td>2.02</td><td>0.616</td><td>4.21</td></tr> <tr><td>100</td><td>2.16</td><td>0.658</td><td>3.93</td></tr> <tr><td>108</td><td>2.24</td><td>0.684</td><td>3.79</td></tr> <tr><td>150</td><td>2.66</td><td>0.810</td><td>3.19</td></tr> <tr><td>174</td><td>2.87</td><td>0.875</td><td>2.96</td></tr> <tr><td>200</td><td>3.08</td><td>0.940</td><td>2.76</td></tr> <tr><td>300</td><td>3.81</td><td>1.16</td><td>2.23</td></tr> <tr><td>400</td><td>4.43</td><td>1.35</td><td>1.92</td></tr> <tr><td>450</td><td>4.71</td><td>1.44</td><td>1.80</td></tr> <tr><td>500</td><td>4.98</td><td>1.52</td><td>1.71</td></tr> <tr><td>512</td><td>5.04</td><td>1.54</td><td>1.69</td></tr> <tr><td>600</td><td>5.48</td><td>1.67</td><td>1.55</td></tr> <tr><td>700</td><td>5.95</td><td>1.81</td><td>1.43</td></tr> <tr><td>750</td><td>6.17</td><td>1.88</td><td>1.38</td></tr> <tr><td>800</td><td>6.39</td><td>1.95</td><td>1.33</td></tr> <tr><td>824</td><td>6.49</td><td>1.98</td><td>1.31</td></tr> <tr><td>894</td><td>6.78</td><td>2.07</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>900</td><td>6.80</td><td>2.07</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>925</td><td>6.90</td><td>2.10</td><td>1.23</td></tr> <tr><td>960</td><td>7.04</td><td>2.15</td><td>1.21</td></tr> <tr><td>1000</td><td>7.20</td><td>2.19</td><td>1.18</td></tr> <tr><td>1250</td><td>8.12</td><td>2.48</td><td>1.05</td></tr> <tr><td>1400</td><td>8.64</td><td>2.63</td><td>0.983</td></tr> <tr><td>1500</td><td>8.97</td><td>2.73</td><td>0.947</td></tr> <tr><td>1700</td><td>9.61</td><td>2.93</td><td>0.884</td></tr> <tr><td>1800</td><td>9.91</td><td>3.02</td><td>0.857</td></tr> <tr><td>2000</td><td>10.5</td><td>3.20</td><td>0.809</td></tr> <tr><td>2100</td><td>10.8</td><td>3.29</td><td>0.787</td></tr> <tr><td>2200</td><td>11.1</td><td>3.38</td><td>0.765</td></tr> <tr><td>2400</td><td>11.6</td><td>3.54</td><td>0.732</td></tr> <tr><td>2500</td><td>11.9</td><td>3.62</td><td>0.714</td></tr> <tr><td>2600</td><td>12.2</td><td>3.70</td><td>0.696</td></tr> <tr><td>2700</td><td>12.4</td><td>3.78</td><td>0.685</td></tr> <tr><td>3000</td><td>13.2</td><td>4.01</td><td>0.644</td></tr> <tr><td>3500</td><td>14.4</td><td>4.38</td><td>0.590</td></tr> <tr><td>4000</td><td>15.5</td><td>4.72</td><td>0.548</td></tr> <tr><td>5000</td><td>17.6</td><td>5.37</td><td>0.483</td></tr> <tr><td>6000</td><td>19.6</td><td>5.97</td><td>0.433</td></tr> <tr><td>7000</td><td>21.4</td><td>6.54</td><td>0.397</td></tr> <tr><td>8000</td><td>23.2</td><td>7.07</td><td>0.366</td></tr> <tr><td>8800</td><td>24.6</td><td>7.49</td><td>0.345</td></tr> </tbody> </table>						Frequency [MHz]	Attenuation [dB/100m dB/100ft]		Power [kW]	0.5	0.149	0.0454	38.0	1.0	0.211	0.0643	38.0	1.5	0.258	0.0788	32.9	2.0	0.298	0.0910	28.5	10	0.671	0.204	12.7	20	0.951	0.290	8.93	30	1.17	0.356	7.26	50	1.51	0.462	5.63	88	2.02	0.616	4.21	100	2.16	0.658	3.93	108	2.24	0.684	3.79	150	2.66	0.810	3.19	174	2.87	0.875	2.96	200	3.08	0.940	2.76	300	3.81	1.16	2.23	400	4.43	1.35	1.92	450	4.71	1.44	1.80	500	4.98	1.52	1.71	512	5.04	1.54	1.69	600	5.48	1.67	1.55	700	5.95	1.81	1.43	750	6.17	1.88	1.38	800	6.39	1.95	1.33	824	6.49	1.98	1.31	894	6.78	2.07	1.25	900	6.80	2.07	1.25	925	6.90	2.10	1.23	960	7.04	2.15	1.21	1000	7.20	2.19	1.18	1250	8.12	2.48	1.05	1400	8.64	2.63	0.983	1500	8.97	2.73	0.947	1700	9.61	2.93	0.884	1800	9.91	3.02	0.857	2000	10.5	3.20	0.809	2100	10.8	3.29	0.787	2200	11.1	3.38	0.765	2400	11.6	3.54	0.732	2500	11.9	3.62	0.714	2600	12.2	3.70	0.696	2700	12.4	3.78	0.685	3000	13.2	4.01	0.644	3500	14.4	4.38	0.590	4000	15.5	4.72	0.548	5000	17.6	5.37	0.483	6000	19.6	5.97	0.433	7000	21.4	6.54	0.397	8000	23.2	7.07	0.366	8800	24.6	7.49	0.345
Frequency [MHz]	Attenuation [dB/100m dB/100ft]		Power [kW]																																																																																																																																																																																																										
0.5	0.149	0.0454	38.0																																																																																																																																																																																																										
1.0	0.211	0.0643	38.0																																																																																																																																																																																																										
1.5	0.258	0.0788	32.9																																																																																																																																																																																																										
2.0	0.298	0.0910	28.5																																																																																																																																																																																																										
10	0.671	0.204	12.7																																																																																																																																																																																																										
20	0.951	0.290	8.93																																																																																																																																																																																																										
30	1.17	0.356	7.26																																																																																																																																																																																																										
50	1.51	0.462	5.63																																																																																																																																																																																																										
88	2.02	0.616	4.21																																																																																																																																																																																																										
100	2.16	0.658	3.93																																																																																																																																																																																																										
108	2.24	0.684	3.79																																																																																																																																																																																																										
150	2.66	0.810	3.19																																																																																																																																																																																																										
174	2.87	0.875	2.96																																																																																																																																																																																																										
200	3.08	0.940	2.76																																																																																																																																																																																																										
300	3.81	1.16	2.23																																																																																																																																																																																																										
400	4.43	1.35	1.92																																																																																																																																																																																																										
450	4.71	1.44	1.80																																																																																																																																																																																																										
500	4.98	1.52	1.71																																																																																																																																																																																																										
512	5.04	1.54	1.69																																																																																																																																																																																																										
600	5.48	1.67	1.55																																																																																																																																																																																																										
700	5.95	1.81	1.43																																																																																																																																																																																																										
750	6.17	1.88	1.38																																																																																																																																																																																																										
800	6.39	1.95	1.33																																																																																																																																																																																																										
824	6.49	1.98	1.31																																																																																																																																																																																																										
894	6.78	2.07	1.25																																																																																																																																																																																																										
900	6.80	2.07	1.25																																																																																																																																																																																																										
925	6.90	2.10	1.23																																																																																																																																																																																																										
960	7.04	2.15	1.21																																																																																																																																																																																																										
1000	7.20	2.19	1.18																																																																																																																																																																																																										
1250	8.12	2.48	1.05																																																																																																																																																																																																										
1400	8.64	2.63	0.983																																																																																																																																																																																																										
1500	8.97	2.73	0.947																																																																																																																																																																																																										
1700	9.61	2.93	0.884																																																																																																																																																																																																										
1800	9.91	3.02	0.857																																																																																																																																																																																																										
2000	10.5	3.20	0.809																																																																																																																																																																																																										
2100	10.8	3.29	0.787																																																																																																																																																																																																										
2200	11.1	3.38	0.765																																																																																																																																																																																																										
2400	11.6	3.54	0.732																																																																																																																																																																																																										
2500	11.9	3.62	0.714																																																																																																																																																																																																										
2600	12.2	3.70	0.696																																																																																																																																																																																																										
2700	12.4	3.78	0.685																																																																																																																																																																																																										
3000	13.2	4.01	0.644																																																																																																																																																																																																										
3500	14.4	4.38	0.590																																																																																																																																																																																																										
4000	15.5	4.72	0.548																																																																																																																																																																																																										
5000	17.6	5.37	0.483																																																																																																																																																																																																										
6000	19.6	5.97	0.433																																																																																																																																																																																																										
7000	21.4	6.54	0.397																																																																																																																																																																																																										
8000	23.2	7.07	0.366																																																																																																																																																																																																										
8800	24.6	7.49	0.345																																																																																																																																																																																																										
Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature																																																																																																																																																																																																													
RFS The Clear Choice®		LCF12-50J		Rev: D / 15.Aug.2013																																																																																																																																																																																																									
Please visit us on the internet at http://www.rfsworld.com/				Print Date: 18.06.2014																																																																																																																																																																																																									
				Radio Frequency Systems																																																																																																																																																																																																									

A.6 Hoja técnica del cable coaxial de 7/8"

Product Data Sheet

LCF78-50JA-A8



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

Product Description

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

Application: Main feed line



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

Features/Benefits

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

Technical Features

Structure

Structure			
Inner conductor	Copper Tube	[mm (in.)]	9.32 (0.37)
Dielectric	Foam Polyethylene	[mm (in.)]	22.4 (0.88)
Outer conductor	Corrugated Copper	[mm (in.)]	25.2 (0.99)
Jacket	Polyethylene, PE	[mm (in.)]	27.8 (1.09)

Mechanical Properties

Mechanical Properties			
Weight, approximate	[kg/m (lb/ft)]		0.41 (0.28)
Minimum bending radius, single bending	[mm (in.)]		120 (5)
Minimum bending radius, repeated bending	[mm (in.)]		250 (10)
Bending moment	[Nm (lb-ft)]		13 (9.6)
Max. tensile force	[N (lb)]		1440 (324)
Recommended / maximum clamp spacing	[m (ft)]		0.8 / 1 (2.75 / 3.25)

Electrical Properties

Electrical Properties			
Characteristic impedance	[Ω]		50 +/- 1
Relative propagation velocity	[%]		90
Capacitance	[pF/m (pF/ft)]		74 (22.5)
Inductance	[μH/m (μH/ft)]		0.185 (0.056)
Max. operating frequency	[GHz]		5
Jacket spark test: RMS	[V]		8000
Peak power rating	[kW]		85
RF Peak voltage rating	[V]		2820
DC-resistance inner conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]		1.54 (0.47)
DC-resistance outer conductor	[Ω/km (Ω/1000ft)]		1.55 (0.47)

Recommended Temperature Range

Recommended Temperature Range			
Storage temperature	[°C (°F)]		-70 to 85 (-94 to 185)
Installation temperature	[°C (°F)]		-40 to 60 (-40 to 140)
Operation temperature	[°C (°F)]		-50 to 85 (-58 to 185)

Other Characteristics

Fire Performance	Halogen Free		
VSWR Performance	Premium for 790 - 690 MHz and 1710 - 2200 MHz	[dB (VSWR)]	23 (1.152)
Other Options	Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.		

Frequency [MHz]	Attenuation		Power [kW]
	[dB/100m]	[dB/100ft]	
0.5	0.0780	0.0238	85.0
1.0	0.110	0.0336	85.0
1.5	0.135	0.0412	73.6
2.0	0.156	0.0476	63.7
10	0.351	0.107	28.3
20	0.498	0.152	20.0
30	0.612	0.188	16.2
50	0.793	0.242	12.5
89	1.08	0.323	9.38
100	1.13	0.345	8.80
108	1.18	0.358	8.42
150	1.39	0.425	7.15
174	1.50	0.458	6.63
200	1.62	0.493	6.14
300	2.0	0.608	4.97
400	2.32	0.707	4.28
450	2.47	0.753	4.02
500	2.61	0.796	3.81
612	2.84	0.866	3.77
600	2.88	0.876	3.45
700	3.12	0.951	3.16
750	3.24	0.967	3.07
800	3.35	1.02	2.97
824	3.41	1.04	2.91
844	3.56	1.08	2.79
900	3.57	1.08	2.78
925	3.62	1.10	2.75
980	3.70	1.13	2.66
1000	3.78	1.15	2.63
1250	4.27	1.30	2.33
1430	4.54	1.38	2.19
1500	4.71	1.44	2.11
1700	5.05	1.54	1.97
1800	5.21	1.59	1.91
2000	5.52	1.68	1.80
2100	5.67	1.73	1.75
2200	5.82	1.77	1.71
2400	6.11	1.88	1.63
2500	6.25	1.91	1.59
2600	6.39	1.95	1.56
2700	6.53	1.99	1.52
3000	6.93	2.11	1.43
3500	7.56	2.30	1.31
4000	8.16	2.49	1.22
4900	9.17	2.80	1.08
5000	9.28	2.83	1.07

Attenuation at 22°C (53°F) cable temperature
Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature

All information contained in this present datasheet is subject to confirmation at time of ordering.

RFS The Clear Choice®

LCF78-50JA-A8

Rev: E / 29.Aug.2013

Print Date: 19.06.2014

Please visit us on the internet at <http://www.rfs-world.com/>

Radio Frequency Systems

ANEXO B

Descripción del hardware de los elementos activos

B.1 RRU 3841 Hardware Description

RRU Exterior

This section describes the exterior and dimensions of an RRU.

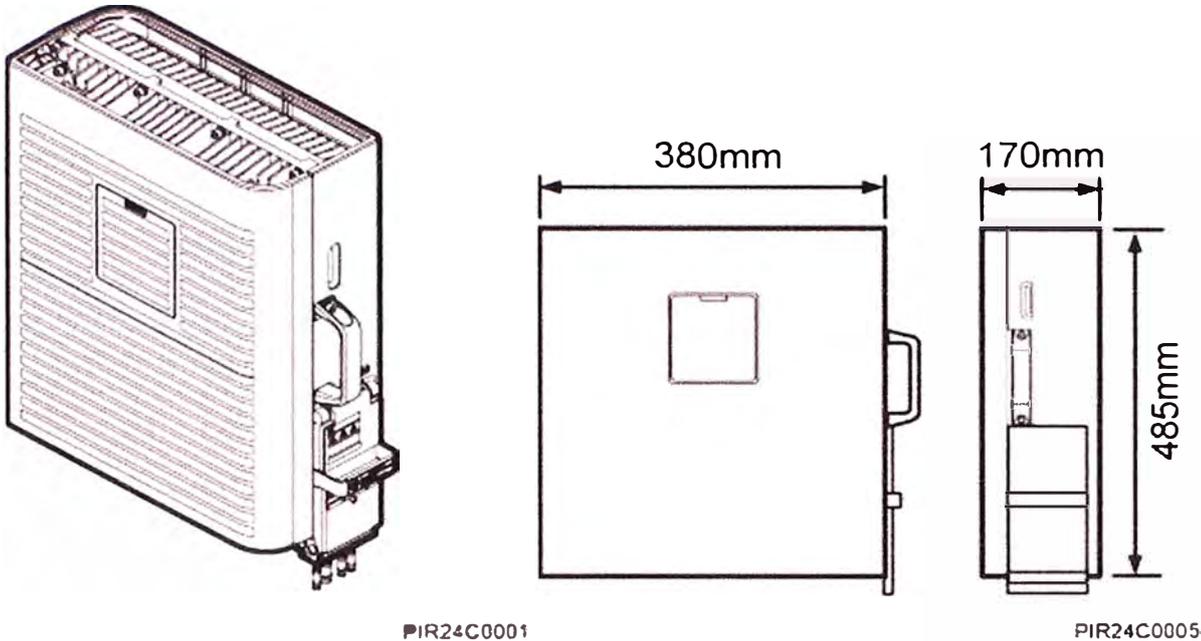


Figure 4.1 RRU exterior

Figure 4.2 RRU dimensions

RRU Functions

This section describes the main functions of the RRU.

The Remote Radio Unit (RRU) performs the following functions:

- Receives downlink baseband data from the BBU and sends uplink baseband data to the BBU.
- Receives RF signals from the antenna system, down-converts the signals to intermediate frequency (IF) signals, amplifies the IF signals, and performs analog-to-digital conversion. The transmit (TX) channel filters downlink signals, performs digital-to-analog conversion, and up-converts RF signals to the TX band.
- Multiplexes receive (RX) and TX signals on the RF channel, which enables these signals to share the same antenna path. It also filters the RX and TX signals.
- Provides a built-in Bias Tee (BT). The built-in BT couples RF signals and OOK signals and transmits them through the TX/RX port A. The built-in BT also supplies power to the tower mounted amplifier (TMA).
- The RRU can be powered by the AC/DC power module. In this case, this RRU is called AC RRU.

The RRU consists of the high-speed interface unit, signal processing unit, power amplifier, and dual-duplexer. Figure 4.2 shows the function structure of the RRU.

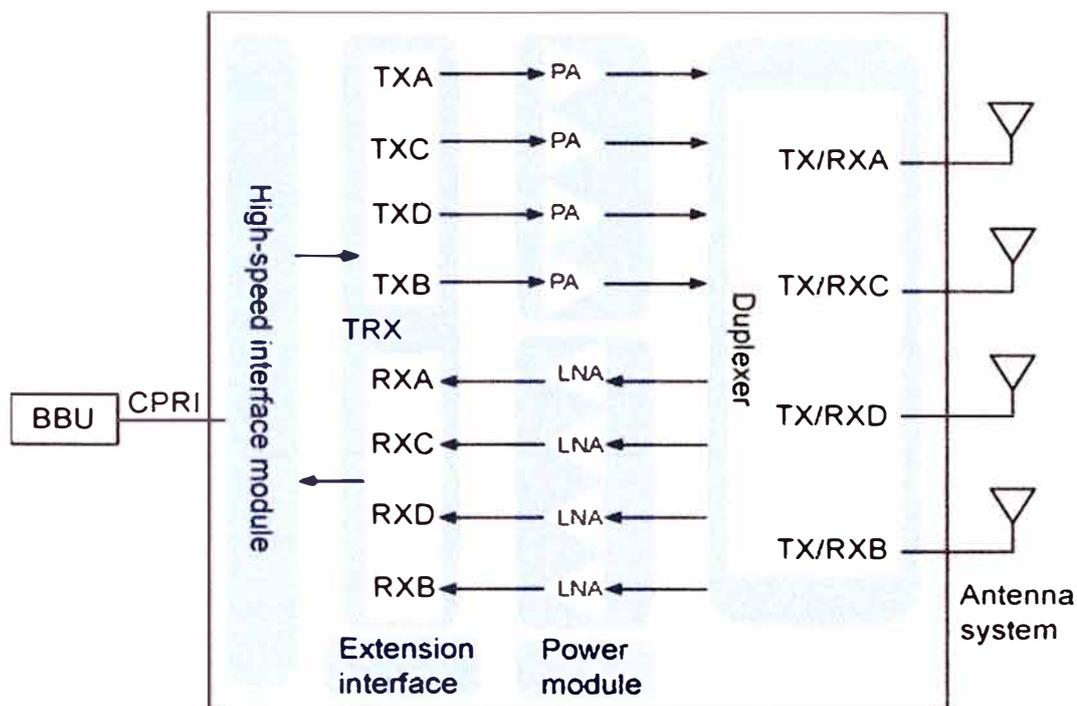


Figure 4.2 Function structure of the RRU

RRU Technical Specifications

An RRU3841, which is a remote radio unit for LTE, supports a maximum of two carriers.

Supported Modes and Frequency Bands

The following table lists the modes and frequency bands supported by an RRU3841.

Table 4.1 Modes and frequency bands supported by an RRU3841

Type	Mode	Frequency Band (MHz)	Receive Frequency Band (MHz)	Transmit Frequency Band (MHz)
RRU3841	LTE	AWS (band 4)	1710 to 1755	2110 to 2155

RF Specifications

Table 4.2 lists radio frequency (RF) specifications of an RRU3841.

- ATBR in the RX and TX Channels column indicates that this RF module has A transmit channels and B receive channels.
- C x D W in the Output Power column indicates that this RF module is configured with C transmit channels and the maximum output power of each transmit channel is D W.
- The LTE receiver sensitivity is measured, as recommended in 3GPP TS 36.104, under a 5 MHz channel bandwidth based on the FRC A1-3 in Annex A.1 (QPSK, R = 1/3, 25 RBs) standard.

Table 4.2 RF specifications of an RRU3841

Type	Transmit and Receive Channels	Capacity	Receiver Sensitivity (dBm)	
			1T1R	1T2R
RRU3841	4T4R	Two carriers. The bandwidth per carrier is 5, 10, 15, or 20 MHz; the total bandwidth between the maximum frequency and the minimum frequency of the spectrums for two carriers does not exceed 40 MHz.	-106.3	-109.1

RRU Ports

This section describes ports on the RRU panels. An RRU has a bottom panel, cabling cavity panel, and indicator panel.

Table 4.3 Output power for the RRU3841 (LTE, AWS)

TX and RX Mode	TX RF Port Combination Mode	Maximum Output Power (W)
1T2R	Port A or port B	1 x 60
2T2R	Port A is used with port B	2 x 60
	Port A is used with port C Port B is used with port D	2 x 30
2T2R + 2T2R (two sectors)	Port A is used with port C and port B is used with port D	2 x 30 + 2 x 30
2T4R	Port A is used with port B	2 x 60
4T4R	Ports A, B, C, and D are used together	4 x 30

Engineering Specifications

The following table lists the equipment specifications of an RRU3841.

Table 4.4 Equipment specifications of an RRU3841

Type	Input Power	Dimension (H x W x D)	Weight (kg)
RRU3841	-48 V DC; voltage range: -57 V DC to -36 V DC	480 mm x 356 mm x 140mm (24 L, without the housing) 485 mm x 380 mm x 170 mm (31 L, with the housing)	≤ 24.5 (without the housing) ≤ 26 (with the housing)

RRU 3942 Hardware Description

RRU Technical Specifications

RRU3942 modules are remote radio units and can work in different modes with different configurations and the software-defined radio (SDR) technique.

Supported Modes and Frequency Bands

The following table lists the modes and frequency bands supported by an RRU3942.

Type	Frequency Band (MHz)	Receive Frequency Band (MHz)	Transmit Frequency Band (MHz)	Mode
RRU3942	1900	1850 to 1910	1930 to 1990	GSM, UMTS, LTE, GU, GL, and UL
	850	824 to 849	869 to 894	GSM, UMTS, and GU

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Página web del El Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL)
[http:// www.osiptel.gob.pe/](http://www.osiptel.gob.pe/)
- [2] Página web del Centro Comercial Jockey Plaza.
jockeyplaza.com.pe/
- [3] Página web del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)
<http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/tecnologias-de-la-informacion-y-telecomunicaciones/>
- [4] Página web de Ipsos Apoyo
[www.ipsos-apoyo.com.pe/WCMD Principle, Huawei Technologie.](http://www.ipsos-apoyo.com.pe/WCMD_Principle_Huawei_Technologie)
- [5] *3900 Series Base Station Hardware Description*
3900 Series Base Station Technical Description
<http://support.huawei.com/carrier/>
- [6] Heikki Kaaranen, “*UMTS Networks Architecture Mobility and Services*”, 2nd Ed (2005)
- [7] Página web del Department of Electrical, Computer, and Energy Engineering at the University of Colorado
<http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm>
- [8] Tolstrup Morten, “*Indoor Radio Planning: A Practical Guide for Gsm, Dcs, Umts and Hspa*”, 2008
- [9] WIRELESS NETWORKS FOR IN-BUILDING ENVIRONMENTS por Ericsson
- [10] Giovanni Gabriel Campodónico Durango, *Tesis de grado “Diseño de un Sistema distribuido de antenas celulares para el túnel del cerro El Carmen de Guayaquil utilizando cable SCTP CAT 5/6 para la banda GSM 850 MHz”, 2009*
- [11] Página web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones
<http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>
- [12] Aldo Duarte Vera Tudela, Tesis de grado “*Diseño e implementación de una red RF Indoor en el hospital de emergencias pediátricas para mejora de cobertura*”
- [13] Pagina web de The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) - Service requirements for Home Node B (HNB) and Home eNode B (HeNB)
<http://www.3gpp.org/DynaReport/22220.htm>

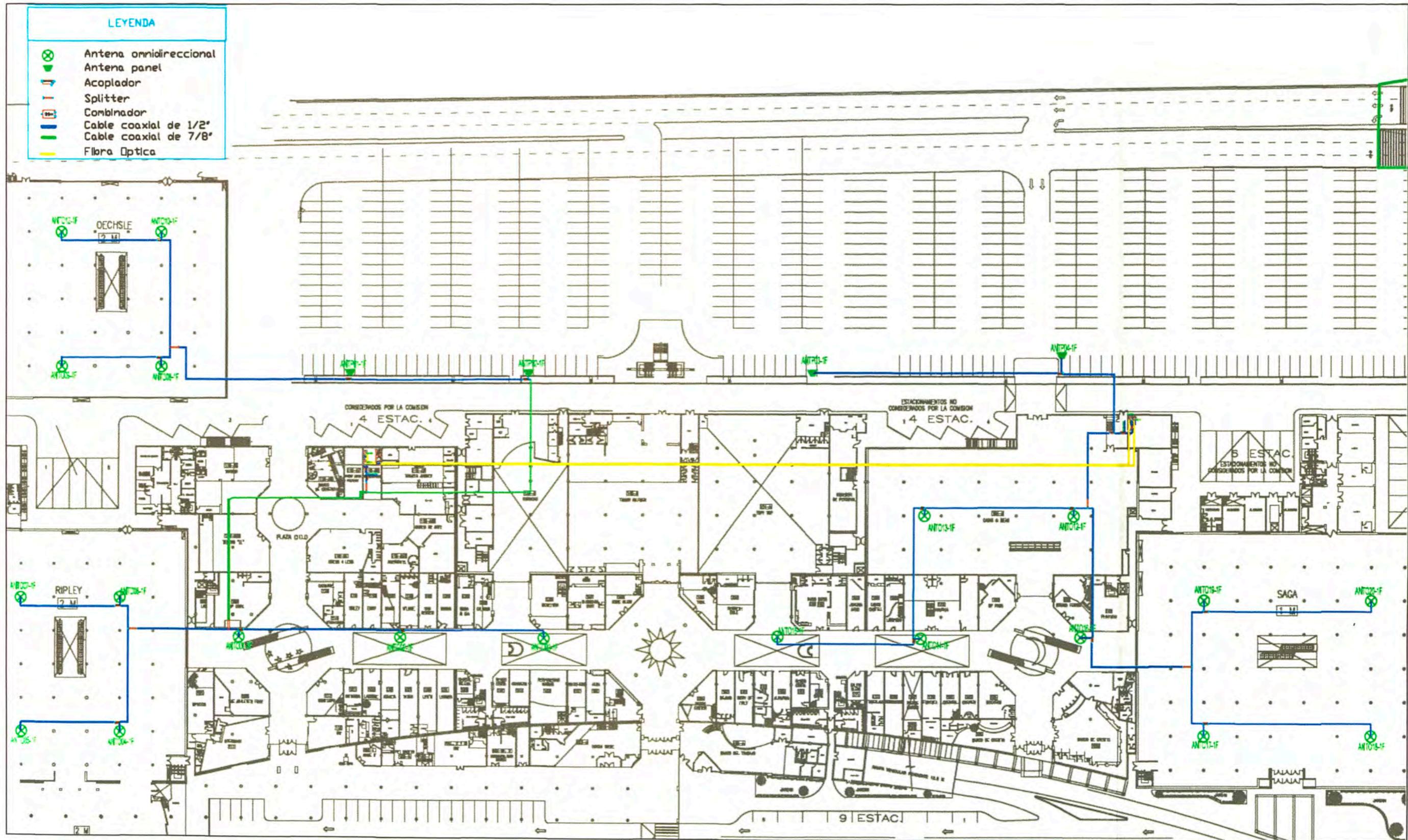


Figura N° 2.17 Ubicación de los equipos en el Centro Comercial.

Fuente: Propia