

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS PARA COBERTURA
DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL INTERIOR DE UN GRAN ALMACEN**

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

**PRESENTADO POR:
MARLENE TERESA PRADO CUEVA**

**PROMOCIÓN
2003-I**

**LIMA-PERÚ
2013**

**SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS PARA COBERTURA
DE TELEFONÍA MÓVIL EN EL INTERIOR DE UN GRAN ALMACEN**

A mis padres
A mi familia
A mi universidad

SUMARIO

En el presente trabajo se describe el sistema distribuido de antenas diseñado e implementación de un para brindar cobertura de telefonía móvil en el interior de un gran almacén.

Es necesario implementar un sistema distribuido de antenas debido a la limitada capacidad de las estaciones de telefonía celular cercanas para asegurar un adecuado servicio al interior del centro comercial, dadas las exigencias de comunicaciones, principalmente debidas a la concentración de usuarios de telefonía móvil, además de las características propias de este tipo de edificios que dificultan las comunicaciones móviles al interior de estas.

El caso de estudio que se presenta en este informe es el Centro Comercial Larcomar, parte de un proyecto mayor que conformaba tres instalaciones más (Angamos Open Plaza, Jockey Plaza y Aventura Arequipa).

El proyecto descrito en este informe se ha realizado en tres meses considerando las etapas de Supervisión técnica del emplazamiento, diseño, instalación y puesta a punto (optimización).

La parte fundamental del informe se enfoca en el capítulo III "Metodología de Solución del Problema". Además se complementa con un marco teórico en el que se describen conceptos esenciales para la comprensión del informe.

- Aspectos generales de la telefonía móvil.
- Sistema de Telecomunicación Universal – UMTS.
- Conceptos básicos para el planeamiento de radio en interiores
- Sistemas distribuidos de antenas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Objetivos del trabajo	3
1.3 Evaluación del problema.....	3
1.4 Alcance del trabajo.....	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
2.1 Aspectos generales de la telefonía móvil	5
2.1.1 Telefonía móvil.....	5
2.2 Sistema Universal de Telecomunicaciones - UMTS	10
2.2.1 Parámetros de diseño de radio	10
2.2.2 Características de radio de UMTS	10
2.2.3 Control de ruido en UMTS.....	11
2.2.4 Handovers en UMTS.....	11
2.2.5 Control de potencia en UMTS	11
2.2.6 La propagación multiruta.....	11
2.2.7 Los elementos de red de UMTS.....	12
2.3 Conceptos básicos para el planeamiento de radio en interiores.....	14
2.3.1 Aislamiento	14
2.3.2 Calidad del servicio de radio	15
2.3.3 Niveles de diseño RF interior	15
2.3.4 El concepto de la zona de planeamiento.....	15
2.4 Sistemas distribuidos de antenas.....	18
2.4.1 Componentes pasivos.....	18
2.4.2 Carga de potencia en componentes pasivos.....	23
2.4.3 Filtros.....	24
2.4.4 Planeamiento del DAS pasivo	25
2.4.5 Los principales puntos acerca de los sistemas DAS pasivos	27
2.4.6 Aplicaciones de los DAS pasivos	28
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	30
3.1 Aspectos generales del caso de estudio	30

3.2	Planteamiento de la solución	32
3.2.1	Metodología para el dimensionamiento de la solución	32
3.2.2	El modelo de tráfico de la RNC de Lima.....	32
3.2.3	El modelo de tráfico para Larcomar	33
3.2.4	Cálculo de las capacidades para cubrir el área deseada	34
3.2.5	Dimensionamiento de capacidad para Larcomar y planeamiento de celdas	34
3.2.6	Planeamiento de la red y división de las celdas	36
3.2.7	Polígonos de cobertura	36
3.2.8	Planificación del equipamiento	37
3.3	Aspectos relacionados a la instalación y pruebas	39
CAPÍTULO IV		
COSTOS Y CRONOGRAMA		50
4.1	Costos.....	50
4.2	Cronograma de trabajos	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		55
ANEXO A		
ESQUEMA DE CONEXIONADO DEL SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDO		56
ANEXO B		
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		59
BIBLIOGRAFÍA		61

INTRODUCCIÓN

El trabajo surge por la necesidad de asegurar la cobertura de servicios de telefonía móvil a un centro comercial. Las características propias de este tipo de edificios dificultan las comunicaciones móviles al interior de estas.

Dado ello en este informe se expone el sistema distribuido de antenas implementado para brindar cobertura de telefonía móvil a Larcomar, el cual es parte de un proyecto mayor que conformaba tres instalaciones más (Angamos Open Plaza, Jockey Plaza y Aventura Arequipa).

El despliegue de antenas en interiores es imprescindible para asegurar la cobertura de comunicaciones inalámbricas en áreas estratégicas, principalmente comunes a los negocios que son parte del complejo comercial, ello al margen de la tecnología del proveedor de telecomunicaciones.

El presente informe está organizado en tres capítulos principales:

- Capítulo I “planteamiento de ingeniería del problema”. En él se explica el problema de ingeniería y se precisan los objetivos del informe. Se realiza una evaluación de la problemática y se establecen los alcances del informe.
- Capítulo II “Marco Teórico conceptual”. En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales necesarias para la comprensión del sistema descrito en el presente informe. La solución se enfoca en la actual tecnología utilizada en comunicaciones 3G. En este capítulo se desarrollan los siguientes temas: Aspectos generales de la telefonía móvil, Sistema de Telecomunicación Universal – UMTS, Conceptos Básicos para el Planeamiento de Radio en Interiores, sistemas distribuidos de antenas.
- Capítulo III “Metodología para la solución de problema. Este capítulo se enfoca a exponer el caso de estudio y la solución aplicada. Para ello preliminarmente se presentan los aspectos generales del caso de estudio, para luego desarrollar el planeamiento de la solución, empezando por explicar la metodología aplicada en el diseño de la solución y luego su aplicación de acuerdo a la situación del caso de estudio y los requerimientos del cliente (Modelo de tráfico de la RNC de Lima, modelo de tráfico para Larcomar, cálculo de las capacidades para cubrir el área deseada, dimensionamiento de capacidad para larcomar y planeamiento de celdas, planeamiento de la red y división de las celdas, polígonos de cobertura y planificación de equipamiento). Se finaliza con los aspectos relacionados a la instalación y pruebas.

- Capítulo IV "Costos y cronograma". Desarrollo del análisis de costos y presenta los trabajos y periodos durante los cuales fueron realizados.

El informe se complementa con el esquema de conexionado del sistema de antenas distribuido.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

En este capítulo se explica el problema de ingeniería y se precisan los objetivos del informe. Se realiza una evaluación de la problemática y se establecen los alcances del informe.

1.1 Descripción del problema

Necesidad de asegurar la cobertura de servicios de telefonía móvil, para una sucursal perteneciente a una cadena de grandes almacenes.

Las características propias de este tipo de edificios dificultan las comunicaciones móviles al interior de estas.

1.2 Objetivos del trabajo

Brindar una adecuada cobertura al interior de un gran almacén mediante el despliegue de un sistema distribuido de antenas.

1.3 Evaluación del problema

Las comunicaciones son esenciales para los negocios. En los grandes almacenes no solo se realizan y coordinan grandes transacciones sino que además a estos acuden cientos de clientes con sus propias necesidades de comunicación. Por ende, no encontrar la posibilidad de comunicarse afecta a estas dos condiciones: ni satisface la necesidad de coordinar las negociaciones ni las necesidades propias de los clientes.

Por ello es necesario el despliegue de antenas en interiores, al margen de la tecnología del proveedor de telecomunicaciones, para que asegure la cobertura de comunicaciones inalámbricas en áreas estratégicas, principalmente comunes a los negocios que son parte del complejo comercial.

El caso de estudio que se presenta en este informe de suficiencia es el Centro Comercial Larcomar, parte de un proyecto mayor que conformaba tres instalaciones más (Angamos Open Plaza, Jockey Plaza y Aventura Arequipa).

El proyecto debió atravesar varias etapas:

- TSS (Technical Site Survey). Supervisión técnica del emplazamiento, el cual consiste en el levantamiento de información técnica, de planos, de las celdas cercanas, requerimientos de tráfico, etc.
- Diseño. Basada en la información recopilada, se procede al diseño de la solución mode-

lando el escenario y simulando la cobertura a lograr para satisfacer los requerimientos establecidos.

- Instalación. Con la determinación de la solución y la posterior adquisición de los equipos y materiales, además de la asignación de personal, se procede al despliegue de la solución de comunicaciones.

- Optimización. Una vez instalada la solución, se procede al afinamiento de potencia y señal.

- Aceptación y entrega. Una vez establecida que la solución cumple con las metas del proyecto, se procede a la aceptación de la solución por parte del operador (el cliente), que en este caso es Nextel. Una vez realizada la aceptación se procede a la transferencia de la operación.

1.4 Alcance del trabajo

El presente proyecto fue realizado en tres meses considerando las etapas de Supervisión técnica del emplazamiento, diseño, instalación y puesta a punto (optimización)

La parte crucial del informe de suficiencia es realizado en el capítulo III "Metodología de Solución del Problema". Se complementa con los esquemas de conexión del sistema distribuido de antenas.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales necesarias para la comprensión del sistema descrito en el presente informe. La solución se enfoca en la actual tecnología utilizada en comunicaciones 3G. En este capítulo se desarrollan los siguientes temas:

- Aspectos generales de la telefonía móvil.
- Sistema de Telecomunicación Universal – UMTS.
- Conceptos básicos para el planeamiento de radio en interiores.
- Sistemas distribuidos de antenas.

2.1 Aspectos generales de la telefonía móvil

Se presentará los aspectos más importantes de la estructura de red, la arquitectura, y los componentes del sistema celular [3][4][13].

2.1.1 Telefonía móvil

Esta sección está organizada de la siguiente manera:

- Sistemas celulares.
- Transmisión de radio.
- El concepto celular.
- Sistemas celulares digitales.

a. Sistemas Celulares

El primero de estos sistemas fue la transmisión analógica de la voz, y la transmisión de datos modulados dentro del canal de voz para la señalización de la entrega de tráfico entre celdas o para transmitir comandos de control de potencia. Algunos de los estándares más usados fueron AMPS, D-AMPS, TACS, PCS, CDMA, NMT, GSM, DCS y UMTS (WCDMA).

- AMPS (Advanced Mobile Phone System) es un estándar de Norteamérica y opera en la banda de 800 MHz. El sistema AMPS fue implementado también fuera de Norteamérica en Asia, Rusia y Sudamérica. Este es un sistema analógico que usa la transmisión FM en las bandas de 824 – 849 MHz y 869 – 894 MHz. Tiene 30KHz de ancho de banda en cada canal de radio y un total de 832 canales de radio con un usuario por canal de radio.
- D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) es la evolución de AMPS para utilizar

mejor los recursos de una red AMPS muy popular y de alto crecimiento que tenía limitaciones de tráfico y capacidad. El sistema D-AMPS utilizaba TDMA y pudo conseguir eficiencia en el uso del espectro y mayor número de llamadas se realizaron con la misma cantidad de espectro y con el mismo número de estaciones base.

- TACS (Total Access Cellular System) también es una mejora de la tecnología AMPS. El sistema TACS fue implementado en la banda de 800 – 900 MHz. Primero fue instalado en el Reino Unido, y posteriormente se extendió su uso a otros países de Europa, China, Singapur, Hong Kong, el Medio Oriente y Japón.

- PCS (Personal Communications System) es un término general para distintos tipos de sistemas desarrollados de los sistemas celulares iniciales.

- CDMA (Code Division Multiple Access) fue el primer estándar digital que se instaló en USA. El CDMA utiliza el espectro en las bandas de 824 – 849 MHz y 869 – 894 MHz. Se realiza un espaciado de canal de 1.23 MHz, y permite un total de 10 canales de radio con 118 usuarios por canal.

- NMT (Nordic Mobile Telephony) fue el estándar desarrollado por los países escandinavos, Dinamarca, Noruega y Suecia en 1981. El NMT inicialmente fue lanzado en la banda de 450 MHz, permitiendo buena penetración en los extensos bosques de Suecia y Noruega, y posteriormente se implementó en la banda de 900 MHz (la banda que actualmente es utilizada por GSM). El estándar NMT fue uno de los primeros sistemas celulares totalmente automáticos en el mundo (también tenía roaming internacional) por lo que se extendió su uso a otros países de Europa, Asia y Australia.

- GSM (Global System for Mobile Communication) fue lanzado al inicio de la década de los 90, y fue uno de los sistemas verdaderamente digitales para la telefonía móvil. Fue una especificación dada por la ETSI y originalmente sería usado en los países europeos. Sin embargo, GSM demostró ser una tecnología muy atractiva para las comunicaciones móviles y, luego que fue lanzada en Europa, GSM se convirtió en un estándar global.

UMTS fue seleccionada como el primer sistema 3G por varias razones, principalmente porque es muy eficiente en la utilización de los recursos de radio – el espectro de RF. WCDMA tiene un alto rechazo a la interferencia de banda angosta, es robusto frente al desvanecimiento selectivo de frecuencia y ofrece una buena resistencia multitrayectoria debido al uso de receptores de rastrillo. El handover en WCDMA es imperceptible debido al uso de handover “suave”, que consiste en que el dispositivo móvil tiene servicio desde más de una celda al mismo tiempo. UMTS se ha convertido en el estándar global y es aceptado alrededor del mundo. Varias actualizaciones permiten acomodar alta cantidad de datos como: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Data Access), los cuales pueden atender a los usuarios con velocidades de datos

de hasta 10Mbps.

b. Transmisión de radio en general

Se requiere vencer varios obstáculos cuando se utiliza transmisión de radio para proveer un enlace estable entre la red y la estación base. Estos obstáculos provienen de la naturaleza de la propagación de las ondas de radio y especialmente en el reto de brindar servicio al interior de los edificios donde la mayor cantidad de usuarios se encuentran ubicados. Los obstáculos principalmente son el desvanecimiento de señal, el control de ruido, la interferencia y la calidad de la señal.

c. El Concepto Celular

El nuevo concepto celular fue el de dividir la red de acceso de radio en celdas superpuestas, y de introducir una funcionalidad de handover que pudiera asegurar la movilidad de los usuarios a través de la red, convirtiendo varios mástiles dispersos en un solo servicio coherente para los usuarios. Dividir la red en celdas tiene muchas ventajas y retos. Las ventajas son:

- Reutilización de la frecuencia. Con el planeamiento de la red de radio con mástiles menores con limitada área de cobertura en comparación con los primeros sistemas móviles, se podía diseñar una red de radio donde las celdas no se interferirían entre ellas. Con esto, es posible utilizar el mismo canal de radio en varias celdas pertenecientes a la red, y al mismo tiempo se incrementa el espectro y la eficiencia de la red de radio gracias a la reutilización de la frecuencia.
- Crecimiento de capacidad. La red celular podía comenzar con sólo pocas celdas y luego como necesidad de una mejor cobertura y mayor crecimiento de capacidad, estas extensas celdas podían dividirse en celdas más pequeñas, incrementando así la capacidad de la red de radio incluso con la reutilización de la frecuencia (Ver figura 2.1).

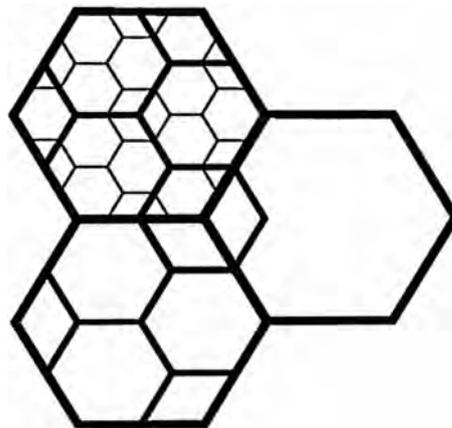


Figura 2.1 La estructura de la celda de una red celular de radio (Fuente Ref. [14])

- Movilidad. Para las redes celulares es un requerimiento que los handovers entre celdas fueran posibles, de tal manera que los usuarios pudieran viajar a través de la red con

conexiones en marcha sin que se produjese corte en la llamada.

Los retos a enfrentar son:

- Estructura de la red. Cuando se despliega una estructura celular se requiere realizar un diseño teórico hexagonal, desplegando estaciones bases omni-direccionales, de tres sectores o de seis sectores, y asegurar que las celdas sólo brinden cobertura a una determinada área y que no entreguen cobertura sobre el sector correspondiente a otras celdas de la red.
- Movilidad. Para ofrecer movilidad completa en una red celular se requiere introducir handover a lo largo de todas las celdas, así una llamada puede proceder de manera ininterrumpida cuando el móvil se desplaza desde una celda hacia otra. La función handover crea la necesidad de evaluar la calidad de radio de una potencial, nueva, mejor celda para luego, compararla con el servicio que brinda la celda actual a una llamada en curso. Mediciones complejas y procedimientos de evaluación de celdas adyacentes se introdujeron para poder controlar la decisión de handover y administrar la movilidad.
- Control de potencia. Para brindar servicio al usuario móvil con una cobertura coherente de radio a lo largo de un área de red es un gran reto. En el uplink desde el móvil hacia la estación base, uno de los retos es que el móvil alcance la estación base.

d. Sistemas celulares digitales

Con el uso de la transmisión digital se lograron varias ventajas:

- Mayor eficiencia en el uso del espectro.
- Menor costo de infraestructura en el backbone de la red.
- Reducción del fraude a través de la encriptación de los datos y servicios.
- Menor costo de los terminales.
- Reducción de la potencia de transmisión desde los móviles, lo que permitió la fabricación de baterías de larga duración.

Se presenta una breve introducción a los elementos de la red GSM, que se muestra en la figura 2.2.

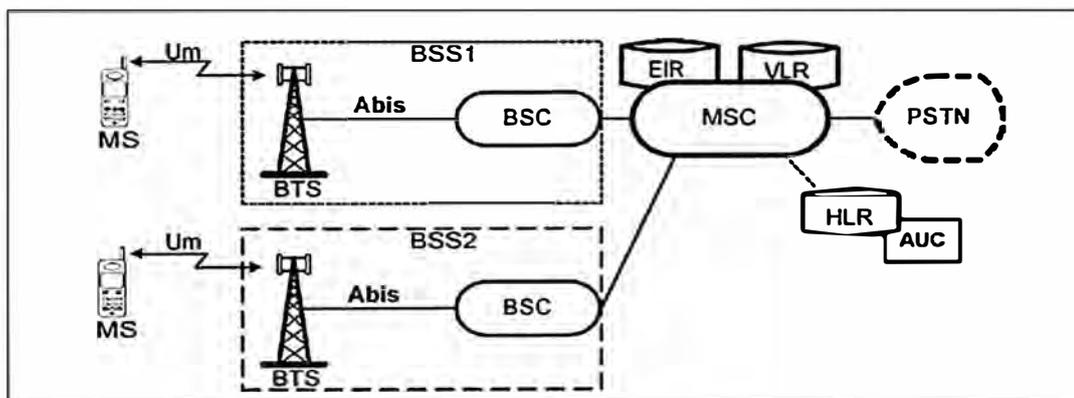


Figura 2.2 Elementos de la red GSM (Fuente Ref. [14])

- MS La estación móvil (MS) - Es el terminal de usuario, teléfono, tarjeta de datos, etc. El MS está conectado a la red (BTS) vía la interface de radio, la interface Um.
- Um, la interface de radio La Um en la red GSM es la interface de aire, que consiste en una estructura de canales de radio de 200KHz y la multiplexación TDMA combinada con FDD y TDD. Normalmente utiliza el espectro de 900 o 1800-1900MHz.
- La Estación Base Transceptora (BTS). La BTS contiene todos los transmisores y receptores de radio que sirven a un área específica (celda). En redes grandes una BTS normalmente atenderá tres sectores (celdas). Cada celda puede tener varios canales de radio en el aire dentro de la misma celda, atendidos por transceptores individuales (transmisor/receptor, TRX, TRU, etc.). Una estación base estándar para exteriores utilizará una antena de transmisión y dos antenas de recepción (diversidad en recepción) para cada celda. La antena extra de recepción mejora la señal de subida proveniente de la MS. Mayormente, una antena es utilizada para transmitir/recibir y una para la diversidad en recepción.
- Controlador de la Estación Base (BSC). El BSC controla un extenso grupo de BTSs dentro de un área amplia de cobertura. El BSC ejecutará el control de potencia de las estaciones base dentro del área de servicio. El BSC también estará a cargo de los handovers y de los parámetros de handover, asegurando el establecimiento de la nueva conexión en la nueva celda de servicio, y asegurando la finalización de la conexión previamente usada. Un BSC y todas las BTSs conectadas son a menudo denominadas BSS (Subsistema Base). El BSC se comunica con las BTS usando una interface A-bis.
- Centro de Conmutación Móvil (MSC). El MSC atiende a un número determinado de áreas BSS, a través de la interface A. El MSC tiene el control de todas las llamadas dentro de las BSSs que se encuentran conectadas a él y es responsable de todas las conmutaciones de llamada en toda el área, incluso dos llamadas bajo la misma celda en la misma BTS. Todas las llamadas son enviadas y conmutadas de manera centralizada en el MSC. El MSC es también responsable de servicios suplementarios, redireccionamiento de llamadas y recarga. Para que el MSC pueda completar las tareas de conmutación y brindar los servicios se encuentra conectado a elementos de red de soporte: VLR, HLR, EIR, y el AUC.
- Home Location Register (HLR). El HLR es una gran base de datos que contiene información acerca del perfil de servicio y la ubicación actual (dirección VLR) de los suscriptores (SIMs) pertenecientes a la red registrada en un determinado HLR.
- Visitor Location Register (VLR). El VLR es, como el HLR, una base de datos que contiene la información acerca de todos los móviles (SIMs) actualmente ubicados en la red atendida por el MSC. En el VLR se podrá encontrar una copia de toda la información del

HLR con respecto al perfil de servicio del usuario, e información acerca de la ubicación actual (área de ubicación LAC) del móvil.

- Authentication Register (AUC). El AUC contiene la clave de identificación de cada suscriptor (esta clave única está también en la SIM) y provee al HLR y al VLR con esta información, la cual es utilizada para fines de autenticación y encriptación de la llamada.
- Equipment Identity Register (EIR). El EIR es una base de datos que almacena la información acerca del hardware móvil (MS) en uso. Si el móvil es robado la identidad específica del hardware (IMEI, International Mobile Equipment Identity) puede ser filtrado en el EIR, lo que evita la realización de llamadas desde y hacia el móvil.
- Red de Servicio Público de Telefonía (PSTN). La PSTN se encuentra fuera de la red. Puede ser la red de telefonía fija "a" en este ejemplo. Asimismo la red "a" también puede representar a otra MSC o a otra red móvil.

2.2 Sistema Universal de Telecomunicaciones - UMTS

Esta sección está organizada de la siguiente manera: parámetros de diseño de radio, características de transmisión de radio, control de ruido, handover, control de potencia, propagación multiruta, arquitectura, etc.[5][6][7]

UMTS (WCDMA) fue especificado y seleccionado como el sistema 3G por su manera muy eficiente de utilizar los recursos de radio – el espectro de radio. WCDMA tiene un rechazo muy alto a la interferencia de banda angosta, y es muy robusto contra el fading (desvanecimiento) selectivo de frecuencia. Ofrece una resistencia multiruta buena debido al uso de receptores rastrillo. Los handovers en WCDMA son llanos e imperceptibles debido al uso de handovers suaves. Durante un handover el móvil es atendido por más de una celda al mismo tiempo, ofreciendo una gran ganancia por diversidad.

2.2.1 Parámetros de Diseño de Radio

El ingeniero diseñador de RF debe recordar cuando se elaboran soluciones interiores (indoor) de UMTS que:

- El UMTS está limitado en potencia en la bajada (DL: Down Link).
- El UMTS está limitado en ruido en la subida (UL: Up Link).

El ingeniero de diseño de RF debe siempre esforzarse para diseñar una solución que pueda asegurar la mayor cantidad de potencia por usuario, y la menor carga de ruido en el enlace de subida (UL) de la celda de servicio y las otras celdas en la red.

2.2.2 Características de Radio de UMTS

Hay dos tipos diferentes de WCDMA: WCDMA-TDD y WCDMA-FDD.

- TDD UMTS WCDMA-TDD.- utiliza la misma frecuencia para el UL y el DL, alternando la dirección de la transmisión a través del tiempo. El equipo debe conmutar entre la transmisión y la recepción, así se requiere un cierto tiempo de guarda entre la transmisión y la

recepción para evitar la interferencia; después de todo, se está utilizando la misma frecuencia en ambos enlaces, transmisión y recepción. FDD requiere un par de conjunto de bandas, uno para el UL y el otro para el DL. TDD puede utilizar la misma frecuencia para ambos, en un momento separado. El sistema WCDMA-TDD puede utilizarse en los lugares del mundo donde no es posible asignar un par de bandas en conjunto.

- FDD UMTS.- El estándar más utilizado para UMTS es WCDMA-FDD, el cual transmite y recibe al mismo tiempo (constantemente). Bandas de frecuencia diferentes para UL y DL son asignadas como un par de bandas. El WCDMA-FDD requiere de un par de bandas en conjunto, que sean iguales y separadas en 95MHz distancia dúplex (190MHz) a lo largo de la banda.

2.2.3 Control de ruido en UMTS

UMTS es muy sensible al ruido excesivo, y el control de ruido por lo tanto es esencial. Todo el tráfico se encuentra sobre la misma frecuencia y todas las señales de móviles activos necesitan alcanzar la estación base al mismo nivel. Si uno de los móviles alcanza el enlace de subida de la estación base con un nivel mucho más alto interferirá con todo el tráfico de los otros móviles en servicio en la misma celda. Cada móvil utiliza la misma frecuencia al mismo tiempo.

2.2.4 Handovers en UMTS

Existen muchos escenarios en UMTS. El tipo de handover es dependiente de si el handover es realizado dentro del mismo nodoB, en diferentes nodosB, en diferentes frecuencias UMTS o si el sistema realiza un handover desde y hacia una red GSM y DCS. Como ya ha sido mencionado, UMTS utiliza la misma frecuencia para todas las celdas y el único camino posible para un móvil de realizar un handover desde una celda hacia otra es estar conectado con ambas celdas en el área donde ambas celdas tiene niveles equivalentes. Usualmente un handover en UMTS involucra dos o tres celdas.

2.2.5 Control de potencia en UMTS

El control de potencia en UMTS es complejo y extremadamente estricto; esto ocurre debido a la necesidad de un estricto control del ruido. Todo el tráfico en el enlace de subida de la estación base tiene que llegar exactamente en el mismo nivel, o sino una señal alta podría sobreponerse al tráfico proveniente de los otros móviles, que operan a la misma frecuencia y al mismo tiempo.

2.2.6 La propagación multiruta

Idealmente la ruta del canal de radio debería ser directa, en la línea de vista (LOS), sin reflexiones u obstrucciones entre la estación base y el móvil. Sin embargo, en el mundo real, especialmente en las ciudades y en los ambientes urbanos, muchas señales RF que alcanzan el receptor habrán sido reflejadas o difractadas por el desorden de las edifi-

caciones. Típicamente sólo una pequeña porción de la señal RF corresponderá a la señal directa desde la estación base; la señal principal derivará de las reflexiones. Esto es denominado multiruta, y el ambiente crea desvanecimiento de multiruta debido a que la fase se desplaza y los retardos distintos de las señales se amplifican y cancelan entre ellas. Esta es la principal fuente de la degradación de la ortogonalidad, especialmente atendiendo a los usuarios móviles en interiores desde la red exterior.

2.2.7 Los elementos de red de UMTS

Esta es una breve introducción a los elementos del UTRAN (red de acceso de radio terrestre de UMTS) y los elementos clave de la red central, ver figura 2.3.

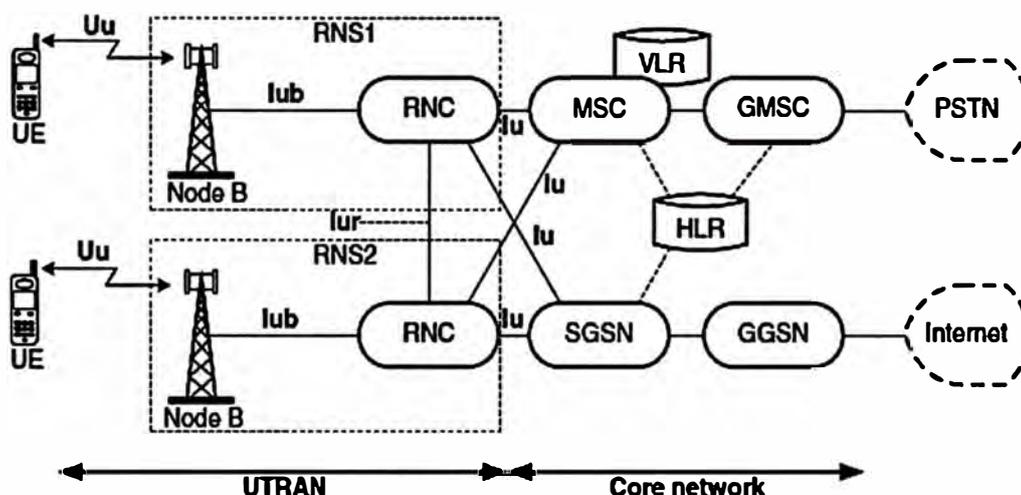


Figura 2.3 UTRAN de UMTS y la red central (Fuente Ref. [14])

- Equipamiento de usuario.- La estación móvil se refiere al equipamiento de usuario (UE). Este indica que el UE es mucho más que un teléfono móvil. El UE es un dispositivo de datos móvil (podría ser un teléfono móvil).
- La estación base, el NodeB.- La estación base en la red UTRAN es denominada nodeB. El NodeB consiste de transceptores, módulos de procesamiento que proveen los "elementos de canal" que atienden a los usuarios. La interfaz Uu conecta el nodeB hacia el UE sobre la interfaz de aire. La interfaz del nodeB hacia el RNC es la interfaz Iub. El nodeB también ejecutará mediciones importantes sobre la interfaz Uu, y reportará estos resultados al RNC con respecto a la calidad del enlace. Estas son el BLER: la tasa de errores de bloque (block error rate), y el BER: tasa de errores de bit (bit error rate). Estos son requeridos en orden para que el RNC pueda evaluar el QoS (calidad de servicio), y ajustar en consecuencia el control de potencia objetivo. También, el nivel de recepción de los móviles es medido y reportado, así como la razón señal a ruido.
- El Controlador de la red de radio (RNC) El RNC está controlando los nodos Bs dentro de su propio sistema (RNS). Para el servicio de voz, el RNC se conecta con el MSC. Para

el servicio de conmutación de paquetes de datos el RNC se conecta con el SGSN. El RNC es responsable por la carga en las celdas individuales en el RNS, y maneja el control de admisión (tráfico), la asignación de códigos.

- Una vez que una conexión ha sido establecida entre el UE y el nodoB, la señalización hacia los elementos más altos en la red es realizada por el RNC. Este RNC es entonces denominado como el RNC de atención, el SRNC. El SRNC es responsable de la evaluación para el handover, para el control de potencia de bucle externo, así como la señalización entre el UE y el resto de la UTRAN. Si la señal UE puede recibirse (en un handover suave) por otro nodoB controlado por otro RNC, este RNC es llamado DRNC, RNC de desvío. El DRNC puede procesar la señal UL proveniente del UE y proveer diversidad macro, transfiriendo la data a través de las interfaces lub/lur del SRNC.

- Subsistema de red de radio. Un RNC con todos los nodos B conectados es definido como un subsistema de red de radio (RNS). Un UTRAN consiste de muchos RNSs; cada RNC dentro del RNS está interconectado con una interfaz lur.

- La interfaz Uu. Esta es la interfaz de radio de WCDMA, la interfaz de aire entre el UE y el nodoB.

- La interfaz lu. Este es el enlace entre la UTRAN y la red central. La interfaz está estandarizada así un UTRAN de un fabricante será compatible con una red central de otro fabricante.

- La interfaz lur. La lur conecta los diferentes RNCs; esta conecta los datos de los handovers suaves entre diferentes RNCs.

- lub. Entre el nodoB y el RNC la interfaz lub es utilizada. Tal como la interfaz lu, esta es completamente estándar así diferentes RNCs soportarán nodos Bs de diferentes fabricantes.

- La red central.

- Centro de conmutación móvil. El MSC controla las conexiones de circuitos conmutados, la voz y las aplicaciones de datos en tiempo real para un UE activo en la red. A menudo el VLR estará ubicado con el MSC.

- Puerta del centro de conmutación móvil. La puerta del centro de conmutación móvil (GMSC) conecta el MSC hacia los MSCs externos para las llamadas de voz y de datos de circuitos conmutados.

- Nodo de soporte de atención GPRS. El nodo de soporte de atención GPRS (SGSN) conmuta el tráfico interno de datos de circuitos conmutados.

- Puerta del nodo de soporte de GPRS. La puerta del nodo de soporte GPRS (GGSN) conmuta el tráfico externo de datos de circuitos conmutados.

- Registro de ubicación de visitantes (VLR). El VLR es una base de datos, con la ubica-

ción (área de ubicación) de todos los UEs conectados a la red. Cuando un UE se registra en la red, el VLR solicitará información relevante acerca del usuario (SIM) del HLR asociado con el SIM (IMSI).

- Registro de ubicación de residentes (HLR). El HLR es una base de datos que contiene toda la información relevante acerca del suscriptor. Este es el perfil de suscripción, el roaming asociado, y la ubicación actual VLR/SGSN del UE.

2.3 Conceptos básicos para el planeamiento de radio en interiores

Se desarrolla lo siguiente [8][9]:

2.3.1 Aislamiento

En UMTS todos los usuarios utilizan el mismo canal RF, y para mantener el enlace cuando dos o más celdas de atención están al mismo nivel de señal, el móvil entra en un handover suave, cargando más de un enlace y tomando recursos en varios elementos de red e interfaces. Si no existe un sistema dominante de cobertura interior, dos o tres estaciones base atenderán al usuario dentro de una edificación urbana. Aun implementando soluciones interiores se requiere asegurar que los móviles dentro del edificio sólo serán atendidos por la estación base interior.

Se debe asegurar que esta estación base es dominante a lo largo de toda la edificación; a menor dominio, mayor la probabilidad de la ocurrencia de un handover suave.

Como guía general, se debe hacer la celda interior del edificio más fuerte en 10-15dB que cualquier señal externa macro. Sin embargo, esto requiere un balance fino; se debe diseñar la solución interior para asegurar que el sistema no permita la fuga de señal afuera, pues empujaría la zona de handover suave fuera del edificio.

El diseño moderno de edificaciones facilita el aislamiento de señal a través de paredes exteriores recubiertas con aluminio, ventanas metálicas entre otros.

En algunos casos se instalan en las edificaciones ventanas a pruebas de WLAN para proteger el sistema de IT dentro del edificio de los hackers externos, tratando de bloquear dentro la señal WiFi. Una atenuación mayor que los 50dB es en muchos casos conseguida. Sin embargo, se requiere aplicar un buen planeamiento de radio cuando se diseñan sistemas UMTS interiores.

Usar antenas montadas en las esquinas y generalmente distribuir más antenas al interior del edificio, irradiando una señal de menor potencia, para conseguir un nivel uniforme de señal. Se debe definitivamente evitar antenas con muy alta potencia (por ejemplo de 25-30dBm) para cubrir extensas áreas interiores.

Estas antenas causarán a menudo más problemas que soluciones, principalmente debido a la fuga de señal desde el edificio hacia la red macro circundante, elevando el ruido por carga en las estaciones bases y degradando la capacidad.

2.3.2 Calidad del servicio de radio

La performance de cualquier enlace de radio, no está relacionado al nivel absoluto de la señal sino a la calidad de la señal. Esto es descrito como la razón señal a ruido (SNR) y la mayor razón entre la señal deseada y el ruido – las señales no deseadas provenientes de la capa macro – la mejor performance que el enlace tendrá, y las tasas de transferencia más altas que podrán transmitirse en el enlace de radio.

El buen diseñador de radio, al realizar soluciones de cobertura interior, realizará un esfuerzo para asegurar que el diseño sea maximizado para tener el mejor posible aislamiento de la red externa.

Dejar algunas áreas del edificio en servicio desde las macro celdas es tentador, sobre todo en las áreas donde la cobertura macro es fuerte. Sin embargo, esta tentación debe ser evitada si es posible; pues el resultado en 3G serán grandes áreas de handover suave o extensas áreas con performance de HSPA degradado.

2.3.3 Niveles de diseño RF interior

Frecuentemente los operadores sólo utilizan un nivel de diseño para cobertura interior. Sin embargo, la calidad y la velocidad máxima de transferencia de la señal de radio son dependientes del SNR, y no del nivel absoluto de la señal.

El aislamiento juega un rol importante en la performance del sistema interior. Por lo tanto, el nivel de diseño real de la señal del sistema interior debe ser adaptado a cada edificación en particular, a la cobertura existente dentro del edificio y al aislamiento del edificio.

Usar más de un nivel de diseño en el procedimiento de diseño interior también permitirá asegurar el caso de negocio. Resulta muy costoso proveer muy alto nivel de cobertura en áreas del edificio donde no es necesario.

2.3.4 El concepto de la zona de planeamiento

El consejo no es enfocarse en el nivel absoluto de la señal, y no utilizar un solo nivel de planeamiento.

El nivel de planeamiento deber adaptarse al proyecto. En la práctica se requiere utilizar dos o tres niveles de planeamiento diferentes en el mismo edificio, dependiendo de la línea base de la cobertura existente desde los sitios macro circundantes.

Un ejemplo para describir la necesidad de adaptación del nivel del diseño es evidente si se observa la edificación elevada en la figura 2.4.

Debido a los diferentes niveles de interferencia dentro del edificio, es importante ajustar los niveles de diseño en consecuencia, dividiendo el edificio en zonas diferentes, cada zona tendrá niveles de diseño individuales; esto permitirá ahorrar costos y mantener la performance RF.

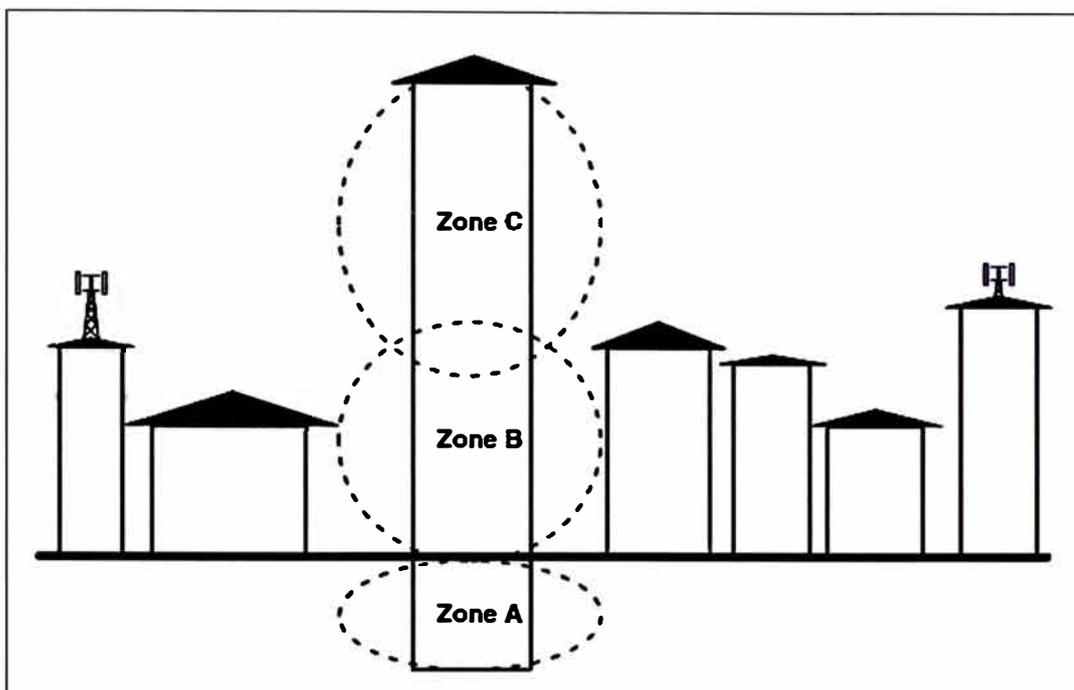


Figura 2.4 Ejemplo para describir la necesidad de adaptación del nivel del diseño [14]

a. Dividiendo el edificio en zonas diferentes de planeamiento

Para edificios elevados como el del ejemplo de la figura 2.4 se puede dividir la edificación en tres zonas diferentes de planeamiento, cada zona tendrá consideraciones especiales y requerimientos de diseño.

b. Zona A: Área limitada en cobertura

El aislamiento de la red exterior en esta parte del edificio es realmente bueno, el cual no es sorpresa pues esta parte del edificio está ubicada a un nivel por debajo del suelo. El aislamiento promedio es mayor que 70-80dB y el nivel de diseño para la celda interior puede ser relativamente bajo, porque no se requiere considerar que la interferencia exterior afectará la performance.

El nivel de cobertura para una celda interior y el piso de ruido de dicha celda por si misma son los principales factores a tomar en cuenta. Una parte de la zona A que requiere una consideración cuidadosa es la entrada y la salida de la edificación, si la zona A contiene un área de parqueo en el sótano, se requiere asegurar suficiente nivel de handover y permitir tiempo para que los usuarios ingresen o salgan del edificio. El nivel de diseño típico para la zona A en UMTS es de -90dBm para el CPICH.

c. Zona B: Área limitada en cobertura e interferencia

Esta media sección del edificio es a menudo atendida por las celdas exteriores cercanas. El edificio está en alguna medida aislado de la interferencia proveniente de sitios exteriores distantes, debido a los edificios vecinos.

Cuando se realiza el planeamiento de cobertura interior para la zona B, se requiere

vencer la interferencia relativamente baja proveniente de los sitios exteriores cercanos, y asegurar que la celda interior será la que ejerza el dominio de atención, brindando una mayor potencia de cobertura en comparación con las macro celdas que cubren actualmente el área.

En promedio se necesita una señal de potencia media, para proveer el dominio suficiente y aislamiento para limitar las zonas de handover suave en UMTS. Se tiene que ser cuidadoso con las fugas desde la zona B, y garantizar que los sistemas DAS interiores no deben atender usuarios exteriores cercanos a la edificación, peatones o automóviles cercanos. El nivel de diseño típico para la zona B es de -80dBm de nivel de potencia para el CPICH en UMTS.

d. Zona C: Área limitada en interferencia

La parte más alta de la edificación esta típicamente a mayor altura que el desorden de edificaciones del vecindario local. Los usuarios a lo largo del perímetro del edificio, cercanos a las ventanas tendrán línea de vista libre hacia muchos sitios exteriores distantes.

Estas estaciones bases distantes causarán interferencia co-canal y todos los problemas usuales en altura. Con el objetivo de vencer el mayor piso de ruido y la polución del piloto debido a señales no deseadas desde todos los macro sitios distantes, se tiene que realizar una planificación de alto nivel.

La polución del piloto y la interferencia puede ser causada aún por macro sitios distantes, lejanos hasta en 10 – 20 Km, y por lo tanto, estas celdas serán imposibles de planificar en código al interior del edificio. La interferencia tiene un efecto colateral; sin un sistema interior los móviles típicamente correrán a una alta potencia de transmisión en el enlace de subida, para vencer la interferencia de subida en la estación base, especialmente cuando se está ubicado a gran distancia de celdas de atención no requeridas.

Esto generará el incremento de ruido en la macro red y en la celda interior, degradando la capacidad y el servicio de datos en los sistemas UMTS y HSPA, y degradando la calidad en la macro estación base. La alta potencia transmitida desde el móvil también expondrá al usuario interior a altos niveles de radiación.

Típicamente los usuarios experimentarán nivel de señal alto en la pantalla del móvil, pero sufrirán degradación del servicio, mala calidad de voz, servicio de datos reducido, terminación no solicitada de llamadas o una total falta de servicio, debido al alto nivel de interferencia. El nivel típico de diseño para zonas C es de -70dBm de nivel de potencia para CPICH en UMTS.

Sin embargo en casos extremos se requerirá planificar niveles de señal muy altos desde el sistema interior. Siempre se debe tener cuidado cuando en la planificación de radio en la zona C y estar seguro que no se estará fugando excesiva potencia desde el

edificio, debido a los altos niveles de diseño del interior.

Es recomendable utilizar antenas montadas en las esquinas de la edificación mirando hacia el centro del edificio, y utilizar antenas de potencia baja o media uniformemente distribuidas a través de la zona C. No se debe colocar potencia de radiación en exceso en unos 15-20dBm en la zona C, pues esto causará fuga excesiva dentro de la macro red, degradando la performance y la capacidad.

e. Más allá de la zona C

Para edificios muy altos, realmente existe una zona D. En esta zona la interferencia desde la red externa comienza a disminuir. Sin embargo, se requiere cuidado en el diseño sobre todo en lo que se refiere a las posibles fugas de señal desde la zona D del edificio.

2.4 Sistemas distribuidos de antenas

Se desarrollan los siguientes aspectos: componentes pasivos, carga de potencia en componentes pasivos, filtros, planeamiento del DAS pasivo, principales puntos acerca de los sistemas DAS pasivos, aplicaciones de los DAS pasivos [10][11].

2.4.1 Componentes pasivos

Al interior de las edificaciones se deben cumplir las pautas internas y el código aplicable para cada edificio. En general se requiere utilizar cables y componentes: libres de CFC, retardadores de fuego. Se debe tener cuidado como minimizar cualquier problema de intermodulación pasiva (PIM).

También se debe asegurar que los componentes utilizados cumplan las especificaciones requeridas, especialmente cuando se diseñan sistemas de antenas distribuidas pasivas de alta potencia.

El efecto de combinar muchas portadoras de alta potencia sobre el mismo sistema pasivo de antenas distribuidas usando estaciones base de alta potencia producirá una densidad de potencia alta en los splitters y componentes cercanos a la estación base. Se debe utilizar sólo componentes pasivos de calidad que puedan satisfacer el PIM y los requerimientos de potencia, 130dBc¹ o componentes de mejor especificación.

a. Cables coaxiales

El cable coaxial es utilizado extensivamente en todos los tipos de sistemas distribuidos de antenas, especialmente en sistemas pasivos. Por lo tanto, es importante obtener el fundamento correcto con respecto a los tipos de cable y pérdidas.

La tabla 2.1 muestra las pérdidas típicas de los tipos de cables coaxiales pasivos mayormente utilizados. Para mayor precisión se debe revisar la hoja de datos para cada

¹ dBc (decibelios relativa a la portadora). Es la relación de potencia de una señal a la potencia de su portadora y expresada en decibelios.

cable específico del fabricante que se utilice. A menudo existirá una marca de distancia pintada en el cable cada 50 cm o 1 m, lo que facilita la verificación de las distancias de cable instaladas.

Tabla 2.1 Atenuación típica de cables coaxiales (típica por cada 100 m (dB))

Tipo de cable	900MHz	1800MHz	2100MHz
¼ pulgadas	13	19	20
½ pulgadas	7	10	11
7/8 pulgadas	4	6	6.5
1 ¼ pulgadas	3	4.4	4.6
1 5/8 pulgadas	2.4	3.7	3.8

El cálculo de la pérdida total de un cable coaxial pasivo a una determinada frecuencia está dado por la multiplicación de la distancia y la atenuación por unidad de longitud.

El mayor gasto de implementación de sistemas interiores pasivos no es el costo del cable coaxial, sino el costo de instalación de dicho cable.

La instalación de cables coaxiales rígidos y pesados puede resultar el mayor reto en una edificación. En particular, los cables de 7/8 de pulgada y de mayor tamaño son los que representan la mayor dificultad. Estos cables pesados requieren un equipo completo de instaladores; y es un reto instalarlo sin dividirlo en secciones más pequeñas.

Se debe considerar con cuidado el costo de la instalación del cable versus la performance. Se debe considerar la posibilidad de perder 2dB extra si se requiere ahorrar un 50% del costo de instalación solo seleccionando un tamaño de cable más delgado. Por otro lado, se debe asegurar que el sistema distribuido sea capaz de acomodar las altas frecuencias y las velocidades de datos en UMTS y HSPA.

b. Splitters

Los splitters y los divisores de potencia son los componentes pasivos más utilizados en un sistema de antenas distribuidas, ya que permiten la división de la señal desde o hacia mayor número de antenas.

Los splitters (como se muestra en la figura 2.5) son utilizados para dividir una línea coaxial en dos o más líneas coaxiales, y viceversa. Cuando se divide la señal, la potencia se divide hacia los dos puertos.

Si se divide hacia dos puertos, sólo la mitad de la potencia menos la pérdida de inserción, típicamente alrededor de 0.1dB, está disponible en cada uno de los puertos. Es importante terminar todos los puertos del splitter; no se debe dejar ningún puerto abierto. Si algún puerto no se utiliza, se debe terminar con una carga ficticia.

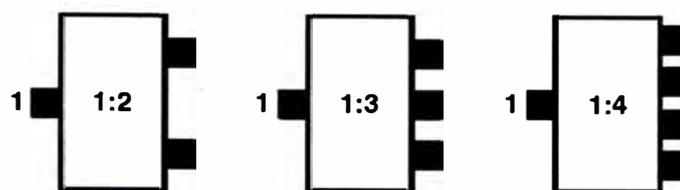


Figura 2.5 Splitters de potencia para coaxiales (Fuente Ref. [14])

Se puede calcular la pérdida a través del splitter utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida del splitter} = 10 \log (\text{número de puertos}) + \text{pérdida de inserción} \quad (2.1)$$

Se muestra un ejemplo en la figura 2.6.

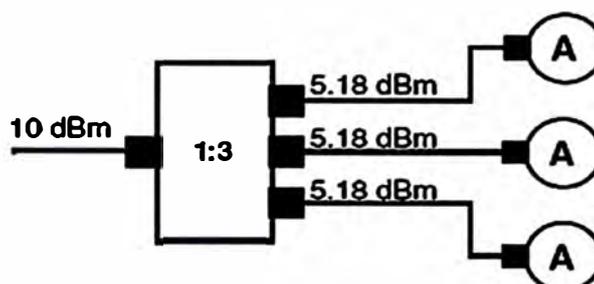


Figura 2.6 Distribución de potencia de un splitter 1:3 (Fuente Ref. [14])

c. Splitters desiguales o tappers

Los splitters desiguales o tappers se utilizan como los splitters, la diferencia es que la potencia es dividida de manera desigual entre sus puertos.

Esto es útil para diseños donde se instala un cable principal pesado a través del edificio y luego se debe dividir en pequeñas porciones la potencia hacia las antenas a lo largo del cable principal. Realizando esto, se disminuye la necesidad de instalar muchos cables pesados paralelos, y se mantiene la pérdida por cable baja.

Esta es una aplicación que comúnmente se utiliza en edificios muy altos, donde se tiene que instalar un cable pesado vertical y entregar porciones de potencia en cada piso (según figura 2.7).

Ajustando la pérdida de acoplamiento en los diferentes tappers y seleccionando el valor apropiado, se puede balancear la pérdida en todos los pisos del edificio, y se logra proveer el nivel de cobertura uniforme requerido.

La tabla 2.2 muestra los valores típicos de los tappers y sus pérdidas de acoplamiento.

Tabla 2.2 Tappers típicos y sus pérdidas de acoplamiento

Tipo	Pérdida en el puerto 1 – 2 (dB)	Pérdida en el puerto 1 – 3 (dB)
1/7 Tap	1	7
0.5/10	0.5	10.5
0.1/15	0.1	15.1
Variable	0.1 – 1.2	6 – 15

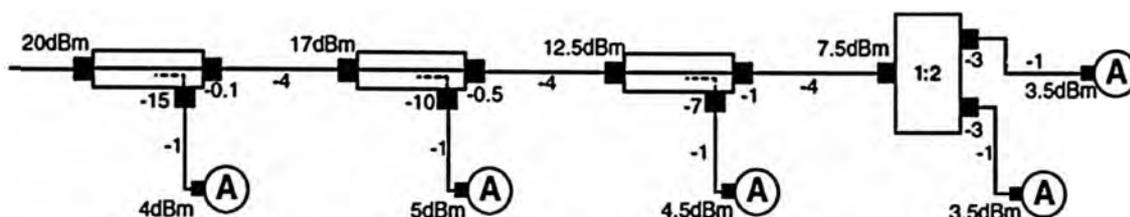


Figura 2.7 Configuraciones típicas de tappers [14] en sistema distribuido de antenas para mantener uniforme el nivel de cobertura para todas las antenas sobre una distancia larga

d. Atenuadores

Los atenuadores disminuyen la potencia de la señal en un valor de atenuación. Para un atenuador de 10 dB la potencia de la señal de salida será la potencia de la señal de entrada menos diez decibelios.

Los atenuadores son utilizados para disminuir señales de potencia alta a un rango de operación deseado, para evitar la sobresaturación del amplificador, o para limitar el impacto de la potencia de ruido de un sistema distribuido de antenas activo.

Los valores estándar de atenuación son 1, 2, 3, 6, 10, 12, 18, 20, 30 y 40dB. Cuando se combinan estos valores se puede obtener el valor deseado, también existen atenuadores variables, pero son utilizados sólo para señales de baja potencia.

Es importante señalar que cuando se requiere atenuar señales de alta potencia para múltiples portadoras, normalmente utilizadas para aplicaciones multioperador se debe utilizar un tipo especial de atenuador, un cable “amortiguador”, para evitar problemas de PIM.

e. Cargas ficticias o terminadores

Los terminadores son utilizados como cargas para igualar la impedancia en las líneas de transmisión, a menudo en un puerto del circulador, o en cualquier puerto abierto o no usado en otros componentes. En aplicaciones que son sensibles al PIM, la mejor opción es usar un cable amortiguador (-160dBc).

f. Circuladores

El splitter circulador (figura 2.8) es un componente no recíproco con baja pérdida de inserción en dirección hacia delante (puertos 1-2, 2-3 y 3-1) y alta pérdida de inserción en la dirección opuesta (puertos 2-1, 3-2 y 1-3).

La pérdida de inserción en dirección hacia delante es típicamente menor a 0.5dB y en la dirección opuesta es mayor que 23dB. Se puede obtener un aislador de doble etapa con un aislamiento en dirección opuesta mayor a 40dB si es necesario.

El circulador puede utilizarse para proteger el puerto de transmisión (figura 2.9) versus la potencia de reversa de reflexiones causadas por una antena o un cable desconectados en el sistema de antenas.

Una aplicación común para circuladores en sistemas móviles es usarlo para separar las señales de transmisión y recepción de un puerto combinado Tx/Rx (figura 2.10). Esto es mayormente usado para aplicaciones de potencia relativamente menor debido a los problemas de PIM en el circulador. Para aplicaciones de alta potencia es recomendable usar un filtro de cavidad dúplex para separar las dos señales.

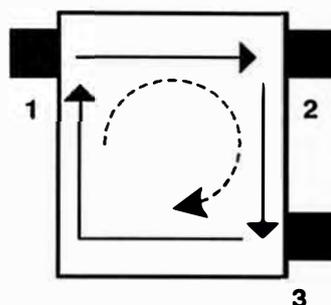


Figura 2.8 Circulador RF (Fuente Ref. [14])

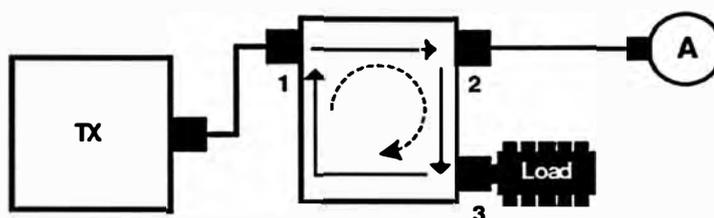


Figura 2.9 Circulador usado para proteger el transmisor contra la potencia reflejada [14]

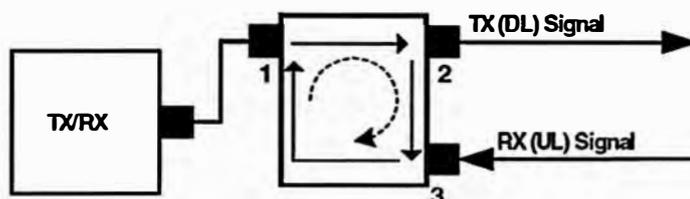


Figura 2.10 Circulador utilizado como un dúplexor, separando la recepción de la transmisión de una línea combinada de Rx/Tx (Fuente Ref. [14])

g. El acoplador de 3dB (Híbrido 90°)

El acoplador de 3dB (figura 2.11) es mayormente usado para combinar las señales de dos fuentes de señal. Al mismo tiempo el acoplador dividirá las dos señales combinadas en dos puertos de salida. Esto puede ser muy útil cuando se diseñan sistemas distribuidos de antenas.

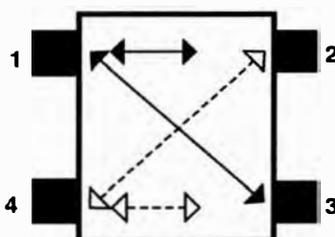


Figura 2.11 Acoplador de 3dB (Fuente Ref. [14])

El acoplador de 3dB tiene cuatro puertos; aislados entre ellos de dos en dos (puertos 2 y 3 / 1 y 4). Si se alimenta potencia en el puerto 1, esta potencia será distribuida hacia los puertos 2 y 3 (-3dB). El puerto 4 estará sin potencia asumiendo que los puertos 2 y 3 hayan sido idealmente igualados. Normalmente un terminador deberá conectarse al puerto 4.

Si se requiere combinar dos transmisores o dos receptores (TRXs/TRUs), se puede utilizar un acoplador de 3dB, ver figura 2.12. Sin embargo, si se necesita combinar los transmisores y al mismo tiempo distribuir la potencia hacia un sistema de antenas distribuido con varias antenas, se deberá conectar una parte del DAS al puerto 2 y otra parte al puerto 3, ver figura 2.13. Así se incrementará la potencia en el DAS por un factor de 2 (3dB). Este método es el recomendado, e incrementará el nivel de señal en 3dB en la edificación, en vez de gastar los 3dB en una carga ficticia en el puerto 3, que lo único que generará será calor.

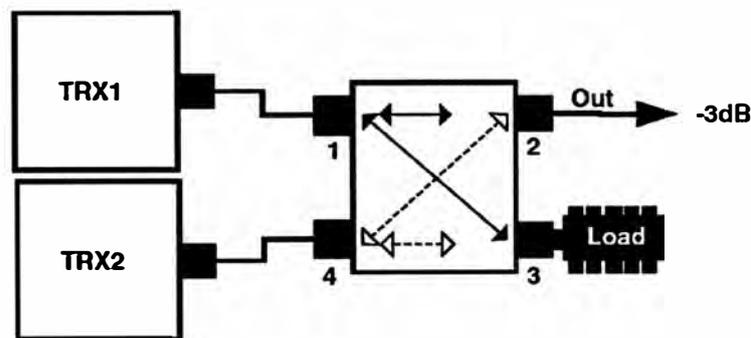


Figura 2.12 Acoplador de 3dB utilizado como un combinador de dos puertos [14]

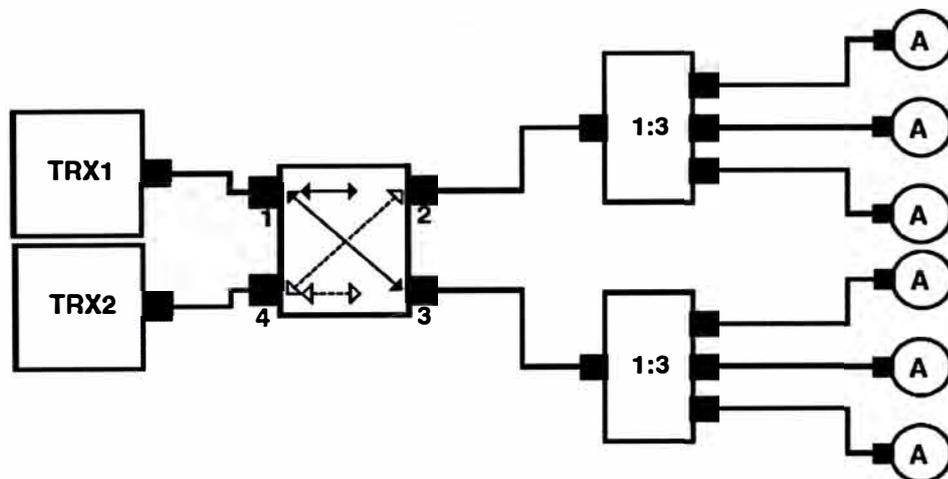


Figura 2.13 Combinación de dos señales TRX y su posterior división hacia un sistema distribuido de antenas (Fuente Ref. [14])

2.4.2 Carga de potencia en componentes pasivos

Un parámetro importante para mantener en consideración cuando se realiza el diseño con componentes pasivos es no exceder el índice de potencia máxima que el componen-

te pasivo puede manejar.

Este es un problema particular para capacidad alta o soluciones DAS multioperador pasivas, donde se combinan muchas portadoras y estaciones base a altos niveles de potencia dentro del mismo sistema de distribución pasiva.

a. Cálculo de la potencia total de las Estaciones Base

Ejemplo 1: Cálculo de la potencia compuesta en un DAS pasivo

Se tiene un sistema multioperador en un aeropuerto; existen tres operadores GSM conectados al mismo punto, y cada operador tiene seis TRX. La salida de cada una de las estaciones bases es de 46dBm hacia el sistema de antenas distribuido. En total se tienen $3 \times 6 = 18$ TRX.

El peor caso es que todas las portadoras estén cargadas al 100%; por lo tanto cada radio transceiver GSM transmite 46dBm constantemente en todos los time slots. Se requiere sumar toda la potencia, pero primero se tiene que convertir de dBm a Watt:

$$P(\text{mW}) = 10^{\text{dBm}/10} = 40\,000 \text{ (mW)} = 40 \text{ W}$$

Se tiene 18 señales de 40 W cada una; la potencia total compuesta es:

$$\text{Potencia total} = 18 \times 40 \text{ W} = 720 \text{ W}$$

Entonces se vuelve a dBm $= 10 \log (720,000 \text{ mW}) = 58.57\text{dBm}$. Por lo tanto, se necesita asegurar que los componentes pasivos pueden manejar 720 Watt (58.57dBm) constantemente para garantizar que el sistema sea estable.

b. La potencia PIM

Se calcula el nivel PIM de las señales. Si se toma un componente pasivo, con una especificación PIM de -120dBc, el máximo producto PIM será 120dB por debajo de la portadora de más alta potencia. Podemos esperar que el producto PIM de peor caso tenga un nivel de señal de $46\text{dBm} - 120\text{dB} = -74\text{dBm}$.

Esto es un tema de cuidado; -74dBm en una señal no deseada, especialmente si el producto de intermodulación cae en la banda del enlace de subida de uno de los sistemas, se volverá un problema mayor porque degradará la performance de ese sistema/canal.

Exceder el índice máximo de potencia en un componente pasivo empeorará la situación. Se debe asegurar utilizar componentes pasivos con muy buenas especificaciones cuando se diseñan soluciones de alta potencia y alta capacidad, y se debe estar absolutamente seguro que se mantiene dentro de las especificaciones de poder de todos los componentes.

2.4.3 Filtros

Cuando se diseñan soluciones interiores existen básicamente dos tipos de filtro que se pueden encontrar, el duplexor, el diplexor y el triplexor, ver figura 2.14.

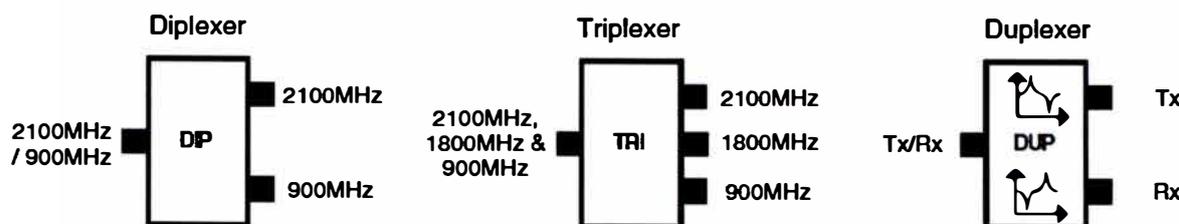


Figura 2.14 Filtros típicos utilizados para separar bandas de frecuencias [14]

- Duplexor. El duplexor es usado para separar una señal combinada Tx/Rx en dos líneas separadas Tx y Rx. Se debe tener en cuenta las especificaciones de aislamiento entre bandas, así como la pérdida de inserción y el PIM.

- Diplexor y Triplexor. El diplexor separará o combinará todas las bandas, por ejemplo una entrada combinada de 2100 y 1800MHz, y salidas separadas para las bandas de 1800MHz y 2100MHz. Se debe tener en cuenta las especificaciones de aislamiento entre banda, así como la pérdida de inserción y el PIM.

La versión de tres bandas que puede separar o combinar 900, 1800, y 2100MHz también existe y se denomina triplexor. Algunos fabricantes combinan componentes que contienen ambos diplexores o triplexores y duplexores.

2.4.4 Planeamiento del DAS pasivo

Para realizar el planeamiento pasivo DAS la principal labor que se requiere es realizar el cálculo de la máxima pérdida por antena en el sistema, y realizar el presupuesto de enlace de acuerdo a las áreas particulares que cada antena deberá cubrir. Se requiere adaptar el diseño DAS pasivo a las limitaciones del edificio con respecto a las restricciones de cómo y donde se podrá instalar el coaxial pesado. A menudo el planificador de RF realizará un diseño inicial basado en los planos de la edificación antes de la visita inicial de campo, y posteriormente adaptará este diseño para cumplir los requerimientos de instalación del edificio. De hecho, el rol del planificador de RF está a menudo limitado a la planificación de la instalación y no a la planificación de RF, cuando diseña un DAS pasivo.

Es importante que se conozcan todas las distancias de cable y los tipos de cable, así se podrá calcular las pérdidas desde la estación base hacia cada antena individual. Por lo tanto, se debe realizar una visita de campo detallada de la edificación, asegurando que existen rutas para cable hacia todas las antenas planificadas. Cuando se realiza un diseño DAS pasivo, a menudo existirán limitaciones y restricciones acerca de donde se puede instalar cables rígidos pasivos.

Frecuentemente, las limitaciones de las posibilidades de instalación gobernarán el diseño DAS real, y debido a esto la solución final a menudo será un compromiso entre la performance de radio y la realidad de las restricciones de instalación. Se requiere cono-

cer la pérdida exacta de cada sección coaxial en el sistema, con el objetivo de verificar el cálculo del presupuesto de enlace y el lugar de instalación de las antenas.

Un diseño típico DAS pasivo se muestra en la figura 2.15, el cual muestra un edificio pequeño de oficinas. Este diseño descansa sobre un cable vertical de 7/8 de pulgada, utiliza tappers en cada piso que distribuye la potencia hacia la horizontal a través de clave de 1/2 de pulgada hacia splitters 1:3 ubicados en cada piso.

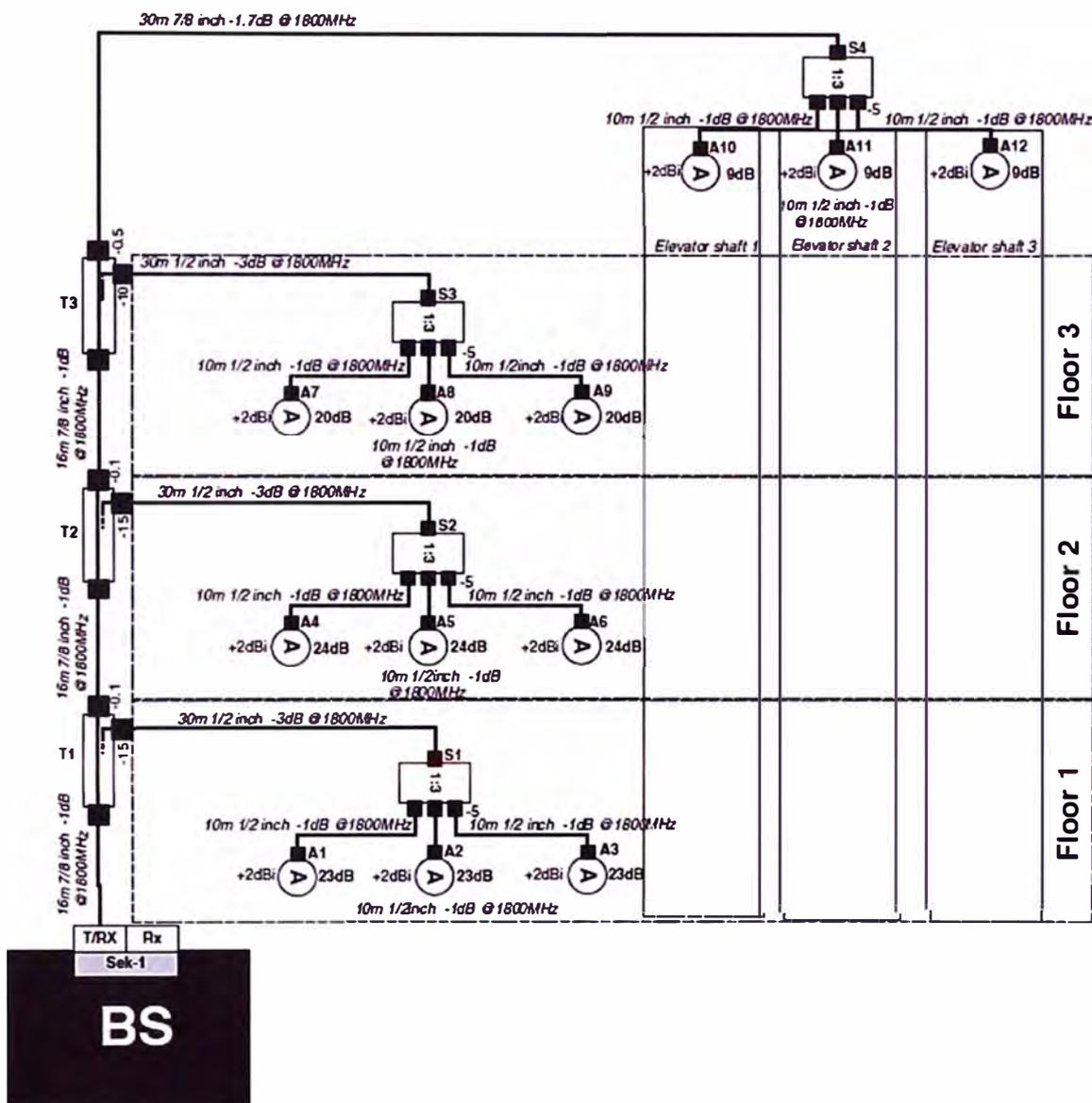


Figura 2.15 Diagrama DAS pasivo típico con la información y datos básicos [14]

La ventaja es que el cable pesado de 7/8 de pulgada puede instalarse en una montante vertical donde existe fácil acceso y la instalación de cable coaxial rígido será relativamente simple.

En los pisos de oficinas es más complicado instalar cableado coaxial debido a que no están disponibles canaletas ni bandejas para cables. Usando cable coaxial más delgado

– de ½ de pulgada – para los cables horizontales, se puede fijar el cable en el marco del falso techo, haciendo la instalación relativamente rápida y no costosa.

La cobertura, de la figura 2.15, es bastante uniforme; existe un balance aceptable entre las antenas que brindan servicio en los tres pisos de oficinas. En este caso particular, se definió irradiar más potencia desde la parte superior de los tres pozos de los ascensores, para poder penetrar los ascensores y brindar suficiente cobertura en el interior del ascensor para el servicio de voz.

Cuando se realiza el diagrama, de la figura 2.15, toda la información debe documentarse, incluyendo la pérdida de los componentes y los cables, número de componentes, y pérdida total de cada antena. Esta documentación del diseño debe contener toda la información relevante, y debe estar disponible en el lugar en caso de resolución de problemas.

La resolución de problemas es compleja en un sistema pasivo. Se requiere utilizar un potenciómetro conectado a puntos a lo largo del DAS pasivo para poder descubrir cualquier falla, en caso de una falla del sistema. Este es el principal efecto colateral negativo del uso de un sistema DAS pasivo: la resolución de problemas debe realizarse de una forma cuidadosa. Las fallas severas en los sistemas pasivos DAS no generarán alarmas en la estación base.

2.4.5 Los principales puntos acerca de los sistemas DAS pasivos

Existen muchos argumentos a favor y en contra del uso de sistemas pasivos DAS. Sin embargo, el sistema pasivo DAS es una de las opciones existentes de instalación para el planificador RF. Las ventajas del sistema DAS son las siguientes:

- Es una metodología de diseño directo pero demandante en tiempo.
- Los componentes de diferentes fabricantes son compatibles.
- Pueden instalarse en ambientes hostiles.

Las desventajas de los sistemas pasivos son:

- No existe vigilancia de errores en el sistema – la estación base no emitirá una alarma aún con errores cercanos a la estación base debido a la alta pérdida de retorno.
- No es flexible para futuros crecimientos.
- En caso de altas pérdidas se degradará la performance de transmisión de datos.
- Es complejo balancear el presupuesto de enlace de todas las antenas, y obtener un nivel de cobertura uniforme.
- Se requiere una estación base de alta potencia y un cuarto de equipos dedicado para el equipo de soporte local, suministro de potencia, entre otros.

La experiencia indica que los sistemas DAS pasivos han sido implementados mayoritariamente sobre una base global de instalaciones. Sin embargo, los requerimientos de

los servicios UMTS y HSPA, e incluso los servicios de alta velocidad de transporte de datos en el futuro afectarán la preferencia en el momento de selección del tipo de sistema DAS a implementar.

La atenuación del DAS pasivo es la principal cuestión a resolver en este contexto: las frecuencias a ser utilizadas para servicios móviles futuros es altamente probablemente que vayan incrementándose, y los esquemas de modulación aplicados para servicios de alta velocidad de transmisión de datos son muy sensibles al impacto de la pérdida de cable pasiva. Esto degradará la potencia de bajada de la antena y en el enlace de subida la alta figura de ruido del sistema causada por las pérdidas pasivas limitarán las velocidades de transmisión de datos de subida. Los sistemas pasivos continuarán usándose en el futuro, pero solo en entornos acotados con pocas antenas y pérdidas que deben mantenerse al mínimo.

2.4.6 Aplicaciones de los DAS pasivos

El DAS pasivo es ampliamente utilizado para cobertura de interiores para el servicio móvil. Los sistemas DAS pasivo pueden utilizarse para edificios muy pequeños con una estación base de baja potencia y pocas antenas, hasta incluso aeropuertos de gran extensión, campus universitarios o empresariales entre otros.

El mayor reto del uso del sistema DAS pasivo es la instalación de los cables rígidos, los cuales tienen un alto impacto en los costos de instalación, y limitarán los lugares probables de instalación de las antenas. Esto puede ser un problema en la solución de cobertura de edificios muy altos. La edificación impondrá las condiciones de diseño debido al desafío de la instalación.

La degradación del servicio de datos también será un inconveniente si la atenuación del sistema adquiere niveles muy elevados, especialmente en HSPA. Este problema puede resolverse dividiendo el sistema DAS pasivo en pequeños sectores o secciones, cada uno atendido por una estación base local. Sin embargo, este es un uso costoso y a menudo ineficiente de los recursos de capacidad. Los costos extra de enlaces de transmisión hacia la red central, la mayor carga de las interfaces en el lado de la red central y las licencias de software para el proveedor del equipamiento también añadirán más costos a las estaciones bases distribuidas.

Los sistemas DAS pasivos generan una mayor exposición de RF al usuario. Los móviles dentro de la edificación irradiarán con mayor potencia, debido al hecho que el móvil tiene que vencer las pérdidas pasivas. Así el móvil expondrá a los usuarios a niveles elevados de radiación electromagnética.

El mantenimiento y la resolución de problemas es un desafío en soluciones DAS pasivas. Se recomienda contratar un instalador certificado, y no subestimar la importancia

de un apropiado procedimiento de instalación y disciplina cuando se instalan soluciones con el cableado coaxial y conectores.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Este capítulo se enfoca a exponer el caso de estudio y la solución aplicada. Para ello preliminarmente se presentan los aspectos generales del caso de estudio, para luego desarrollar el planeamiento de la solución, empezando por explicar la metodología aplicada en el diseño de la solución y luego su aplicación de acuerdo a la situación del caso de estudio y los requerimientos del cliente (Modelo de tráfico de la RNC de Lima, modelo de tráfico para Larcomar, cálculo de las capacidades para cubrir el área deseada, dimensionamiento de capacidad para Larcomar y planeamiento de celdas, planeamiento de la red y división de las celdas, polígonos de cobertura y planificación de equipamiento). Se finaliza con los aspectos relacionados a la instalación y pruebas.

3.1 Aspectos generales del caso de estudio

Larcomar es un Centro Comercial de grandes dimensiones ubicado en el Distrito de Miraflores, al final de la Av. Larco, frente al Hotel Marriot, ver figura 3.1.



Figura 3.1 Vista de Larcomar (Fuente Google Earth)

Larcomar es un centro comercial y de esparcimiento construido en los acantilados de la ciudad con frente al mar Pacífico, ubicado sobre una avenida costanera y exactamente frente al nuevo hotel Lima Marriott [1].

Se destacan dos características del centro comercial:

- Está construido sobre una excavación del acantilado (parte superior) y muchos de sus espacios sobresalen sobre el vacío.
- Fue construido en el sector que ocupaba un parque público, dando así paso a un parque artificial de mayor área (en realidad la cobertura de los sótanos de estacionamiento vehicular y multicines).

El sistema de ventilación de los subterráneos se resolvió con grandes "chimeneas" de desfogue que aparecen en el parque como esculturas de vidrio azulado.

Datos básicos:

- Área de Terreno: 44,675m².
- Total área construida: 49,783m².
- Inversión: US 40 millones.
- Fecha de construcción: 1996-1998.

Características principales:

- Un centro comercial con 60 locales (entre 30 y 1,150 m²) destinados a boutiques, restaurantes, cafés, bares, discotecas, locales de comida rápida, etc. entre ellos el "Hard Rock-Lima".
- Un complejo multicines con 12 salas con capacidad para 2,360 espectadores.
- Un teatro para artes escénicas con capacidad para 200 espectadores.
- Un bowling con 24 pistas.
- Una plaza de 40,000 m² a manera de balcón sobre el acantilado y con vista al mar.
- Un parqueo para 773 automóviles en varios niveles subterráneos, con área prevista de expansión.
- Un parque artificial sobre el área techada del centro comercial con piletas ornamentales "cinéticas" (luz y agua).

Larcomar es visitado anualmente por casi un millón de turistas [2] superando a las visitas a Machu Picchu, esto debido a que Lima está siendo visitada por una gran cantidad de hombres de negocios que vienen con el objetivo de hacer negocios, desarrollar inversiones, generar venta de servicios.

Los requerimientos de comunicación para el proyecto son los siguientes:

- Se debe asegurar la cobertura de todas las áreas comunes y públicas como las aisladas, patio de comidas, cafés al aire libre, vestíbulo de entrada, vestíbulo del cine y el área de estacionamiento. Los grandes almacenes como Ripley, Saga Falabella, Tottus deben ser también cubiertos. El cine debe ser cubierto pero no el interior de éste.
- Las áreas excluidas son las áreas operacionales y el cuarto de equipos, también los ascensores. Debido a la limitación de no instalar antenas en el interior de los grandes almacenes y el vestíbulo del cine, se planteó proporcionar cobertura mediante la instala-

ción de antenas en el frente de sus instalaciones.

- Los bancos tampoco no serán cubiertos debido a que las leyes peruanas prohíben el uso de teléfonos móviles en su interior.

3.2 Planteamiento de la solución

Son varios puntos que se desarrollan en esta sección y que ya se mencionaron en la introducción del capítulo. A continuación se procede a desarrollar el planeamiento.

3.2.1 Metodología para el dimensionamiento de la solución

Para el dimensionamiento de las celdas a utilizar se utiliza el diagrama de flujo de la figura 3.2.

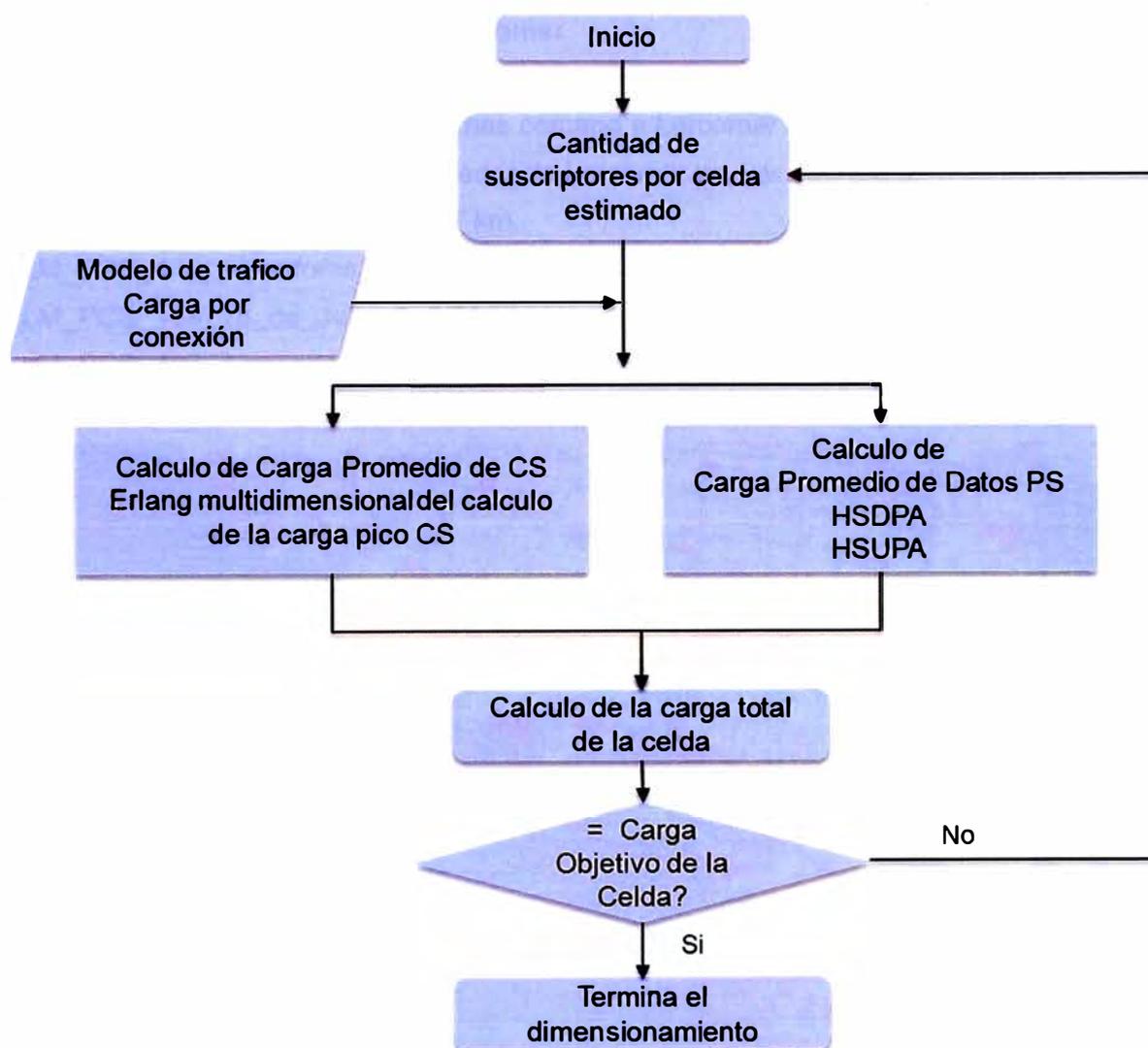


Figura 3.2 Diagrama de flujo para el dimensionamiento (Fuente: Elab. propia)

3.2.2 El modelo de tráfico de la RNC de Lima

Se considera el modelo de tráfico total de la RNC en Lima, RNC Lima = RNC100.

Se toma la muestra en el momento de mayor tráfico, en el caso de Larcomar el momento de mayor tráfico es a las 6:00 de la tarde.

Se toma de la RNC el valor del tráfico promedio equivalente en Erlangs de todos los servicios del dominio CS por usuario. Así mismo el valor promedio del throughput HSDPA por usuario en Kbps y finalmente el valor promedio del throughput HSUPA por usuario. Ver tabla 3.1.

Tabla 3.1 Modelo de tráfico de la RNC

RNCID	Hora pico (2012-10-05)	Tráfico AMR por usuario (Erl)	Valor promedio del throughput HSDPA por usuario (kbps)	Valor promedio del throughput HSUPA por usuario (kbps)
100	18:00:00	0.0124	46.1109	4.9973

3.2.3 El modelo de tráfico para Larcomar

Luego de haber calculado el modelo de tráfico para la RNC de Lima, ahora se analiza el modelo de tráfico para el nodoB más cercano a Larcomar a solo 0.067Km.

La distancia de los nodoB alrededor de Larcomar es, ver figura 3.3:

- LM_PCS_067_Larcomar_3, 0.067 km.
- LM_PCS_416_Alcanfores_2, 0.446 km.
- LM_PCS_139_28_de_Julio_3, 0.71 km.
- LM_PCS_407_Armendariz_3, 0.603 km.
- LM_PCS_167_Larco_2, 0.539 km.

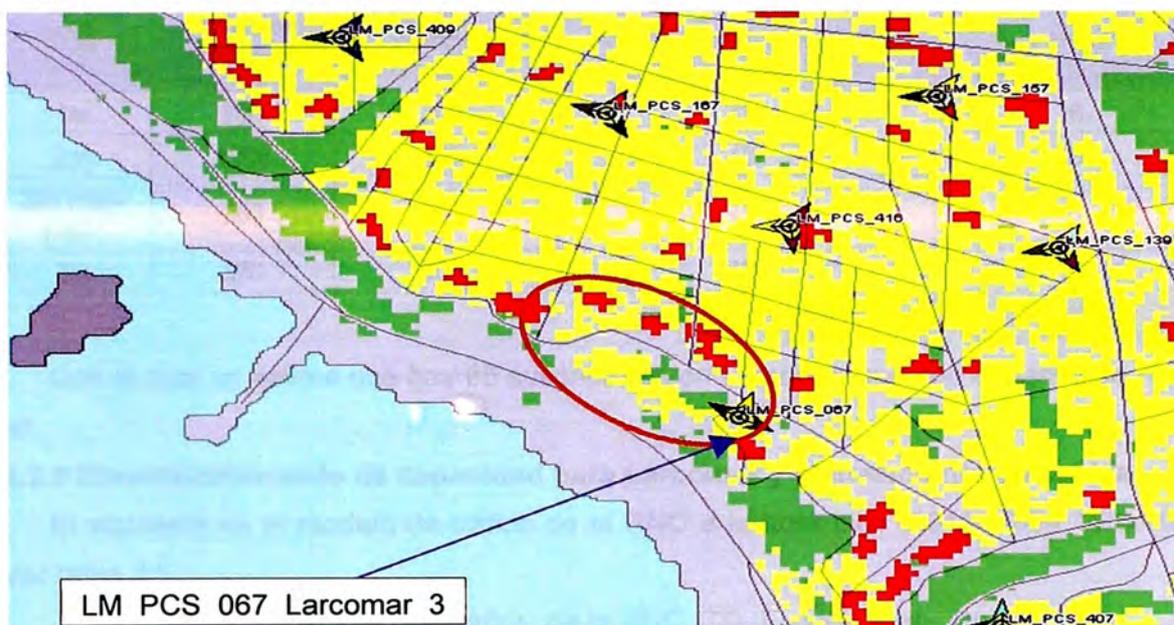


Figura 3.3 Distancia del centro comercial al nodoB mas cercano (Fuente: Elab. propia)

Se analizan las tres celdas del nodoB 67 (RNC100) en la hora pico: 2012-10-05 18:00:00. Eso se muestra en la tabla 3.2 la cual contiene el número de usuarios HSDPA, el número de usuarios HSUPA, el valor promedio del throughput HSDPA por usuario (kbps), y el valor promedio del throughput HSUPA por usuario (kbps).

Tabla 3.2 Modelo de tráfico de la RNC (Fuente: Elab. propia)

Cell Id	Número de usuarios HSDPA	Número de usuarios HSUPA	Valor promedio del throughput HSDPA por usuario (kbps)	Valor promedio del throughput HSUPA por usuario (kbps)
671	11.1500	16.5097	31.7460	6.7076
672	4.0583	6.7472	11.0098	1.7122
673	9.5125	14.3986	62.3752	10.8971

De acuerdo a los requerimientos de diseño establecidos por el área de marketing para este caso se tiene que los valores objetivos son los de la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Valores objetivos (Fuente: Elab. propia)

Tráfico AMR por usuario (Erl)	Valor promedio del throughput HSUPA por usuario (kbps)	Valor promedio del throughput HSDPA por usuario (kbps)
1	15	1000

3.2.4 Cálculo de las capacidades para cubrir el área deseada

Basado en la máxima capacidad de personas que puede alojar Larcomar y la información provista por el área de marketing del porcentaje de penetración en el mercado peruano que Nextel posee, se estima el número de suscriptores en Larcomar que son usuarios de Nextel.

Tabla 3.4 Estimación del número de suscriptores (Fuente: Elab. propia)

Piso	Capacidad Máxima	Tasa de suscriptores efectiva	Penetración en el mercado peruano que Nextel posee (UMTS)	Suscriptores en Larcomar de Nextel UMTS
1er	800	80%	4%	26
2do	1200	80%	4%	39
2do Inter-med.	200	80%	4%	7
3er	380	80%	4%	13
Total				85

Con lo cual se estima que hay 85 suscriptores en Larcomar que son usuarios de Nextel.

3.2.5 Dimensionamiento de capacidad para Larcomar y planeamiento de celdas

El siguiente es el modelo de tráfico de la RNC a la hora pico (2012-10-04 18:00:00) Ver tabla 3.5

Tabla 3.5 Modelo de tráfico de la RNC 100 (Fuente: Elab. propia)

Análisis de distribución de tráfico (RNC100)		Tendencia de suscriptores registrados
Throughput HSUPA (Kbps)	Throughput HSDPA (Kbps)	Suscriptores Registrados
68786.9403	447889.0778	85196.0000

En la hora pico, se calcula el número de suscriptores activos y registrados usando el

servicio HSPA simultáneamente (Tabla 3.6)

Tabla 3.6 Suscriptores activos y tasa de suscriptores registrados usando el servicio HSPA simultáneamente

Número de suscriptores activos		Tasa de suscriptores registrados	
HSUPA	HSDPA	HSUPA	HSDPA
13765.0000	9714.0000	16.16%	11.40%

Los suscriptores activos utilizando el servicio HSUPA en simultaneo se calcula dividiendo el throughput HSUPA de la RNC en la hora pico (68,786.94Kbps) y el throughput HSUPA promedio por usuario (4.9973 Kpbs) en la hora pico. Se realiza el mismo proceso para calcular la cantidad de suscriptores activos HSDPA.

Con lo cual la tasa de suscriptores registrados HSUPA se calcula $13765/85196 = 16.16\%$ y la tasa de suscriptores registrados HSDPA se calcula $9714/85196 = 11.40\%$.

Basado en el modelo de llamadas/trafico provisto por el área de Marketing de Nextel y el número de suscriptores en Larcomar (considerando solo usuarios UMTS).

Tabla 3.7 Modelo de llamadas/tráfico (Fuente: Elab. propia)

Cobertura	Número de Suscriptores Estimados	Suscriptores activos de HSUPA	Suscriptores activos de HSDPA	Total datos throughput. (Mbps)	Cantidad de Celdas
Larcomar	85	13.73	9.69	9.665675956	1.933135191

Se obtiene la cantidad de suscriptores activos HSPA en Larcomar:

- $16.16\% * 85 = 13.73$ suscriptores activos HSUPA.
- $11.50\% * 85 = 9.69$ suscriptores activos HSDPA.

Luego se calcula el total de throughput de datos deseado, de acuerdo al requerimiento de Nextel.

- 15Kbps throughput promedio HSUPA por suscriptor x 13.73 suscriptores HSDPA activos = 205.99 Kpbs.
- 1000 Kpbs throughput promedio HSDPA por suscriptor x 9.69 suscriptores HSDPA activos = 9,691.65Kbps.

Por lo tanto se requieren 205.99Kbps (0.20Mbps) del servicio HSUPA para Larcomar a la hora pico, además se requieren 9,691.65Kbps (9.46Mbps) del servicio HSDPA para Larcomar a la hora pico.

El total de data requerida para Larcomar es 9.66Mbps.

Para los datos HSPA se requieren 7.2Mbps a lo más para una celda. Por diseño consideraremos solo 5Mbps de throughput por celda.

Con lo cual en Larcomar el requerimiento de capacidad sería de dos celdas.

3.2.6 Planeamiento de la red y división de las celdas

Se determina usa un nodoB con dos celdas y una estructura DAS para cubrir el centro comercial y proveer servicios UMTS. Cada celda está compuesta de una Unidad de Radio Remota (RRU), con lo cual se utiliza en total dos RRU.

Se divide el área de cobertura de la siguiente manera.

Tabla 3.8 Área de cobertura (Fuente: Elab. propia)

Área	Celda	Portadora UMTS
Estacionamiento y zona comercial izquierda	UMTS Cell 1	1
Estacionamiento y zona comercial derecha	UMTS Cell 2	1

Tabla 3.9 Distribución vertical (Fuente: Elab. propia)

Celda 1	Celda 2
1er piso (izquierda)	1er piso (derecha)
2do piso (izquierda)	2do piso (derecha)
3er piso y 2do intermedio	3F (Cine)

3.2.7 Polígonos de cobertura

A continuación se muestran en las figuras 3.4 a 3.7, los polígonos de cobertura para los distintos niveles del proyecto. En verde las áreas de cobertura principal y en rojo las áreas excluidas.

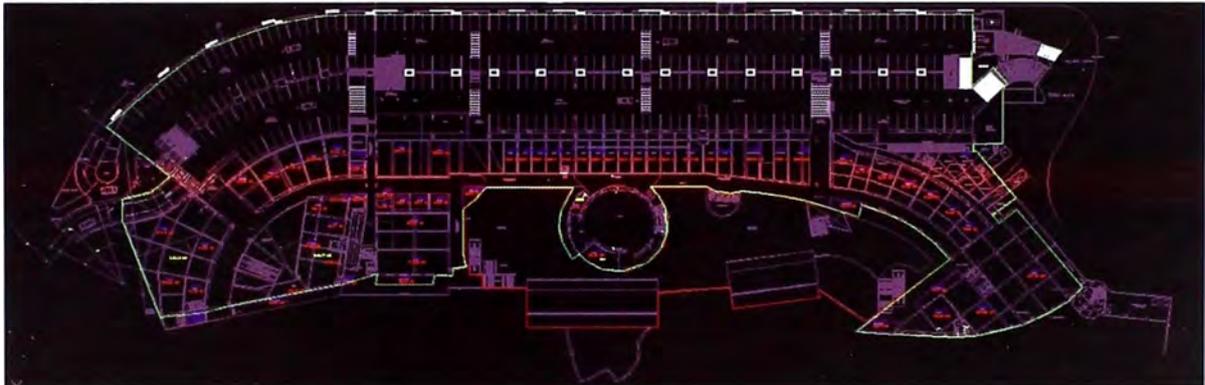


Figura 3.4 Polígono de cobertura Primer piso (Fuente: Elab. propia)

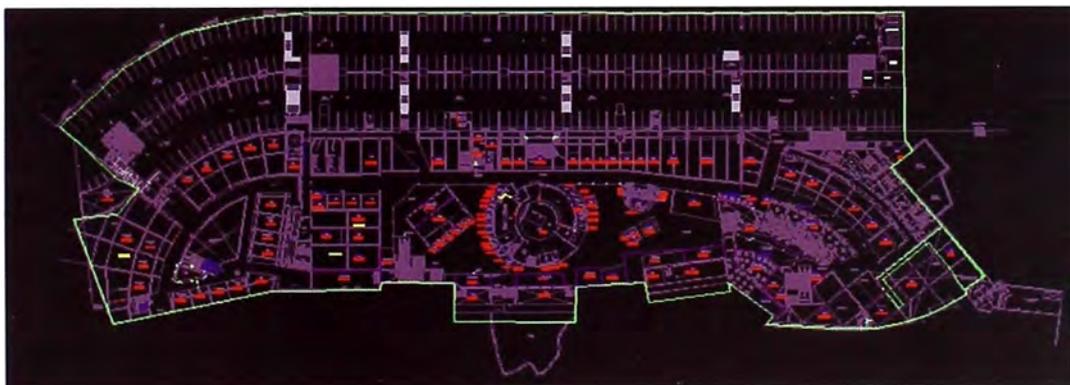


Figura 3.5 Segundo piso (Fuente: Elab. propia)

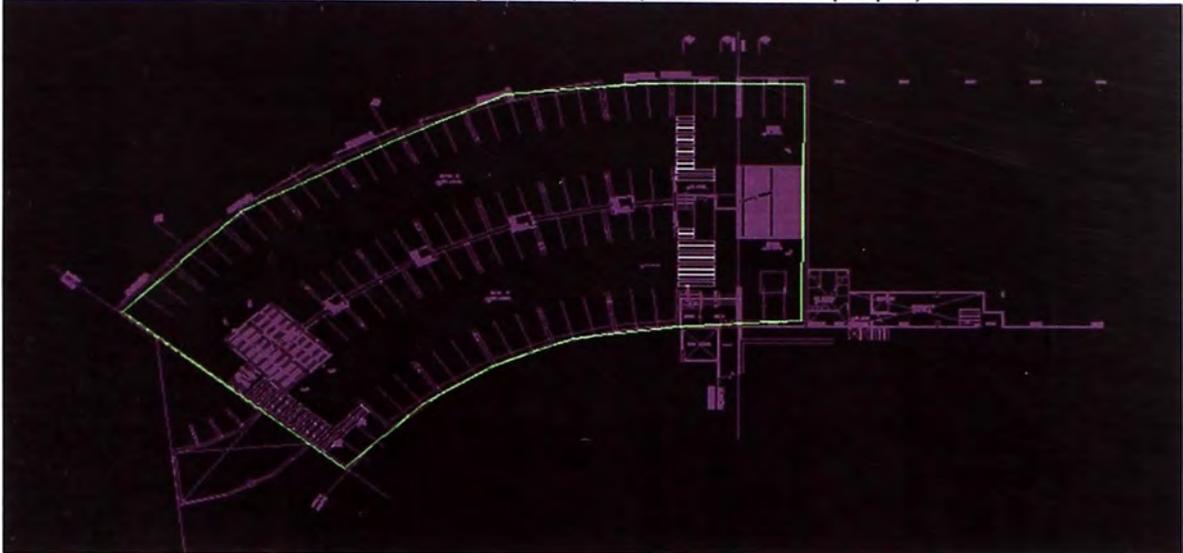


Figura 3.6 Segundo piso intermedio (Fuente: Elab. propia)



Figura 3.7 Polígono de cobertura tercer piso (Fuente: Elab. propia)

3.2.8 Planificación del equipamiento

Se determina utilizar el equipamiento central en el segundo piso en la parte trasera a las tiendas, según se indica en la figura 3.8.



Figura 3.8 Ubicación de equipamiento (Fuente: Elab. propia)

De esta forma se distribuye la solución dentro del edificio según se muestra en la figura 3.9.

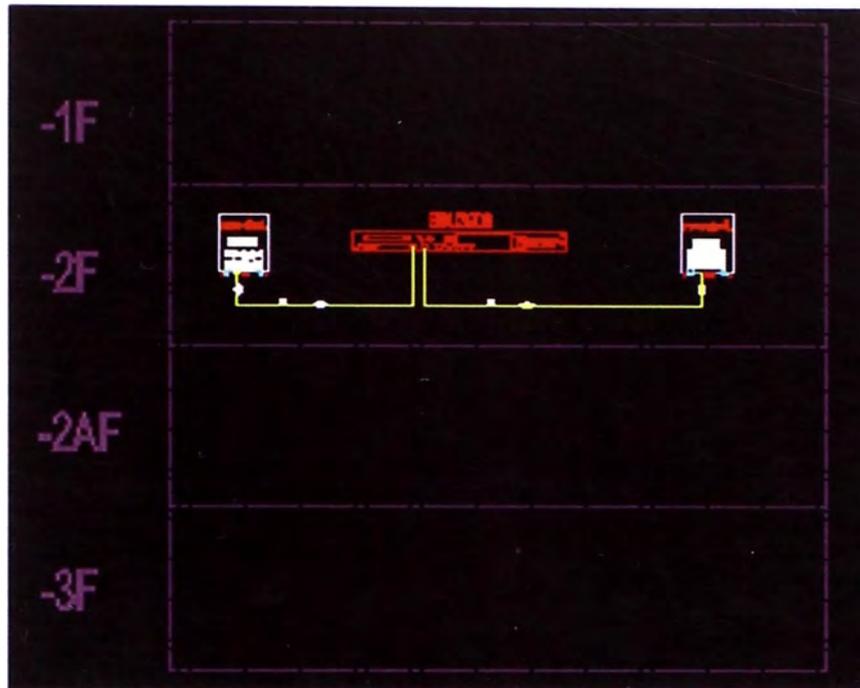


Figura 3.9 Distribución del equipamiento (Fuente: Elab. propia)

En el caso del proveedor de equipamiento a utilizar, este permite tener los elementos distribuidos. La Base Band Unit se ubica de manera central y, se ubica de manera distribuida las dos Remote Radio Unit. Ver figuras 3.10 y 3.11.

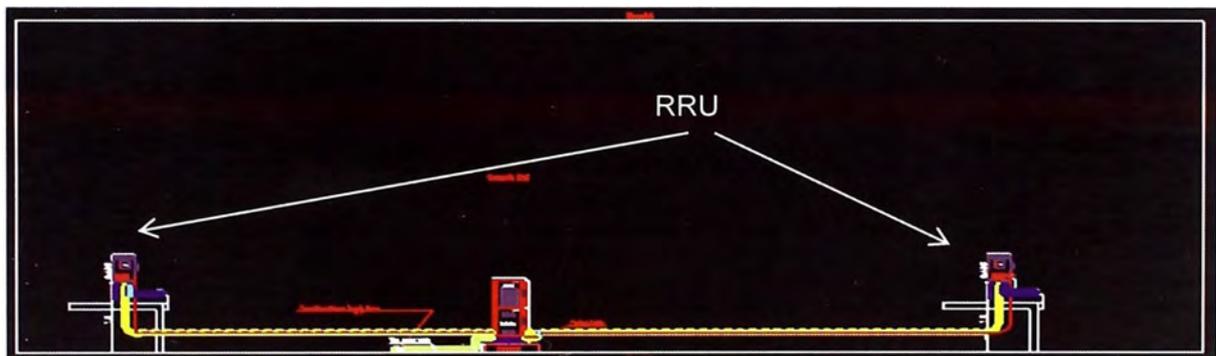


Figura 3.10 Vista Frontal (Fuente: Elab. propia)

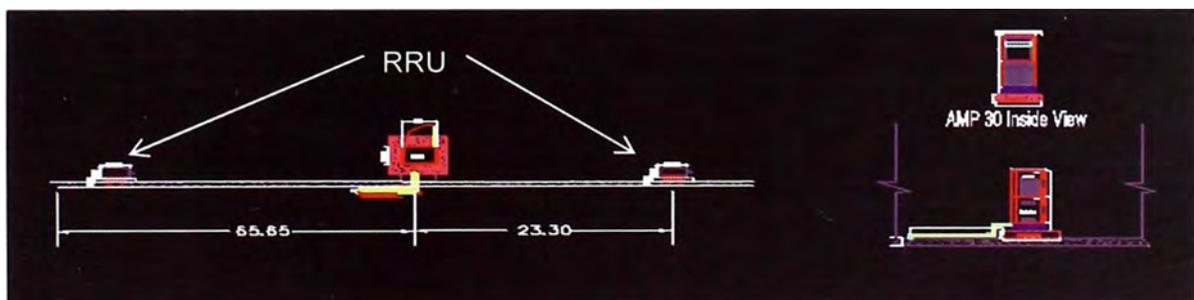


Figura 3.11 Vista superior (Fuente: Elab. propia)

3.3 Aspectos relacionados a la instalación y pruebas

La figura 3.12 muestra ejemplo de la instalación de las antenas como: antenas omnidireccionales, direccionales y de panel.



Figura 3.12 Ejemplo de antenas instaladas (Fuente: Elab. propia)

La figura 3.13 muestra ejemplo de la instalación de algunos componentes como: acopladores, y splitters.

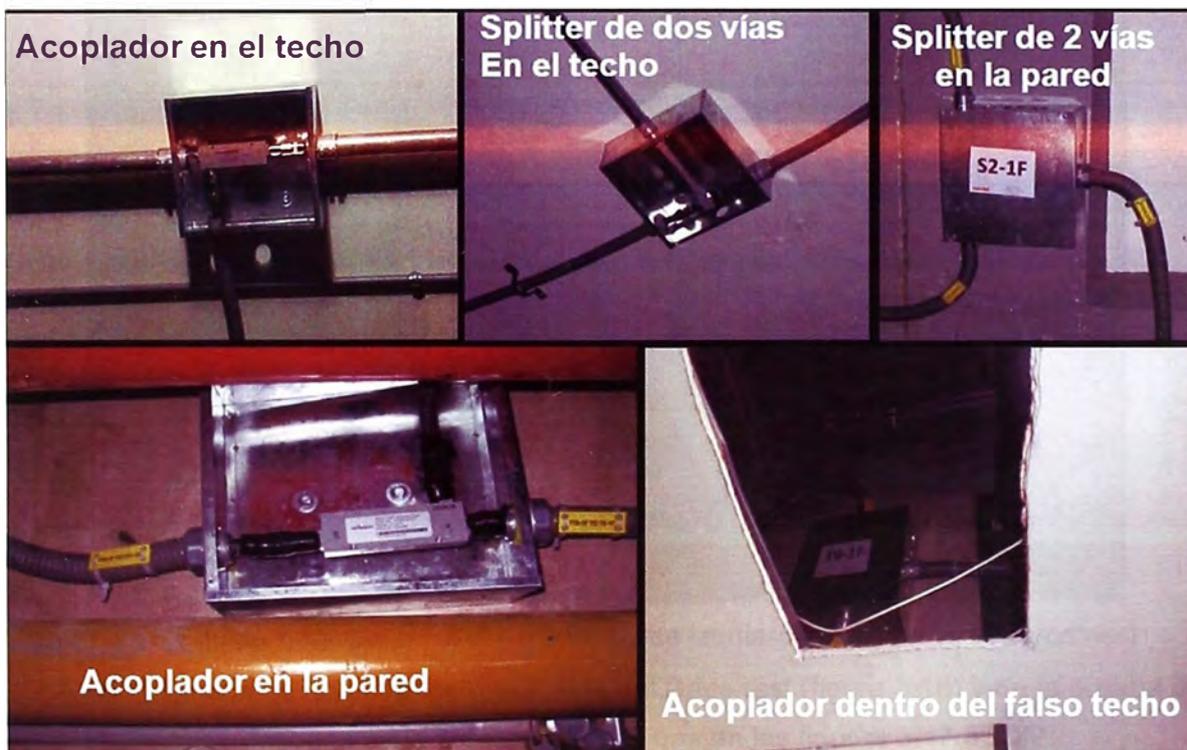


Figura 3.13 Instalación de componentes (Fuente: Elab. propia)

La figura 3.14 muestra la instalación de accesorios.



Figura 3.14 Instalación de accesorios (Fuente: Elab. propia)

La figura 3.15 muestra la instalación de microonda y del nodoB.



Figura 3.15 Equipo principal : 1 BBU + 2 RRU (de izquierda a derecha de Larcomar)

A continuación se muestra los resultados del Drive test (figura 3.16) y de la prueba de recorrido antes y después de la solución, mostradas en las figuras 3.17 a 3.22.

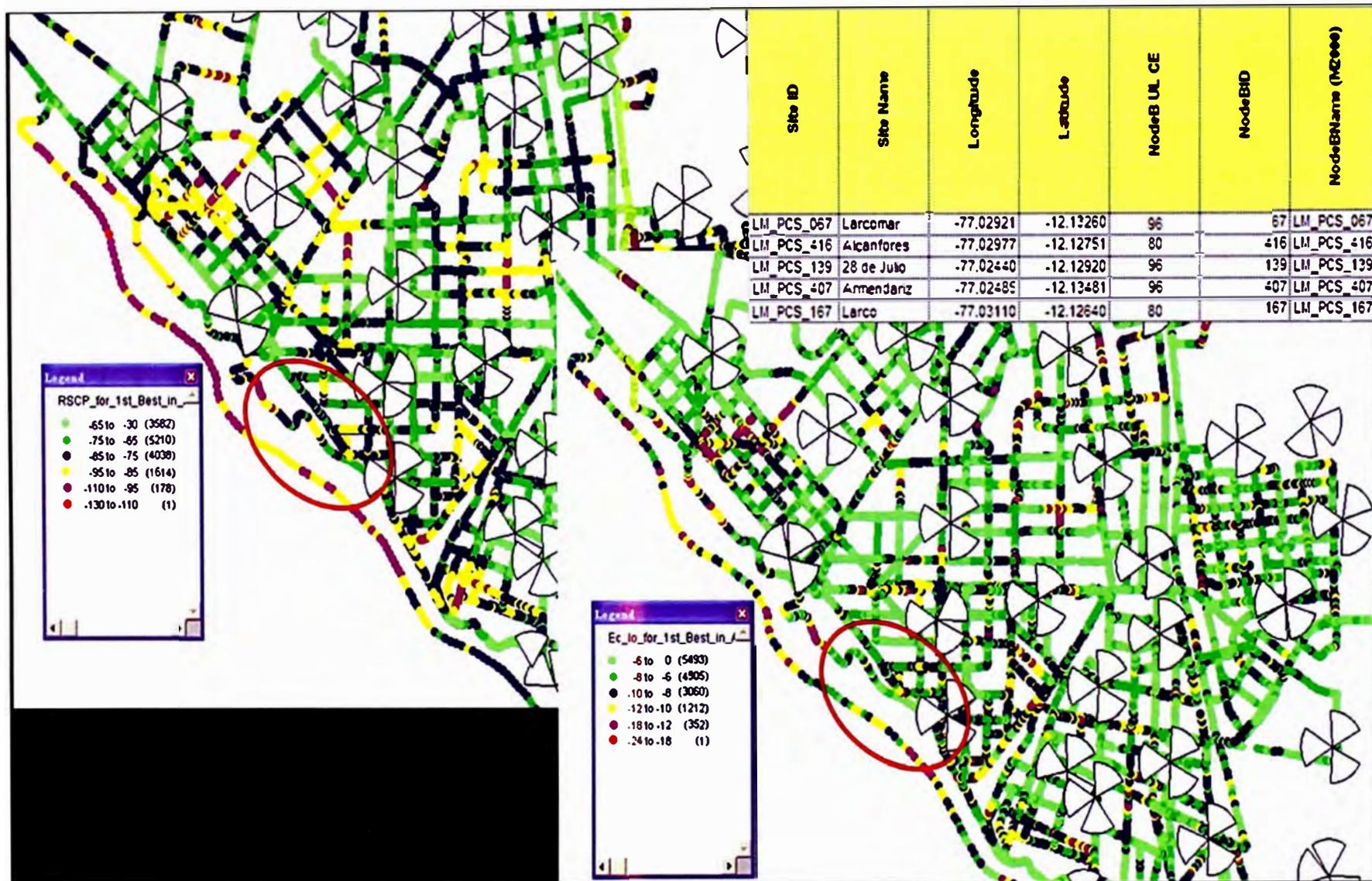


Figura 3.16 Resultados del Drive test (Fuente: Elab. propia)

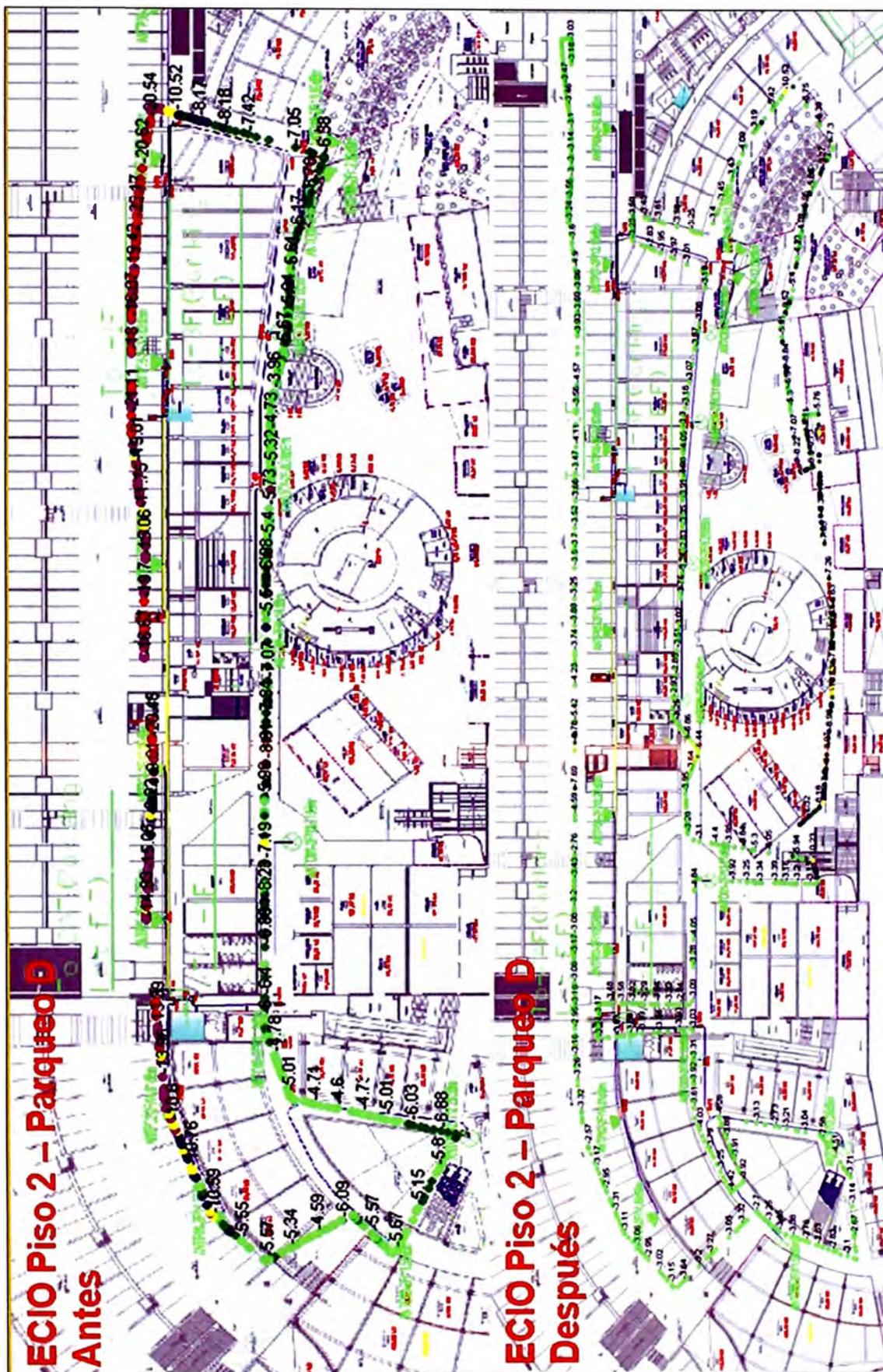


Figura 3.20 Prueba de recorrido 2° piso (Ec/lo) antes y después de la so ución (Fuente: E ab. propia)

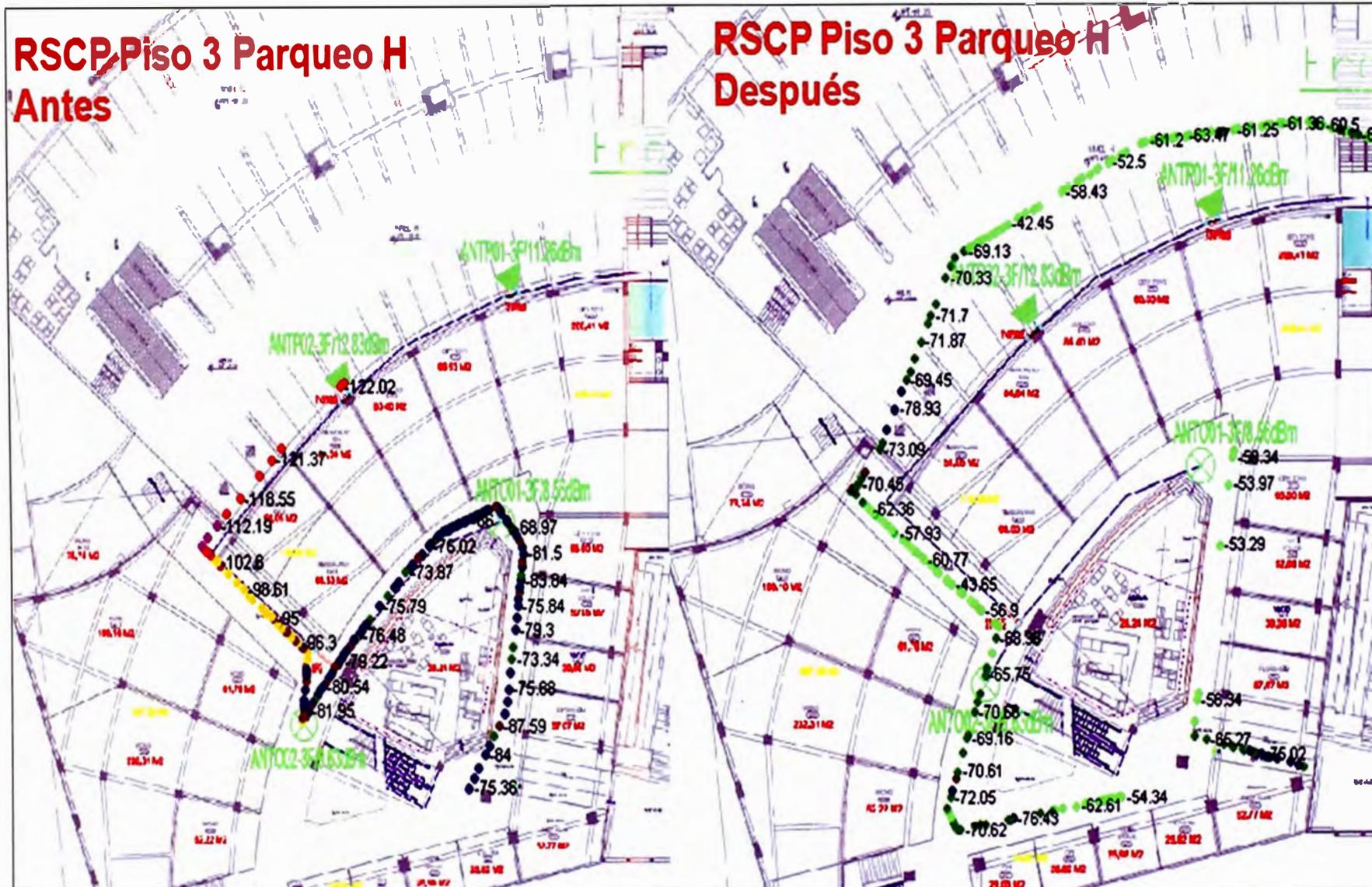


Figura 3.21 Prueba de recorrido 3º piso (RSCP) antes y después de la solución (Fuente: Elab. propia)

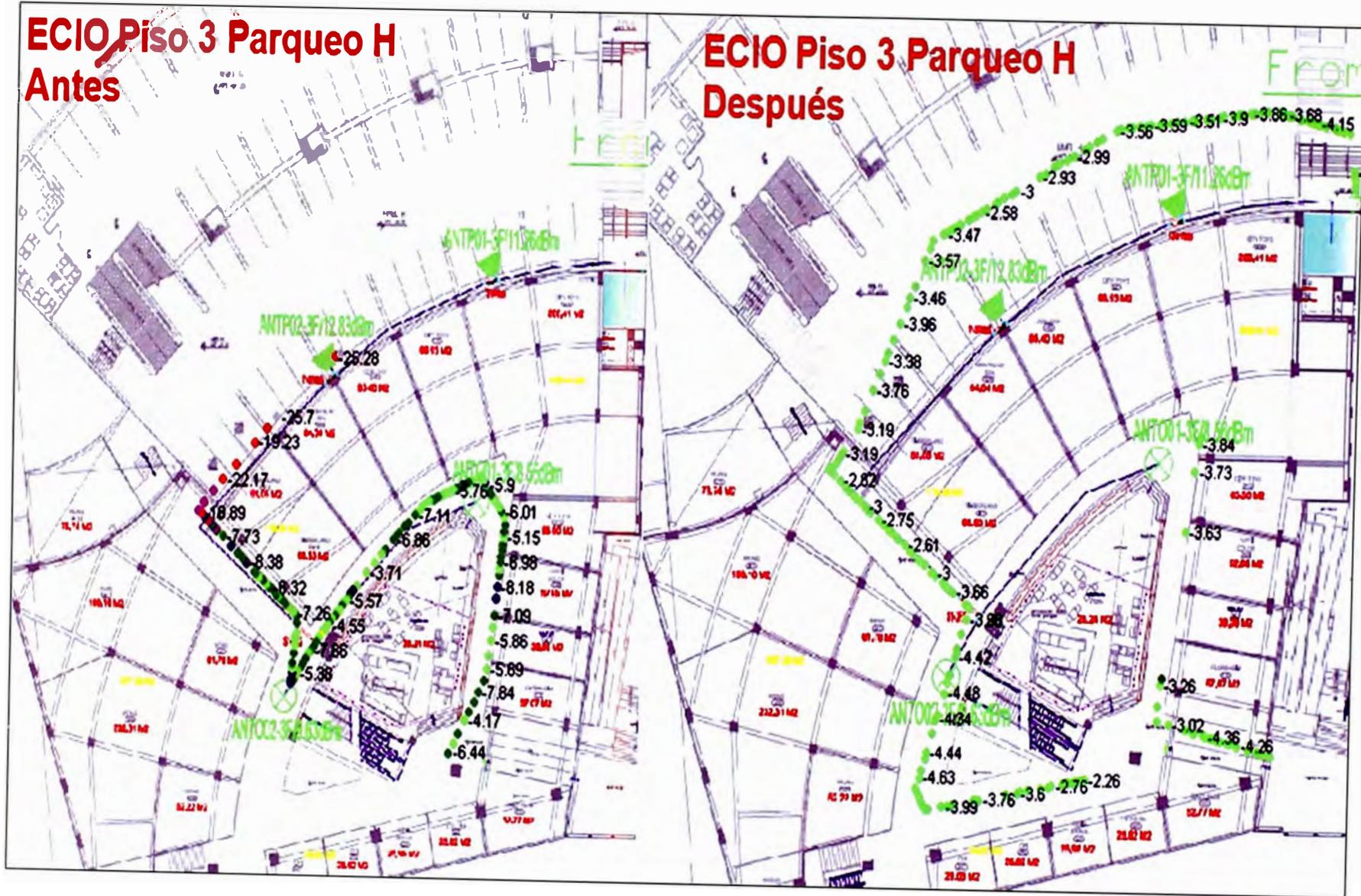


Figura 3.22 Prueba de recorrido 3° piso (Ec/lo) antes y después de la solución (Fuente: Elab. propia)

A continuación, en las figuras 3.23 a 3.26, se muestran los valores de los indicadores de performance de la red para Larcomar antes y después de la instalación de la solución de antenas distribuidas dentro del centro comercial:

Para el área de Larcomar; la cual antes era iluminada por la celda ID673 del nodoB 67 la cual daba cobertura en interiores y exteriores. Luego de la solución DAS, el nodoB 523 daría cobertura en el interior de Larcomar y la celda ID673 daría la cobertura en exteriores.

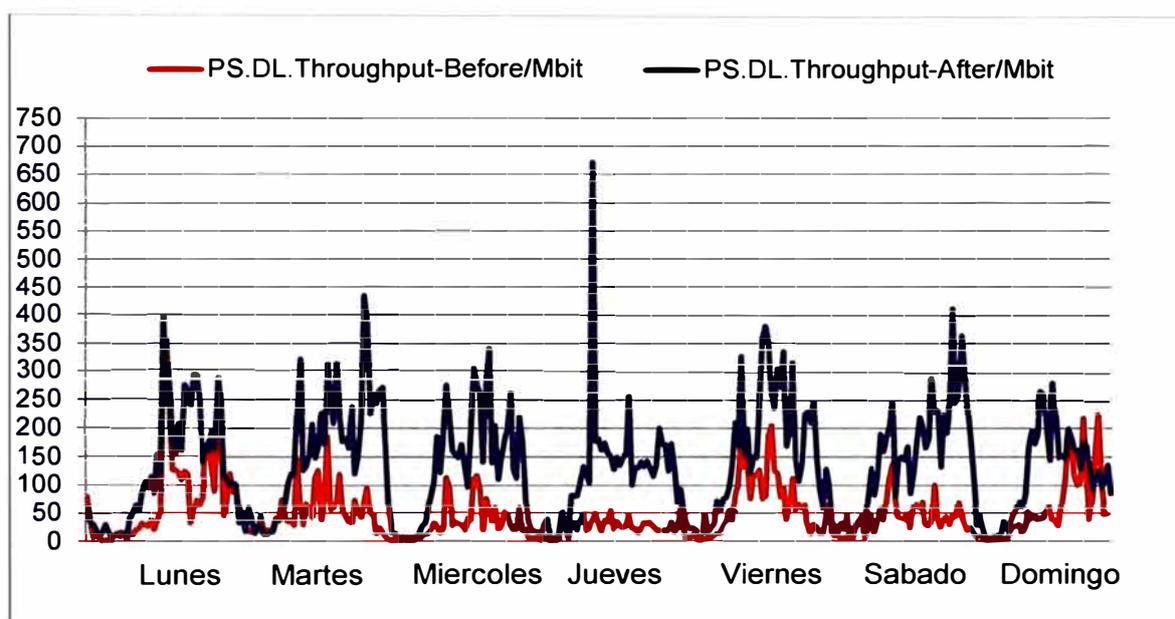


Figura 3.23 KPI de Datos PS DL Throughput antes y después de la Solución DAS

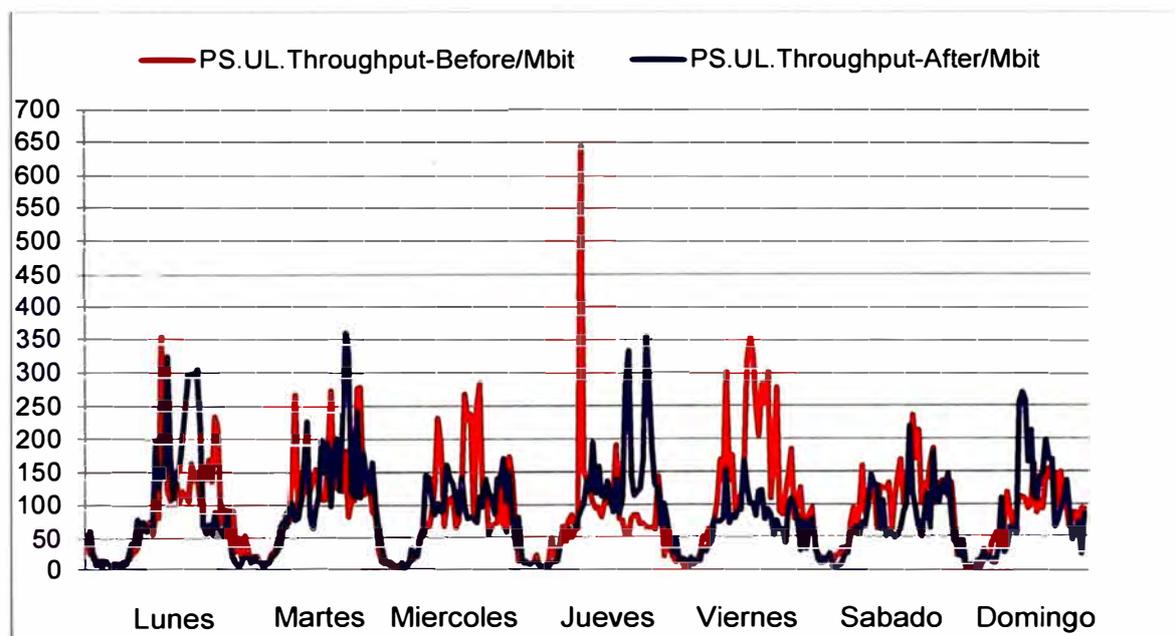


Figura 3.24 KPI de Datos PS UL Throughput antes y después de la Solución DAS

En promedio en una semana, antes del cambio el throughput de DL y UL era 93.25

Mbit y 86.77 Mbit respectivamente. Después el throughput DL y UL es 49.83Mbit y 136.37 Mbit respectivamente con los cual el throughput en DL se ha incrementado en 174% lo cual acarrea mayor ganancia al operador.

Para los indicadores PS BE Call Drop Ratio y HPTT Drop Call Ratio antes y después de la instalación de la solución DAS al interior de Larcomar se observa:

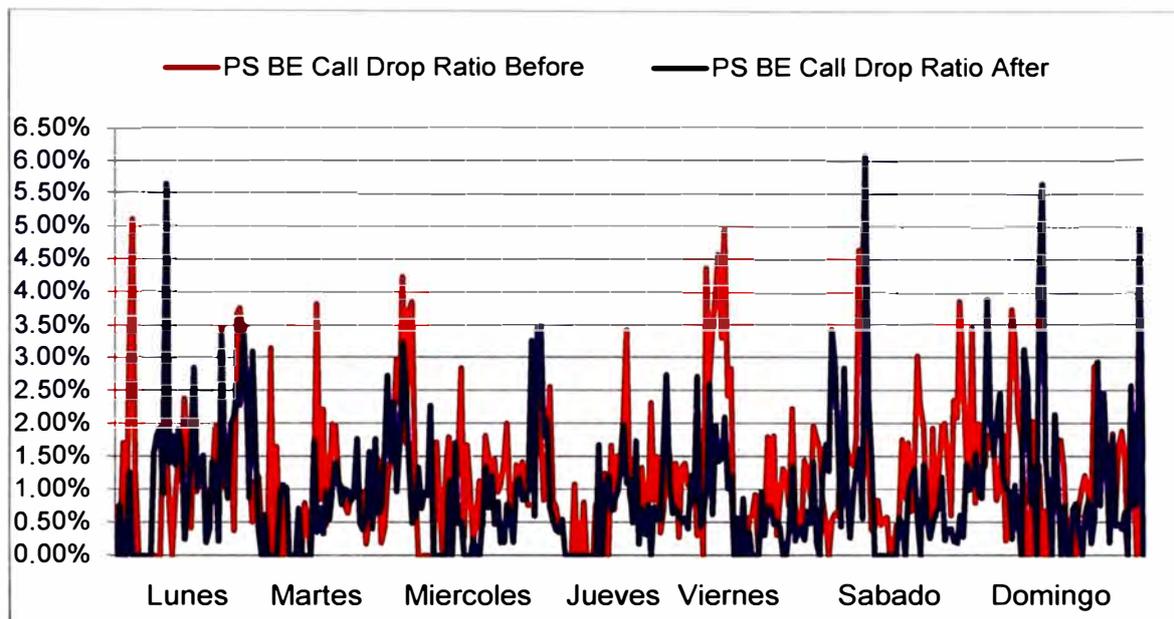


Figura 3.25 KPI de Datos PS BE Call Drop Ratio antes y después de la Solución DAS

En promedio en una semana el KPI PS BE Call Drop Radio en el área de Larcomar antes de la solución DAS era de 1.21% y luego se redujo a 0.96%.

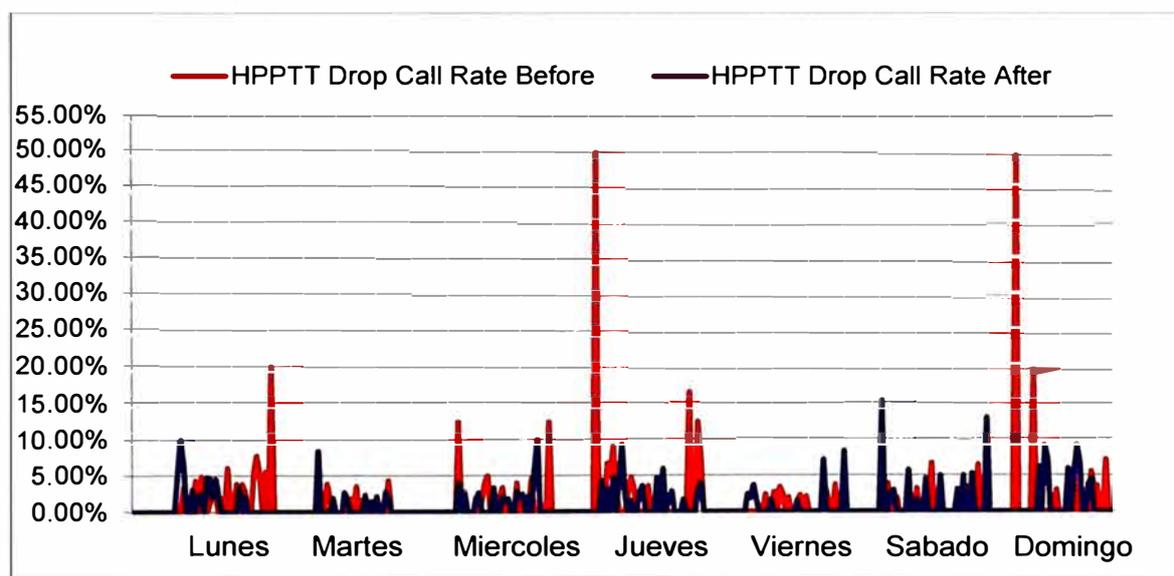


Figura 3.26 KPI de Datos HPTT Drop Call Ratio antes y después de la Solución DAS

El indicador HPPTT Drop Call Ratio antes era de 1.35% y luego paso a ser 1%, optimizándose aproximadamente 26%

CAPÍTULO IV COSTOS Y CRONOGRAMA

El objetivo de este capítulo es entregar información relacionada con los costos del equipamiento que permitirán implementar el sistema distribuido de antenas para el Centro Comercial Larcomar. El operador celular Nextel del Perú es el encargado de dar mantenimiento a la red para implementar la solución propuesta en este informe una vez entregado el proyecto, y los beneficiarios finales serían todos sus usuarios.

Se complementa el capítulo con el diagrama Gantt y la relación de sus fases de implementación.

4.1 Costos

Los materiales equipamiento y costos en dólares son descritos en la tabla siguiente:

Tabla 4.1 Análisis de costos (US dólares) (Fuente: Elab. propia)

	Ítem	Descripción	Un.	Qty	Precio Unitario	Precio Total +IGV (18%)
1	Omnidirectional Ceiling Antenna	Omni Ceiling Antenna, 806~960/1710~2500MHz, N Female	PCS	11	34.10	442.6652
2	Directional Ceiling Antenna	Directional Ceiling Antenna, 806~960/1710~2500MHz, N Female	PCS	6	42.34	299.7436
3	Wall Mount Antenna	Panel Antenna, 806~960/1710~2500MHz, N Female	PCS	21	72.32	1792.184
4	2way Cavity Power Splitter	2way Cavity Power Splitter, 800-2500MHz, maximum power 300W,N-Female	PCS	15	51.51	911.786
5	3way Cavity Power Splitter	3way Cavity Power Splitter, 800-2500MHz,maximum power 300W,N-Female	PCS	0	58.68	0
6	Coupler, 800~2500MHz, 5dB, 200W, N Female	5dB Cavity Coupler,800-2500MHz,maximum power 200W,N-Female	PCS	5	44.80	264.3436
7	6dB Cavity Coupler	6dB Cavity Coupler,800-2500MHz,maximum power 200W,N-Female	PCS	2	57.45	135.5702
8	Coupler, 800~2500MHz, 7dB, 200W, N Female	7dB Cavity Coupler,800-2500MHz,maximum power 200W,N-Female	PCS	6	57.45	406.7106
9	10dB Cavity Coupler	10dB Cavity Coupler,800-2500MHz,maximum power 200W,N-Female	PCS	6	57.74	408.7992
10	15dB Cavity	15dB Cavity Coupler,800-2500MHz,maximum	PCS	3	57.74	204.3996

	Ítem	Descripción	Un.	Qty	Precio Unitario	Precio Total +IGV (18%)
	Coupler	power 200W,N-Female				
11	20dB Cavity Coupler	20dB Cavity Coupler,800-2500MHz,maximum power 200W,N-Female	PCS	2	57.74	136.2664
12	Connector 1/2" Superflex NM	Coaxial Connector,N,50ohm,Straight/Male, for 1/2" superflexible feeder cable	PCS	8	5.29	49.9612
13	Connector 1/2" NM	Coaxial Connector,N,50ohm,Straight/Male,for 1/2 Inch Regular Feeder Cable	PCS	131	8.82	1363.3956
14	Connector 7/8" NM	Coaxial Connector,N,50ohm,Straight/Male,for 7/8 Inch General Feeder Cable	PCS	24	11.76	333.0432
15	Adapter N/F-N/F Straight connector	Coaxial Connector-N-50ohm-Straight-Female-For Cable with N type connector-Dual-female Adapter	PCS	6	3.30	23.3404
16	Adapter N/M-N/F Angle connector	Coaxial Connector,N,50ohm,Angle Adapter,N(male)-N(female)	PCS	4	5.06	23.8832
17	Cable coaxial de 1/2" Superflex.	RF Cable,Copper-clad Aluminium Wire,50ohm,13.5mm,8.7mm,3.55mm,Black,1/2-Inch Superflexible Cable,LSZH,Fire retardant	M	14	3.64	60.1918
18	Cable coaxial 1/2".	Coaxial Cable,Copper-clad Aluminium,50ohm,16mm,13mm,4.8mm,Black,1/2 inch Regular Cable,LSZH,Fire retardant	M	890	3.30	3462.5094
19	Cable coaxial 7/8".	Coaxial Cable,Smooth Copper Tube,50ohm,28mm,22.2mm,9.0mm,Black,7/8 inch General Feeder,LSZH,Fire retardant	M	382	7.41	3341.4886
20	25W Load	25W Load,0-3GHz,maximum power 25W,impedance 50ohm,VSWR≤1.2,N-Male	PCS	3	102.08	361.3632
21	10dB attenuator	10dB attenuator,0-3GHz,maximum 5W,impedance 50ohm,VSWR≤1.2,IN:N-Male,OUT:N-Female	PCS	4	51.51	243.139
Tota l						14 264.784

4.2 Cronograma de trabajos

El diagrama de Gantt de los trabajos realizados en este proyecto son mostrados en las figuras 4.1 y 4.2. Se listan las actividades a continuación

- La fase de adquisición de sitio consta de lo siguiente:
 - Negociación con el propietario.
 - Adquirir el permiso para realizar la inspección.
 - Inspección técnica del sitio.
- La fase de la elaboración del proyecto consta de lo siguiente:
 - Definir los requerimientos de diseño.
 - Diseño y simulación.
 - Enviar el diseño para la aprobación de Nextel.
 - Revisión y aprobación del proyecto por el proveedor.
 - Firma del proyecto.

- La fase de la negociación para iniciar la implementación consta de lo siguiente:
 - Aprobación por Nextel y el propietario.
 - Confirmar el área de trabajo/almacén temporal.
 - Confirmar el acceso y los requerimientos especiales.
 - Confirmar el cronograma con el propietario.
- La fase de la negociación del contrato con el propietario consta de lo siguiente:
 - Confirmación del contrato y términos de pago.
 - Estudio legal del documento.
 - Firma del contrato.
- La fase de la fabricación y envío consta de lo siguiente:
 - Fabricación de materiales.
 - Transporte de materiales por mar.
 - Salida de aduanas.
 - Transporte de los componentes por aire.
 - Salida de aduanas.
- La fase de la implementación consta de lo siguiente:
 - Revisión en sitio para la instalación.
 - Transporte de equipos y materiales.
 - Instalación del Sistema de Antenas Distribuida.
 - Trabajos de Obras Civiles finalizadas.
 - Proveer Datos/Información para la integración del sistema.
 - Instalación e integración del nodoB y el enlace microondas.
 - Pruebas y puesta a punto.
 - Reporte de Implementación, pruebas y puesta a punto.
- La fase de la optimización consta de lo siguiente:
 - Verificación de alerta, Alarma y cualquier otra prueba.
 - Prueba en Campo.
 - Verificación de la prueba de eporte con el estándar y criterio.
 - Resolución de problemas.
 - Optimización.
 - Prueba de verificación.
 - Reporte de optimización.
- La fase de la aceptación y envió a operaciones consta de lo siguiente:
 - Lista de chequeo.
 - Documentación final.
 - Firma de aceptación.

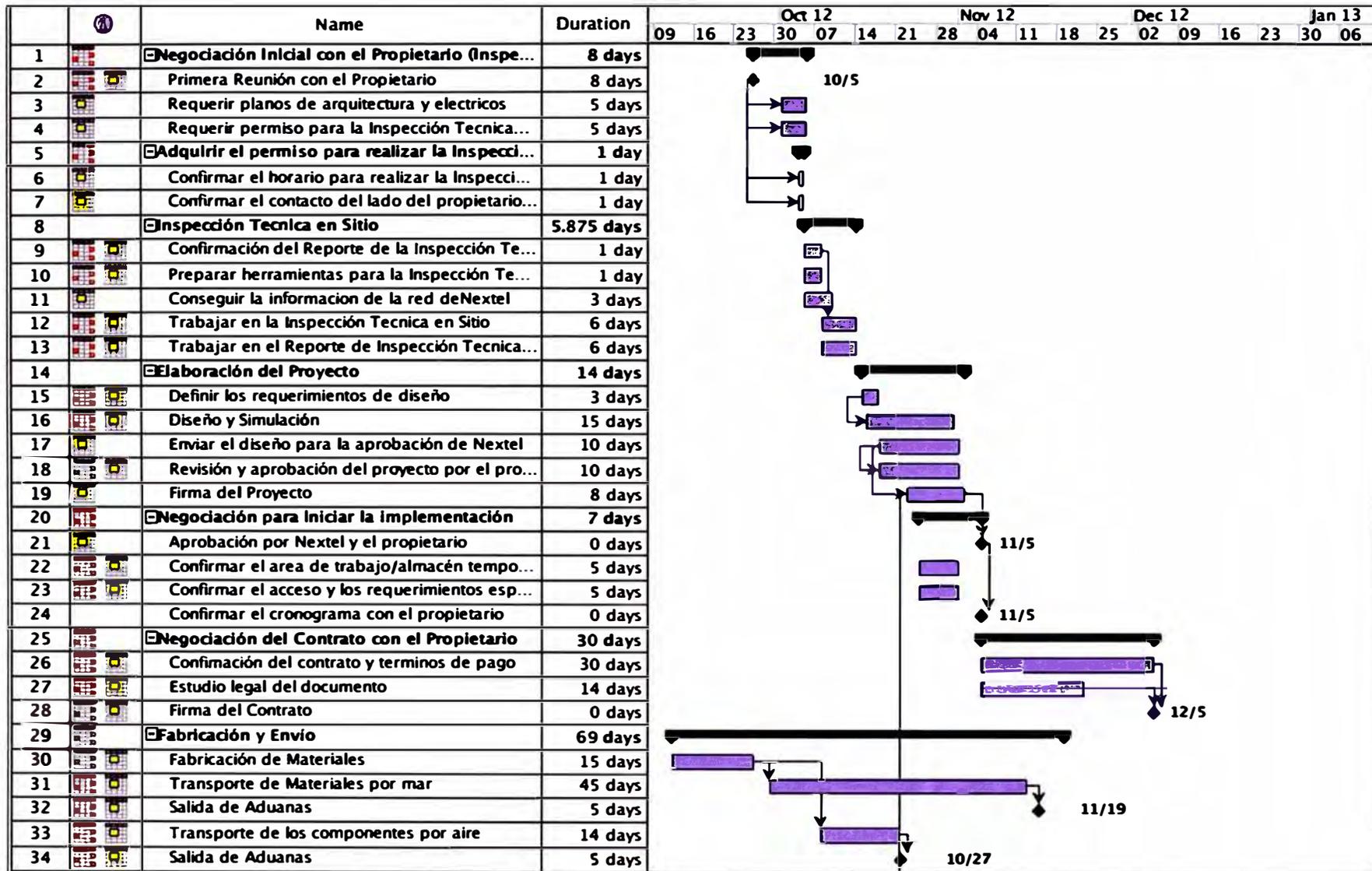


Figura 4.1 Diagrama de Gannt (Elab. propia)

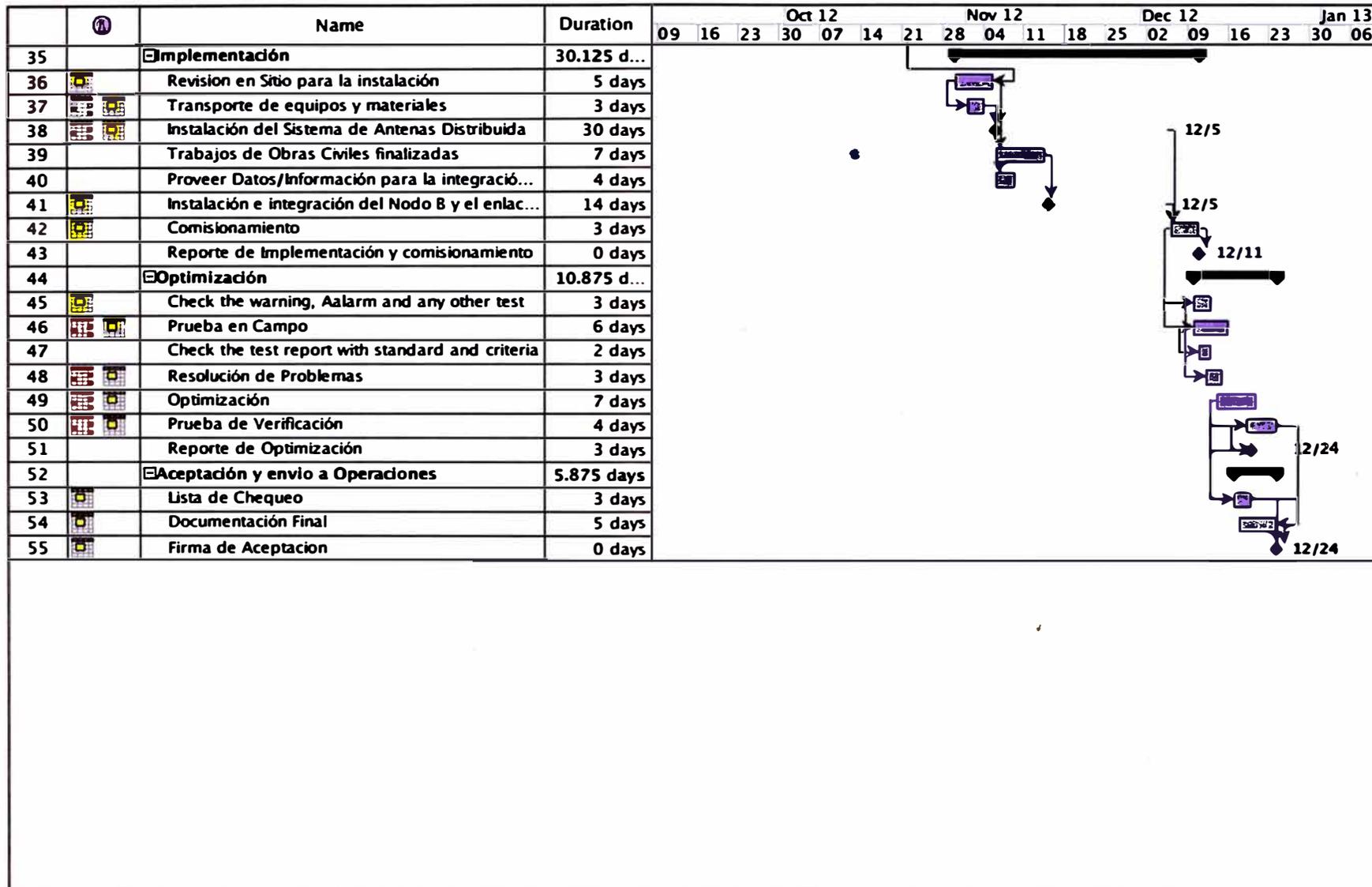


Figura 4.2 Diagrama de Gantt (continuación)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se ha cumplido con el objetivo principal de diseñar una solución efectiva y práctica para garantizar la cobertura celular UMTS en el centro comercial Larcomar de la ciudad de Lima.
2. Uno de los beneficios más relevantes de implementar un DAS es que permiten incrementar el tráfico, ya sea este tráfico nuevo o retenido, además de las ventajas competitivas, sobre todo desde el punto de vista de las estrategias de mercadeo con el fin de atraer más usuarios, ofreciendo mejor cobertura, calidad de servicio y acceso a todos los servicios asociados a UMTS.
3. Con la implementación del DAS propuesto, se garantizaría la continuidad de cobertura y el servicio de la telefonía celular al interior del Centro Comercial Larcomar para uno de los principales operadores del país.
4. El presente documento puede contribuir para el despliegue de sistemas distribuidos de antenas en las diferentes grandes almacenes a nivel nacional ya que se establecen los lineamientos generales para la planificación y diseño de los DAS.
5. Implementar este DAS es una alternativa viable para que los operadores celulares desplieguen su red en sitios en donde la cobertura se encuentra disminuida por motivos de topología, infraestructura o bajo tráfico.
6. Al momento de diseñar la distribución de las antenas, es muy importante tener en cuenta la idea de cómo se va a propagar la señal en el sitio en donde se desplegará el sistema, con esto se busca brindar buenos niveles de señal en el interior de la edificación.
7. Al implementar el diseño propuesto es necesario hacer pruebas de drive test posteriores con el fin de evaluar el óptimo funcionamiento del servicio de telefonía celular al interior de la edificación, además de realizar un correcto ajuste inicial de parámetros de la celda, y también, corroborar el funcionamiento de los handovers entre las celdas cercanas de la red.
8. Como alternativa debido a la envergadura de la edificación también es posible evaluar soluciones de antenas distribuidas con elementos activos, de esta manera se tienen alcances a mayores distancias.

ANEXO A
ESQUEMA DE CONEXIONADO DEL SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDO

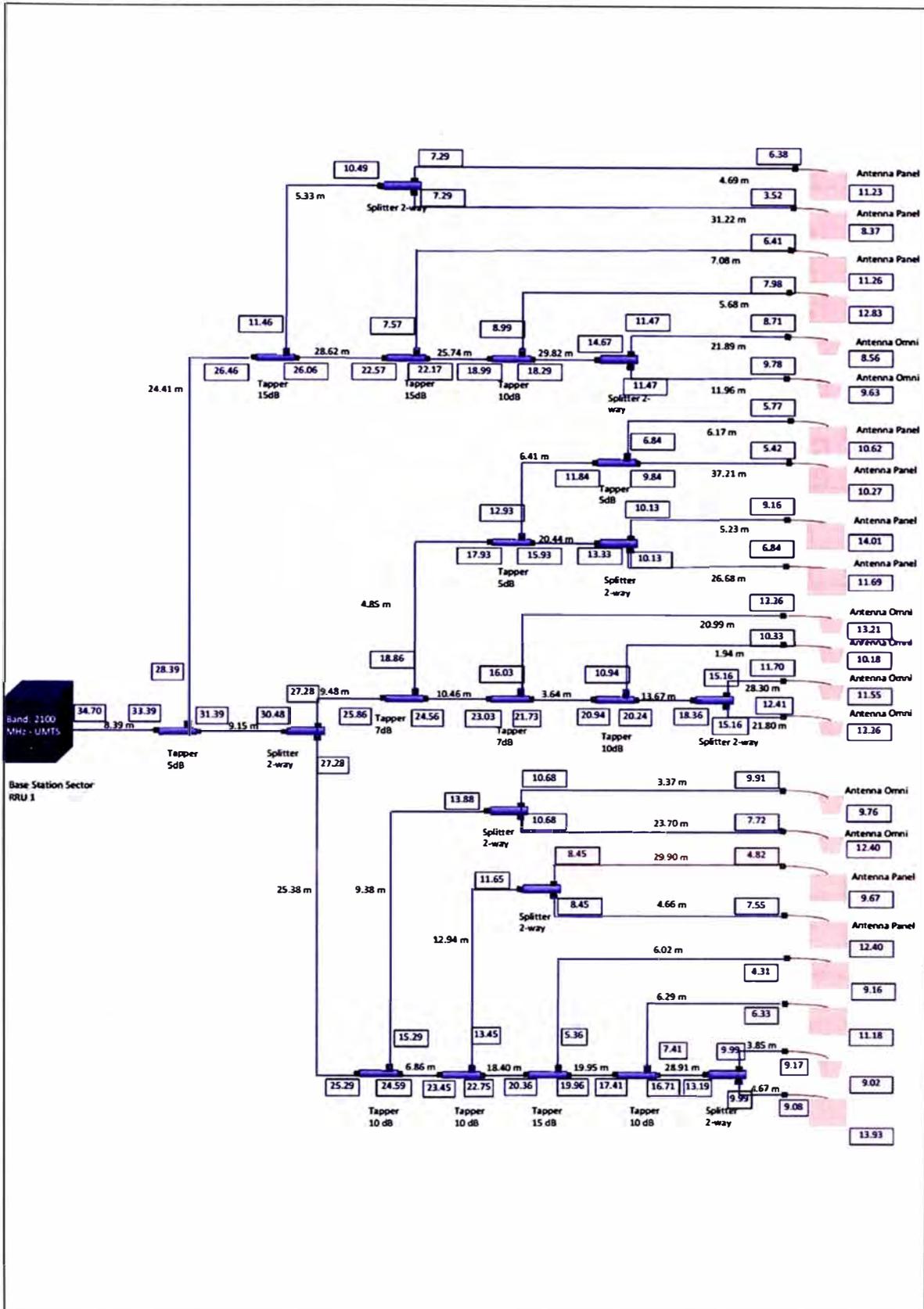


Figura A.1 Distribución de antenas en la primera celda (RRU Norte)

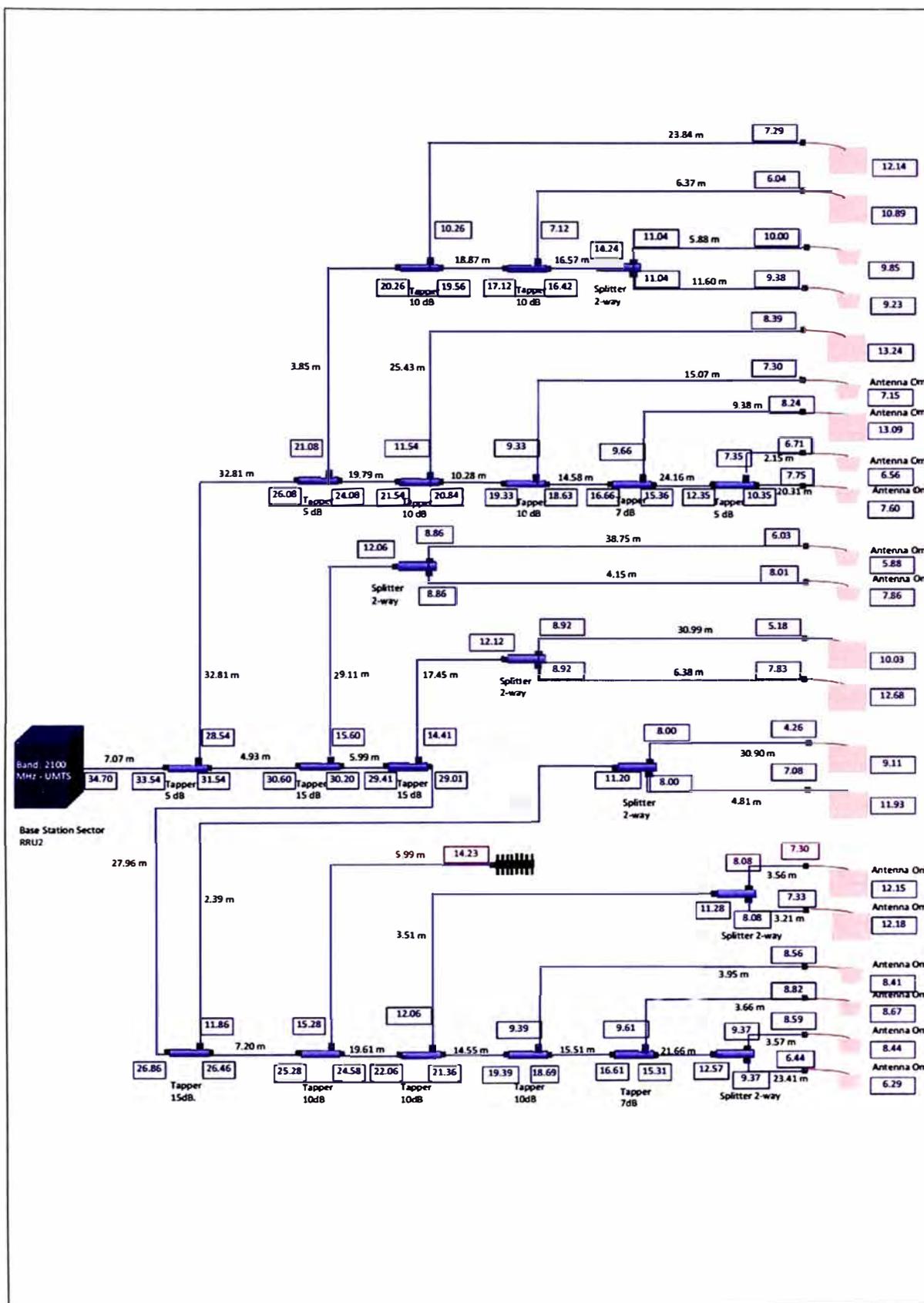


Figura A.2 Distribución de Antenas en la segunda celda (RRU Sur)

ANEXO B
GLOSARIO DE TÉRMINOS

AMPS	Advanced Mobile Phone System
AUC	Authentication Register
BTS	Estación Base Transceptora
BSC	Controlador de la Estación Base
CDMA	Code Division Multiple Access
D-AMPS	Digital Advanced Mobile Phone System
EIR	Equipment Identity Register
GSM	Global System for Mobile Communication
HLR	Home Location Register
NMT	Nordic Mobile Telephony
MS	Estación Móvil
MSC	Centro de Conmutación Móvil
PCS	Personal Communications System
PIM	Intermodulación Pasiva
PSTN	Red de Servicio Público de Telefonía
TACS	Total Access Cellular System
TSS	Technical Site Survey, Supervisión Técnica del Emplazamiento
UMTS	Sistema de Telecomunicación Universal
SNR	Razón Señal a Ruido

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ArquiPeru, "Larcomar", <http://www.arquiperu.com/newsspanish/noticialarcomar.htm>
- [2] CANATUR, "Vistas a Larco Mar". <http://noticias.terra.com.pe/nacional/por-que-larcomar-recibe-mas-turistas-que-machu-picchu,a5e9f818f6b77310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html>
- [3] Michel Mouly and Marie-Bernadette Pautet. The GSM System for Mobile Communications. Published by the authors (ISBN 2-9507190-0-7).
- [4] P. E. Clint Smith and Curt Gervelis. Cellular System Design & Optimization. McGraw-Hill: New York.
- [5] Harri Holma and Antti Toskala (eds). WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications. Wiley: Chichester.
- [6] Jaana Laiho, Achim Wacker and Tomaš Novosad (eds). Radio Network Planning and Optimisation for UMTS, 2nd edn. Wiley: Chichester.
- [7] Harri Holma and Antti Toskala (eds). HSDPA/HSUPA for UMTS, High Speed Radio Access for Mobile Communications. Wiley: Chichester.
- [8] Allan W. Scott, Rex Frobenius. RF Measurements for Cellular Phones and Wireless Data Systems. John Wiley, NJ
- [9] Cotter W. Sayre. Complete Wireless Design. McGraw-Hill, US
- [10] S. R. Saunders and A. Aragon-Zavala. Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, 2nd edn. Wiley: Chichester.
- [11] Yan Zhang, Honglin Hu, Jijun Luo. Distributed antenna systems: open architecture for future wireless communications. Auerbach Publications, Florida
- [12] TelecomHall, "Qué es Ec/Io?". <http://www.telecomhall.com/es/que-es-ecio-y-ebno.aspx>
- [13] Ketterling, Hans-Peter A., "Introduction to Digital Professional Mobile Radio", Artech House, 2004, ISBN 1580531733.
- [14] Morten Tolstrup, "Indoor Radio Planning, A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS and HSPA", John Walley 2008