

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE LA COBERTURA INALÁMBRICA 3G/4G INDOOR DEL
CENTRO COMERCIAL REAL PLAZA PURUCHUCO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PACHECO MENDOZA, JESSICA ELSIE

Villa El Salvador

2020

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud para cumplir mis metas, a mis padres Daniel y Judith por su esfuerzo diario, a mi familia por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios por brindarme salud y permitir cumplir mis metas al lado de mis padres después de un año difícil. A mis padres Daniel y Judith que siempre están junto a mi apoyándome día a día. A mi asesor Mark Clemente por su guía, paciencia, consejos y tiempo durante el desarrollo del trabajo.

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	2
Objetivos del proyecto	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Capítulo I: Marco teórico.....	4
1.1 Bases teóricas.....	4
1.1.1 Espectro radioeléctrico	4
1.1.2 Redes Celulares	4
1.1.3 Evolución y arquitectura 2G/3G/4G	5
1.1.3.1 Segunda Generación	5
1.1.3.2 Arquitectura del sistema GSM	5
1.1.3.2.1 La estación móvil (MS).....	6
1.1.3.2.2 El subsistema estación base (BSS).	6
1.1.3.2.3 El subsistema de conmutación y de red (NSS).....	7
1.1.3.2.4 El subsistema de operación y mantenimiento (MNS).	8
1.1.3.3 Tercera Generación	9
1.1.3.4 Cuarta Generación.....	10
1.1.3.4.1 Las especificaciones 3GPP para LTE.....	10
1.1.4 Definición de parámetros clave de 3G y 4G	11
1.1.5 Soluciones de despliegue de redes indoor	12

1.1.5.1	Sistema Distribuido De Antenas	12
1.1.5.2	Repetidores.....	12
1.1.5.3	Small Cells.....	13
1.2	Estado del Arte.....	13
1.3	Definición de términos básicos	16
2	Desarrollo del proyecto.....	17
2.1	Delimitación del Proyecto	17
2.1.1	Teórica	17
2.1.2	Espacial.....	17
2.1.3	Temporal	17
2.1.4	Geográfica.....	17
2.2	Determinación y análisis del problema	18
2.2.1	Descripción de la realidad problemática.....	18
2.2.2	Planteamiento del problema.....	21
2.2.2.1	Problema general.....	21
2.2.2.2	Problemas específicos.....	21
2.3	Modelo de solución propuesto	22
2.3.1	Análisis de la problemática de cobertura.....	22
2.3.2	Requerimientos de diseño.....	23
2.3.2.1	El TSS (Technical Site Survey).....	23
2.3.2.2	Pruebas de walk test.....	24
2.3.3	Diseño de red.....	25
2.3.3.1	Simulador iBwave	26
2.3.3.2	Procedimiento de simulación	27

2.3.3.3	Resultados de las simulaciones 3G/4G con iBwave	29
2.3.3.4	Implementación de la solución	32
2.4	Resultados de pruebas.....	32
2.5	Análisis de costos.....	35
3	Conclusiones.....	39
4	Recomendaciones	40
5	Referencias.....	41
6	Anexos	43

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 : Subsistema de estación base	6
Figura 2 : Subsistema de red y conmutación.....	8
Figura 3 : Subsistema de Operación y Mantenimiento.....	9
Figura 4 : Arquitectura UMTS	9
Figura 5 : Sistema de Optimizacion indoor IN Building Solution	14
Figura 6: Frontis del Centro Comercial Real Plaza	17
Figura 7 : Mapa del cc Real Plaza 1 er piso	18
Figura 8 : Mapa del cc Real Plaza 2 er piso	19
Figura 9 : Comparativo de estaciones base por operadoras y tecnología	19
Figura 10 : Estaciones vecinas que impactan en el cc Real Plaza	20
Figura 11 : Prueba de llamadas 3G RSCP	20
Figura 12 : Prueba 3G EcNo.....	21
Figura 13 : Diagrama de empalme de fibra óptica.....	25
Figura 14: Sectorización para diseño piso 1 del CC áreas comunes.....	26
Figura 15 : Software iBwave	27
Figura 16 : Configuración de lista de elementos	27
Figura 17: Ubicación de cableado y antena en el piso 1	28
Figura 18 : Esquema unilineal de pisos 1 y 2 sector 1	29
Figura 19 : Simulación RSCP piso 1.....	30
Figura 20 : Simulación RSRP piso 1.....	30
Figura 21 : Simulación SNR piso 1	31
Figura 22 : Predicción de tasa de datos	31
Figura 23: Vista frontal combinador 0	32
Figura 24 : Medición RCSP Piso 1.....	33
Figura 25 : Medición EC/Nos piso 1.....	34
Figura 26 : Tasa de llamada de caídas de voz.....	34
Figura 27 : Medición RSRP LTE piso 1	34
Figura 28 : Medición SNR LTE piso 1.....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Especificaciones 3GPP para UMTS y LTE.....	11
Tabla 2: Cuadro de sectorización para diseño	25
Tabla 3 : KPIS de parámetros 3G	33
Tabla 4 : KPIS de parámetros 4G	33
Tabla 5: Población efectiva del proyecto	36
Tabla 6: Crecimiento de población efectiva para voz	36
Tabla 7: Crecimiento de población efectiva para datos.....	36
Tabla 8 : Consideraciones para las ganancias	37
Tabla 9 : Ganancias del servicio de voz	37
Tabla 10: Ganancias del servicio de datos	37
Tabla 11: Flujo de caja	38

RESUMEN

El siguiente trabajo de suficiencia profesional consiste en realizar el diseño de una red 3G y 4G para el centro comercial Real Plaza Puruchuco recientemente inaugurado, con los objetivos de realizar estudios o pruebas de cobertura que evidencien la necesidad de la ampliación del servicio para realizar un diseño a medida y demanda de la afluencia del centro comercial, que sea viable económicamente. Se utiliza un sistema distribuido de antenas para el desarrollo a fin de cumplir con los parámetros de la red 3G y 4G.

La tesis se divide en dos capítulos, el primer capítulo está compuesto por el marco teórico, estado del arte donde se comparan los diversos antecedentes referidos a la misma solución, y la definición de términos básicos.

El segundo capítulo está compuesto por la metodología del trabajo, la determinación y análisis del problema en el CC Real Plaza con evidencia de pruebas realizadas, un modelo de solución propuesto donde se evidencia la mejora de los parámetros en el centro comercial y la implementación del mismo.

También se realiza un análisis de costos para los diferentes tipos de clientes que visitaran el centro comercial, evidenciando la rentabilidad del proyecto desde el segundo año de la implementación.

INTRODUCCIÓN

La gran y acelerada evolución de la comunicación móvil en la actualidad conlleva la necesidad de tener acceso y conexión a todo tipo de plataformas ya sea para negocio, información y comunicación este desarrollo tecnológico ha hecho posible que muchas personas mejoren su forma de vivir, actualmente la mayoría de las personas se rigen por la necesidad de estar en comunicación constante sin embargo existen zonas en la ciudad de Lima donde hay gran concurrencia humana que aún no cuentan con una cobertura óptima tal es el caso del nuevo Centro Comercial Real Plaza.

El siguiente trabajo explicara de manera breve los conceptos ligados a la telefonía móvil y su evolución, así como los tipos de sistemas utilizados para dar cobertura en interiores. Se planteará un diseño que tiene como objetivo principal brindar una solución de manera eficiente para la cobertura del servicio de telefonía móvil en las tecnologías 3G/4G asegurando la disponibilidad en todo momento, empezamos definiendo cual es la problemática y que mejoras se obtendría en los indicadores, se realizara una medición de cobertura para conocer la situación actual en el Centro Comercial Real Plaza. Después de tener las mediciones se procede con la interpretación y análisis para identificar los problemas de cobertura y baja disponibilidad.

Por último, se procede a diseñar con el software iBwave, con el cual se realiza la simulación de los niveles de cobertura que serán posteriormente medidos y comparados después de la implementación.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

Diseñar una solución que permita dar cobertura inalámbrica móvil 3G y 4G eficiente en el centro comercial Real Plaza Puruchuco.

Objetivos específicos

- Realizar estudios o pruebas de cobertura en el centro comercial que evidencian la necesidad de la ampliación del servicio en el sitio.
- Realizar el diseño de cobertura inalámbrica 3G y 4G a la medida de la demanda para el centro comercial.
- Realizar y validar dimensionamiento técnico-financiero para dar viabilidad a la solución propuesta.

Capítulo I: Marco teórico

1.1 Bases teóricas

1.1.1 Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es utilizado por los sistemas de telecomunicaciones para la transmisión de señales a través del espacio. Esta transmisión se propaga sin una conexión física entre transmisor y receptor que abarca desde frecuencias inferiores a 1KHz hasta aproximadamente 300GHz. El espectro radioeléctrico siendo de propiedad nacional no puede utilizarse libremente por cualquier persona. Deben ser únicas las emisiones de frecuencia y lugar específico ya que interferirían con otros servicios en la misma región.

El organismo que gestiona el espacio radioeléctrico internacionalmente es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), con sede en Ginebra, Suiza; que se encarga del estudio y asignación de las frecuencias en el espectro electromagnético, prácticamente la totalidad de los países del mundo son miembros.

Los principales tipos de servicios de radiocomunicaciones según la Unión Internacional de Telecomunicaciones en las diferentes bandas son los servicios fijos, servicios móviles, radionavegación, radiodifusión, espaciales (Vega, 2007).

A nivel nacional el gobierno de Perú se encarga de administrar, regular el uso ordenado del espectro radioeléctrico.

1.1.2 Redes Celulares

La telefonía móvil es la comunicación por radio más exitosa ya que pueden realizar y recibir llamadas dentro de la cobertura del sistema. En la década de los 50 la compañía AT&T introdujo el concepto celular y se puede decir que a principios de la década de los 80 se conoce tal como hoy son los sistemas celulares. Los sistemas de comunicaciones móviles se pueden clasificar de distintos aspectos: corto o largo alcance, analógicos o digitales, público o privado, bidireccionales o unidireccionales, etc.

Se tratará cuatro generaciones en la evolución de las redes celulares y estas se pueden asociar a la técnica de multiacceso que se utiliza: acceso múltiple por división de frecuencia FDMA, acceso múltiple por división de tiempo TDMA, acceso múltiple por división de código CDMA.

El servicio de telefonía móvil de uso público es prácticamente una extensión del servicio telefónico básico mediante un terminal telefónico portátil que no está asociado a un lugar determinado. Los sistemas celulares se denominan así porque se utiliza el dimensionamiento celular por medio de hexágonos regulares (colmena de abeja) debido a que con esta geometría se consigue mayor eficacia en cuanto a cobertura sin zonas de sombra y solapamiento. La zona de cobertura a la que da servicio una estación base se conoce como "célula"

Las principales características de un sistema celular son:

Gran capacidad de usuarios, utilización eficiente del espectro y amplia cobertura.

En las redes celulares mientras más pequeñas sean las células, mayor será el número de canales que soporte el sistema, por lo tanto, al realizar una planificación se comienza asignando células de gran tamaño y cuando aumenta el número de usuarios, se produce una división celular para aumentar su capacidad. (Huidobro, 2014).

1.1.3 Evolución y arquitectura 2G/3G/4G

1.1.3.1 Segunda Generación

Es el sistema de telefonía móvil más extendido por todo el mundo, este sistema es la base para los futuros sistemas de tercera generación ya que coinciden ambos en la forma de acceso FDD/FDMA/CDMA.

1.1.3.2 Arquitectura del sistema GSM

La arquitectura del sistema GSM se compone de cuatro bloques que engloban el conjunto de elementos de la jerarquía del sistema, en conjunto, ofrecen el servicio de telefonía móvil al usuario final.

1.1.3.2.1 La estación móvil (MS)

La estación móvil se compone del teléfono móvil (MT). La tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) es una tarjeta inteligente que contiene información permanente relativa al abonado del servicio, información temporal de utilidad para el funcionamiento del servicio, así como información introducida por el propio abonado. La tarjeta SIM se ubica en una ranura interna del terminal móvil, las características del terminal móvil son comunicadas al sistema cuando éste es encendido como parte del diálogo inicial con la red. La tarjeta SIM contiene otras informaciones para evitar usos indebidos, el PIN (Personal Identity Number) y el PUK (Personal Unblocking Key). El adaptador de terminal (TA) es el elemento que permite la conexión del terminal móvil con un equipo terminal de datos (TE). En la actualidad el equipo adaptador de terminal para la mayoría de teléfonos móviles está incorporado en el propio teléfono, de forma que la conexión con el equipo terminal de datos se realiza a través del puerto serie o del puerto de infrarrojos.

1.1.3.2.2 El subsistema estación base (BSS)

Este subsistema se compone de estaciones base (BTS) conectadas a una estación controladora de BTSs denominada BSC. Como se muestra en la Figura 1 el subsistema BSS se ubica dentro de la arquitectura GSM entre el interfaz radio Um de interconexión con los terminales móviles y el interfaz A de interconexión con el conmutador de red (MSC).

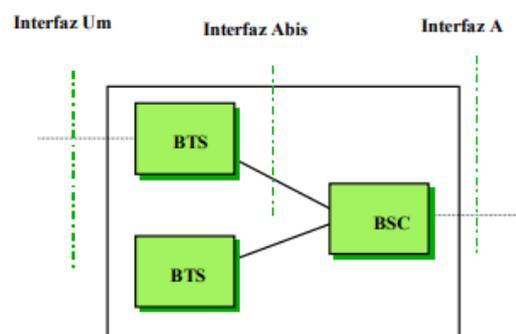


Figura 1 : Subsistema de estación base

Fuente: Comunicaciones Móviles (Gorricho Moreno, M., & Gorricho Moreno, J. L. (2002))

La unidad BTS es la parte del subsistema BSS que realiza las tareas de conformación de la señal a transmitir vía radio y de recuperación de la señal radio en recepción, además del procesado digital de la señal, codificación de canal, entrelazado, etc. Normalmente se ubica en el centro geográfico de la celda y la potencia máxima emitida determina el tamaño absoluto de la celda.

La unidad BSC básicamente asigna y libera los canales radio, así como en la gestión del traspaso de llamada cuando éste se produce entre estaciones base dependientes de la misma BSC. La unidad BSC está conectada por un lado con varias BTS, controlando los recursos de todas ellas, y por otro con un elemento de conmutación MSC (Mobile Switching Center) para el encaminamiento de las llamadas hacia la red. La unidad BSC es el elemento supervisor del mantenimiento de las comunicaciones.

1.1.3.2.3 El subsistema de conmutación y de red (NSS)

El subsistema NSS (Network Switching System) se encarga de conmutación y encaminamiento de las llamadas en el sistema GSM, además gestiona las bases de datos con información relativa de todos los abonados de la operadora, asimismo establece la comunicación entre usuarios móviles mediante una conmutación interna de red ya sea en telefonía fija o móvil del operador u otros operadores. Las funciones de conmutación son realizadas por las centrales de conmutación, en el caso del sistema GSM la unidad es la MSC el cual es el elemento de conmutación interna mientras que la unidad GMSC (Gateway Mobile Switching Center) es el elemento de interconexión con otras redes. La gestión de las bases de datos la realizan el registro central de abonados (HLR) y el registro de posiciones visitante (VLR).

En la Figura 2 se puede observar el encaminamiento cuando se realiza una llamada desde un terminal fijo hacia un usuario GSM, esta llamada se dirige en primer lugar a un conmutador gateway (GMSC) sin el conocimiento de la ubicación del abonado y se encarga de buscar la localización y dirigir la llamada hasta el MSC que da el servicio al terminal móvil; para ello se consulta al HLR que guarda la información relativa a ese terminal móvil. Una vez obtenido el flujo hasta el MSC de destino, se accede al VLR que controla al abonado para iniciar la búsqueda del móvil entre el conjunto de celdas que conforman un área de localización. Finalmente, la llamada

se encamina hacia el abonado de destino a través de la BSC y la BTS que están dando servicio al equipo móvil.

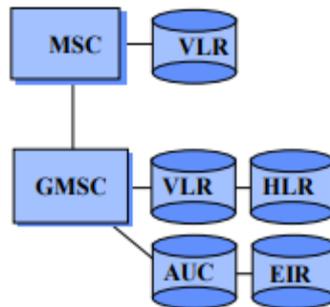


Figura 2 : Subsistema de red y conmutación

Fuente: Comunicaciones Móviles (Gorricho Moreno, M., & Gorricho Moreno, J. L. (2002))

1.1.3.2.4 El subsistema de operación y mantenimiento (MNS)

La operación y mantenimiento se efectúan para conseguir el buen funcionamiento del sistema GSM en conjunto, ya sea solucionando los problemas y fallos que aparezcan o monitorizando para mejorar la configuración de los equipos para un mejor y eficiente rendimiento, esta gestión y mantenimiento se puede realizar local o remotamente. Para redes de gran tamaño por la complejidad de los sistemas de telecomunicación, la gestión remota se convierte en una necesidad.

El Network Management Center (NMC) es responsable de la gestión de toda la red como un conjunto y como se observa en la Figura 3 recibe la información de los equipos que forman la red a través de los OMC (Operation and Maintenance Centers). Como tiene información de toda la red, será el centro encargado de los aspectos que requieran coordinación nacional. También gestiona los aspectos relacionados con la interconexión con otras redes. También es posible controlar las redes regionales desde el NMC por acceso remoto, reduciendo de este modo el coste total de supervisión y mantenimiento de la red. (Gorricho & Gorricho, 2002)

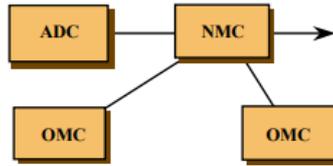


Figura 3 : Subsistema de Operación y Mantenimiento

Fuente: Comunicaciones Móviles (Gorricho Moreno, M., & Gorricho Moreno, J. L. (2002))

1.1.3.3 Tercera Generación

Los servicios del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS, Universal Mobile Telecommunications System) tienen un despliegue comercial global.

Las ventajas de UMTS comprenden mejoras en la calidad y en los servicios, incluido sofisticados servicios multimedia de banda ancha, la portabilidad omnipresente del mismo. Las redes 3G se convierten en una realidad cuando cumplan los estándares de UMTS y ofrezcan una ubicuidad verdadera de la red troncal IP de conmutación de paquetes que permita entregar cualquier servicio de comunicación en cualquier sitio. UMTS también se basa en las tecnologías seleccionadas de W-CDMA.

La red de tercera generación es la necesidad de una red de comunicaciones móviles con mayor velocidad y más servicios, esta tecnología utiliza una red completamente independiente de la red GSM, donde las estaciones donde se ubican las antenas se denominan “nodos B” en lugar de BTS como se muestra en la

. La tecnología 3G se denomina técnicamente UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y, el funcionamiento es muy parecido a GSM.

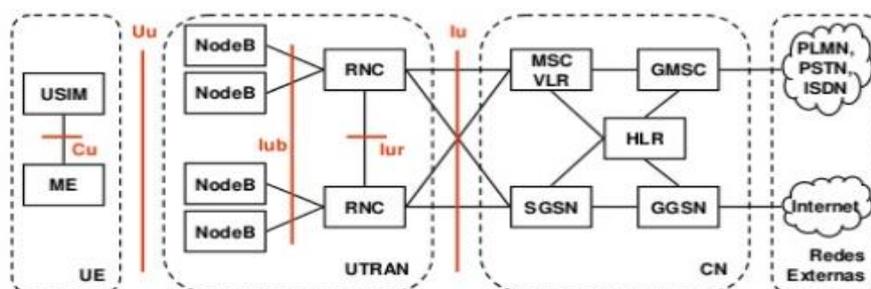


Figura 4 : Arquitectura UMTS

Fuente: Comunicaciones Inalámbricas de banda ancha (Gorricho Moreno, M., & Gorricho Moreno, J. L. (2002))

La red de acceso radio terrestre de UMTS (UTRAN, UMTS Terrestrial Radio Access Network), basada en la tecnología ATM, soporta las interfaces radio del modo dúplex por división en frecuencia (FDD, Frequency División Dúplex) y dúplex por división en tiempo (TDD, Time División Dúplex) para proporcionar flexibilidad, un soporte para una portadora de gran ancho de banda y un uso eficiente del espectro. Las estaciones base de UMTS proporcionarán tasas de datos de hasta 384 Kbps en los casos de movilidad completa y hasta 2 Mbps en los casos de movilidad local. UMTS será un componente clave que permita la convergencia real de las telecomunicaciones, la informática y multimedia en el entorno móvil. Las expectativas apuntan a que las redes UMTS coexistan con las redes mejoradas de GSM por las tecnologías GPRS y/o EDGE. Estos datos móviles se convierten en realidad en forma de servicios inalámbricos cuando la industria tenga éxito en el desarrollo de aplicaciones convincentes para los consumidores y proporcione servicios personalizados fiables y fáciles de utilizar (Regis & Gastaminza, 2003).

1.1.3.4 Cuarta Generación

Originalmente, la ITU pretendía que el término 4G solo se utilizara para sistemas que cumplieran los requisitos específicos y el sistema LTE no lo hizo y tampoco lo hizo Mobile WiMAX 1.0 (IEEE 802.16e). Debido a esto, la comunidad de ingenieros llegó a describir estos sistemas como 3.9G. Así fue como se consideró que había una clara transición técnica en el paso de UMTS a LTE, que no existe en el paso de LTE a LTE-Advanced. En diciembre de 2010, la UIT dio el visto bueno para el uso de 4G para describir no solo LTE y WiMAX 1.0 móvil, sino también cualquier otra tecnología con un mejor rendimiento que a los primeros sistemas 3G.

1.1.3.4.1 Las especificaciones 3GPP para LTE

Las especificaciones para LTE son producidas por el Proyecto de Asociación de Tercera Generación, de la misma forma que las especificaciones para UMTS y GSM. Están organizados en releases (versiones), cada versión tiene un conjunto de características estables y claramente definidas.

El uso de las versiones permite a los fabricantes de equipos construir dispositivos utilizando algunas o todas las características de versiones anteriores, mientras que 3GPP continúa agregando nuevas características al sistema en una versión posterior tal como se muestra en la Tabla 1, las especificaciones avanzan a través

de cada lanzamiento y se pueden añadir nuevas funciones a versiones sucesivas hasta la fecha en que serán lanzados después de lo cual los únicos cambios implican el refinamiento de los detalles técnicos, correcciones y aclaraciones tal como se observa en la tabla o figura donde se enumera las versiones de 3GPP que se ha utilizado desde la introducción de UMTS con la principal característica (Cox,2012).

Lanzamiento	Fecha de lanzamiento	Nuevas características
R99	Marzo 2000	WCDMA interface aire
R4	Marzo 2001	TD-SCDMA interface aire
R5	June 2002	HSDPA, IP subsistema multimedia
R6	Marzo 2005	HSUPA
R7	Diciembre 2007	Mejora para HSPA
R8	Diciembre 2008	LTE, SAE
R9	Diciembre 2009	Mejora para LTE and SAE
R10	Marzo 2011	LTE Avanzado
R11	Septiembre 2012	Mejora para LTE Avanzado

Tabla 1 : Especificaciones 3GPP para UMTS y LTE

Fuente: An introduction to LTE (Cox, C. (2012))

1.1.4 Definición de parámetros clave de 3G y 4G

RSCP: Es la potencia de la señal que se procesara por el móvil, se expresa en dBm.

RSSI: Es la potencia total de la señal, también incluye la interferencia y la señal de las estaciones base cercanas.

EcNO: Parámetro que indica la relación señal ruido, los datos son obtenidos de la relación entre el RSCP y RSSI el cual se opera logaritmicamente, su valor es negativo y expresado en Db el cual refleja un buen valor.

PSC: Es el código de sincronización primario.

PCI: (Physical Cell ID) Parametro donde cada celda está identificada por un valor de PCI, este valor es generado por la sincronización de señales.

Troughput: Es la tasa promedio de éxito en la entrega de un mensaje o el flujo efectivo de transferencia de datos sobre el enlace.

1.1.5 Soluciones de despliegue de redes indoor

1.1.5.1 Sistema Distribuido De Antenas

Los sistemas de antenas distribuidas se han utilizado ampliamente para GSM en los últimos 15 años debido que para UMTS y especialmente para HSPA, los sistemas de antenas distribuidas activas a menudo ofrecen el mejor rendimiento de radioenlace y velocidades de datos más altas. El principal defecto de los sistemas pasivos es las altas pérdidas, degradando el nivel de potencia en los puntos de antena y aumentando el ruido de la estación base en las frecuencias más altas utilizadas para UMTS / HSPA.

UMTS y HSPA pueden realizar una transmisión de datos en alta velocidad, pero solo si la calidad del radioenlace es suficiente, y los sistemas pasivos comprometerán en gran medida el rendimiento. Otro defecto de los DAS pasivos es la falta de supervisión, si un cable está desconectado la estación base no generará ningún voltaje de radio de onda estacionaria (VSWR), debido a la alta pérdida de retorno a través del sistema de antena distribuida pasiva.

Los sistemas pasivos son relativamente fáciles de diseñar; los componentes y los cables son rígidos y sólidos, si se instalan correctamente. Se pueden instalar sistemas de distribución pasiva en entornos realmente duros, instalaciones de producción húmedas y polvorientas, túneles, etc., lugares donde los componentes activos fallarán fácilmente si no se protegen del ambiente hostil.

Los sistemas de distribución pasivo se pueden diseñar para que funcionen a altas velocidades de datos, incluso para interiores (soluciones HSPA) pero solo para edificios relativamente pequeños, proyectos en los que puede diseñar un sistema de distribución pasivas con bajas pérdidas.

1.1.5.2 Repetidores

El sistema de repetidores funciona utilizando la señal del nodo outdoor más cercano, el cual por medio de una antena recibe y amplifica la señal que será enviada al interior del local por un nuevo medio de antenas (onmidireccional y/o direccional); la desventaja es que un sistema repetidor siempre estará limitado por la calidad de

señal o saturación del nodo outdoor, siendo un sistema completamente dependiente.

1.1.5.3 Small Cells

Los small cell son sistemas de corto alcance y de gama corta que están completamente equipados utilizados para zonas residenciales o casas, empresas pequeñas ya que tienen una capacidad limitada y cantidad de usuarios.

Estas van de femtoceldas pequeñas y compactas que utilizan en algunos casos el ancho de banda doméstico hasta las small cell que nos permiten acceder a servicios de voz y dato. Son utilizadas para soluciones indoor debido a su bajo costo y a la fácil implementación (Tolstrup, 2011).

1.2 Estado del Arte

En el trabajo Análisis, diseño e implementación de una red de radiofrecuencia con tecnología GSM y WCDMA con un sistema DAS, en el subsuelo 1 del Edificio de TV Cable para mejorar el servicio de telefonía celular del autor Francisco Paul Herrera Díaz se realizó la implementación del sistema DAS logrando altos niveles de calidad y según percepción de usuario pasando de voz robotizada se obtuvo voz nítida con niveles en 3G de RSCP -75 dBm y ECNO de -9 dB, dicho trabajo es similar a lo que se presenta en este trabajo por la utilización del Sistema de Distribución de Antenas en interiores sin embargo se diferencia con respecto a este trabajo por la utilización una antena panel como antena donadora la cual toma la señal recibida desde la estación servidora y la transmite a través del cable coaxial hasta el elemento amplificador tal como se muestra en la Figura 5. Herrera, F. (2017).

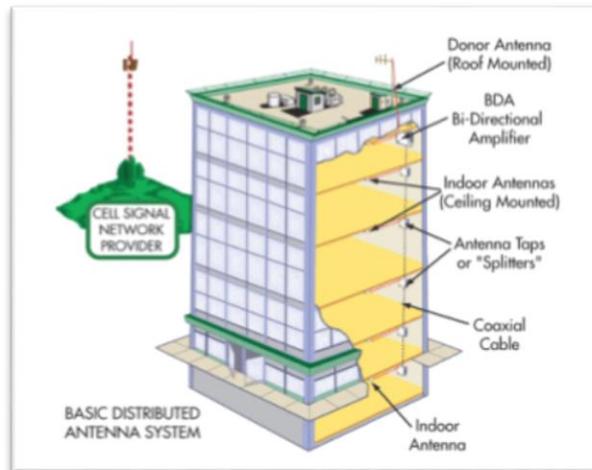


Figura 5 : Sistema de Optimización indoor IN Building Solution

Fuente: Análisis, diseño e implementación de una red de radiofrecuencia con tecnología GSM y WCDMA con un sistema DAS, en el subsuelo 1 del Edificio de TV Cable

En el trabajo Diseño de una red 4G LTE para el Centro Comercial Real Plaza Santa Clara del autor Michael Eduardo Chancasana Cueto se realizó la implementación del sistema DAS para la tecnología LTE con la implementación del arreglo MIMO 2x2 genere velocidades de acceso mayores a 100Mbps lo que se observa en las simulaciones presentadas y se comprueba con las mediciones finales obtenidas luego de instalar el sistema se pueden obtener mayores velocidades si se cambia la transmisión actual de microondas por fibra óptica.

Este trabajo es diferente al presentado ya que al usar la tecnología 4G donde todo el tráfico circula en datos y en caso se requiera llamar o recibir una llamada dentro del establecimiento la red 4G traslada esta llamada a la red 3G o 2G (proceso de CSFB) para que se ejecute ya que al pasar una llamada de 4G a 3G dentro del centro comercial se caería o tendría problemas para ejecutarse debido a los niveles inadecuados de 3G por este inconveniente plantea un diseño 2G/3G/4G. Además, tiene una manera interesante de desarrollar el análisis financiero por lo cual se utilizó en el siguiente proyecto. Chancasana, M. (2015).

En el trabajo Implementación de un Sistema Distribuido de Antenas en ambientes INDOOR para la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro de la autora Carol Milagros Princess Reyes Campos se logró mejorar la disponibilidad del sistema distribuido de antenas que se realizó con efectividad al 100% de las pruebas de llamadas realizadas, dicha presentación tiene una buena

estructura del marco teórico y se utilizó en el presente trabajo agregando la definición de espectro radioeléctrico para una mejor comprensión. Por otro la se diferencia en la Operacionalización de Variables segmentándolos en Indicadores Variable Independiente, Indicadores Variable Dependiente. Reyes, C. (2017).

El trabajo presentado por Aldo Duarte Vera Tudela del Diseño e Implementación de una red RF Indoor en el Hospital de Emergencias Pediátricas para mejora de cobertura 2G/3G luego del post procesamiento de datos tanto para 2G y 3G dejaron en evidencia los niveles bajos de potencia (por debajo a -75 dBm.) existentes, después de la implementación de la red al interior del hospital se realizaron mediciones comprobándose que los objetivos propuestos, como el alcanzar una potencia de recepción mayor a - 75dBm. en un 95% del área a cubrir, se cumplió a cabalidad, este trabajo es bastante similar en el medio de transmisión ya que la señal proveniente de la red principal del operador llegará a una BBU por medio de fibra óptica, esta señal necesita ser rectificadas para corregir las degradaciones de la señal óptica durante su transporte sin embargo es diferente en el procesamiento de las mediciones de ya que estas se hacen con el Nemo Outdoor que es un software que permite trabajar con los archivos generados con el Nemo Handy (equipo con el cual realizo pruebas) permite ver a detalle los resultados de la medición y exportar los gráficos del Nemo Handy a formatos compatibles con otros programas. Vera, A. (2013).

El trabajo presentado por Gutierrez Salinas y Rivera Cardenas sobre el Diseño de un Sistema Distribuido de Antenas para la Optimización de cobertura en la Estación Central del Metropolitano donde presenta dos diseños para la solución de cobertura, el primer diseño con antenas omnidireccional y el segundo diseño con antena panel y con ambos diseños pudieron conseguir optimizar la cobertura móvil Indoor con lo que se concluye que una implementación de este tipo si resulta viable esta estructura interesante se utilizó en el presente trabajo ya que se combinó ambas antenas para obtener un mejor resultado para esta simulación también se uso el programa iBwave sin embargo también es diferente ya que los sistemas se realizaron para dos diferentes operadoras, y el trabajo a presentar solo opera con America Movil. Gutiérrez, A. & Rivera, J. (2015).

1.3 Definición de términos básicos

UIT (UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES): Organismo especializado en telecomunicaciones se encarga del estudio y asignación de las frecuencias en el espectro electromagnético

GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE): Sistema estándar de telefonía móvil digital.

GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE): Basado en el sistema GSM de transmisión de voz.

LTE (LONG TERM EVOLUTION): Conocida también como la 4ta generación móvil. Estándar de la norma 3GPP.

UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM): Tecnología utilizada para la 3ra generación.

EDGE (ENHANCED DATA RATES FOR GSM EVOLUTION): Tecnología de telefonía celular, Puente entre las redes 2G y 3G, considerada evolución del GPRS.

WCDMA (WIDEBAND CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS): Basada en varios estándares de telefonía móvil de 3ra Generación

E-UTRAN (EVOLVED UNIVERSAL TERRESTRIAL RADIO ACCESS NETWORK): Sistema celular evolución de UTRAN para LTE.

FDD (FREQUENCY DIVISION DUPLEXING): El transmisor y receptor operan a diferentes canales.

TDD (TIME DIVISION DUPLEXING): Técnica que permite convertir un canal simple en un canal doble, separando señales enviadas y recibidas usando el mismo canal.

ENB (ENHANCED NODE B): Hace referencia a un nodo 3G pero mejorado para LTE.

TDM (TIME DIVISION MULTIPLEXING): Técnica que permite la transmisión de señales digitales a través de ocupar un canal de transmisión a distintas fuentes.

MME (MOBILITY MANAGEMENT ENTITY): Es la llave de control del nodo para el acceso a la red LTE 77 SGW (Serving Gateway). Envía paquetes de datos de usuario e interactúa entre el UE y el eNB.

DAS (DISTRIBUTION ANTENNA SYSTEM): Sistema pasivo de antenas que se utilizan en interiores.

2 Desarrollo del proyecto

2.1 Delimitación del Proyecto

2.1.1 Teórica

El trabajo se basa en las comunicaciones inalámbricas que utilizan el espectro electromagnético a través del espacio.

Se utiliza la tecnología 3G y 4G para el diseño de coberturas en las zonas donde se realizó la medición.

El simulador IBwave permite simulaciones de cobertura y principales KPIs.

2.1.2 Espacial

Las pruebas se realizaron en los pisos 1 y 2 del centro comercial Real Plaza Puruchuco.

Las simulaciones en las oficinas de Claro (Av Nicolas Arriola, La Victoria)

2.1.3 Temporal

El trabajo fue realizado entre los meses de Octubre del 2019 al Febrero del 2020.

2.1.4 Geográfica

Distrito de Ate, Lima, Peru



Figura 6: Frontis del Centro Comercial Real Plaza

Fuente: Peru-Retail (2019).

2.2 Determinación y análisis del problema

2.2.1 Descripción de la realidad problemática

Real Plaza es una cadena de centros comerciales que opera en 13 ciudades del Perú. Junto a Plaza Center, es una de las dos marcas que opera InRetail Shopping Malls, subsidiaria del conglomerado peruano Intercorp.

El centro comercial Real Plaza Puruchuco inaugurado en noviembre de 2019 en el distrito de Ate cuenta con más de 125 mil metros cuadrados de superficie comercial y tiene instaladas tres tiendas por departamento (Oeschle, Ripley y Saga Falabella), dos hipermercados (Plaza Vea y Tottus), una tienda de mejoramiento del hogar (Sodimac), una tienda fast fashion (H&M), 14 salas de cine (Cineplanet) y un gimnasio Smart Fit, tal como se observa en la Figura 7 y Figura 8.



Figura 7 : Mapa del cc Real Plaza 1 er piso

Fuente: Datos obtenido en campo

Cabe precisar que el centro comercial proyecta captar alrededor de 2 millones de visitas mensuales, lo que podría traducirse en una proyección de 1.200 millones de soles en ventas en el primer año de funcionamiento, dentro de 375,000 hogares en su zona de influencia en los distritos de Ate, Santa Anita, La Molina y Santa Clara. Los niveles socioeconómicos que se dirige a la Real Plaza Puruchuco está enfocados en el NSE A (9%), NSE B (28%), NSE C (41%) y NSE D (22%). También se estima que el gasto promedio en el mall ronde los S/ 127. Peru-Retail (2019).



Figura 8 : Mapa del cc Real Plaza 2 er piso

Fuente: Datos obtenidos en campo

En la Figura 9 se muestra una comparativa de estaciones base por operadoras y tecnología donde se verifica que en el distrito de Ate donde se ubica el CC, Entel cuenta con la mayor cantidad de estaciones base liderando capacidad y cobertura en las diferentes tecnologías lo que podría significar poca cobertura en la ubicación del nuevo local.

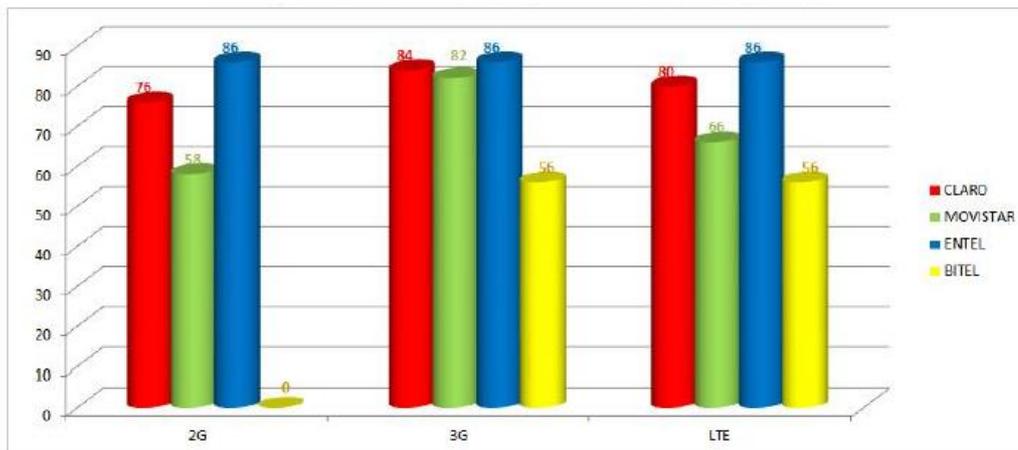


Figura 9 : Comparativo de estaciones base por operadoras y tecnología

Fuente: Elaboración propia

Analizando la ubicación del CC por la Figura 10 de Google Maps, se detalla las estaciones base del operador Claro cercanas al centro comercial. Se puede observar que existen 6 estaciones base a una distancia promedio del 350 mts que se encuentra en el rango de distancia permisible. Considerando los edificios que se construirán debido al auge del CC Real Plaza y para prevenir futuros inconvenientes ya que no suministraría de manera eficiente y optima la señal.



Figura 10 : Estaciones vecinas que impactan en el cc Real Plaza

Fuente: Elaboración Propia en software Google Earth

Debido a quejas señaladas en zona y para confirmar lo anteriormente descrito, se realizaron pruebas de llamadas con celulares alrededor de las áreas delimitadas obteniendo que el 63% de los valores están por debajo de -85 dBm, el cual se encuentra fuera del rango del valor permitido que es RSCP \geq -75 dBm. Eso nos indica riesgo de caída de llamada y baja calidad de señal tal como se muestra en la Figura 11.

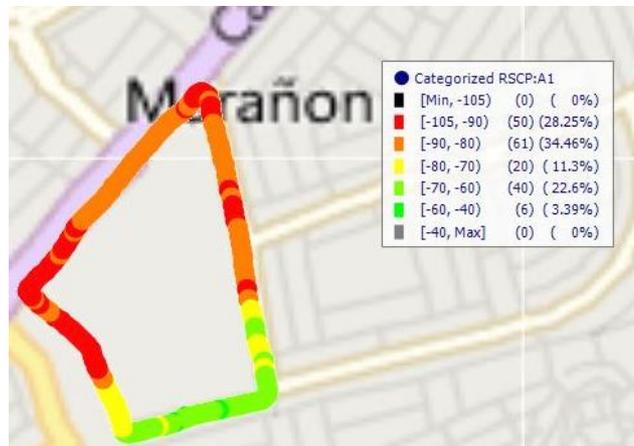


Figura 11 : Prueba de llamadas 3G RSCP

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado en la Figura 12 se muestra el parámetro EC/NO se muestra que más del 60% de los valores se encuentran fuera del rango del valor permitido que es ECNO \geq -8. Significa que existen niveles altos de ruido el cual afectara la calidad de la señal o provocaría la caída de llamada.

Se podría deducir que alrededor existe estaciones base que fueron diseñadas para la demanda externa, pero esta no para zonas de alta afluencia que se encuentran en partes bajas (pisos iniciales, patios de comida, sotanos, etc).



Figura 12 : Prueba 3G EcNo

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Planteamiento del problema

La apertura del centro comercial Real Plaza Puruchuco provoca cobertura inalámbrica deficiente de las bandas 1900 MHz de 3G y 2600 MHz de 4G en la zona en mención.

2.2.2.1 Problema general

Falta cobertura inalámbrica produce baja o escasa calidad del servicio móvil 3G y 4G en el centro comercial en mención.

2.2.2.2 Problemas específicos

Falta de estudios o pruebas de cobertura en el centro comercial que evidencian la necesidad de la ampliación del servicio en el sitio.

Falta de diseño de cobertura inalámbrica 3G y 4G a la medida de la demanda para el centro comercial.

Falta de dimensionamiento técnico-financiero para dar viabilidad a la solución propuesta.

2.3 Modelo de solución propuesto

Para el desarrollo del diseño se realizó los siguientes pasos a fin de tener un orden establecido y asegurar el cumplimiento de todos los puntos:

- Coordinar con el área administrativa y de seguridad del centro comercial para una visita guiada por las áreas comunes y realizar el TSS (technical site survey).
- Tomar medidas de KPI para 3G y 4G: esto se hace con una llamada normal desde el centro comercial para registrar los niveles de cobertura mediante un software GN Track Lite instalado previamente en el móvil.
- Cuando ya se tiene todos los KPIS se debe procesar los archivos obtenidos a fin de analizar los niveles de cobertura para el diseño.
- Con la información procesada se evalúan las zonas donde no se tiene cobertura dentro del centro comercial y las cuales se podrían mejorar.

2.3.1 Análisis de la problemática de cobertura

Para realizar un diseño de red móvil se tiene que considerar la cobertura que se brindara y que soporte el tráfico planteado, una red optima consigue los altos niveles de disponibilidad tanto en cobertura como en tráfico. Debido a la demanda de la actualidad donde se requiere mayores velocidades de internet móvil se ha vuelto mucho más difícil el diseño de una red outdoor.

- Cobertura: Se debe considerar los factores tecnológicos y externos, como la morfología de la zona o área, estos factores son debidos al auge inmobiliario del país y de acuerdo al crecimiento económico. La implementación de un nuevo centro comercial atrae edificios de gran altura, posibles puentes para para el ordenamiento de tráfico, y casas de aproximadamente 4 pisos, estos cambios generaran obstáculos para la red celular.
- Tráfico: Debido al crecimiento demográfico donde se concentran mayor población en menor área, dispondrá a que el tráfico solicitado se concentre en dichas áreas. Los establecimientos como centros comerciales, estadios, estaciones de tren, aeropuertos, discotecas, etc., por el alto número de personas quienes consumen la

mayoría del tráfico, la solución a este problema sería aumentar las estaciones base haciendo que el área de cobertura se acorte, esta solución además de tener un sistema de planificación muy largo, no es bien visto por la sociedad ya que el tener el concepto erróneo de cómo funciona la radiación asumen que se encuentran en peligro sin permitir que las operadoras aumenten estaciones. Por tal motivo se consideró el desarrollo del DAS.

2.3.2 Requerimientos de diseño

Para desarrollar el diseño se requiere de mayor información sobre el local donde se implementará la solución indoor, se detallan los procedimientos de la siguiente manera:

2.3.2.1 El TSS (Technical Site Survey)

Es una técnica que consiste en una visita al local donde se implementara el diseño por parte del ingeniero planificador con la finalidad de reconocer las principales características del lugar y recopilar información para ejecutar el diseño.

La visita se coordinará y se solicitará la asistencia de algún administrador del establecimiento que pueda absolver dudas y guiar por todo el centro comercial.

En esta visita se recomienda tomar fotos de referencia para registrar la información posteriormente.

En el TSS se debe verificar las siguientes variables:

- Tipo de material de las divisiones (puertas, ventanas, paredes, elevadores, escaleras, etc.)
- Dimensiones de infraestructura (alturas, áreas, dimensiones reales, proyecciones, etc.). Esto se puede realizar con algún instrumento de medición como winchas.
- Ubicación del cuarto de equipos, data center o posibles lugares que permitan la instalación de los equipos principales como nodo y el cuadro de energía.
- Infraestructura de cableado (bandejas de cableado, montantes, falso techo, falso piso, tuberías, etc.) existente que se pueda usar para el diseño, esta información permitirá guiarnos por donde se podrá o no instalar el cableado.
- Posible ubicación de las antenas: se busca lugares tentativos para la ubicación de las antenas considerando esquinas, columnas, vigas u otros.

- Toda la información obtenida se deberá ubicar en el plano del centro comercial, que servirá para realizar las simulaciones de cobertura.

2.3.2.2 Pruebas de walk test

Es un procedimiento de toma de medidas que consiste en verificar la funcionalidad y calidad de la red celular en 2G/3G/4G. Esta prueba se realiza caminando a través de toda la zona donde se implementará la nueva solución indoor, ya que para los sistemas outdoor el procedimiento de toma de medidas o drive test se realiza con un automóvil en las zonas aledañas a la antena.

Para el caso del CC Real Plaza se utilizó los siguientes materiales en las pruebas del walk test:

- GN Track Lite: Es un software de toma de medidas que se puede instalar en un dispositivo móvil con sistema operativo Android. Este software soporta las tecnologías GSM, CDMA, WCDMA, HSPA y LTE; permite tomar medidas de rendimiento y visualizarlos en tiempo real por todo el establecimiento. La principal ventaja es facilitar las pruebas ya que no se tiene que movilizar una laptop o equipo especial pesado que contenga el software. El aplicativo permite cargar automáticamente el mapa con el uso del GPS y empezar la llamada a un número celular antes configurado. Posteriormente comienza la toma de medidas y mientras se avanza en el camino el GPS registra en el mapa los parámetros medidos. Al terminar la prueba se tiene la opción de guardar las medidas en un archivo o log.

- Dispositivos móviles: Se requiere dos celulares para las siguientes pruebas:

Móvil de prueba: tiene instalado el software mencionado, realiza la llamada al segundo móvil y efectúa la toma de parámetros o medidas.

Móvil receptor: recibe la llamada y espera hasta que termine la prueba.

2.3.3 Diseño de red

El medio de transmisión será fibra óptica, tal como se observa en la Figura 13 se instalará un router en la estación, la señal que llega es desde una mufa en un poste HFC, esta señal llega al sótano en el cuarto de comunicaciones donde se instalara la panduit y el router, dicha señal llegara a la Base Band Unit (BBU) que la procesa en banda base para luego pasarla al Remote Radio Unit (RRU) que la amplifica y la modula a la banda elegida; además, brinda la potencia que será distribuida por los elementos pasivos hacia las antenas.

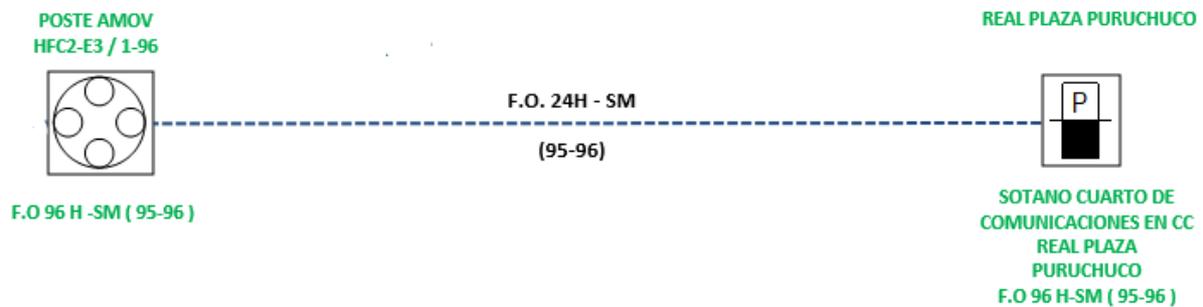


Figura 13 : Diagrama de empalme de fibra óptica
Fuente: Elaboración propia

Se busca cubrir las áreas comunes para el proyecto dividiéndolas por sectores, se presenta la reasignación en la Tabla 2, esto se debe a que por RRU tanto la potencia (43-49dBm máximo) como la capacidad es limitada y al querer cubrir todo un centro comercial con un sólo equipo involucraría tener zonas sin cobertura y de baja capacidad.

		Asignación Sectores
PISO 1 / ÁREAS COMUNES	SECTOR 1	2 SECTORES
PISO 1 / ÁREAS COMUNES	SECTOR 2	
		Asignación Sectores
PISO 2 / ÁREAS COMUNES	SECTOR 1	3 SECTORES
PISO 2 / ÁREAS COMUNES	SECTOR 2	
PISO 2 / ÁREAS COMUNES	SECTOR 3	

Tabla 2: Cuadro de sectorización para diseño
Fuente: Elaboración propia

Tal como se indica anteriormente se realiza una planimetría para dividir por sectores ambos pisos y mejorar la distribución de elementos de acuerdo a la capacidad de cada uno, para esto se considera el aforo máximo permitido por cada piso en el CC Real Plaza Puruchuco, como ejemplo se tiene el piso 1 en la Figura 14.

PISO 1

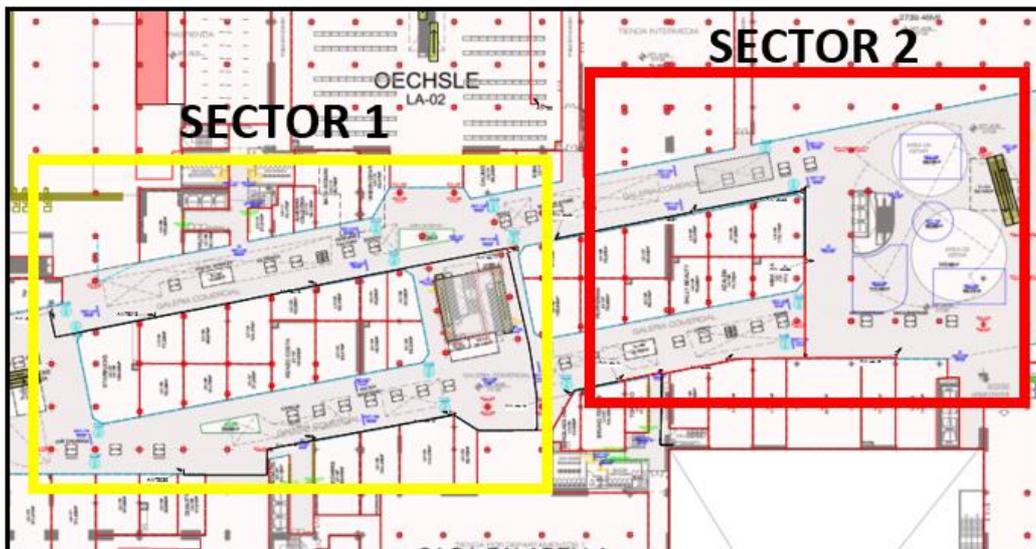


Figura 14: Sectorización para diseño piso 1 del CC áreas comunes

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.1 Simulador iBwave

El simulador iBwave es utilizado para que se pueda diseñar, importando los planos de pisos o planta directamente al programa, además se tiene una base de 35.000 piezas para realizar las simulaciones y una red en 3D avanzado para verificar la cobertura y capacidad.

También es utilizado para simular el rendimiento de la red y verificar que la cobertura, el rendimiento y la capacidad cumplan con los requisitos del proveedor, se visualiza la predicción de la intensidad de la señal en tiempo real mientras se diseña para poder realizar cambios y ahorrar tiempo, del software se puede excluir las zonas de predicción a solicitud del proveedor tal como se muestra una imagen del simulador en la Figura 15.

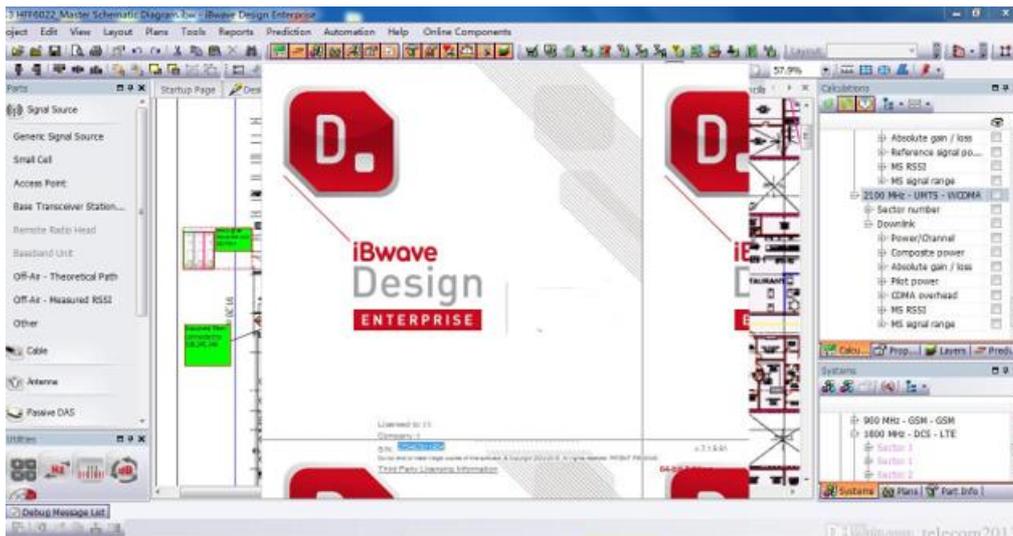


Figura 15 : Software iBwave

Fuente: Tomado del software iBwave

El motor de análisis de capacidad permite el uso de la red de tecnologías múltiples. Permite el diseño de redes WiFi. Puede generar reportes de materiales, presupuestos de enlace, campo magnético, diagrama unifilar de las estaciones, etc.

2.3.3.2 Procedimiento de simulación

Se realiza la instalación del software con las respectivas licencias, se añade el archivo que contiene la lista de los componentes a utilizar, los elementos pasivos son actualizados tal y como se muestra la Figura 16, asimismo en el Anexo 1 se muestra del Datasheet de los equipos utilizados en el trabajo.

Type	Creator	Category	Subcategory	Manuf...	Model	Description	Inventory #	Lat
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	APXV18-20...	15.1dB Gal...	20	
Antenna	iBwave Solu...	Antenna	SISO-Direct...	RFS	APXV18-20...	Optimizer@...	20	
Antenna	iBwave Solu...	Antenna	SISO-Direct...	RFS	APXV18-20...	Optimizer@...	20	
Antenna	Alcatel-Lucent	Antenna	SISO-Direct...	RFS	APXV18-27...	Optimizer@...	20	
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATB1-790...	Indoor/Out...	20	
Antenna	iBwave Solu...	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATD1-698...	Indoor Dire...	20	
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATD1-698...	Indoor/Out...	20	
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP1-380...	Indoor Pan...	20	
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP1-698...	Indoor Pan...	20	
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP1-698...	Indoor Pan...	20	
Antenna	Alcatel-Lucent	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP1-698...	Indoor Pan...	20	
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP1-600...	Indoor Pan...	20	
Antenna	Alcatel-Lucent	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP1-800...	Indoor Pan...	20	
Antenna	iBwave Solu...	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP2-800...	Indoor Pan...	20	
Antenna	RFS	Antenna	SISO-Direct...	RFS	1-ATP2-800...	Indoor Pan...	20	
Antenna	iBwave Solu...	Antenna	SISO-Direct...	RFS	T-ASD1-824...	Tunnel Heli...	20	
Antenna	iBwave Solu...	Antenna	SISO-Omn...	RFS	1-ATO1-240...	Antenna for...	20	

Figura 16 : Configuración de lista de elementos

Fuente: Elaboración propia tomada del iBwave

Con la lista completa generamos el nombre del proyecto y se cargan los planos de los pisos para poder elegir los materiales que fueron verificados en el TSS validando con las respectivas tomas fotográficas del lugar. En el diseño se tomó en cuenta el balance de potencia para cada antena a fin de facilitar en un futuro realizar alguna reasignación de potencias y las antenas mantengan su uniformidad. Se realiza una distribución de antenas donde se considera el primero 3G y 4G la técnica SISO y para el 4G la técnica MIMO ya que al tener dos sistemas de comunicación como 3G y 4G es multitecnología y adaptable, como anteriormente se mencionó el 3G.

El piso 1 es alimentado por dos sectores ramificados ubicados en el piso 2 que también brindara cobertura a dicho piso, se utilizó las mismas ubicaciones de antenas y en algunos casos se cambió la ruta del cableado debido a que no tenía la misma ubicación.



Figura 17: Ubicación de cableado y antena en el piso 1

Fuente: Elaboración propia tomado del iBwave

En la señal Indoor se utilizó antenas panel para poder controlar las fugas de señal, y las antenas omnidireccionales en lugares céntricos de los pisos de CC ya que presentan la mayoría de espacios céntricos en gran parte del área, también se tiene que verificar las zonas cercanas a bordes de ventana donde se direcciona la cobertura a los pasadizos para evitar que la propagación de señal se extienda al exterior. En la Figura 18 se puede apreciar el diagrama unifilar de cada sector por piso con la distribución de antenas, combinador y couplers asignados en el cableado, este diagrama nos permite visualizar mejor la distribución de antenas.

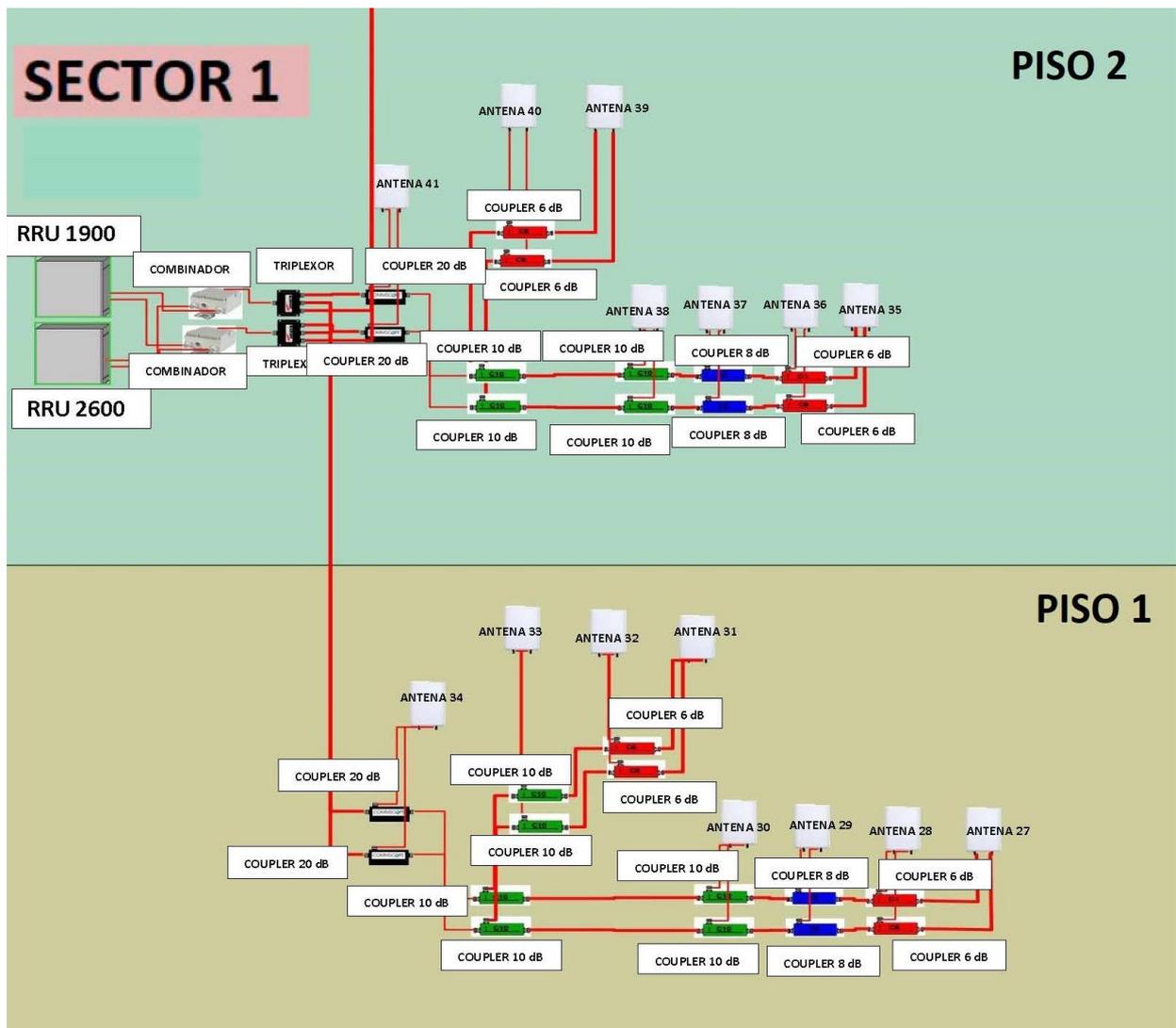


Figura 18 : Esquema unilineal de pisos 1 y 2 sector 1

Fuente: Elaboración propia tomado del iBwave

2.3.3.3 Resultados de las simulaciones 3G/4G con iBwave

Se muestran las simulaciones del proyecto, se debe recordar que la zona que cubrirá el proyecto son las áreas comunes, como se indicó anteriormente se tuvo quejas en dichas zonas:

Se verifica que para el RSCP se obtienen niveles mayores a -75dBm tal como se muestra en la Figura 19 lo que significa que tiene una buena calidad la potencia recibida por el móvil.

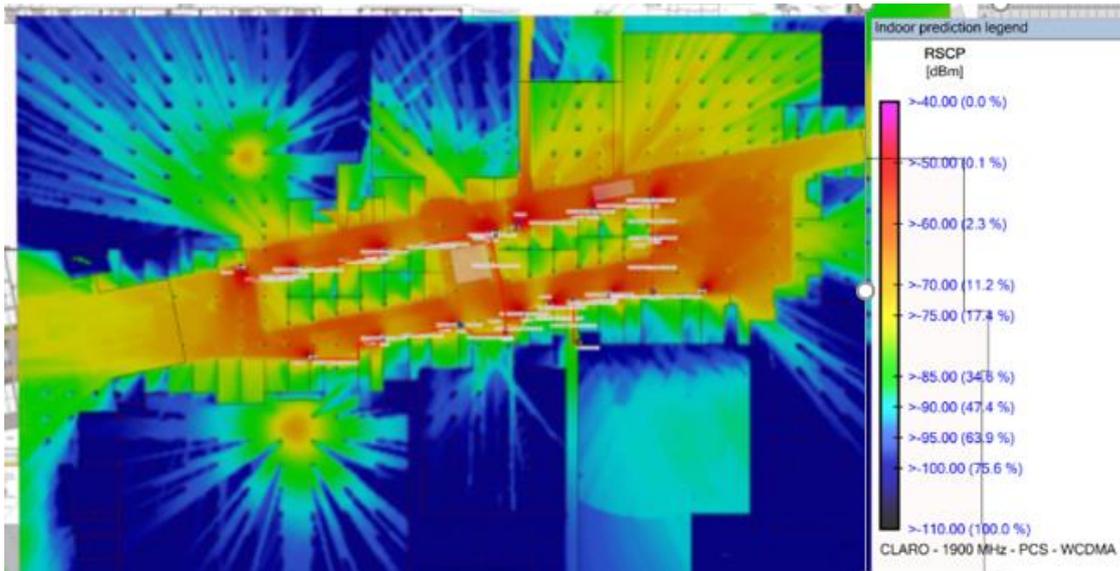


Figura 19 : Simulación RSCP piso 1

Fuente: Elaboración propia tomado de IBwave

Para el RSRP en LTE se muestra la predicción según la Figura 20 donde se obtienen niveles mayores a -100dBm lo que significa que tiene una buena calidad la potencia LTE.

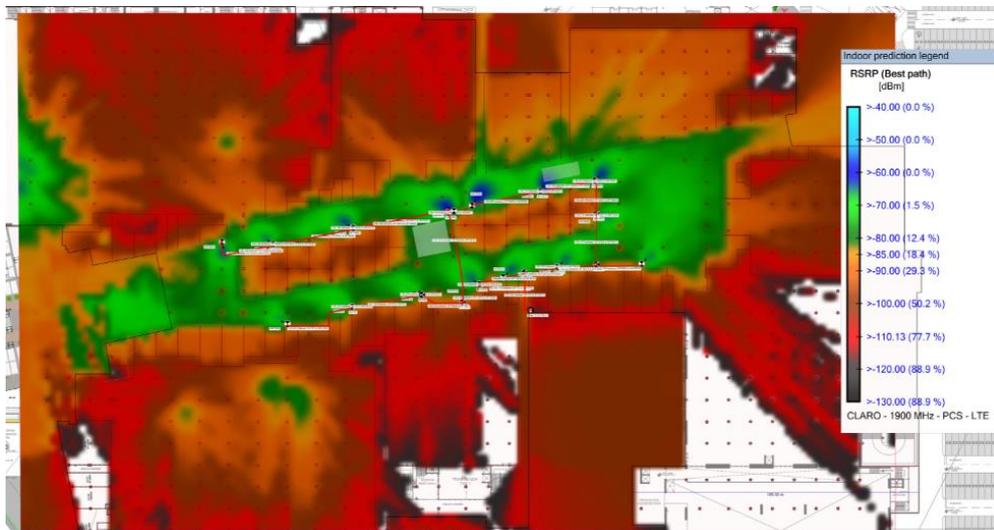


Figura 20 : Simulación RSRP piso 1

Fuente: Elaboración propia tomado del iBwave

Para la Figura 21 se predice que el parámetro SNR en la simulación que los valores son mayores a 25 dB en el área coberturada, significa que los valores son aceptables.

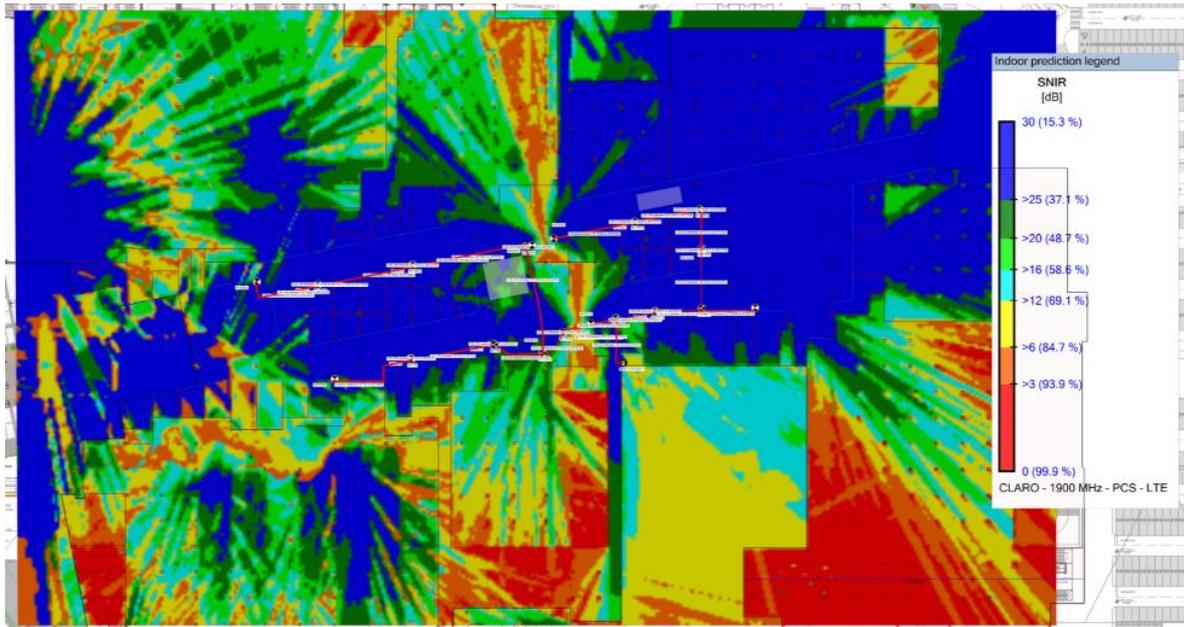


Figura 21 : Simulación SNR piso 1

Fuente: Elaboración propia tomado del iBwave

En la Figura 22 se observa que se obtienen niveles de 165 Mbps como predicción de la tasa de datos para la zona coberturada del CC Real Plaza.

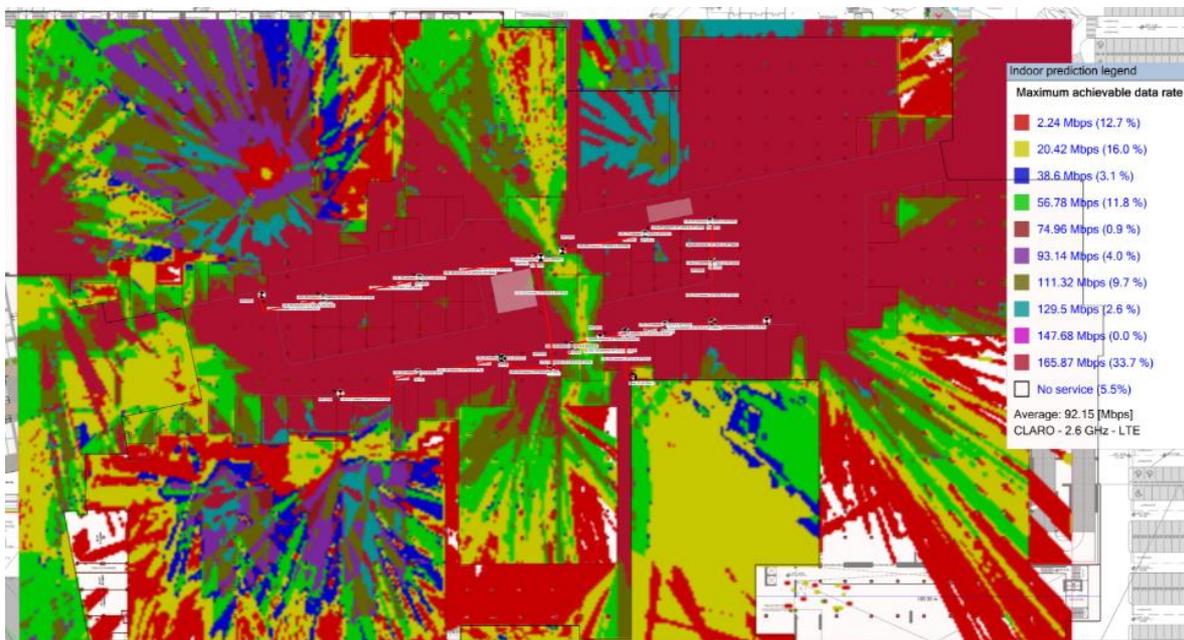


Figura 22 : Predicción de tasa de datos

Fuente: Elaboración propia tomado del iBwave

2.3.3.4 Implementación de la solución

Con el diseño simulado y valores aceptables se realiza la implementación del mismo para esto se debe tener en cuenta las características de la infraestructura del CC el cual fue construido de concreto, se coordina con el área de mantenimiento del CC para transportar el cable coaxial a través de una tubería de PVC, se adjunta imagen en el Anexo 1 del datasheet del cable, no se tuvo inconvenientes al realizar dicha instalación debido a que todo el recorrido fue por el falso techo o también llamado cielo raso. Tanto los cables de los acopladores y combinadores estarán forrados por tubos corrugados para evitar daños o desgaste, tal como se observa en la Figura 23.

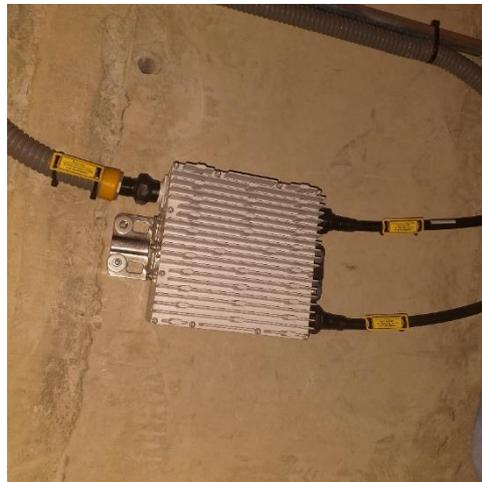


Figura 23: Vista frontal combinador 0

Fuente: Datos obtenidos en campo

A pesar de las restricciones de horario de trabajo debido a la afluencia de personas, los trabajos se realizaron a buen ritmo debido a la acogida que tuvo el CC, la instalación empezó el 24 de Enero del 2020. En el Anexo 2 se mostrará todos los elementos instalados para mayor detalle.

2.4 Resultados de pruebas

Se realiza un resumen en la Tabla 3 y Tabla 4 de los datos obtenidos en campo después de la implementación según las pruebas realizadas (Walk Test) logrando KPIS satisfactorios al 100% en los parámetros mencionados, se adjuntara prueba de cada parámetro con la respectiva explicación:

Tecnología	KPI	Método	Valor objetivo		Resultado	Estado KPI
			Umbral	Muestras		
3G 1900 MHz	RSCP Indoor	WT	>= -75 dBm	>= 95%	100.00%	OK
	CQI	WT	>= 25	>= 95%	100.00%	OK
	Ec/No	WT	>= -6 dB	>= 95%	100.00%	OK
	Tasa de llamada de caídas de voz	WT	-	<= 1%	0.00%	OK

Tabla 3 : KPIS de parámetros 3G

Fuente: Elaboración propia

Tecnología	KPI	Método	Valor objetivo		Resultado	Estado KPI
			Umbral	Muestras		
4G 2600 MHz	RSRP Indoor	WT	>= -85 dBm	>= 95%	100.00%	OK
	SNR	WT	>= 20 dB	>= 95%	100.00%	OK
	Physical Cell Identity	WT	-	>= 97%	100.00%	OK
	CQI	WT	> 8	>= 100%	100.00%	OK

Tabla 4 : KPIS de parámetros 4G

Fuente: Elaboración propia

Se verifica en la Figura 24 que el RSCP se obtienen niveles mayores a -75dBm lo que significa que tiene una buena calidad la potencia recibida por el móvil.



Figura 24 : Medición RCSP Piso 1

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del parámetro EcNo se tiene que los valores se encuentran en -8 dB que significara que las llamadas logran concretarse sin cortarse cada vez que se realicen, como se muestra en la Figura 25.



Figura 25 : Medición EC/Nos piso 1

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 26 se tiene la Tasa de llamada de caídas de voz se validó que las llamadas atendidas, las llamadas concluidas, las iniciaciones de llamadas y las llamadas establecidas fueron exitosas en ambos pisos.

PISO 1	PISO 2
<ul style="list-style-type: none"> 📞 Call Attempts (TEMS) (3) 📞 Call End (TEMS) (3) 📞 Call Initiation (TEMS) (3) 📞 Call Setup (TEMS) (3) 	<ul style="list-style-type: none"> 📞 Call Attempts (TEMS) (3) 📞 Call End (TEMS) (3) 📞 Call Initiation (TEMS) (3) 📞 Call Setup (TEMS) (3)

Figura 26 : Tasa de llamada de caídas de voz

Fuente: elaboración propia

Para el RSRP en LTE se muestra la evidencia de la Figura 27 donde se obtienen niveles mayores a -100dBm lo que significa una buena calidad la potencia.

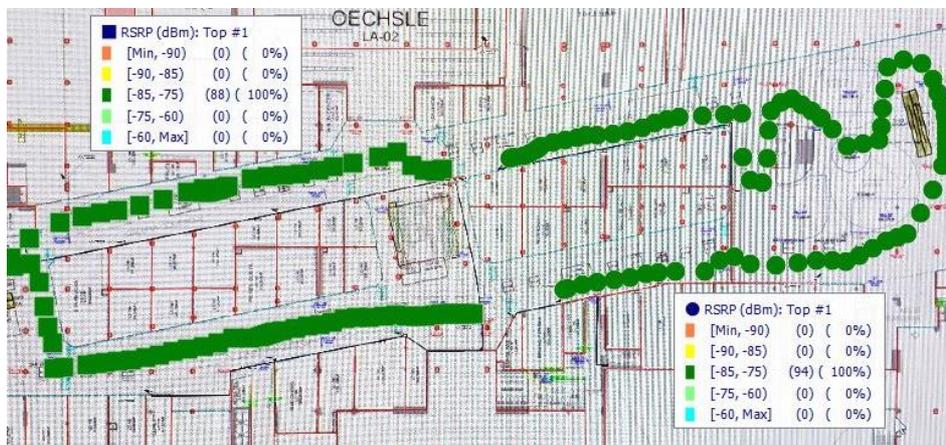


Figura 27 : Medición RSRP LTE piso 1

Fuente: Elaboración propia

Para la Figura 28 se evidencia que el parámetro SNR muestra que los valores son mayores a 25 dB en el área y significa que los valores son aceptables.



Figura 28 : Medición SNR LTE piso 1

Fuente: Elaboración propia

2.5 Análisis de costos

El análisis de costo se realiza siguiendo el método usado en la tesis Diseño de una red 4G LTE para el Centro Comercial Real Plaza Santa Clara del autor Michael Eduardo Chancasana Cueto. Este análisis nos ayudara para saber si el proyecto resultara rentable, este debe generar ganancias en cuanto a lo invertido en el desarrollo e implementación. Se realizará la comparación de lo invertido (costo) y lo que se ganará (ganancias) en un determinado tiempo. Chancasana, M. (2015).

Para la evaluación de rentabilidad se tendrá en consideración dos criterios:

VAN (VALOR ACTUAL NETO): Este monto será una referencia del valor actual que tienen los futuros flujos de caja (ganancias - costos) para el proyecto.

TIR (TASA INTERNA DE RETORNO): Es la tasa de interés que hace cero al VAN y nos indica la rentabilidad del proyecto.

Para que el proyecto sea considerado rentable se deberá buscar un $VAN > 0$ y un $TIR >$ tasa de interés del mercado.

Se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones para el análisis de costo:

- Se evaluará el proyecto en 5 años considerando el año de inversión como 0.
- Se considerará una tasa de mercado del 15% y se considera que el OpEx es el 15% del CapEx según lo referido en la empresa.

- Se tienen cálculos diferentes tanto para el servicio de voz como para datos.
- Del aforo total, se considera que en promedio se tiene un 50% de asistentes diarios de los cuales el 25% son considerados usuarios potenciales.
- Según la INEI, el 94.8% de estos usuarios tiene un equipo celular. INEI (2018).
- Además, de acuerdo a OSIPTEL, la distribución de líneas móviles es la siguiente: 17.7% son líneas postpago, 10.3% son líneas control y 72% son líneas prepago. Osiptel (2019)

La población que cubriría el proyecto queda de la siguiente manera:

	Consideraciones	Cantidad
Aforo permitido		5500
Asistentes	50% del total	2750
Usuarios potenciales	25% de asistentes	688
Asistentes con equipo celular	94.80%	652
Lineas Post Pago	3%	20
Lineas Pre Pago	63%	411
Lineas Control	33%	215

Tabla 5: Población efectiva del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Con un crecimiento poblacional del 1.3% anual, según INEI, se tiene la siguiente población efectiva para los 5 años de evaluación del proyecto. INEI (2017)

Se considera que la totalidad de clientes control y postpago tienen acceso a internet móvil, para el caso de clientes prepago sólo el 50%.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
TOTAL	652	655	664	673	683
POSTPAGO	20	21	22	23	24
PREPAGO	411	416	421	426	432
CONTROL	215	218	221	224	227

Tabla 6: Crecimiento de población efectiva para voz

Fuente: Elaboración propia

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
TOTAL	441	448	455	462	469
POSTPAGO	20	21	22	23	24
PREPAGO	206	209	212	215	218
CONTROL	215	218	221	224	227

Tabla 7: Crecimiento de población efectiva para datos

Fuente: Elaboración propia

Para el cuadro de ganancias, se tendrá en cuenta las tarifas del operador América MOVIL, los cuales se pueden verificar en su página web. CLARO (2020).

Margen de ganancia	70%
Tarifa voz prepago x minuto (TUN)	S/. 0.49
Tarifa voz post pago/control x minuto	S/. 0.20
Tarifa de datos (50MB) prepago x un día	S/. 3.00
Tarifa de datos (50MB) postpago/control	S/. 1.50
Duracion promedio de llamada (segundos)	60
Llamadas promedio por usuario	5
MB consumidos en promedio x usuario al día	50 MB

Tabla 8 : Consideraciones para las ganancias

Fuente: Elaboración propia

Ahora se calcula las ganancias, estas son mostradas en nuevos soles y de manera anual para voz y datos.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
POSTPAGO	S/2,016.00	S/2,116.80	S/2,217.60	S/2,318.40	S/2,419.20
PREPAGO	S/101,500.56	S/102,735.36	S/103,970.16	S/105,204.96	S/106,686.72
CONTROL	S/21,672.00	S/21,974.40	S/22,276.80	S/22,579.20	S/22,881.60
TOTAL	S/125,188.56	S/126,826.56	S/128,464.56	S/130,102.56	S/131,987.52

Tabla 9 : Ganancias del servicio de voz

Fuente: Elaboración propia

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
POSTPAGO	S/7,560.00	S/7,938.00	S/8,316.00	S/8,694.00	S/9,072.00
PREPAGO	S/155,736.00	S/158,004.00	S/160,272.00	S/162,540.00	S/164,808.00
CONTROL	S/81,270.00	S/82,404.00	S/83,538.00	S/84,672.00	S/85,806.00
TOTAL	S/244,566.00	S/248,346.00	S/252,126.00	S/255,906.00	S/259,686.00
TOTAL GENERAL	S/369,754.56	S/375,172.56	S/380,590.56	S/386,008.56	S/391,673.52

Tabla 10: Ganancias del servicio de datos

Fuente: Elaboración propia

Para realizar los cálculos de los gastos (CapEx) se considerarán los materiales e instalación y gastos varios como examen médico ocupacional solicitado por el CC, alquiler de andamios y suministro eléctrico. Además, se tendrá gastos de operación y mantenimiento.

CapEx	Gastos de equipos	S/260,386.33
OpEx		15% de CapEx
Mantenimiento		5% de CapEx

Para realizar el flujo de caja se tienen todos los datos necesarios que se encuentran proyectados para 5 años que permite verificar un balance entre ganancias y costos por año para el cálculo del VAN y el TIR.

Tasa de descuento		15%				
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
CapEx	-S/260,386.33	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00
OpEx		-S/39,057.95	-S/39,057.95	-S/39,057.95	-S/39,057.95	-S/39,057.95
Mantenimiento		-S/13,019.32	-S/13,019.32	-S/13,019.32	-S/13,019.32	-S/13,019.32
Ganancias		S/369,754.56	S/375,172.56	S/380,590.56	S/386,008.56	S/391,673.52
Flujo Total	-S/260,386.33	S/317,677.29	S/323,095.29	S/328,513.29	S/333,931.29	S/339,596.25
VAN	S/835,929.74					
TIR	122%					

Tabla 11: Flujo de caja

Fuente: Elaboración propia

Del flujo de caja se obtiene como VAN S/. 835,929.74 nuevos soles, que significa un saldo positivo del proyecto. La inversión se recupera en el segundo año. Se obtendrá un TIR de 122%, un valor muy por encima de la tasa de mercado. Esto muestra que el proyecto resulta altamente rentable.

3 Conclusiones

- De acuerdo a las mediciones de los parámetros registrados en las pruebas de walk test en 3G y 4G se encontró valores deficientes que afectan la disposición del servicio y desempeño del servicio móvil.
- Se realizó el diseño del DAS tanto para 3G y 4G, realizando las visitas técnicas al CC con el objetivo de garantizar niveles óptimos de cobertura dando prioridad a las áreas comunes del local, después de las mediciones se comprobó los objetivos propuestos cubriendo en un 97% los parámetros indicados.
- Las redes indoor con sistema DAS funciona para mejorar la cobertura en edificios, centros comerciales y hospitales, y liberan la capacidad de redes outdoor así disminuye su nivel de potencia emitida.
- Según el análisis de costos se podría indicar que se recupera la inversión en el segundo año de funcionamiento y el proyecto resulta altamente rentable.

4 Recomendaciones

En el TSS se debe tener mucho cuidado en el registro de información sobre las características del lugar a fin para tener los resultados más cercanos a la realidad.

Tratar de disminuir la cantidad de elementos pasivos ya que producirán interferencia intermodular el cual será no recomendado para un buen rendimiento del sistema.

Sera recomendable empezar a dejar lugares adaptados para la instalación de tecnologías móviles a fin de realizar una rápida instalación con el mínimo de costo, dicha adaptabilidad se podría realizar en edificios, centros comerciales, etc.

El uso del sistema DAS requiere de una sectorización de áreas ya que tiene una potencia limitante además de la capacidad de los equipos centrales.

Se podría agregar el uso de las nuevas tecnologías como Voz sobre Wifi (VoWifi) o Voz a través de datos (VoLTE).

5 Referencias

Chansana, M. (2015). Diseño de una red 4G LTE Indoor para el Centro Comercial Real Plaza Santa Clara (Tesis de pregrado). Pontificia Católica del Perú, Lima.

Cox, C. (2012). *An introduction to LTE: LTE, LTE-advanced, SAE and 4G mobile communications*. John Wiley & Sons.

Gorricho Moreno, M., & Gorricho Moreno, J. L. (2002). *Comunicaciones móviles*. Edicions UPC.

Gutiérrez, A. & Rivera, J. (2015). Diseño de un sistema distribuido de antenas para la optimización de cobertura en la Estación Central del Metropolitano (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma. Lima.

Herrera, F. (2017). Análisis, diseño e implementación de una red de radio frecuencia con tecnología GSM y WCDMA con un sistema DAS, en el subsuelo 1 del edificio de TV Cable para mejorar el servicio de telefonía celular (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito.

Moya, J. M. H. (2013). *Comunicaciones Móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE*. Grupo Editorial RA-MA.

Peru-Retail (2019). Real Plaza Puruchuco tiene más del 80% arrendado con 250 marcas. Lima: Perú Retail. Recuperado de <https://www.peru-retail.com/peru-real-plaza-puruchuco-puertas-ultimo-semester-2019/>

Regis, J., & Gastaminza, A. M. (2003). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. McGraw Hill.

Reyes, C. (2017). Implementación de un sistema distribuido de antenas en ambientes INDOOR para la mejora de cobertura 3G y 4G en el edificio Begonias en San Isidro (Tesis de pregrado). Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima.

INEI (2018). Hogares con al menos un miembro que tiene teléfono celular, por años, según ámbitos geográficos. Informe Estadístico. Lima: INEI, 2018.

Tolstrup, M. (2011). *Indoor radio planning: a practical guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE*. John Wiley & Sons.

Vega, C. P., & López, A. C. (2007). *Sistemas de telecomunicación*. Ed. Universidad de Cantabria.

Vera, A. (2013). Diseño e implementación de una red RF Indoor en el Hospital de Emergencias Pediátricas para mejora de cobertura (Tesis de pregrado). Pontificia Católica del Perú, Lima.

6 Anexos

ANEXO 1: DATASHEET DE EQUIPOS

1.1 Datasheet de antena Direccional CMAX-DMF-CPUSEV53

CMAX-DMF-CPUSEV53							
		Low PIM Directional MIMO In-Building Antenna, 698–960 MHz and 1710–2700 MHz					
Electrical Specifications							
Frequency Band, MHz	698–800	800–960	1710–2180	1850–1990	1920–2180	2200–2700	2300–2360
Gain, dBi	7.0	7.3	8.1	8.1	8.1	7.6	8.0
Beamwidth, Horizontal, degrees	75	73	74	70	73	65	64
Beamwidth, Vertical, degrees	73.0	64.0	58.0	60.0	56.0	70.0	70.0
Front-to-Back Ratio, Copolarization 180° ± 30°, dB	20	17	20	20	20	20	20
Isolation, Cross Polarization, dB	20	20	24	24	24	24	24
VSWR Return Loss, dB	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-153	-153	-153	-153	-153	-153	-153
Input Power per Port, maximum, watts	100	100	100	100	100	100	100
Polarization	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm
Product Classification							
Product Type	In-building antenna						
General Specifications							
Antenna Type	Directional						
Application	Indoor						
Includes	Mounting bracket						
Number of Ports, all types	2						
Pigtail Cable	670-141SXE, plenum rated						
Mechanical Specifications							
Color	White						
Pigtail Length	450.0 mm 17.7 in						
Radome Material	ABS						
RF Connector Interface	N Female						
Environmental Specifications							

1.2 Datasheet de antena omni CMAX-OMF-CPUSEi53

CMAX-OMF-CPUSEi53



Cell-Max™ Low PIM Omni MIMO In-building Antenna, 698–960 MHz and 1710–2700 MHz

Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	698–800	800–960	1710–2200	2200–2700
Gain, dBi	2.0	2.0	4.0	4.0
Beamwidth, Horizontal, degrees	360	360	360	360
Isolation, Cross Polarization, dB	20	20	24	24
VSWR Return Loss, dB	1.8 10.9	1.8 10.9	1.8 10.9	1.8 10.9
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-153	-153	-153	-153
Input Power per Port, maximum, watts	50	50	50	50
Polarization	Horizontal Vertical	Horizontal Vertical	Horizontal Vertical	Horizontal Vertical
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm

Product Classification

Brand: Cell-Max™
 Product Type: In-building antenna

General Specifications

Antenna Type: Omni
 Application: Indoor
 Operating Frequency Band: 1710 – 2700 MHz | 698 – 960 MHz
 Mount Type: Thru-hole ceiling mount (optional)
 Number of Ports, all types: 2
 Pigtail Cable: 670-141SXE, plenum rated

Mechanical Specifications

Color: White
 Pigtail Length: 500.0 mm | 19.7 in
 Radome Material: ABS
 RF Connector Interface: N Female

Environmental Specifications

1.3 Datasheet de cable SFX-500 (Cable Coaxial Superflexible de 1/2" de Aluminio)

Product Specifications		COMMSCOPE®
		
Andrew Solutions SFX-500 SFX-500, HELIAX® Superflexible Coaxial Cable, smoothwall aluminum, 1/2 in, black PE jacket		
Construction Materials		
Jacket Material	PE	
Outer Conductor Material	Smoothwall aluminum	
Dielectric Material	Foam PE	
Flexibility	Superflexible	
Inner Conductor Material	Copper-clad aluminum wire	
Jacket Color	Black	
Dimensions		
Nominal Size	1/2 in	
Cable Weight	0.10 kg/m 0.07 lb/ft	
Diameter Over Jacket	11.430 mm 0.450 in	
Inner Conductor OD	0.1400 in 3.5600 mm	
Outer Conductor OD	0.396 in 10.100 mm	
Electrical Specifications		
Cable Impedance	50 ohm ±1 ohm	
Capacitance	24.2 pF/ft 78.9 pF/m	
dc Resistance, Inner Conductor	0.820 ohms/kft 2.690 ohms/km	
dc Resistance, Outer Conductor	0.850 ohms/kft 2.790 ohms/km	
dc Test Voltage	2500 V	
Inductance	0.190 µH/m 0.058 µH/ft	
Insulation Resistance	100000 Mohms•km	
Jacket Spark Test Voltage (rms)	5000 V	
Operating Frequency Band	100 – 12000 MHz	
Peak Power	15.6 kW	
Velocity	87%	
Environmental Specifications		
Installation Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)	
Operating Temperature	-50 °C to +70 °C (-58 °F to +158 °F)	
Storage Temperature	-55 °C to +80 °C (-67 °F to +176 °F)	
General Specifications		
Brand	HELIAX®	
Mechanical Specifications		
Bending Moment	2.7 N-m 2.0 ft lb	
Flat Plate Crush Strength	1.7 kg/mm 95.0 lb/in	

ANEXO 2: Instalación de equipos

2.1 Lista de materiales para la implementación

LISTA DE EQUIPOS PARA INSTALACION REAL PLAZA PURUCHUCO INDOOR

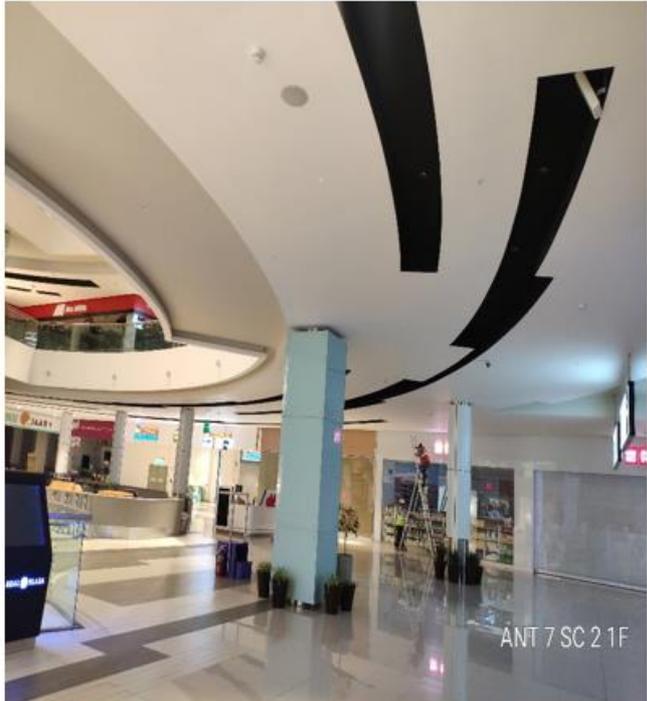
ITE	DESCRIPCION/ SERVICIO DE OC	DESCRIPCION DE MATERIAL	CANTIDAD INSTALADA	UNIDAD DE MEDIDA	FECHA DE INSTALACION	ESTADO
1	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	TARJETA PROCESADORA PRINCIPAL UMPTE2	1	UND	24/01/2020	NUEVO
2	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3911 1900MHZ WDSM19 0231HXE	1	UND	24/01/2020	NUEVO
3	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	DISTRIBUIDOR HUAWEI DCDCU 02120T31 POWER	1	UND	24/01/2020	NUEVO
4	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	CABLE 25030430 P-16mm*2-Bluz 450/750V	10	UND	24/01/2020	NUEVO
5	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	CABLE 25030428 P-16mm*2-NEGRO 450/750V	15	UND	24/01/2020	NUEVO
6	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	CABLE 450/750V 6MM YELLOW/GREEN 25030131	4	UND	24/01/2020	NUEVO
7	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
8	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	TARJETA UBB WD2DUBBPE400 40305T155	1	UND	24/01/2020	NUEVO
9	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	TARJETA UBB WD2DUBBPE400 40305T155	1	UND	24/01/2020	NUEVO
10	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3281 - 2600MHZ	1	UND	24/01/2020	NUEVO
11	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3281 - 2600MHZ	1	UND	24/01/2020	NUEVO
12	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3281 - 2600MHZ	1	UND	24/01/2020	NUEVO
13	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3281 - 2600MHZ	1	UND	24/01/2020	NUEVO
14	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
15	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
16	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
17	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
18	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
19	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	TARJETA UBB WD2DUBBPE400 40305T155	1	UND	24/01/2020	NUEVO
20	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3911 1900MHZ WDSM19 0231HXE	1	UND	24/01/2020	NUEVO
21	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3911 1900MHZ WDSM19 0231HXE	1	UND	24/01/2020	NUEVO
22	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	RRU 3911 1900MHZ WDSM19 0231HXE	1	UND	24/01/2020	NUEVO
23	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
24	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	MODULO HUAWEI 34060T13 SFP+ 1310NM 3.8G	1	UND	24/01/2020	NUEVO
25	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
26	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
27	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
28	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
29	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
30	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
31	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
32	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
33	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
34	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO
35	IMPLEMENTACION SISTEMA INDOOR	ANTENA CMAX-DMF 638-360MHz/1110-2100MHz	1	UND	24/01/2020	NUEVO

2.2 VISTA PANORAMICA DE LA BBU



2.3 VISTA FRONTAL DE ANTENAS EN LAS AREAS COMUNES





2.4 VISTA DEL BREAKER PRINCIPAL

