



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

OPTIMIZACIÓN DE CAPACIDAD PARA MEJORAR CALIDAD DE SERVICIO

MOVIL EN BS 4G HUAYLAS, DISTRITO CHORRILLOS

**Línea de investigación:
Sistemas de información y optimización**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electrónico

Autor

Coello Cachay, Jorge Armando

Asesor

Cernaque Vera, Julio Cesar

ORCID: 0009-0005-0855-5152

Jurado

Solís Fonseca, Justo Pastor

Flores Masías, Edward José

Peña Carrillo, Cesar Serapio

Lima - Perú

2026

OPTIMIZACIÓN DE CAPACIDAD PARA MEJORAR CALIDAD DE SERVICIO MOVIL EN BS 4G HUAYLAS, DISTRITO CHORRILLOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTE QUE CONTIENE COINCIDENCIAS



pt.slideshare.net

Fuente de Internet

<1%

< 1%

★ pt.slideshare.net

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN

VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

**OPTIMIZACIÓN DE CAPACIDAD PARA MEJORAR CALIDAD DE
SERVICIO MOVIL EN BS 4G HUAYLAS, DISTRITO CHORRILLOS**

Línea de Investigación:

Sistemas de información y optimización

Informe de suficiencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero
Electrónico

Autor

Coello Cachay, Jorge Armando

Asesor

Cernaque Vera, Julio Cesar

ORCID: 0009-0005-0855-5152

Jurado

Solís Fonseca, Justo Pastor

Flores Masías, Edward José

Peña Carrillo, Cesar Serapio

Lima – Perú

2026

INDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Trayectoria del Autor.....	11
1.2. Descripción de la empresa.....	13
1.3. Organigrama de la empresa.....	14
1.4. Áreas y funciones desempeñadas	15
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECIFICA.....	17
2.1. Antecedentes	17
2.1.1. <i>Antecedentes Nacionales</i>	18
2.1.2. <i>Antecedentes Internacionales</i>	19
2.2. Objetivos.....	20
2.2.1. <i>Objetivo general</i>	20
2.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	20
2.3. Zona de estudio	21
2.4. Bases teóricas	21
2.4.1. <i>Evolución de la tecnología móvil</i>	21
2.4.2. <i>Espectro electromagnético</i>	21
2.4.3. <i>Nomenclatura de bandas de frecuencias y longitudes de onda empleadas en las radiocomunicaciones</i>	
22	
2.4.4. <i>Regiones y zonas del mundo</i>	23
2.5. Aspectos generales	24
2.5.1. <i>Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia</i>	24
2.5.2. <i>Tipos de acceso</i>	25

2.6. Tecnologías existentes.....	25
2.6.1. Primera generación.....	26
2.6.2. Segunda generación	26
2.6.3. Tercera generación	30
2.6.4. Cuarta generación LTE.....	34
2.6.5. Análisis de capacidad Multimedia en agrupamientos de celdas LTE.....	37
2.7. Metodología.....	39
2.7.1. Descripción de la propuesta.....	39
2.7.2. Equipos e Instalación “LTE AWS – 4T6S”	48
2.7.3. Factibilidad Técnica – Operativa	79
2.7.4. Cuadros de Inversión	81
III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA	82
IV. CONCLUSIONES	83
V. RECOMENDACIONES.....	85
VI. REFERENCIAS.....	86
VII. ANEXOS	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la empresa Obras Civiles & Telecomunicaciones S.R.L.	14
Figura 2 Site 0130079_LM_ Huaylas	17
Figura 3 Ubicación geográfica (12°10'14.3"S, 77°01'23.4"W).....	21
Figura 4 Espectro de ondas electromagnéticas.....	22
Figura 5 Regiones y zonas de atribución de bandas de frecuencias de UIT	23
Figura 6 Arquitectura de red GSM.....	27
Figura 7 Arquitectura de red GSM GPRS.....	29
Figura 8 Arquitectura de red GPRS EDGE.....	30
Figura 9 Esquema de bloques para una red UMTS.....	31
Figura 10 Arquitectura del sistema LTE.....	36
Figura 11 Site 0130079_LM_ Huaylas	43
Figura 12 Ubicación del site 0130079_LM_ Huaylas	43
Figura 13 Plano de planta General	44
Figura 14 Plano de la torre	45
Figura 15 Esquema general eléctrico	46
Figura 16 Panorámica del site 0130079_LM_ Huaylas.....	47
Figura 17 Diagrama pictórico eléctrico.....	48
Figura 18 Flujo de instalación LTE AWS – 4T6S	50
Figura 19 Configuración de la DCDU 12B.....	51
Figura 20 Ubicación e instalación de la DCDU 12B	52
Figura 21 Ubicación de la DCDU 12B	52
Figura 22 Distribución de Breakers PDU (existente).....	53
Figura 23 Instalación de Breakers de 63A en PDU (existente).....	54
Figura 24 Aterramiento de la DCDU 12B	54

Figura 25 Configuración de la Tarjeta UBBPe4	55
Figura 26 Cableado UBBPe4	55
Figura 27 Ubicación de la FO por sector en la Tarjeta UBBPe4	56
Figura 28 Instalación de la FO en la BBU (existente).....	56
Figura 29 Equipamiento a instalar Antena y RRU.....	57
Figura 30 RRU 3971 (Remote Ratio Unit)	57
Figura 31 Aterramiento de la RRU 3971	58
Figura 32 Izaje de la RRU 3971	58
Figura 33 Tipos de anclaje de la RRU 3971	59
Figura 34 Ubicación de las RRU's 3971.....	59
Figura 35 Estándar de Cableado de RRU 3971.....	60
Figura 36 Conectorizado y Cableado de RRU3971	60
Figura 37 Antena Pasiva AMB4520R6v06.....	61
Figura 38 Configuración del jumper en la Antena Pasiva	61
Figura 39 Conexión y peinado de jumper	62
Figura 40 Conexión del cable RET en la Antena Pasiva	63
Figura 41 Conexión de cable de RET en la antena	63
Figura 42 Anclajes de la Antena Pasiva AMB4520R6v06	64
Figura 43 Forma correcta de instalar la Antena al Soporte Metálico.....	64
Figura 44 Aterramiento de las RRU's en la barra tierra	65
Figura 45 Soluciones de instalación.....	65
Figura 46 Solución final LTE 4T6S.....	66
Figura 47 Sellado y sujetado de Conduit en FO excedente.....	67
Figura 48 Normas generales del cableado de FO.....	68
Figura 49 Cableado de FO vertical	68

Figura 50 Curva de drenaje de FO	69
Figura 51 Ingreso de Cables izq. (FO) y dcha. (DC)	70
Figura 52 Ingreso de los cables al Shelter (pasamuro).....	71
Figura 53 Cable excedente de FO en Gabinete	71
Figura 54 Cableado excedente de FO Indoor.....	72
Figura 55 Código de colores para sectores	73
Figura 56 Rotulado de Cinta en el Cable	73
Figura 57 Etiquetado de cableado	74
Figura 58 Estándar de etiquetado Antena y RRU	74
Figura 59 Etiquetado en Antena y RRU	75
Figura 60 Etiquetado DCDU12B	75
Figura 61 Solución final en gabinete (antes y después).....	76
Figura 62 Instalación de equipos nuevos en torre.....	76
Figura 63 Radiación de la Antena AMB4520R6v06	77
Figura 64 Patrón de radiación de la Estación base (Resultado)	77
Figura 65 G-netTrack (Monitoreo de red) y Speedtest (Velocidad)	78
Figura 66 Pruebas realizadas en el Proyecto 4T6S	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Nomenclatura de bandas de frecuencias y longitudes de onda.....	23
Tabla 2 Resultados obtenidos.....	41
Tabla 3 Herramientas y equipos a usar	49
Tabla 4 Distribución del cableado	66
Tabla 5 Cuadro de inversión	81

RESUMEN

El presente informe describe la experiencia profesional desarrollada en la implementación y optimización de tecnología 4G LTE en la BS 0130079_LM_Huaylas, ubicada en el distrito de Chorrillos, Lima, Perú, con el objetivo de mejorar la capacidad y calidad del servicio móvil. El proyecto evaluó alternativas técnicas orientadas al incremento de cobertura y capacidad mediante la incorporación de nuevos equipos y la optimización de la infraestructura existente, considerando las necesidades de conectividad y demanda de usuarios en la zona intervenida. La metodología comprendió visitas de campo, ejecución de pruebas técnicas y análisis del estado operativo de la estación base para determinar el nivel de cobertura, rendimiento y disponibilidad del sistema. Asimismo, se realizó la evaluación de parámetros de desempeño de la red y de la calidad de señal en sectores de alta concentración de usuarios. Con base en los resultados obtenidos y en coordinación con el área de ingeniería, se implementó una propuesta de optimización enfocada en mejorar el desempeño de la red en zonas de alta demanda y tráfico de datos. Como resultado, se obtuvo un incremento del 97 % en la capacidad por celda respecto a la configuración previa 2T3S, además del aumento de velocidad de conexión de 8 Mbps a 17 Mbps. Esto permitió optimizar la calidad del servicio móvil en áreas residenciales y puntos estratégicos de Chorrillos. Finalmente, se concluyó que la solución implementada puede replicarse en otras zonas con problemáticas similares de cobertura y capacidad de red.

Palabras clave: Tecnología 4G, Estación Base, Implementar, Fotoceldas, Macrocelas

ABSTRACT

This report describes the professional experience gained in the implementation and optimization of 4G LTE technology at BS 0130079_LM_Huaylas, located in the Chorrillos district of Lima, Peru. The objective was to improve the capacity and quality of the mobile service. The project evaluated technical alternatives aimed at increasing coverage and capacity through the incorporation of new equipment and the optimization of the existing infrastructure, considering the connectivity needs and user demand in the area. The methodology included field visits, the execution of technical tests, and analysis of the base station's operational status to determine the level of coverage, performance, and system availability. Additionally, network performance parameters and signal quality were evaluated in areas with high user concentration. Based on the results obtained and in coordination with the engineering department, an optimization proposal was implemented focused on improving network performance in areas of high demand and data traffic. As a result, a 97% increase in cell capacity was achieved compared to the previous 2T3S configuration, along with an increase in connection speed from 8 Mbps to 17 Mbps. This optimized the quality of mobile service in residential areas and strategic locations in Chorrillos. Finally, it was concluded that the implemented solution can be replicated in other areas with similar network coverage and capacity issues.

Keywords: 4G Technology, Base Station, Implement, Femtocells, Macrocells

I. INTRODUCCIÓN

La subida de la demanda de la cobertura en el país, se hace imprescindible el servicio y comunicación entre todos los pobladores del Perú, por ello buscar dar soluciones a los distintos fallos que pueda haber con los servicios brindados sea voz, mensajería y datos.

Uno de las principales fallas en todo operador es la falta cobertura y poca capacidad en distintos distritos o poblados recónditos del Perú. Al tener perdida de cobertura y poca capacidad, sea en las tecnologías 2G, 3G y 4G surgirán unas grandes pérdidas económicas como empresa de telecomunicaciones que incluso llegaría a ser millonaria.

Estos fallos del servicio se deben principalmente a lo siguiente: Poca capacidad por celda o falta de cobertura, la segunda es algo premeditado como empresa que brinda servicios de comunicación, lo cual es implementar estaciones base necesarias para el servicio.

El presente informe se basa en un fallo en la capacidad por celda, para lo cual se realizaron estudios e investigaciones con la finalidad de poder dar soluciones y brindar un servicio optimizado mediante la implementación de equipos nuevos de manera adecuada en base a los estudios realizados. y así, brindar una solución que nos ayudara con el incremento de la eficiencia la capacidad por celda, y así poder evitar pérdida económica como empresa.

La temática desarrollada en el informe se basa en implementar equipos nuevos en una estación base ya establecida, la cual nos brindara beneficios en la parte de sala con la energía (DCDU) y la unidad de banda base (BBU).

El presente informe está estructurado en 7 capítulos, las cuales se presentan a continuación:

Capítulo I presenta la introducción, en la cual se expone la trayectoria del autor desde la obtención del título de bachiller, junto con la descripción de la empresa, su organigrama y las funciones específicas desempeñadas dentro de la misma.

Capítulo II explica las actividades concretas realizadas para la ejecución del proyecto,

incluyendo antecedentes que refieren a proyectos similares, los objetivos planteados, las definiciones relevantes y las metodologías aplicadas.

Capítulo III expone los principales aportes del autor a la empresa, destacando los distintos proyectos ejecutados durante su periodo de permanencia.

Capítulo IV enuncia las conclusiones obtenidas tras la culminación exitosa del proyecto orientado a la mejora de la calidad del servicio móvil.

Capítulo V, se mencionan las recomendaciones necesarias, finalizado exitosamente el proyecto de optimización de la calidad del servicio móvil.

Capítulo VI presenta las referencias que respaldaron los conceptos y la información histórica utilizada en el presente informe.

Capítulo VII muestra los anexos, los cuales aportan información adicional sobre el procedimiento que se ejecutó.

1.1. Trayectoria del Autor

Jorge Armando Coello Cachay, en adelante, el autor, bachiller de la carrera de Ingeniería Electrónica, egresado de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática (FIEI), con alrededor de nueve años de experiencia laboral en centros privados del sector de telecomunicaciones. La experiencia profesional en este rubro de las telecomunicaciones, se describe a continuación:

- Inició en el rubro de las telecomunicaciones en mayo del año 2015 hasta noviembre del año 2015, formando parte de la empresa IGTEL S.A.C, en la cual, se desempeñó como técnico de campo en instalación y mantenimiento de los servicios 3play (TV, internet y telefonía) que brinda dicha empresa. Además, se brindó servicios de buena calidad para la validación de los clientes.

Desde mayo del año 2016 hasta marzo del año 2018 formó parte de la empresa Keneth Integral S.A.C, desempeñando el cargo de técnico instalador de Radio Frecuencia (Servicios

Móviles). Se trabajaron distintos proyectos como: Implementación de nodos B, proyecto Bafi, proyecto Cosite 700, proyecto Easymacro y Microceldas. Se logró realizar todos los proyectos posibles, en las distintas regiones del país para poder brindar un buen servicio a nuestro cliente.

- Desde abril del año 2018 hasta abril del año 2019 formó parte de la empresa FATCOM S.A.C, desempeñando el cargo de supervisor de campo de los distintos proyectos de radio frecuencia (Servicios Móviles) que estaban en progreso en ese año.
- Supervisión de grupos de trabajo para poder cumplir con las fechas indicadas por el cliente, elaboración de reportes de avance e informe final de los proyectos trabajados.
- Desde mayo del año 2019 hasta octubre del año 2019 formó parte de la empresa Fatcom S.A.C, desempeñando el cargo de coordinador de proyectos. En este cargo, se dedicó a gestionar los proyectos con las distintas cuadrillas disponibles en la empresa, teniendo en cuenta la calidad de servicio que nos solicita el cliente.
- También participó de las reuniones agendadas con el cliente directo para la presentación de nuevos proyectos a futuro y el proceso de como trabajarlo para evitar demoras e inconvenientes.
- Continuando con el rubro de las telecomunicaciones en noviembre del año 2019 hasta abril del año 2023 formó parte de la empresa Obras Civiles & Telecomunicaciones S.R.L, desempeñando el cargo de coordinador de proyectos de implementación. En este cargo, se dedicó a gestionar los proyectos de fibra óptica y RF asignados a la empresa, y cumpliendo con las fechas establecidas por el cliente para sus distintos proyectos que manejan, sean: Proyectos CRA, Expansión 4T6S, Reubicaciones, Swap obsolescencia, Core, Baja altura, Trial Cran, Servicios fijos, Rollout 700, Ran sharing etc.

- En mayo del año 2023 hasta mayo del 2025 formó parte de la empresa FIBERLUX S.A.C, ocupando el cargo de Gestor de Instalaciones. En este cargo, se dedicó a gestionar los distintos servicios que brinda la empresa como operador, sea servicio SOC, WIFI, Telefonía e internet. También se gestiona con el personal disponible para la atención del servicio, los permisos necesarios para la ejecución y seguimiento constante hasta tener la conformidad del servicio por el cliente final. La participación de diversas reuniones con el área comercial y el cliente para establecer el proceso de ejecución del servicio ofrecido y también los documentos que se van a entregar en el proceso (Gantt, avance y final).

1.2. Descripción de la empresa

Obras Civiles & Telecomunicaciones S.R.L es una empresa dedicada a la ejecución, construcción, remodelación, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de obras públicas y privadas, y también, a obras de telecomunicaciones tales como: Implementación de redes de fibra óptica y otras similitudes, viene operando desde el año 2001, ejecutando diversos proyectos públicos y privados. Algunos proyectos que se desarrollaron fueron:

- “Implementación e integración del proyecto de expansión de capacidad 4G, 4T6S y 4T4R, en toda la región del Perú” (2021) (Asignado por Incobech).
- “Interconexión de fibra óptica para el proyecto RAN SHARING/TDP, en todas las regiones del Perú” (2020) (Asignado por el operador Entel)
- “Despliegue de fibra óptica para el proyecto de Baja Altura (Easymacro – Microceldas) principalmente en la región de Lima” (2019 – 2020) (Asignado por el operador Entel).
- “Despliegue de fibra óptica para el proyecto Incremento de Capacidad (CRA), en todas las regiones del Perú” (2019 – 2022) (Asignado por el operador Entel).
- “Despliegue de fibra óptica para los proyectos CORE, en todas las regiones del

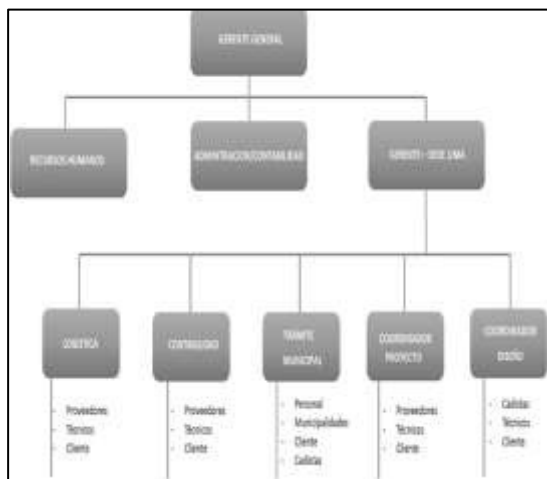
Perú” (2019 – 2023) (Asignado por el operador Entel)

- “Despliegue de fibra óptica para el proyecto Reubicaciones y Swap Obsolescencia, principalmente en la región de la Lima” (2020 – 2023) (Asignado por el operador Entel)
- “Despliegue de fibra óptica para el diseño de una red troncal en anillo CRAN, en el distrito de San Isidro para las pruebas del 5G” (2019 – 2021) (Asignado por el operador Entel)
- “Despliegue de fibra óptica para el proyecto GPON y FTTH, en los diferentes distritos de Lima” (2021 – 2023) (Asignado por el operador Entel)
- “Despliegue de fibra óptica para el proyecto FTT, en los diferentes distritos de Lima” (2022 – 2023) (Asignado por ATP)
- “Despliegue de fibra óptica para la implementación del proyecto Servicios Fijos (incluyendo alta de servicio), en todas las regiones del Perú” (2022 – 2023) (Asignado por el operador Entel)

1.3. Organigrama de la

empresa Figura 1

Organigrama de la empresa Obras Civiles & Telecomunicaciones S.R.L.



1.4. Áreas y funciones desempeñadas

El autor ingresó a la empresa Obras Civiles & Telecomunicaciones S.R.L en el mes de noviembre del año 2019 como coordinador de proyectos, integrado al área de implementaciones, en la cual ejerció diversas funciones.

Encargado de la gestión de proyectos, es analizar e interpretar la información brindada para realizar una planificación y coordinación con las demás áreas, y así, poder ejecutar los trabajos según el tipo de proyecto considerando los tiempos establecidos.

Supervisión en campo de los proyectos que impliquen una alta urgencia y con los tiempos establecidos, tales como, eventos cortos, festivales, lugares con poca cobertura, etc. Estos proyectos se ejecutan mediante radio frecuencia o fibra óptica, de acuerdo al pedido del cliente.

Gestiona los accesos a todas las áreas que los técnicos necesiten ingresar para poder ejecutar la actividad asignada, sean sitios pertenecientes a otros operadores, coubicados con otras torreras, domicilios, etc. Culminado con la gestión de accesos, se programa la actividad asignada a cada cuadrilla para su ejecución.

Elaboración de los documentos solicitados por el cliente, sean documentos para los accesos del personal técnico o informes de seguimiento del proyecto, donde se presente un reporte fotográfico, documentos de seguridad, documentos de medio ambiente, informes de aceptación, etc.

Encargado de la activación del servicio del cliente y configurando los diferentes equipos que maneja este proyecto (Servicios Fijos). Equipos como el Cisco, Gaoke, Huawei etc. Validando que todo este conforme de acuerdo a la solicitud, servicios como internet dedicado y L2L son los que más se maneja.

Validación de los servicios realizados por nuestros proveedores, liquidación de obras para el cierre documentario y la generación de OC respectivo.

Elaboración de entregables finales para la presentación al cliente final, y así, poder gestionar las solicitudes de adquisición por proyecto, laborando de forma coordinada con las demás áreas, y ofreciendo soluciones a consultas o dudas que surjan.

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECIFICA

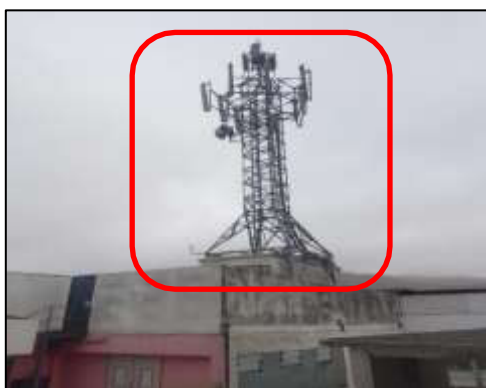
2.1. Antecedentes

El eNodeB ya existente de nombre 0130079_LM_ Huaylas / proyecto Rollout / Tipo de estación – Rooftop, Indoor / Propio de Entel / Año de construcción - 2001, se encuentra ubicada en la dirección Av. Huaylas N 668, 666 y 664 departamento de Lima, provincia de Lima y distrito de Chorrillos.

El eNodeB 0130079_LM_ Huaylas ubicada en el distrito de Chorrillos, cuenta con un espacio de 5.30x11.00 m2, dentro del espacio se encuentra una estructura (tipo de Torre) Autosoportada cuadrada donde se encuentra todos los equipos RF (Antenas, RRU, Microondas. Etc.), en la superficie se encuentra un Gabinete Tipo Shelter donde se encuentran los equipos de Transmisión, Banco de batería, Tableros eléctricos Etc. Por otro lado, también se encuentra un tablero AC general para el funcionamiento de los equipos. El eNodeB 0130079_LM_ Huaylas, inició sus operaciones en 2001, y actualmente, el sitio se encuentra servicio, cuenta con equipos para el funcionamiento de las tecnologías 2G,3G y 4G en diferentes bandas, Banco de batería para casos de emergencias y equipos de transmisión para dar comunicación a otros clientes o futuros sitios. Por lo que el operador propone implementar equipos para una mayor capacidad generada por esta estación, con el proyecto 4T6S se lograra esto, y poder beneficiar a los clientes de esta zona.

Figura 2

Site 0130079_LM_ Huaylas



2.1.1. Antecedentes Nacionales

En el ámbito de nacional, se tienen proyectos que brindan una mejora de red de los distintos servicios móviles que hay en el país, para ello, tenemos a Gajardo, J. (2022) “Identificación de las variables esenciales de una infraestructura de comunicación celular, destinados a la expansión de la red de telefonía móvil de la compañía Bitel, dirigidos a las asociaciones de vivienda San Antonio y La Unión ubicadas en el sector de Viñani, ciudad de Tacna, durante el año 2022”. Investigación presentada para obtener el Grado de Ingeniero Electrónico – Tacna– Perú. Este trabajo de tesis presenta la necesidad mejorar el alcance y cobertura del sistema de telecomunicaciones celulares de la compañía Bitel. Buscan planificar una red que comprenda la elección de la tecnología de comunicación móvil, de acuerdo a las variables electromagnéticas de un esquema de comunicación celular, que permite la expansión del sistema inalámbrico 4G LTE perteneciente a la empresa prestataria Bitel. El estudio fue mediante métricas de rendimiento (KPI) aplicando el procedimiento Drive Test. La iniciativa de una antena base en el sector analizado fue ejecutada en 02 fases; la primera fase, la elección del emplazamiento; la segunda fase, la organización y cálculo de la antena base empleando el programa de modelamiento XIRIO EN LÍNEA, aplicación informática utilizada para la organización de infraestructuras de telecomunicaciones. Como resultado de la simulación, se verificó que la Antena Base planteada en el sector analizado satisface el alcance de 2 kilómetros con un adecuado nivel de intensidad radioeléctrica.

Por otro lado, Tafur (2017) “Proyecto de una antena base 4G LTE para la optimización de los servicios digitales en el distrito de Huanza”. Investigación para alcanzar la Titulación de Profesional en Ingeniería de Telecomunicaciones – Lima, Perú. Este trabajo se fundamenta en una alternativa tecnológica vinculada a la dificultad de la limitada disponibilidad de servicios digitales, jurisdicción de Lima. Se fundamenta en una infraestructura celular utilizando tecnología 4G LTE con capacidades equivalentes que sus

especificaciones requieren, presentándose una descripción precisa de la mencionada infraestructura 4G LTE en relación con sus versiones anteriores empleando un adecuado procedimiento de elaboración en ingeniería, el cual entregará una alternativa de corte tecnológica para iniciar la selección del emplazamiento seguida de una organización y cálculo que establecerá la aptitud de este proyecto. Para posteriormente continuar con los Resultados tales como el grado de alcanzar un área de servicio con un nivel de probabilidad del 95%, lo cual se interpreta en la aplicación de ciertos márgenes de atenuación sobre los niveles promedios referentes a la señal.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Abordando el tema de las telecomunicaciones y la mejora de red en los servicios móviles, a nivel internacional tenemos a Gómez (2013) “Proyecto de una infraestructura 4G LTE (Long Term Evolution) para lograr la modernización tecnológica de la telefonía móvil y el acceso a internet de la CNT E.P en la provincia de Santa Elena”. Investigación para alcanzar el Grado de Profesional en Electrónica y Telecomunicaciones – La Libertad – Ecuador. En este documento se efectúa una evaluación de cobertura radioeléctrica, transmisión de datos, tiempo de retardo en la comunicación, nivel de potencia recibida, pérdidas por propagación, estimación de tráfico, y prestaciones ofrecidas, plan de implementación, sondeo de adopción de equipos celulares con equipamiento de 4ta generación y contraste entre la tecnología vigente y la 4ta generación para evaluar la viabilidad del proyecto. La evaluación se efectúa aplicando los procedimientos analítico-sintético, deductivo-inductivo, así como la observación en el análisis del territorio de las superficies, simulación para elaborar la infraestructura mediante el programa Radio Mobile e indagatorio para averiguar cómo ocurrió el desarrollo de la tecnología hasta alcanzar 4G.

En otra instancia, y continuando con los antecedentes internacionales, se encuentra Núñez (2013) con el trabajo denominado “Proyecto de una infraestructura de última

generación LTE-A para un sector urbano en Bogotá conforme al estándar 3GPP y la directriz ITU-R M.1457” Investigación para adquirir el Grado de Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones – Bogotá – Colombia. En dicho documento describe el sector de las telecomunicaciones a escala global y su apreciación desde la óptica de sus principales participantes, proveedores de servicio, productores y comercializadores, el cual experimenta diversos cambios vinculados a la implementación de la conexión de alta velocidad sin cables y la introducción del All IP junto con numerosos servicios integrados detrás de estos adelantos tecnológicos. La utilización masiva de dispositivos móviles cada vez más avanzados y resistentes provoca que el consumidor solicite una mayor cantidad de prestaciones. Por consiguiente, la puesta en funcionamiento del sistema LTE permite satisfacer la totalidad de las demandas de rapidez tanto para los consumidores como para los proveedores móviles.

2.2. Objetivos

2.2.1. *Objetivo general*

Implementar un nuevo sistema que nos permita optimizar la capacidad de la tecnología 4G, contribuyendo en la mejora del servicio móvil de la estación Huaylas del distrito de Chorrillos.

2.2.2. *Objetivos específicos*

- Realizar un estudio de diseño e implementación de la estacione base, conocer los equipos de operación, sistemas eléctricos, canal de transmisión y el sistema radiante en el distrito de Chorrillos para reducir el costo de mantenimiento.
- Realizar la selección adecuada de una tarjeta de capacidad, antena, que cuente con todas las características necesarias para la integración y obtener un mayor beneficio y confiabilidad.
- Identificar las zonas sin cobertura de la tecnología 4G en la estación Huaylas, realizando pruebas de campo radioeléctricas.

- Medir los principales indicadores de servicio móvil y parámetros 4G, y mediante ello, evidenciar la mejora de la estación Huaylas del distrito de Chorrillos.

2.3. Zona de estudio

La zona analizada se ubica dentro del distrito de Chorrillos en la jurisdicción de Lima. Se posicionará geográficamente y se describirá la región examinada para obtener una mejor visualización.

Figura 3

Ubicación geográfica (12°10'14.3"S, 77°01'23.4"W)



2.4. Bases teóricas

2.4.1. Evolución de la tecnología móvil

Desde sus inicios con las generaciones 1G, 2G, 3G y actualmente 4G, además de las distintas clases de redes de ingreso, y amplitudes de banda empleadas desde la primera infraestructura telefónica celular en 1979 hasta la época actual.

Las entidades que supervisan las telecomunicaciones en el territorio nacional, la operatividad y beneficios de la LTE, modulación OFDMA, conjunto de antenas MIMO, y se menciona la incorporación del sistema de cuarta generación a nivel global.

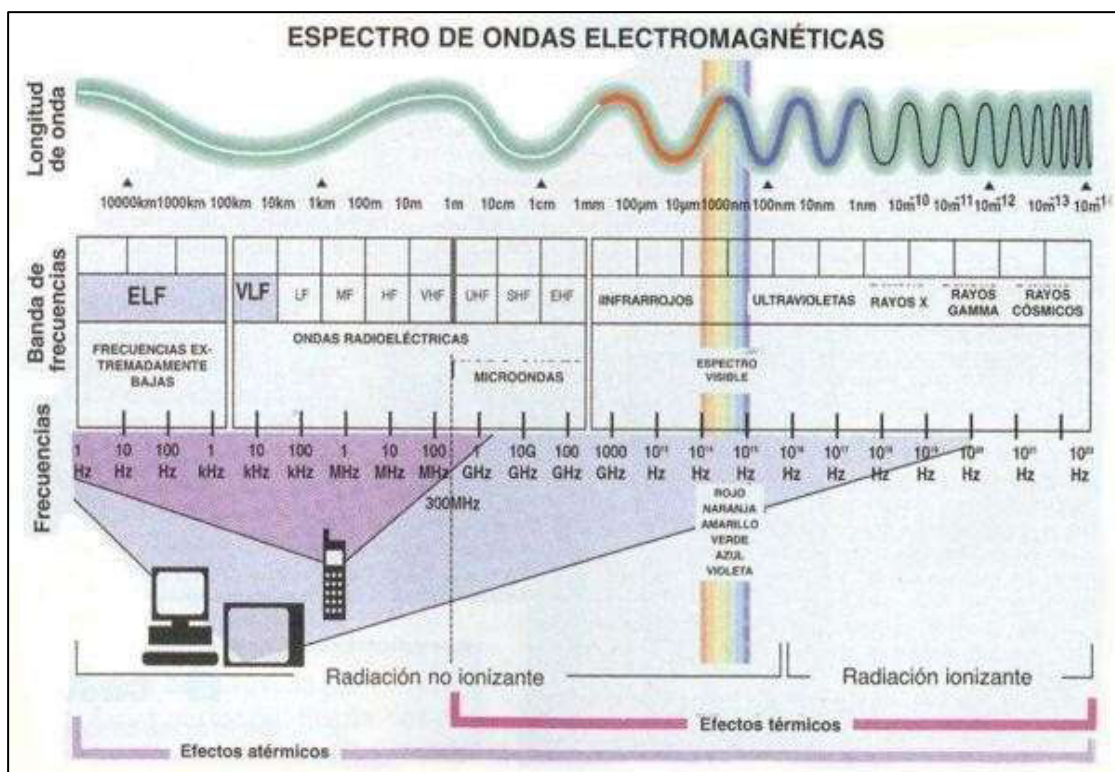
2.4.2. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético figura 04 se interpreta como la distribución de radiaciones

distinguidas entre sí por su frecuencia, y abarca desde la emisión de menor extensión de onda, tales como los rayos gamma y rayos X, la iluminación ultravioleta, la iluminación visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor extensión de onda, como las ondas de radio, que serán las que abordaremos en nuestro análisis, sustentado en tecnología sin cables.

Figura 4

Espectro de ondas electromagnéticas



2.4.3. Nomenclatura de bandas de frecuencias y longitudes de onda empleadas en las radiocomunicaciones

El espectro electromagnético se fracciona en nueve rangos de frecuencias, cuya unidad es el hercio (Hz) y se denominan de la forma siguiente:

- En kilohertzios (KHz) desde 0 hasta 3000 KHz.
- En megahertzios (MHz) superiores a 3 MHz hasta 3000 MHz.

- En gigahertzios (GHz) mayores a 3 GHz hasta 3000 GHz.

Tabla 1

Nomenclatura de bandas de frecuencias y longitudes de onda

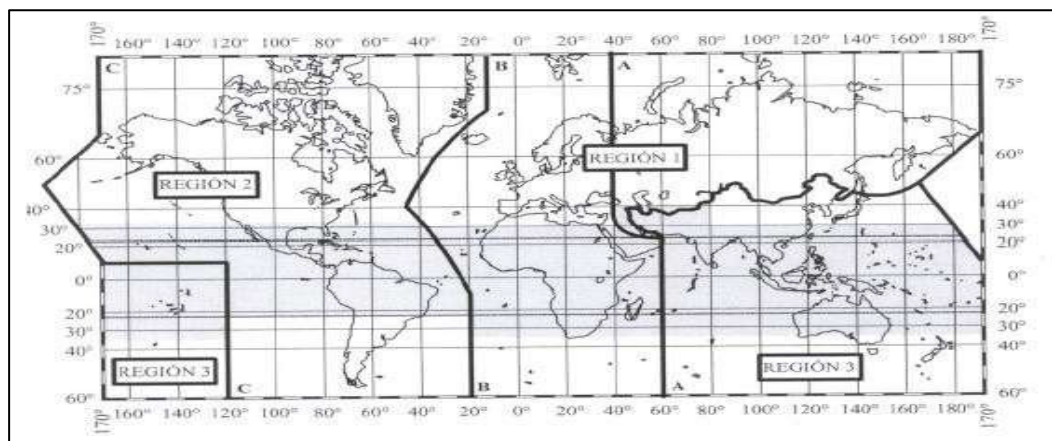
Número de la banda	Símbolos	Rango de frecuencias	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas para las bandas
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B. Mm
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300 a 3 000 kHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300 a 3 000 MHz	Onda decimétricas	B. dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Onda centimétricas	B. cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Onda milimétricas	B. mm
12	--	300 a 3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	--

2.4.4. Regiones y zonas del mundo

Desde la perspectiva de la asignación de los rangos de frecuencias, se ha dividido el planeta se divide en tres zonas. Perú se ubica dentro de la zona 2, Figura 05.

Figura 5

Regiones y zonas de atribución de bandas de frecuencias de UIT



2.5. Aspectos generales

Los sistemas de telecomunicación móvil se sustentan principalmente en el envío de información (especialmente voz) por medio de un terminal o teléfono portátil y la interfaz radioeléctrica que enlaza al usuario con la red celular. El teléfono portátil es el equipo que brinda la posibilidad de acceder a la red inalámbrica. La denominación celular surgió debido a la distribución de las antenas repetidoras dentro de la red, donde a cada una se le asigna la denominación de célula. La comunicación celular se integra por la unión de una estructura de equipos radiantes emisores–captadores de señal (amplificadores, radiantes) y un conjunto de nodos de intercambio, que posibilitan la interacción entre dispositivos móviles o entre móviles y teléfonos conectados a la red cableada.

2.5.1. *Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia*

La estructura global de una infraestructura celular está integrada por diversas fases. De manera resumida se detallan a continuación las más comunes:

- **El Terminal:** Es el dispositivo que se relaciona con el consumidor y desempeña la tarea de cifrar la información y enviarla en dirección al sistema. Tiene la capacidad de enviar sonido, información, fotografías y material audiovisual.
- **Interfaz Radio Radioeléctrica:** Es la clase de envío de los datos por medio del aire. Asimismo, se le denomina método de acceso radioeléctrico. Esta fase es altamente relevante porque efectúa el enlace entre el consumidor y el sistema. En dicha interfaz se controla la rapidez y la modalidad de transferir los datos.
- **Estaciones Base:** Hace referencia a la agrupación de radiantes y sus dispositivos de supervisión. Desempeña el cometido de brindar alcance de señal al final.
- **Control de Estaciones Base:** Gestiona un conjunto de estaciones base con la finalidad de preservar la continuidad de la conexión mediante el traspaso de un

enlace de un radiante a otro, proceso también denominado *handover*.

- **Núcleo de Red:** Es el lugar en el cual se lleva a cabo el intercambio expreso de los datos y la conexión hacia otras redes. Asimismo, contiene los datos de verificación de los consumidores de tipo finales.

2.5.2. *Tipos de acceso*

La interfaz inalámbrica se refiere al esquema de envío de señal de datos que se propaga a través del espacio y que posibilita que diversos consumidores logren concretar un enlace comunicativo de manera simultánea. Sin un esquema de ordenamiento, se generarían interferencias que perjudicarían la comunicación. Se encuentran diversas formas de transmisión de los datos, los cuales pueden ser de tipo analógico o digital. Cada método se distingue por transmitir con cierta magnitud de potencia, funcionar con un ancho de banda específico y por su orientación de transmisión; en un solo sentido (*simplex*) o en ambos sentidos (*dúplex*). Para los sistemas de datos, cada clase de acceso permite distintas velocidades de transmisión.

2.6. **Tecnologías existentes**

El acelerado progreso tecnológico ha posibilitado fabricar equipos portátiles progresivamente más sofisticados y aptos para brindar una amplia gama de utilidades, con lo cual la adopción y expansión de la telefonía celular a escala global resulta totalmente evidente, transformándose el teléfono móvil en un aparato imprescindible dentro de la rutina diaria del mundo contemporáneo. Las tecnologías de 2da y 3ra generación (2G y 3G) analizadas en este informe fueron elaboradas por la entidad 3GPP (Proyecto de Colaboración de Tercera Generación), debido a que GSM y UMTS han constituido las soluciones predominantes en sus respectivas generaciones y han suministrado los fundamentos necesarios para el desarrollo de LTE. De esta manera, se puede comprender con mayor claridad el equipamiento empleado en LTE, lo cual será abordado en el capítulo siguiente.

2.6.1. Primera generación

La generación inicial (1G) apareció en 1979. Se refería de un esquema analógico de limitada capacidad, orientado exclusivamente al envío de voz. La técnica aplicada en esta etapa recibió el nombre de AMPS (Advanced Mobile Phone System). El método de acceso empleado fue FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), en el cual el medio se segmenta en distintos canales de frecuencia, asignando cada uno a diferentes usuarios y comunicaciones de manera que no se interfirieran entre ellos. Este sistema demandaba una amplia capacidad de transmisión para sustentar múltiples usuarios simultáneamente.

Dentro de sus restricciones se hallaban las reducidas tasas de envío de datos, los enlaces inestables que ocasionaban la interrupción del intercambio de información con facilidad y la escasa seguridad que presentaba la plataforma.

Desde el ámbito de su estructura, era sólida debido a que estaba conformada debido a numerosos sistemas incompatibles entre ellos, lo cual hacía muy complicada la posibilidad de contar con cobertura fuera del área geográfica (roaming).

2.6.2. Segunda generación

La segunda generación de telefonía móvil que surgió aproximadamente en 1990 fue denominada GSM (Global System for Mobile communications) y fue desarrollada por la 3GPP. Alguno de los avances más sobresalientes que introdujo fue la transición hacia un sistema completamente digital. Debido a esta modificación, la red pudo otorgar más prestaciones tales como la transmisión de mensajes escritos mediante un servicio llamado Short Message Service o SMS y el roaming. GSM empleó como modalidad de utiliza una variante de TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia).

Referente a la 2da generación se llevaron a cabo múltiples ajustes relacionados con el método de envío de información, debido a que las prestaciones de mensajes cortos SMS presentaban una conectividad limitada, puesto que GSM ejecutaba estas funciones mediante

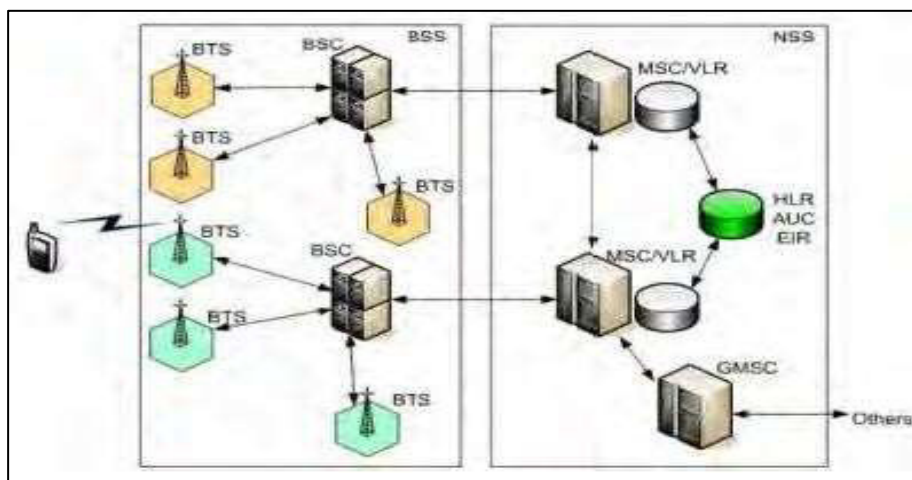
conmutación de circuitos. Las innovaciones tecnológicas creadas para perfeccionar el sistema fueron GPRS (Servicio de Radio de Paquetes Generales) y posteriormente EDGE (Velocidades de Datos Optimizada para la Evolución de GSM). GPRS representó una actualización que incorporó en el núcleo de la red un módulo de intercambio de paquetes, encargado de administrar el flujo de información. En tanto, EDGE se apoyó en optimizaciones de la interfaz aérea, posibilitando así un incremento en la rapidez de envío de la información.

2.6.2.1. Arquitectura GSM. El triunfo del sistema GSM se difundió rápidamente en naciones de todo el planeta, y con la incorporación de los teléfonos móviles tribanda, que funcionan en las bandas de frecuencia de 900, 1800 y 1900 MHz, se facilitó notablemente la utilización del roaming internacional, posibilitando la comunicación en cualesquiera de los 05 territorios continentales.

La estructura de GSM mantiene los módulos generales de un esquema básico de red móvil, como se aprecia en la Figura 06. Entre cada uno de ellos módulos operativos hay una conexión eléctrica apropiada, encargada de permitir la transferencia de datos entre sí. Asimismo, cada módulo está compuesto por submódulos, los cuales realizan funciones específicas dentro de la red.

Figura 6

Arquitectura de red GSM



2.6.2.2. Arquitectura GPRS. El esquema GSM con la configuración previamente citada se encontraba restringido para las funciones elementales de mensajería (SMS) y transmisión de información. Esto ocurría debido a que, para efectuar una transferencia de datos, era necesario mantener un vínculo activo durante la totalidad del periodo de transmisión de datos.

GPRS posibilitó un mecanismo de transporte de datos (paquetes) más eficaz. Añadió módulos adicionales en el núcleo de red GSM, los cuales facilitaron el envío de información mediante intercambio de paquetes de datos. De esta manera, el envío de voz se ejecutaría dentro de la estructura GSM (fundamentada en intercambio de circuitos) y las prestaciones de envío de mensajes e información como acceso a internet se llevarían a cabo gracias al GPRS.

En otro sentido, el gasto de despliegue del sistema GPRS es reducido, ya que al tratarse de una ampliación de GSM se emplea todo el equipamiento existente incorporando únicamente dos elementos nuevos SGSN (Serving GPRS Support Node) y GGSN (Gateway GPRS Support Node) para el tráfico de paquetes e integrando un componente PCU (Packet Control Unit) en las BSC (Base Station Controller), con la posibilidad a que los canales sean otorgados de manera dinámica a GSM o GPRS según los niveles de tráfico otorgando siempre preferencia a los servicios de voz; lo previamente indicado puede visualizarse en la Figura 07.

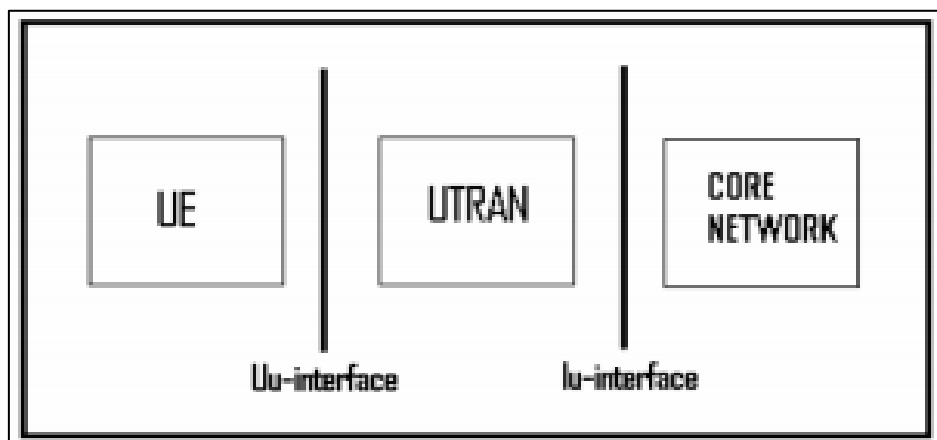
GPRS incorpora la noción de nivel de servicio (QoS), el cual representa la facultad de adecuar el servicio a los requerimientos de un programa.

dos áreas independientes dentro del núcleo de la red. Se estableció el dominio conmutado por circuitos (CS) para prestaciones de telefonía y el ámbito conmutado por paquetes (PS) para transmisiones de datos. Otro cambio importante fue que los servicios de datos quedaron completamente basados en IP, lo que simplificó la facturación según el tráfico generado o la información descargada.

2.6.3.2. Arquitectura de red. UMTS posee una estructura en la cual se identifican tres componentes principales: el terminal del usuario (UE), la infraestructura de acceso inalámbrico terrestre UTRAN (Red de Acceso Radioeléctrico Terrestre UMTS) y el núcleo de la red. Este esquema general puede observarse en la figura 09. La interfaz UU corresponde al vínculo entre el UE y UTRAN, mientras que la conexión entre UTRAN y el Core Network se realiza mediante la interfaz Iu. Es importante mencionar que la comunicación entre el dispositivo entre el consumidor y la infraestructura de acceso UMTS emplea la tecnología WCDMA, por lo cual la red radioeléctrica opera bajo este método de acceso múltiple.

Figura 9

Esquema de bloques para una red UMTS



- **Núcleo de Red (Core Network):** El Core de la red integra responsabilidades de transmisión junto con mecanismos de procesamiento lógico. Las primeras se encargan de mover la información relacionada al tráfico y a la señalización, incluyendo las operaciones de conmutación. Por otro lado, las funciones lógicas se

ocupan del direccionamiento y control, lo cual abarca mecanismos de coordinación de servicios mediante interfaces claramente establecidas, además de la administración del desplazamiento de los usuarios (movilidad). Mediante este núcleo, UMTS puede interconectarse con otras infraestructuras de telecomunicaciones, permitiendo que la comunicación no se limite únicamente a usuarios móviles UMTS, sino que también pueda establecerse con abonados pertenecientes a distintas redes.

- **Red de acceso Radio (UTRAN):** Se diseñó con el objetivo de lograr velocidades de transferencia elevadas. La infraestructura de acceso inalámbrico es la encargada de enlazar los dispositivos móviles con la red central. En el caso de UMTS, esta parte se denomina UTRAN, y está formada por varios conjuntos llamados subsistemas de red de radio (RNS), los cuales constituyen el mecanismo de comunicación del sistema UMTS. Cada RNS administra los recursos de radio y la emisión/recepción de señales dentro de varias celdas, y está integrado por un RNC junto con uno o más nodos B.
- Los nodos B son los componentes del sistema que equivalen a las estaciones base, y cumplen funciones similares a las de un controlador de un nodo emisor de señal (BTS).
- **UE (User Equipment):** Está formado por el dispositivo portátil y su módulo de identificación del usuario de los servicios (USIM), el cual equivale a la tarjeta SIM utilizada en los teléfonos móviles.

2.6.3.3. Acceso de radio. El método de acceso radioeléctrico empleado en la tecnología UMTS corresponde a CDMA con ensanchamiento mediante secuencia continua, conocido como WCDMA (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha). Esta interfaz opera con un espectro de 5 MHz, lo cual limita su capacidad de adaptación, en otras palabras, si se desea incrementar el ancho disponible, este debe ampliarse en bloques de 5 MHz. La tecnología WCDMA puede manejar tasas de transmisión que van aproximadamente desde 144 hasta 512 Kbps en zonas de amplia cobertura, y en entornos reducidos alcanza hasta 2 Mbps. WCDMA es un método basado en la segmentación por código, donde la señal en banda base es expandida en el espectro al multiplicarla a través de una serie predefinida de alta frecuencia. Dicha secuencia de referencia permite reconocer la señal original tanto en el equipo emisor como en el equipo receptor. Debido a la mayor frecuencia del ensanchamiento, la señal admite velocidades superiores de transferencia. Para recuperar la información útil en el receptor, se vuelve a multiplicar la señal modulada con la misma secuencia empleada en el envío, lo que restaura el ancho de banda inicial, pero a la vez expande cualquier señal interferente de banda angosta que pudiera haber ingresado (Holma et al., 2009).

En lo referente a la transferencia de información empleando WCDMA, existen dos formas principales de funcionamiento:

- **TDD (Time Division Duplexing):** En este esquema de doble sentido, los envíos en subida y bajada se transportan dentro de la misma banda espectral, empleando segmentos temporales de manera coordinada. De esta forma, las franjas de tiempo dentro de un canal físico se asignan a los hilos de información que corresponden tanto a transmisión como a recepción.
- **FDD (Frequency Division Duplexing):** Los canales utilizados para las emisiones ascendentes y descendentes hacen uso de dos franjas espectrales distintas. A cada sentido de comunicación se le otorga un dúo de bandas para operar, las cuales

reciben el nombre de frecuencias pareadas.

2.6.3.4. Sistema 3.5G. Con la intención de potenciar las redes UMTS y conseguir enlaces móviles de alta capacidad, surgieron las plataformas HSPA (Acceso de Paquetes de Alta Velocidad) y más adelante su versión HSPA+ (evolved-HSPA). Esta tecnología (HSPA/HSPA+) se orienta especialmente a lograr tasas elevadas de transferencia de información, permitiendo un tráfico de datos mucho más rápido que en las generaciones previas desde la estación NodoB hacia el dispositivo del usuario, mediante la implementación de ajustes en la interfaz de radio, es posible alcanzar tasas de transmisión comprendidas entre 14 Mbps y 84 Mbps, haciendo uso de una técnica de antenas múltiples denominada MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) y la modulación 64-QAM. No obstante, estas cifras representan velocidades máximas teóricas que rara vez se logran en condiciones reales. Cuando el suscriptor se encuentra próximo a la celda (con un máximo de tres sectores por sitio), las velocidades efectivas apenas superan los 14,4 Mbps proporcionados por HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), salvo que se disponga de un canal superior a los 5 MHz.

2.6.4. Cuarta generación LTE

El sistema LTE (Long Term Evolution), considerado como el heredero tecnológico de UMTS y HSPA, se encuentra actualmente en proceso de implementación y se proyecta como la ruta principal para los servicios móviles de gran velocidad. En sus primeras versiones se le catalogó como una evolución del 3G, o incluso como una tecnología intermedia “3,9G”, pero con la incorporación de mejoras adicionales este estándar progresa hacia una verdadera tecnología 4G, conocida bajo la denominación de LTE Advanced.

2.6.4.1. Características generales. El sistema LTE puede entenderse como un conjunto de soluciones tecnológicas que introduce en las telecomunicaciones móviles una infraestructura simplificada con elevado desempeño. Entre las mejoras que aporta LTE se encuentra el incremento en las tasas de envío y recepción de datos por el medio radioeléctrico, logro asociado a la aplicación de nuevos esquemas de acceso tanto en el enlace ascendente (SC-FDMA) como en el enlace descendente (OFDMA), además de la utilización del método MIMO, que utiliza múltiples radiantes en el emisor y en el receptor.

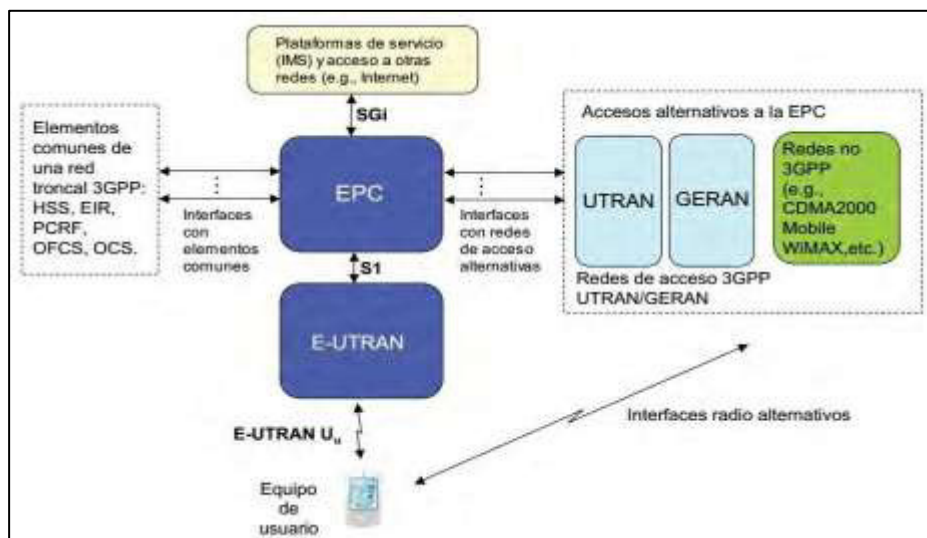
La tecnología 4G de conectividad amplia, permite que los proveedores inalámbricos aprovechen mayores velocidades de bajada y subida, así como una mayor cantidad y diversidad de información a través de terminales portátiles. Las redes 4G representan plataformas completamente basadas en IP, capaces de transmitir voz, datos y contenidos multimedia, proporcionando prestaciones para consumidores móviles en prácticamente cualquier momento y en casi cualquier ubicación. Esta generación proporciona avances significativos en las velocidades de transmisión en relación con sus antecesoras dentro de la comunicación inalámbrica. Las conexiones radioeléctricas de alta velocidad permiten la prestación de servicios con altos volúmenes de datos, como audio y video en tiempo real, mensajería audiovisual, videollamadas, televisión portátil y entretenimiento interactivo.

Otra ventaja adicional que ofrece LTE es la disminución en el consumo energético. LTE integra una configuración renovada para la gestión de recursos energéticos denominada RRC (Radio Resource Control), la cual posibilita que, durante los estados de inactividad (Idle) del dispositivo, se minimice el consumo de datos conservando, a la vez, la movilidad del usuario. De este modo, se consigue disminuir el gasto energético del equipo móvil, de las estaciones base y del núcleo de la red.

2.6.4.2. Arquitectura del sistema LTE. La estructura de comunicaciones del entorno LTE recibe el nombre de EPS (Sistema de Paquetes Evolucionado). De manera general, dicho conjunto está formado, como se observa en la ilustración 10, por los Dispositivos del Usuario (UE), la malla de acceso E-UTRAN y el núcleo principal EPC (Evolved Packet Core). Estos dos últimos elementos conforman la capa de enlace IP, cuya finalidad predominante es asegurar una conexión de alta capacidad. El Subsistema de Multimedia sobre IP (IMS) corresponde a un grupo de normas que se emplean como plataforma de acceso hacia las prestaciones de voz y contenidos multimedia mediante protocolo IP.

Figura 10

Arquitectura del sistema LTE



La infraestructura de acceso E-UTRAN y el núcleo troncal EPC entregan en conjunto prestaciones de intercambio de paquetes IP entre los terminales de los usuarios e infraestructuras de paquetes externas, como sistemas IMS y/o similares mallas de telecomunicaciones como la red global. De manera formal, la prestación de intercambio de paquetes IP facilitada por la tecnología LTE entre el dispositivo del servicio de transferencia de datos entre el equipo del consumidor y una infraestructura externa se identifica como portador EPS (Dahlman et al., 2011).

2.6.5. *Análisis de capacidad Multimedia en agrupamientos de celdas LTE*

2.6.5.1. Introducción. La progresión a largo plazo (LTE: Evolución a Largo Plazo) correspondiente a la tecnología UMTS constituye uno de los últimos avances dentro de la cadena de progresos en los sistemas de comunicaciones móviles. Constituye una generación novedosa de servicios telefónicos inalámbricos concebida para complementar y sustituir a las soluciones pertenecientes a la Tercera Generación (Sesia et al., 2009). Entre sus rasgos más destacados se encuentra el hecho de que la red opera totalmente mediante IP y trabaja bajo un esquema basado en intercambio de paquetes. Asimismo, proporciona velocidades de envío considerablemente más altas en comparación con tecnologías precedentes. En relación al tamaño de las celdas, se considera que alrededor de 5 km es una dimensión óptima; cerca de 30 km se obtiene un rendimiento razonable y aproximadamente hasta 100 km aún se mantiene un desempeño aceptable. Respecto a la movilidad, el sistema está optimizado para desplazamientos reducidos entre 0 y 15 km/h, aunque también puede soportar velocidades elevadas. Adicionalmente, maneja un ancho de banda flexible que puede variar entre 20MHz, 15MHz, 10MHz, 5MHz e incluso valores inferiores. LTE también puede coexistir con estándares previos sin generar incompatibilidades. En cuanto a la capacidad de transferencia, puede alcanzar picos instantáneos de descarga de hasta 100 Mbit/s utilizando un ancho de banda de 20MHz y picos instantáneos de envío o subida que llegan a los 50 Mbit/s bajo el mismo ancho de banda.

2.6.5.2. Teoría del Dominio y trabajos previos. Zhang (2010) analiza la cobertura y la capacidad del sistema LTE y, en función de ello, plantea un modelo orientado a la versión 8 de dicha tecnología. Los resultados obtenidos abarcan cálculos relacionados con la interferencia en la cobertura, el comportamiento del tráfico, y la capacidad para asignar frecuencias de radio. Además, consiguió materializar su propuesta dentro de un entorno de programas destinada a la planificación denominada WRAP Radio LTE. Por otra parte, Abdul, S. (2009) se centran en estudiar la planificación y cálculo de la capacidad de redes LTE, así como la elaboración de instrumentos que permitan realizar dicho dimensionado, detallando y describiendo las distintas fases involucradas. A su vez, Doru et al. (2010), ofrecen una revisión amplia sobre las ventajas y los retos vinculados con la implementación simultánea de macroceldas y femtoceldas. Este trabajo entrega información específica sobre diversas alternativas de despliegue para ambos tipos de celdas, e incluye un análisis destinado a estimar los beneficios que aporta la descarga de tráfico desde la macro hacia las femtoceldas en escenarios reales mediante técnicas avanzadas. Finalmente, De la Roche et al. (2010) muestran los resultados de un conjunto de mediciones en terreno destinadas a describir las condiciones de la cobertura proporcionada por femtoceldas en viviendas residenciales, especialmente para servicios de datos a gran velocidad. Los hallazgos indican que los usuarios pueden llegar a obtener mejoras superiores a cinco veces en la velocidad del enlace aéreo en relación con las macroceldas ya desplegadas en la red. Dicho artículo expone la metodología aplicada en las mediciones y presenta una síntesis de los resultados tanto para tecnologías 1xEV-DO como para HSDPA. Los datos expuestos evidencian que la utilización de femtoceldas para prestaciones de alta velocidad resulta más ventajoso incluso que su aplicación en prestaciones fundamentadas en voz.

2.7. Metodología

2.7.1. Descripción de la propuesta

Con la finalidad de plantear la propuesta de solución para el presente trabajo de investigación, se deberá conocer previamente algunos detalles como alternativa adicional en las instalaciones, mantenimientos en las compañías a la cual se ejecutarán o cuenten con equipos de respaldo de energía. Indicando las actividades económicas a las que se dedica, su participación en los diferentes países en el mundo, cumpliendo las normas o políticas establecidas con el estado peruano, su ubicación e infraestructura existente en la cual se prevé estudiar alternativas de una mejora de capacidad de celda (mayor ancho de banda) de los servicios para sus clientes.

La propuesta de solución a plantear se enfoca a la simulación con la PAC (Plataforma de análisis de capacidad 4G LTE) y estudio para poder implementar un sistema que mejora la capacidad del operador. Se deberá tomar como principal premisa los resultados a obtenerse:

Caso de Estudio:

Datos de entrada para el cálculo de las tasas de datos DL (enlace de Bajada): Se consideran como parámetros técnicos el rango de frecuencia (1,4, 5, 10, 15 MHz), la disposición MIMO (1x1, 2x2, 3x3, 4x4), la intensidad de emisión del eNodeB (42 a 50 dBm) y la señal captada por el dispositivo del usuario (-54,652 dBm). Para este escenario, considerando como valores iniciales un ancho de banda de 20 MHz, una configuración MIMO 4x4 y un nivel de transmisión del eNodeB de 46 dBm y una potencia recibida por el usuario de -54.652 dBm, se obtiene como resultado una tasa de información en el canal de descarga (DL) de 61.82 Mbps.

Datos de entrada para el cálculo de las tasas de datos UL (enlace de subida): Se consideran los parámetros técnicos para el enlace ascendente, tomando el mismo ancho de banda seleccionado para el enlace descendente, una disposición MIMO 1x1, la intensidad de

emisión del dispositivo del usuario de 27,78 dBm y la señal captada por el eNodeB de -82,6 dBm. Considerando como valores de partida un ancho de banda de 20 MHz (el mismo que en el caso anterior), una configuración MIMO 1x1, una intensidad de emisión del eNodeB de 46 dBm y una señal recibida por el dispositivo del usuario de -54.652 dBm, se obtiene como resultado una tasa de datos en el enlace descendente (DL) de 14.92 Mbps.

Una vez obtenidos estos valores, se procede a seleccionar en el panel de parámetros adicionales: la Hora Pico (10, 20, 30, 40, 50), el Número de Sectores (1, 2, 3), el Tipo de Servicio (VoIP, Vstreaming, TV) y el Factor de Sobresuscripción (10, 20, 30). Para este caso, se eligieron los siguientes datos de entrada: un porcentaje de Hora Pico de 10, Número de Sectores igual a 3, Tipo de Servicio VoIP y un Factor de Sobresuscripción de 10. Como resultado de esta configuración, se obtienen un número de suscriptores en el enlace descendente (DL) de 15,203 Mbps y un número de suscriptores en el enlace ascendente (UL) de 3,671 Mbps.

Datos de entrada para el Área de Cobertura: Se consideran como parámetros de transmisión y recepción los siguientes valores: potencia transmitida entre 42 y 50 dBm, potencia recibida de -82.6 dBm, amplificación del radiador del transmisor con opciones de 2, 4, 6, 9 o 11 dBi, y ganancia de la antena del receptor también de 2, 4, 6, 9 o 11 dBi. Asimismo, se incluyen las pérdidas de cable y otras pérdidas asociadas al transmisor, que pueden ser de 0 o 2 dB, así como las pérdidas de cable y otros elementos en el receptor, también con valores de 0 o 2 dB, Margen de diseño (0, 5, 10, 15, 20, 25 dB), Tipo de población (Urbana, Suburbana, Ciudad Pequeña, Ciudad Grande), Frecuencia central (1910, 2017.5, 1880, 1960, 1920, 1900 MHz), Altura de la estación emisora (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200 metros), Altura del radiador móvil (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 metros), Número de sectores (1, 2, 3).

Considerando como datos de entrada una potencia de emisión de 46 dBm, una potencia captada de -82,6 dBm, ganancia de la antena transmisora de 2 dBi, ganancia de la antena receptora de 2 dBi, pérdidas en el cable y otros elementos del transmisor de 0 dB, pérdidas en

el cable y demás componentes del receptor de 0 dB, un margen de planificación de 0 dB, frecuencia central de 1910 MHz, altura de la estación base de 30 metros, altura de la antena móvil de 1 metro y cantidad de sectores igual a 1, se obtiene como resultado un radio de celda de 1.72 km y un área de cobertura de 9.35 km². Para este caso calculado, los parámetros quedarían de la forma descrita:

Tabla 2

Resultados obtenidos

Resultados Obtenidos	
Tasa de Datos DL	61.82 Mbps
Tasa de Datos UL	14.92 Mbps
Número de Suscriptores DL	15203
Número de Suscriptores UL	3671
Área de Cobertura	9.5 Km
Tipo de población	Sub Urbano
Tipo de Servicio	VoIP
Número de Usuarios DL por Km ² /Celda	541 Usuarios
Número de Usuarios UL por Km ² /Celda	130 Usuarios

La herramienta permite calcular la capacidad de un conjunto de celdas en términos de cantidad de usuarios, lo que facilita la planificación de la expansión y el aumento en el número de celdas y poder implementar nuevos equipos que brinden este crecimiento de capacidad de celdas. Para el siguiente desarrollo se deberá seguir lo siguiente:

- Implementar un sistema radiante en una estación existen para mejorar el ancho de banda, sistema de alimentación, Esquema general de suministros eléctricos disponibles en la estación ya existente para su implementación.
- Efectuar un levantamiento de terreno, identificando las diferentes configuraciones y aplicaciones. Asimismo, se pretende comprender la constitución de cada elemento y la finalidad de cada dispositivo a instalar, así como las propiedades más relevantes

al momento de seleccionar un proveedor de estos equipos.

- Seleccionar una alternativa para implementar y realizar el desarrollo de todos los cálculos eléctricos requeridos que respalden y fundamenten la opción elegida.
- Verificación de las instalaciones de radiofrecuencia y realización de ajustes o correcciones en caso de detectar alguna deficiencia o anomalía.
- Desarrollar un plan de trabajos del sistema radiante a implementar.
- Preparación de una estimación económica aproximada para la ejecución de la instalación.
- Establecer los criterios para la selección del sistema radiante: alcance de cobertura, medio de propagación, sistema de alimentación, costos de inversión y espacio físico disponible.
- Realizar la selección adecuada de un medio de propagación (tipo de Antena), el cual cuente con todas las características necesarias para la integración de la cobertura y señal ya existente para de esta forma almacenar la data histórica de eventos de alarmas en el US2000 del equipo.

También debemos tener conocimiento los equipos que ya están en servicio.

2.7.1.1. Antecedentes. El eNodeB ya existente de nombre 0130079_LM_ Huaylas / proyecto Rollout / Tipo de estación – Rooftop, Indoor / Propio de Entel / Año de construcción - 2001, se encuentra ubicada en la dirección Av. Huaylas N 668, 666 y 664 departamento de Lima, Lima, Chorrillos.

El eNodeB 0130079_LM_ Huaylas ubicada en el distrito de Chorrillos, cuenta con un espacio de 5.30x11.00 m², dentro del espacio se encuentra una estructura (tipo de Torre) Autosoportada cuadrada donde se encuentra todos los equipos RF (Antenas, RRU, Microondas. Etc.), en la superficie se encuentra un Gabinete Tipo Shelter donde se encuentran los equipos de Transmisión, Banco de batería, Tableros eléctricos Etc. Por otro lado, también se encuentra

un tablero AC general para el funcionamiento de los equipos.

El eNodeB 0130079_LM_ Huaylas, inició sus operaciones en 2001, y actualmente, el sitio se encuentra servicio, cuenta con equipos para el funcionamiento de las tecnologías 2G,3G y 4G en diferentes bandas, Banco de batería para casos de emergencias y equipos de transmisión para dar comunicación a otros clientes o futuros sitios. Por lo que el operador propone implementar equipos para una mayor capacidad generada por esta estación, con el proyecto 4T6S se lograra esto, y poder beneficiar a los clientes de esta zona.

Figura 11

Site 0130079_LM_ Huaylas



Figura 12

Ubicación del site 0130079_LM_ Huaylas

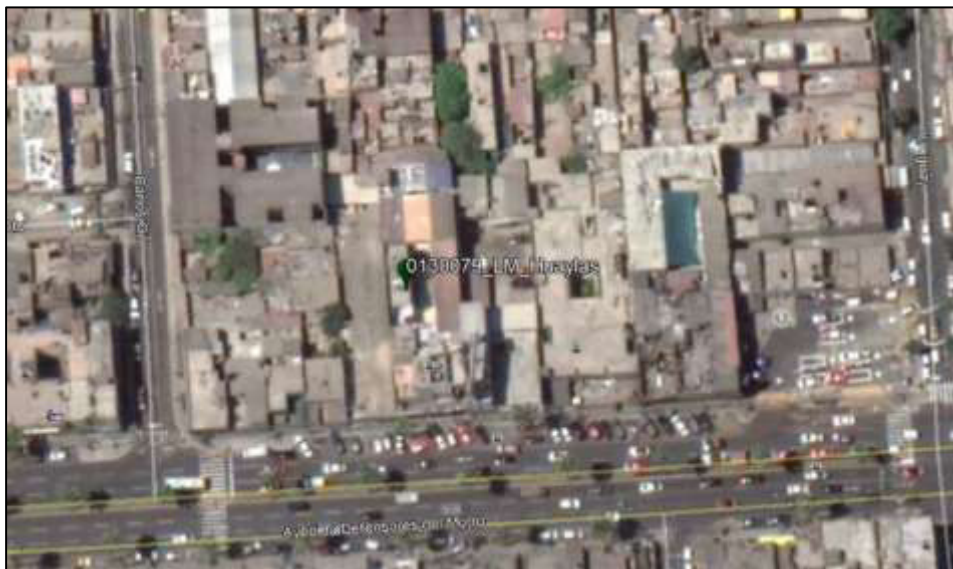


Figura 13

Plano de planta General

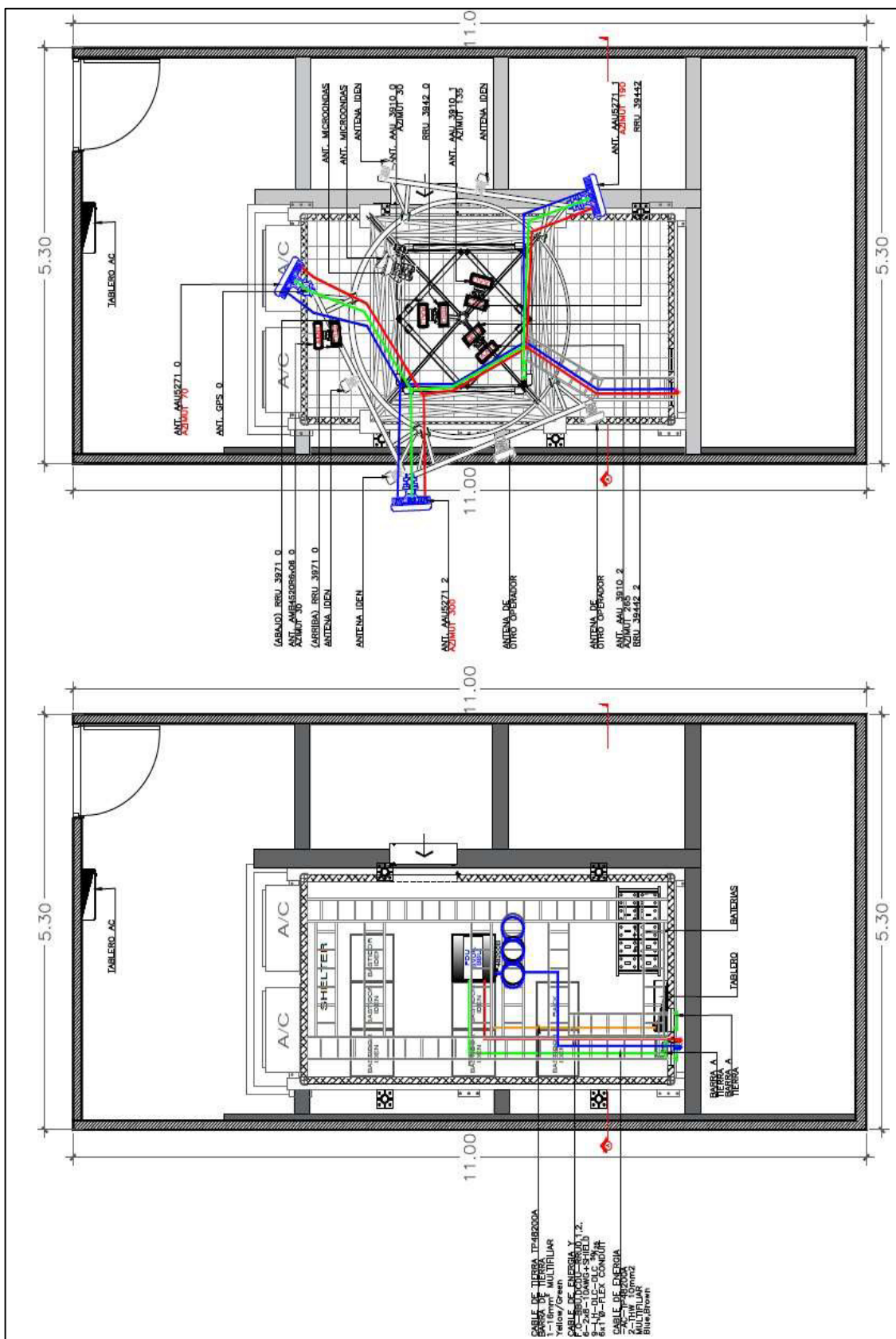
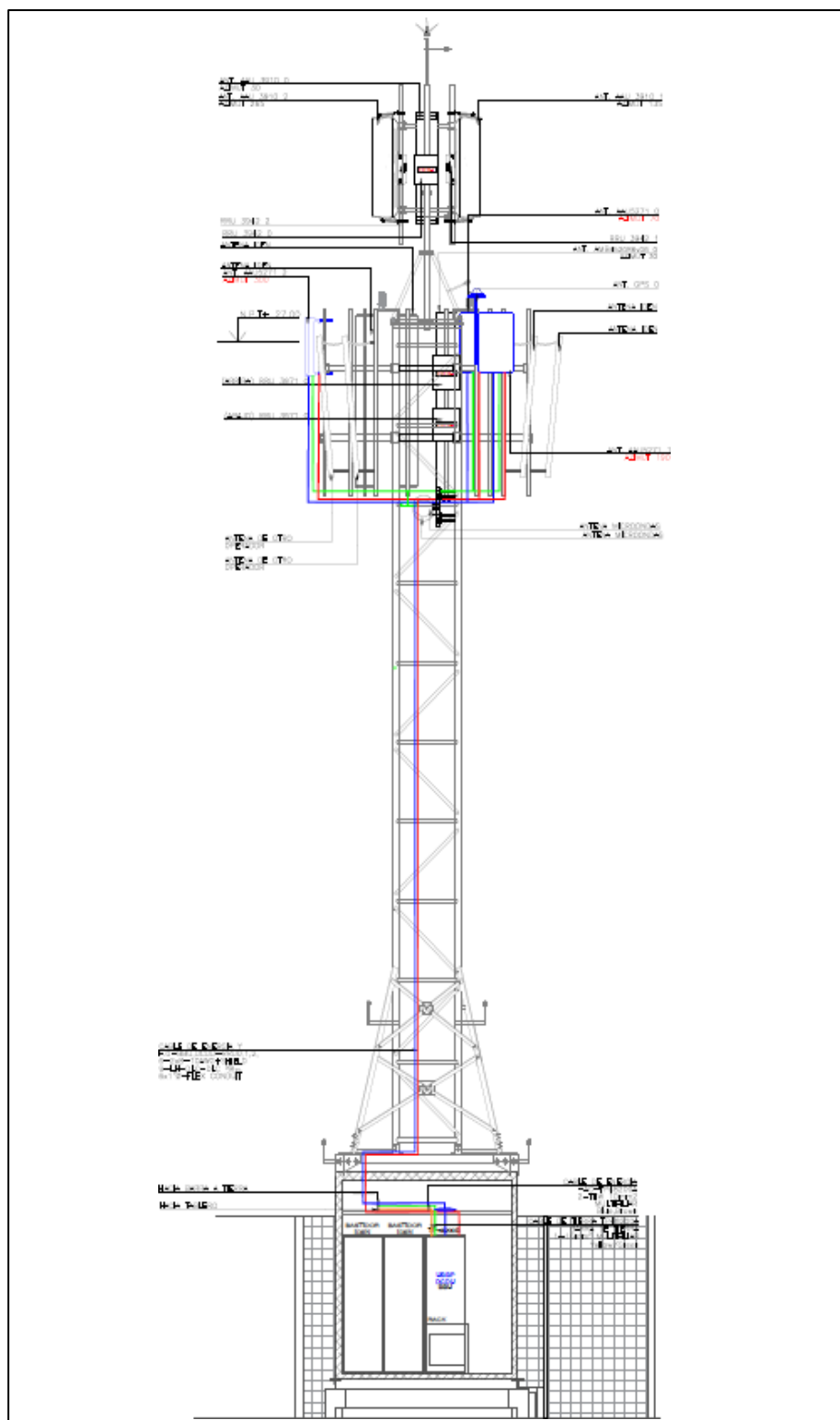


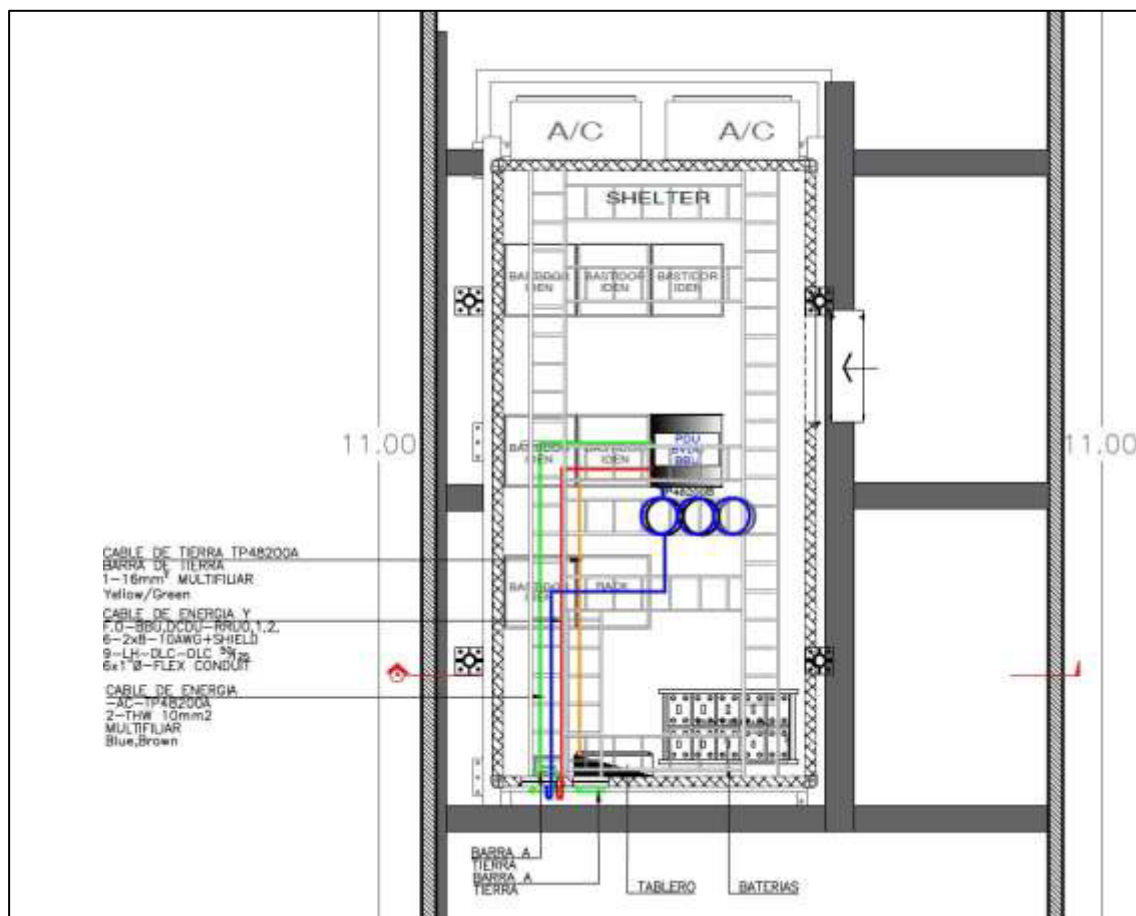
Figura 14*Plano de la torre.*

2.7.1.2. Descripción de las instalaciones. El objetivo del presente trabajo es realizar una instalación de un sistema de equipos RF que otorguen un mayor beneficio en el ancho de banda de nuestros clientes de esa zona del distrito de Chorrillos, contando con una estación base ya existente y en funcionamiento, con la premisa de que esta implementación sea fiable y presente una disponibilidad elevada.

Para ello, la estación base existente dispone de acometidas eléctricas independientes de la propiedad, cuenta con baterías de respaldo para cualquier fallo que se encuentre con la corriente doméstica, sin afectar el servicio ni afectar la satisfacción de los clientes.

Figura 15

Esquema general eléctrico



La sala de equipos ubicados site 0130079_LM_ Huaylas está compuesto, una torre autosoportada cuadrada de 18m, equipos RF como son Antenas, RRU y microondas, una sala

de instalaciones propias o equipos de transmisión: dispositivos electrónicos para el resguardo de datos o para procesamiento computacional.

La estación es tipo Rooftop, ubicada en un edificio que es una galería de 9m de altura cuenta con ingreso independiente a las galerías, acometida eléctrica independiente (LDS) y no depende de un grupo electrógeno.

Figura 16

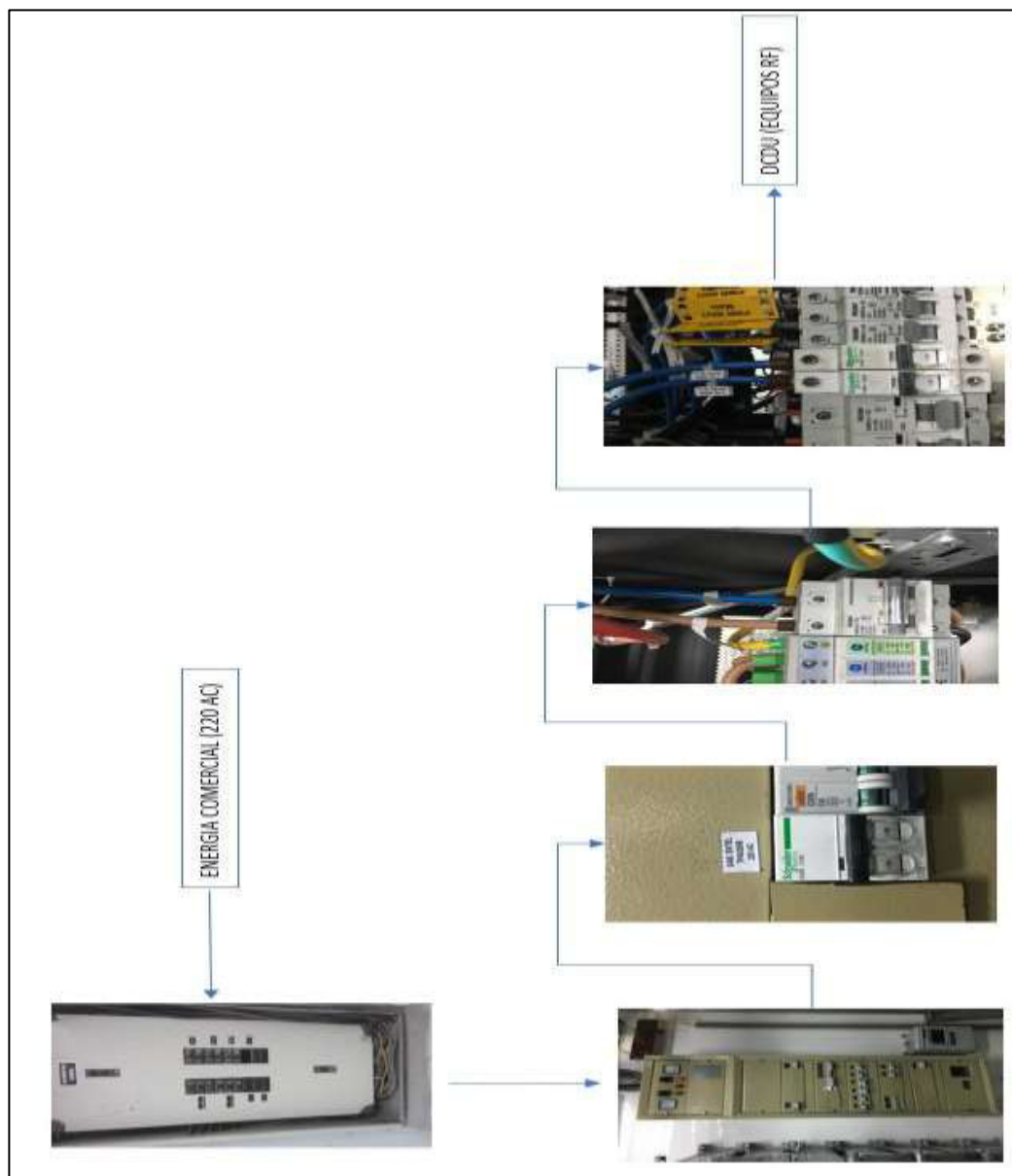
Panorámica del site 0130079_LM_Huaylas



2.7.1.3. Diagrama pictórico eléctrico. El punto de acometida es hasta un tablero general del cual se distribuye hacia los equipos en sala, se realiza en la última planta donde se encuentra la estación.

Figura 17

Diagrama pictórico eléctrico



2.7.2. Equipos e Instalación “LTE AWS – 4T6S”

2.7.2.1. Descripción de escenarios.

A. Pre condiciones.

- El emplazamiento disponga del espacio adecuado para reemplazar la estructura de soporte, instalar las antenas y las RRU en la torre o mástil (según el diseño previsto).
- El emplazamiento disponga de una barra de puesta a tierra con posiciones libres para la instalación de las nuevas RRU y la transmisión en lista.
- El lugar dispone de una BBU previamente instalada.

B. Site Model 1: SWAP IDEN por Antena Pasiva.

- Se debe instalar la unidad DCDU, reemplazar las antenas IDEN (ubicación confirmada por el cliente) por antenas AMB4520R6, añadir dos RRU3971 en la torre o mástil, y sustituir la tarjeta LBBP por una tarjeta UBBPe4 en la BBU existente. Tanto las antenas como los RRU se ubicarán y configurarán por sector.

C. Site Model 2: Cosite Antena Pasiva

- Se procederá a la instalación de la unidad DCDU, la incorporación de antenas AMB4520R6 junto con RRU3971 en la torre o mástil, y la sustitución de la tarjeta LBBP por una tarjeta UBBPe4 en la BBU existente. La colocación de las antenas y los RRU se realizará de manera individual por cada sector.

2.7.2.2. Herramientas y equipos a utilizar.

Tabla 3

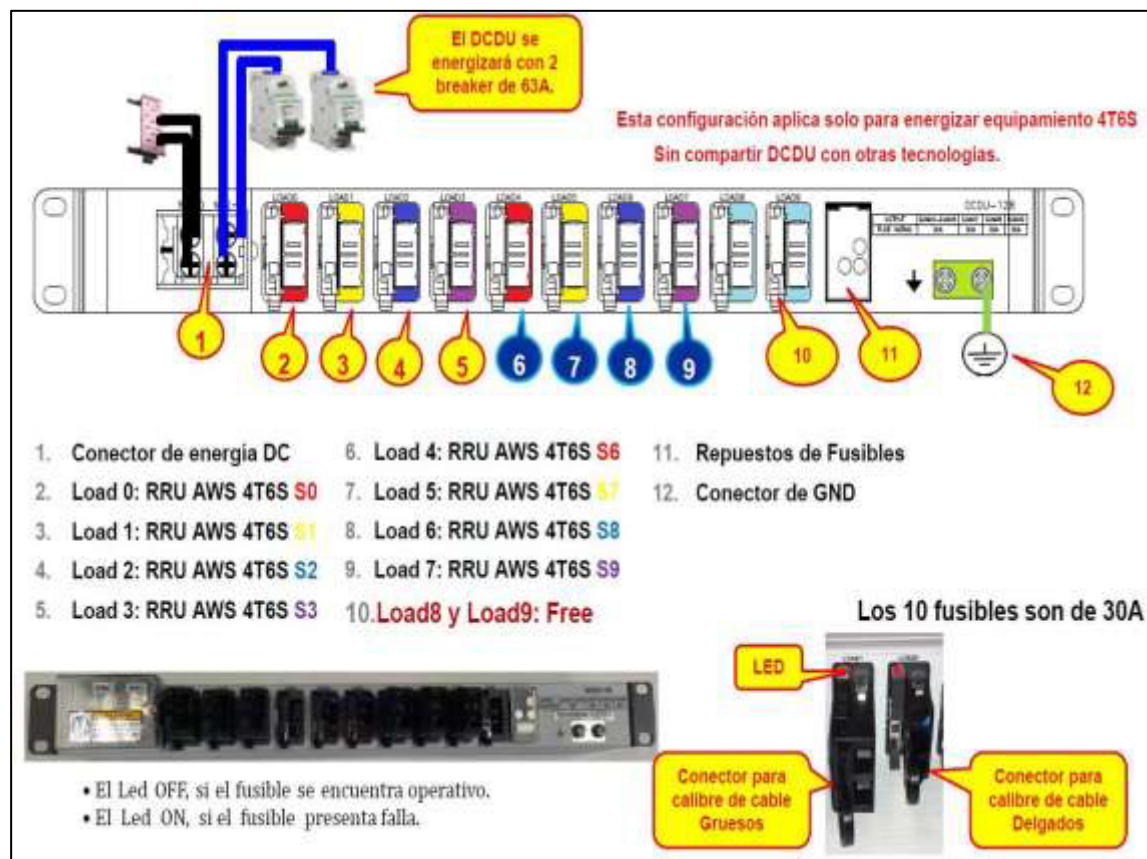
Herramientas y equipos a usar

Herramientas		
Llave hexagonal M6	Multímetro y wincha	Guantes antideslizantes
Destornillador plano y estrella	Martillo y mazo de goma	Casco de seguridad
Llave francesa	Brújula	Zapatos de seguridad
Cuchilla de uso general	Site Master	Eslinga de elevación
Crimpeadora para terminales	Inclinómetro	polea
Alicate de corte	Arnés de seguridad	Lentes de seguridad

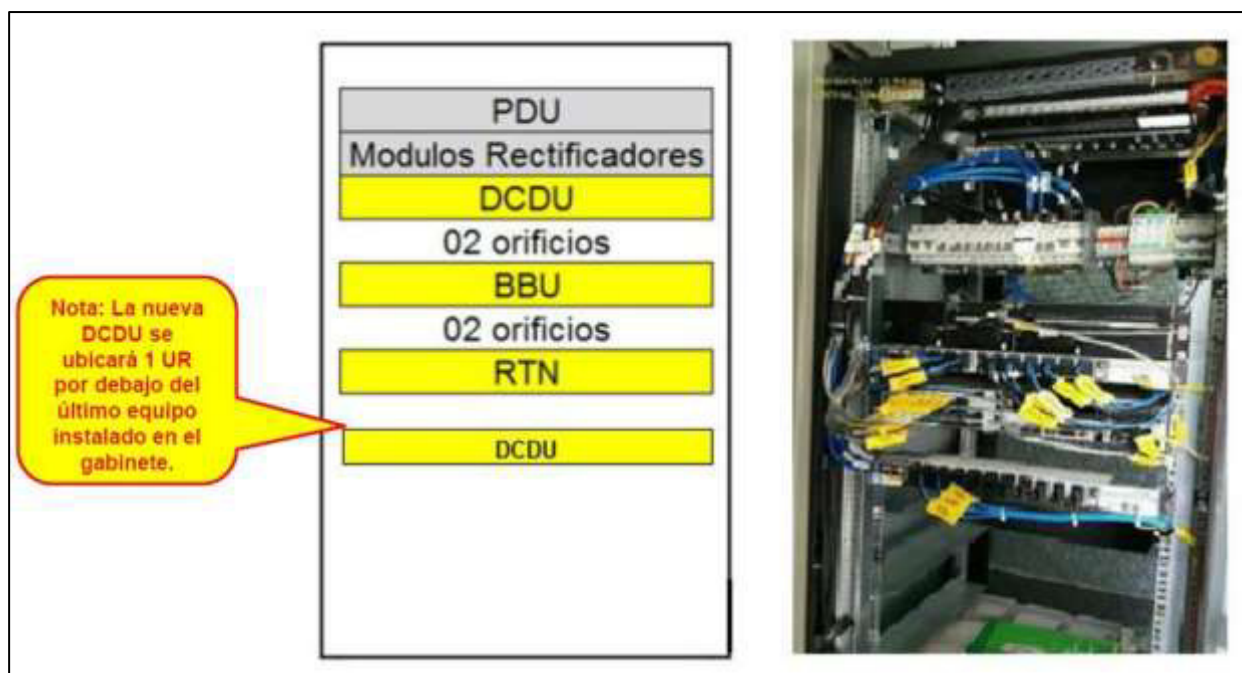
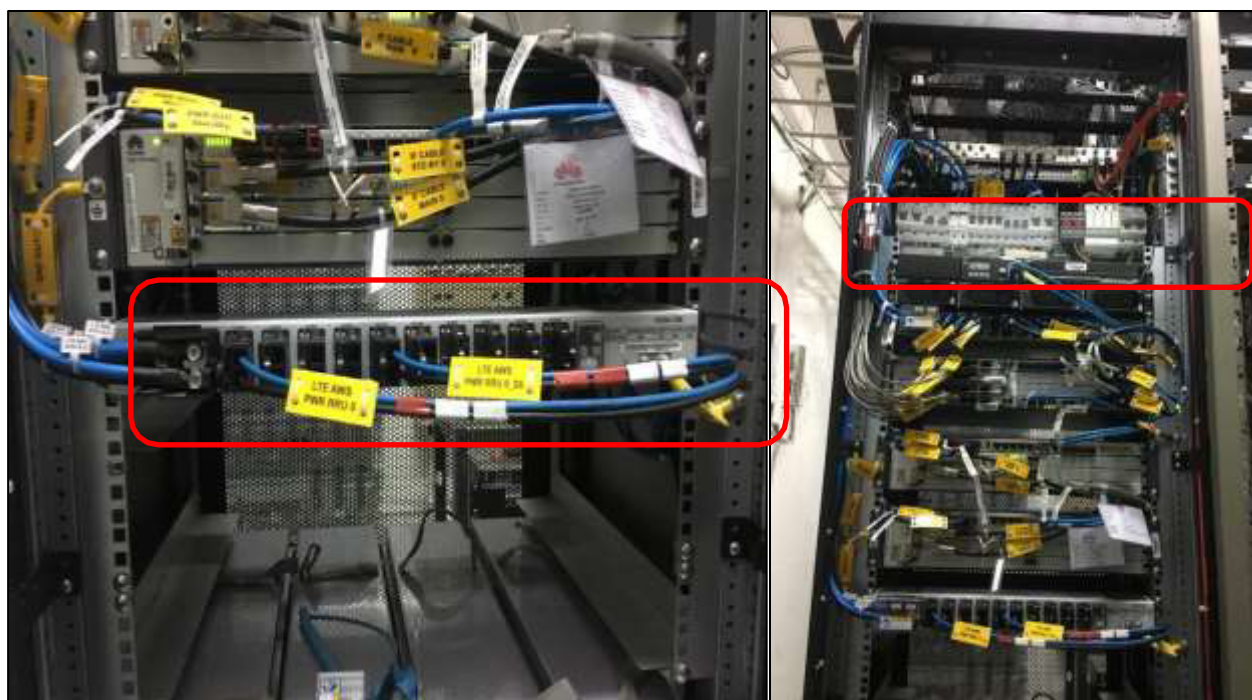
2.7.2.4. Instalación de la nueva DCDU 12B. DCDU, es unidad de la fuente de corriente continua en la estación base, esta encardado de alimentar a los equipos RF (Antenas, RRU's).

Figura 19

Configuración de la DCDU 12B



- Los cables de alimentación del DCDU contarán con marcadores blancos tipo banderín en cada extremo.
- El tendido de los cables de corriente continua para la alimentación del DCDU se realizará en el lateral izquierdo del gabinete, mientras que los cables de alimentación de las RRU se colocarán en el lateral derecho.
- Además, se empleará un cable de tierra de 6 mm² para el sistema de puesta a tierra, siendo la conexión a tierra del DCDU dependiente del tipo de gabinete utilizado.

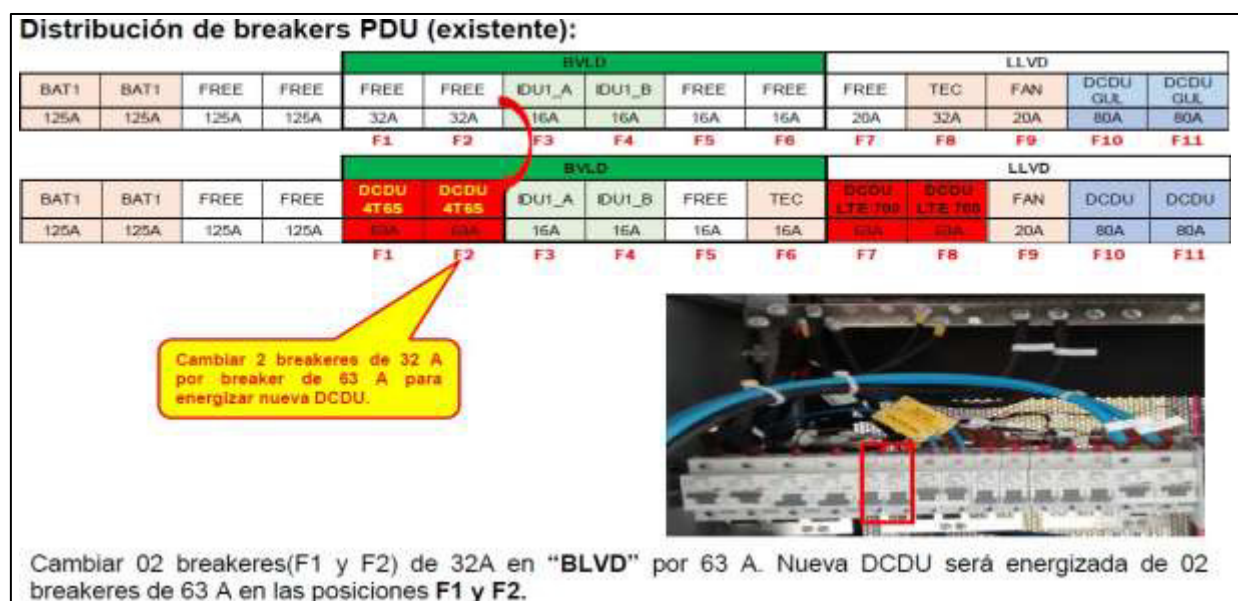
Figura 20*Ubicación e instalación de la DCDU 12B***Figura 21***Ubicación de la DCDU 12B*

Condiciones y recomendaciones:

- Los cables de alimentación negro y azul de 16 mm² deberán contar con terminales OT protegidos mediante mangas termo-retráctiles, asegurando que el cable negro se conecte a la barra de 0V.
- Por otro lado, los cables de puesta a tierra (GND) para el aterramiento de la DCDU 12B deberán ser de 6 mm.
- De encontrarse cargas de TCUA y lampara en posiciones propuestas a utilizar para equipamiento LTE 700 y AWS(4T6S), estas deberán ser migradas a Load 8 y Load 9 de DCDU 700 existente, DCDU AWS 4T6S o Breakers libres en “LLVD” y “BLVD”.

Figura 22

Distribución de Breakers PDU (existente)



- En caso de no disponer de Breakers en BLVD, se deberá notificar al implementador durante la pre-visita o TSS para definir la mejor solución.

Figura 23*Instalación de Breakers de 63A en PDU (existente)***Aterramiento de la DCDU 12B**

- La DCDU recién instalada será conectada a tierra en la puerta inferior derecha del armazón del gabinete. La longitud del cable GND no deberá exceder los 20 cm.
- Los conductores de alimentación de las RRU's se conectarán a tierra en la sección trasera derecha del armazón del gabinete. El punto de conexión a tierra en el chasis deberá estar al mismo nivel que la DCDU o por encima de esta.

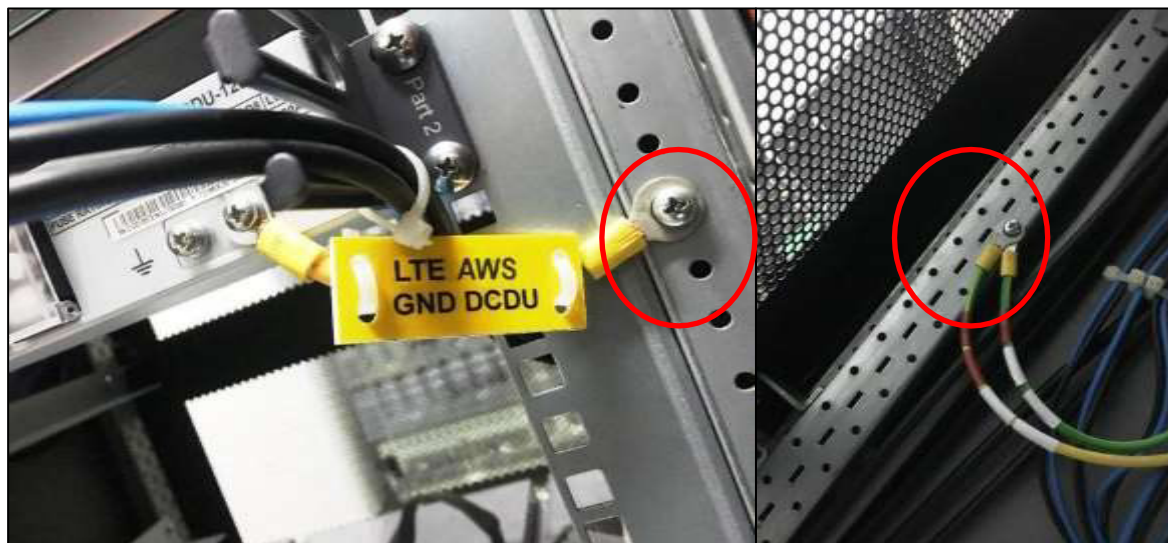
Figura 24*Aterramiento de la DCDU 12B*

Figura 27

Ubicación de la FO por sector en la Tarjeta UBBPe4

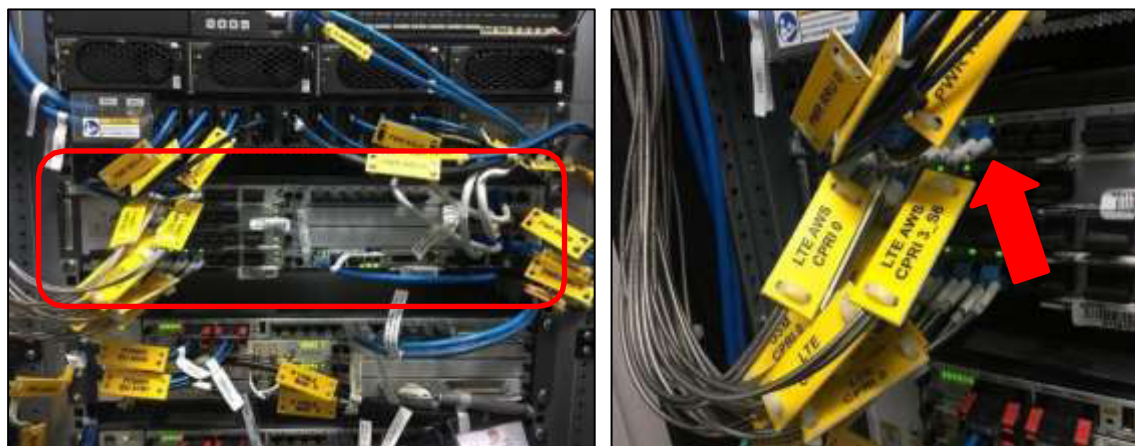
Tarjeta	Slot		Comentario
UBBPe4	Main Slot: 0	CPRI: 0	Sector 0 – 30° LTE AWS 4T6S
	Main Slot: 0	CPRI: 1	Sector 1 – 30° LTE AWS 4T6S
	Main Slot: 0	CPRI: 2	Sector 2 – 30° LTE AWS 4T6S
	Main Slot: 0	CPRI: 3	Sector 6 + 30° LTE AWS 4T6S
	Main Slot: 0	CPRI: 4	Sector 7 + 30° LTE AWS 4T6S
	Main Slot: 0	CPRI: 5	Sector 8 + 30° LTE AWS 4T6S
UBBPd6	Main Slot: 2	CPRI: 4	Sector 3 – 30° LTE AWS 4T6S
	Main Slot: 2	CPRI: 5	Sector 9 + 30° LTE AWS 4T6S

Las fibras ópticas se deberán conectar en la tarjeta UBBPe4 del slot 0, asignando “CPRI0” al primer sector con orientación -30°, “CPRI1” al segundo sector -30°, “CPRI2” al tercer sector -30°, “CPRI3” al primer sector (S6) +30°, “CPRI4” al segundo sector (S7) +30° y “CPRI5” al tercer sector (S8) +30°.

El tendido de las fibras ópticas para las RRU3971 de LTE 4T6S deberá realizarse por el lado izquierdo. Los cables de fibra óptica se fijarán dentro del gabinete utilizando cintillos blancos, y se deberá respetar una pequeña curva en la fibra antes de su conexión al transceptor.

Figura 28

Instalación de la FO en la BBU (existente).



2.7.2.6. Instalación de Antena y RRU.

A. RRU3971.

Figura 29

Equipamiento a instalar Antena y RRU

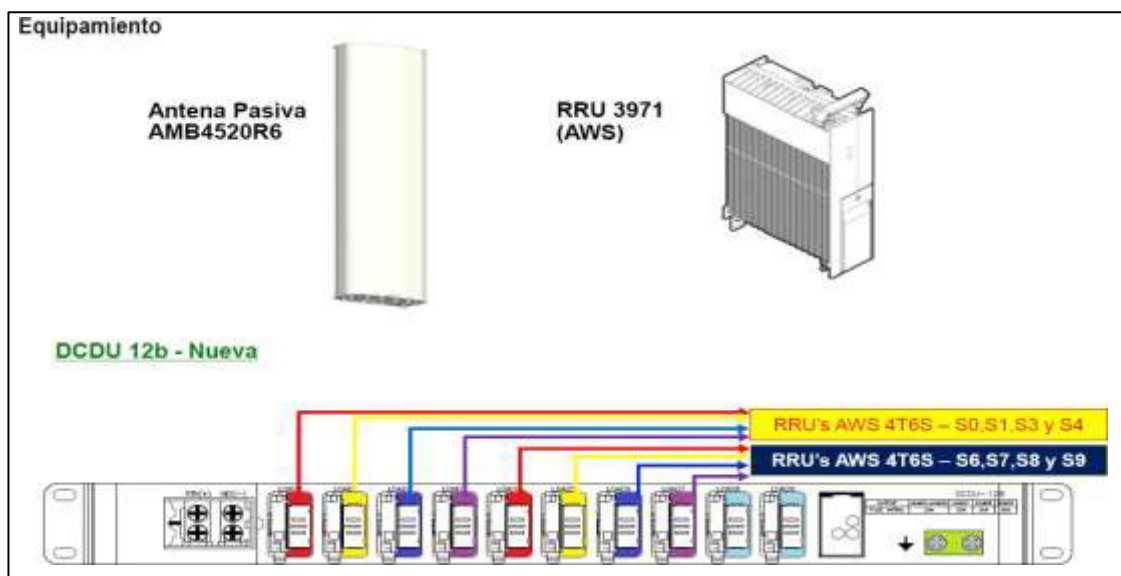


Figura 30

RRU 3971 (Remote Ratio Unit)

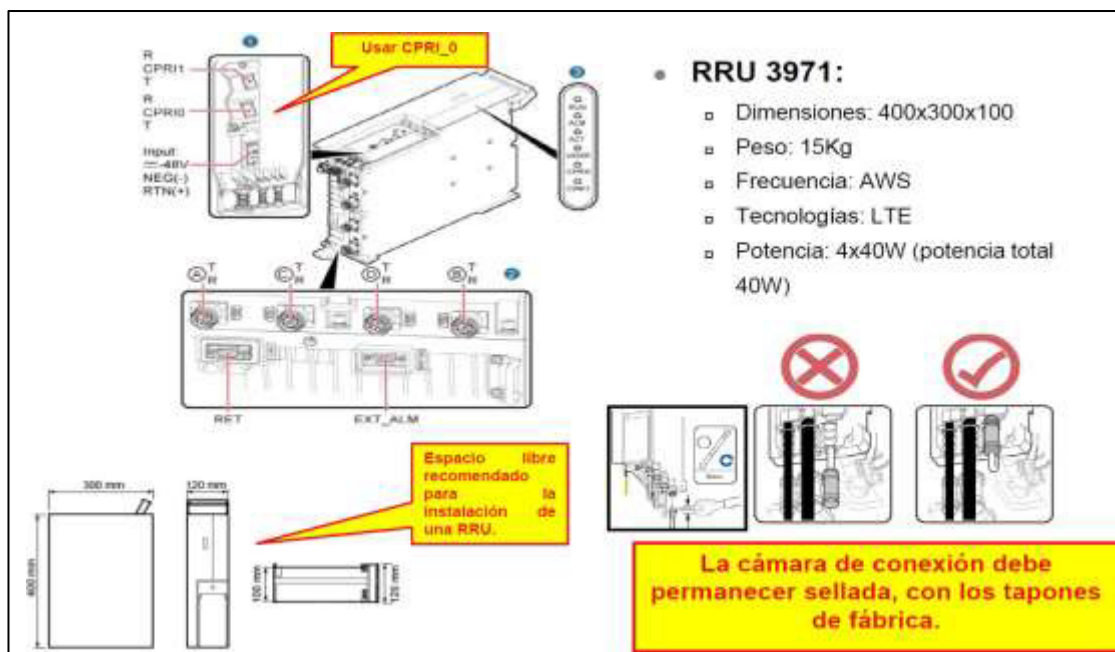


Figura 31

Aterramiento de la RRU 3971

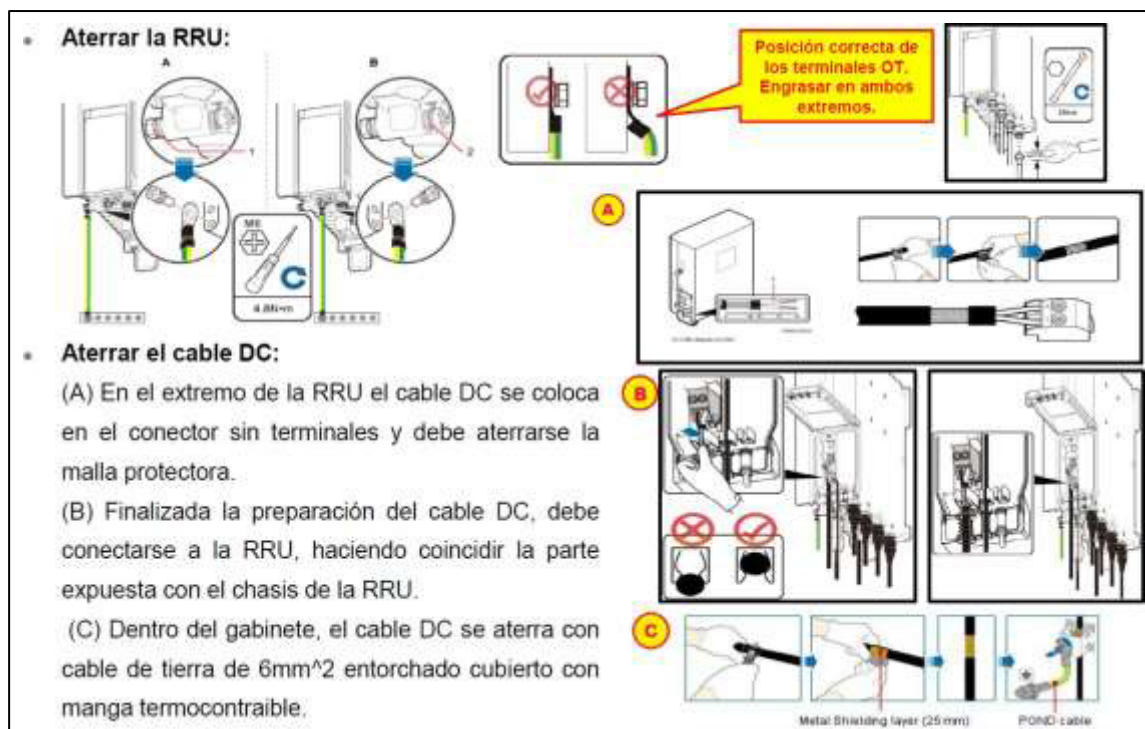


Figura 32

Izaje de la RRU 3971

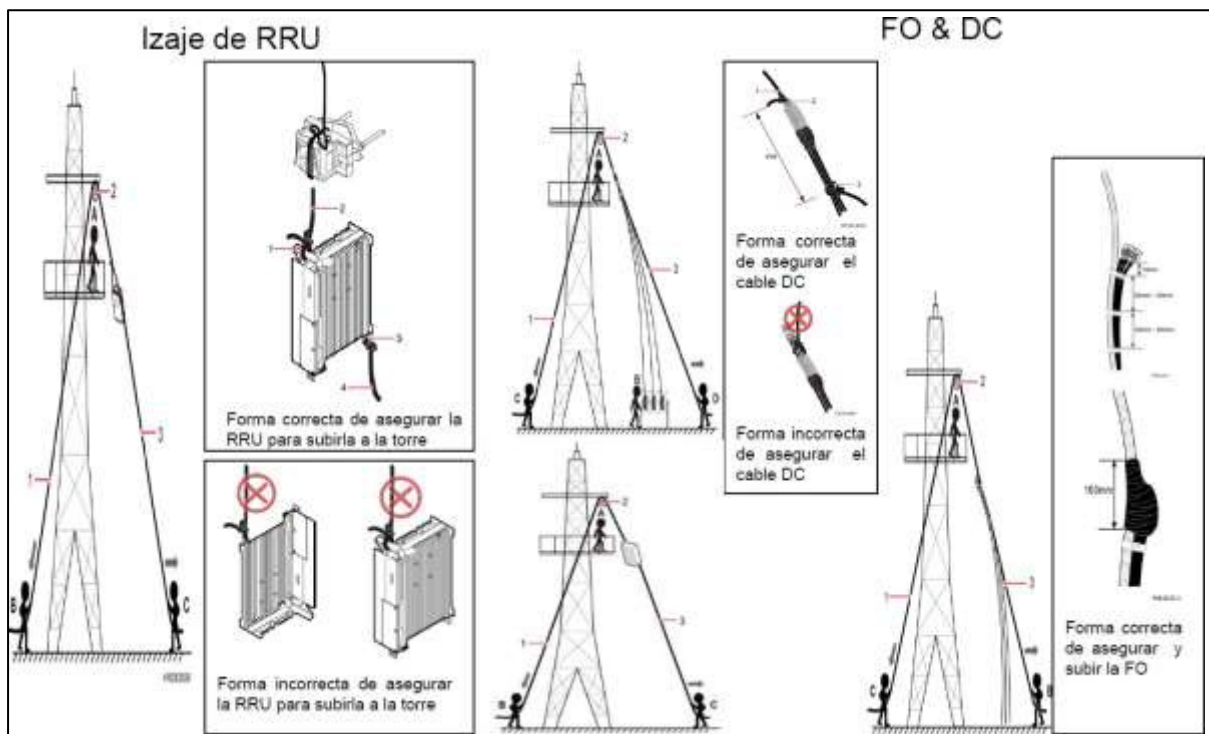
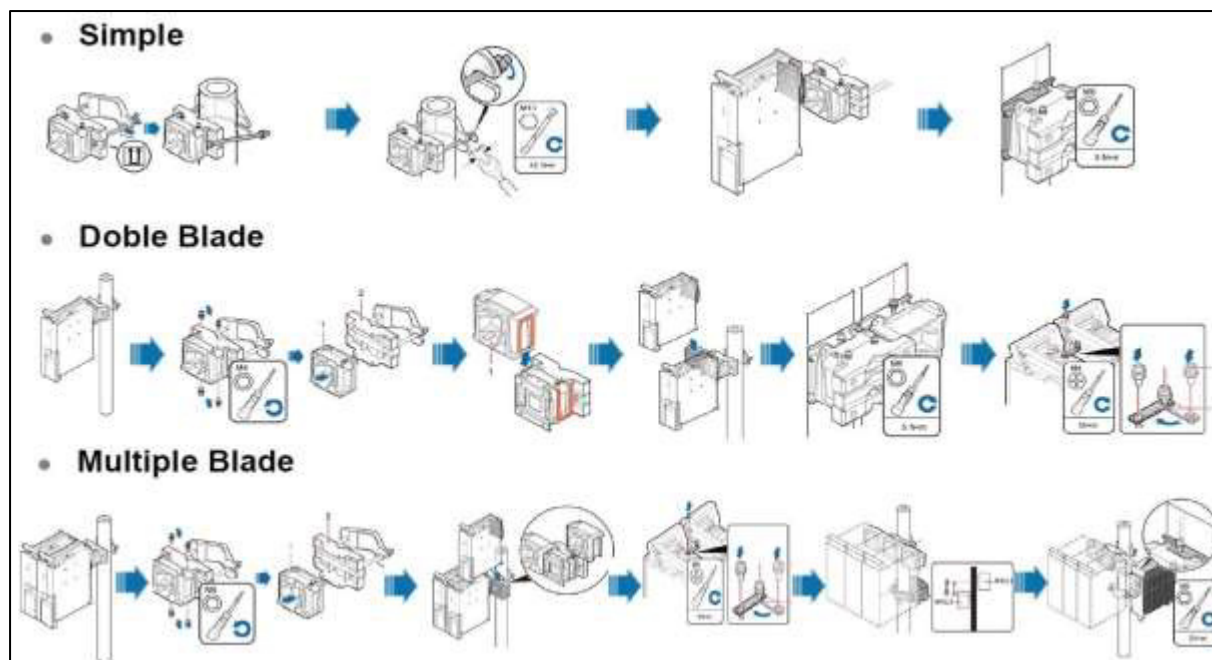


Figura 33*Tipos de anclaje de la RRU 3971***Figura 34***Ubicación de las RRU's 3971*

- Las RRU3971 se instalarán en un nuevo soporte de antena pasiva tipo Back to Back, con dimensiones de 3 metros y 2.5 pulgadas. Si se reutilizan soportes existentes de menor longitud y no hay espacio suficiente para instalar 2 RRU, se deberá sugerir

en el TSS la ubicación más adecuada para la segunda RRU.

Nota. Ninguna RRU debe estar ubicada en la cara lateral donde se ubican los cables de RF.

Figura 35

Estándar de Cableado de RRU 3971

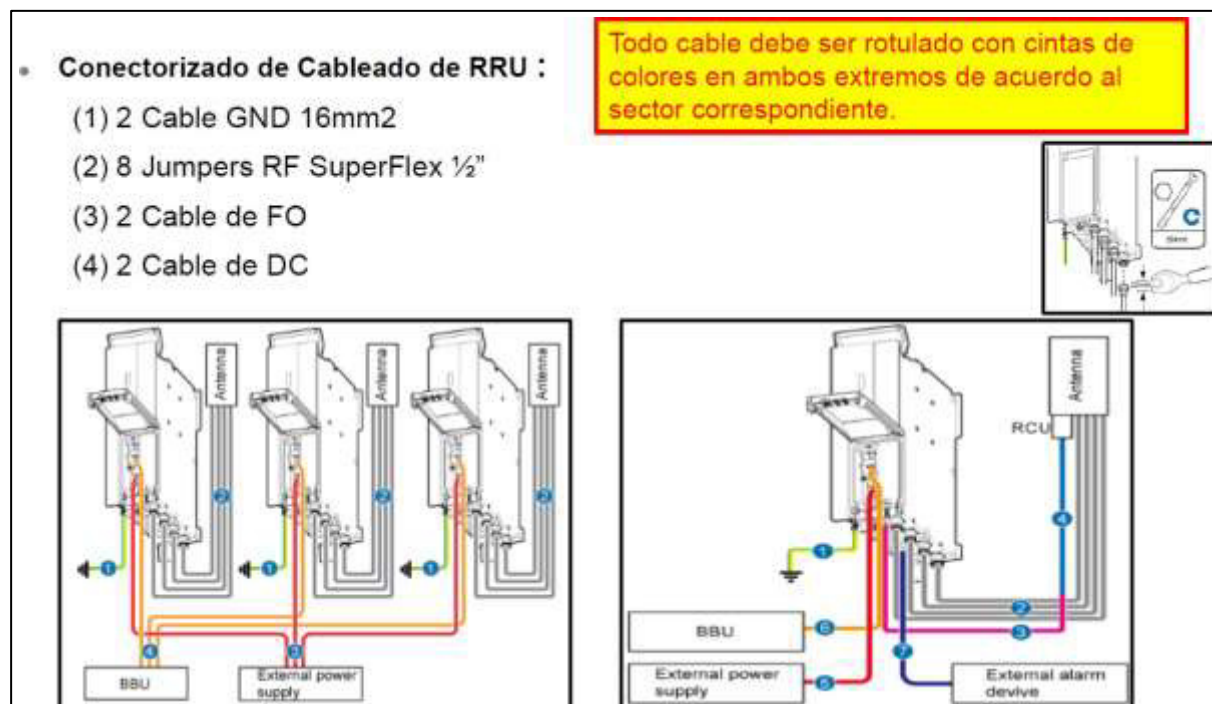
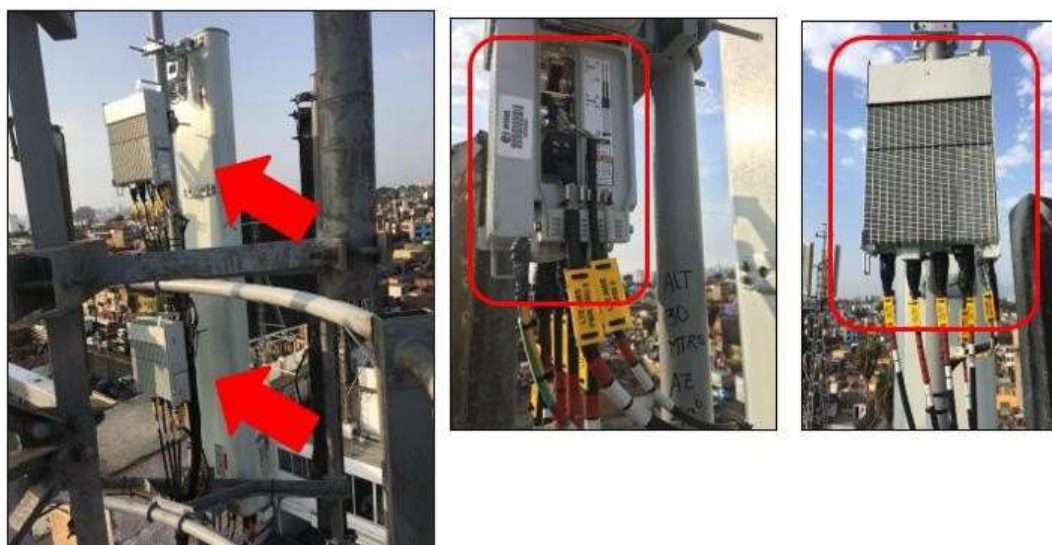


Figura 36

Conectorizado y Cableado de RRU3971



B. Antena pasiva AMB4520R6v06.

Figura 37

Antena Pasiva AMB4520R6v06

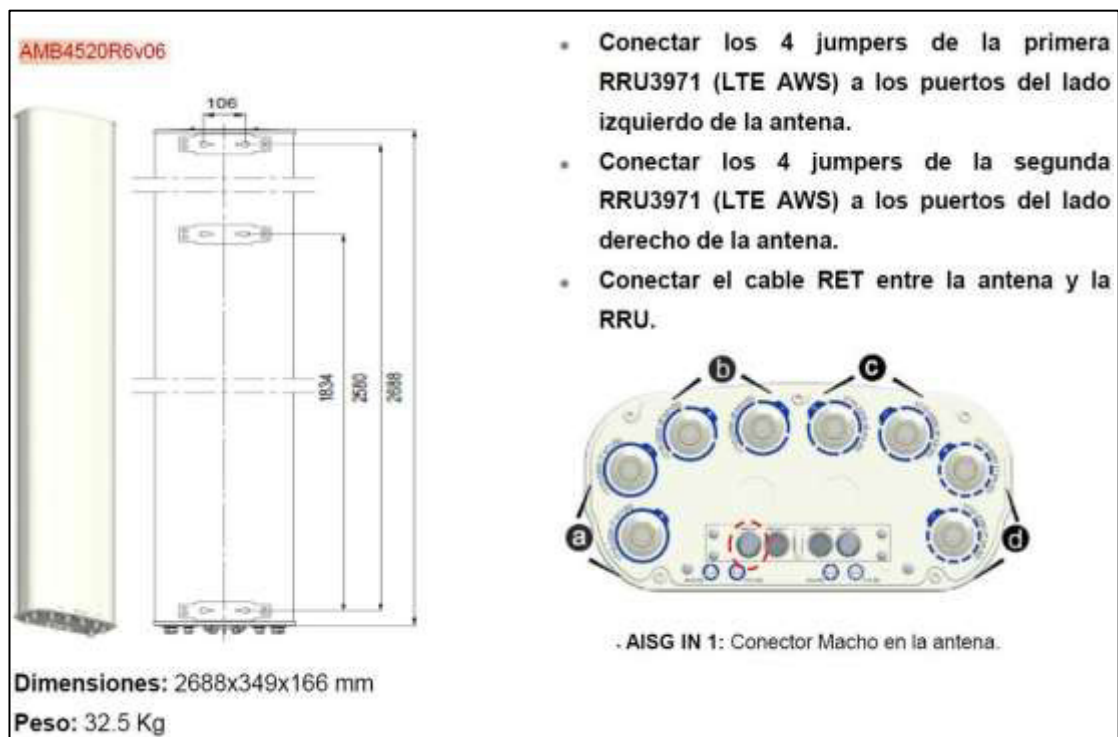
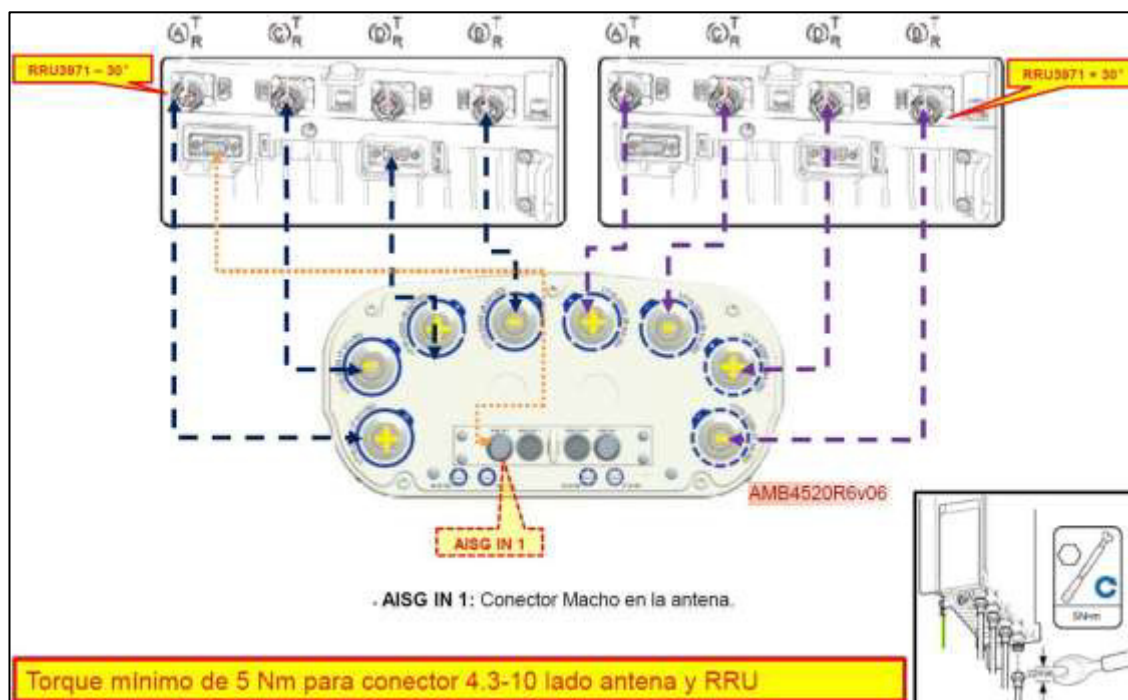


Figura 38

Configuración del jumper en la Antena Pasiva



Instalación de Jumper RF

- Los remanentes de los jumpers de conexión entre la RRU y la antena deberán enrollarse formando un diámetro de 60 cm.
- Los jumpers deben permanecer extendidos, organizados y ordenados, asegurándolos a la estructura mediante cintillos cruzados.
- Los jumpers de RF se ajustarán utilizando un torquímetro, aplicando un torque entre 5 y 15 Nm.
- Además, antes de enrollar los segmentos sobrantes, los jumpers deberán sujetarse con cintillos plásticos de color negro cada 20 cm.

Figura 39

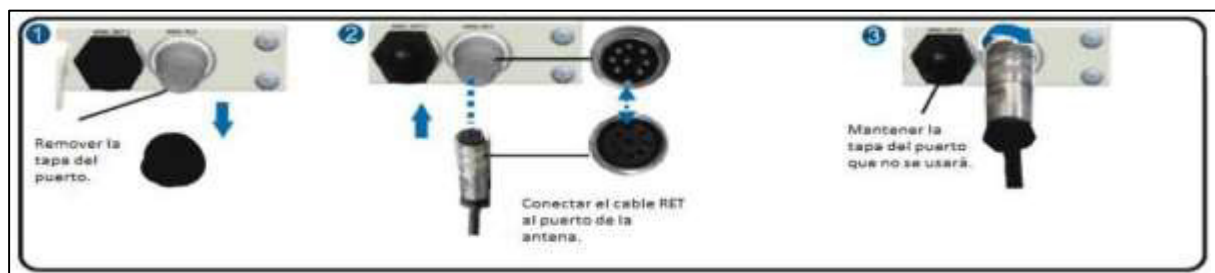
Conexión y peinado de jumper



Cable RET

Figura 40

Conexión del cable RET en la Antena Pasiva



Nota. El cable RET se deberá conectar al puerto AISG IN1, asegurando que ambos extremos del cable sean vulcanizados y cuenten con su respectiva identificación mediante etiquetas. Los puertos no usados (AISG IN2, AISG OUT 1 y 2) permanecerán con las tapas de fábricas y serán cubiertos por tres capas de cinta aislante.

Figura 41

Conexión de cable de RET en la antena

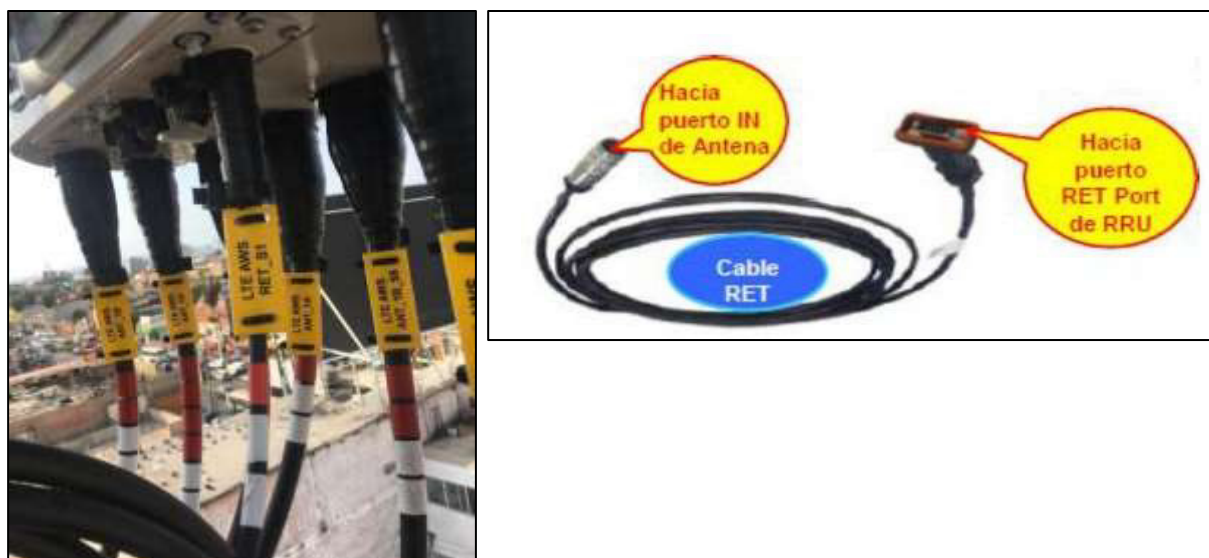
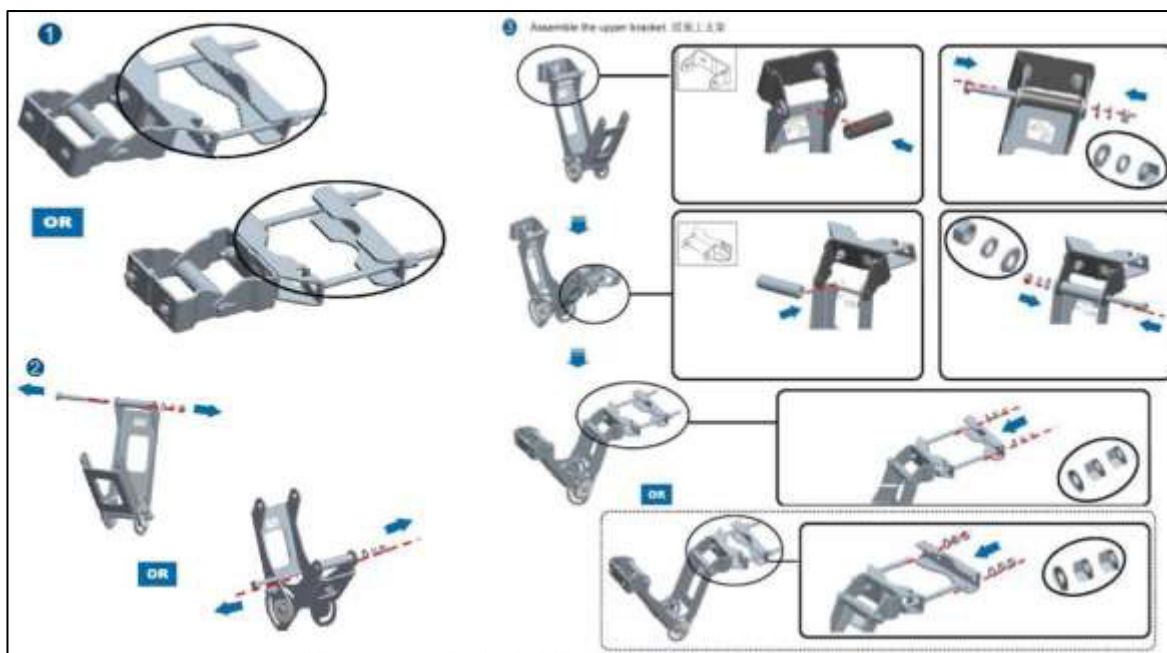
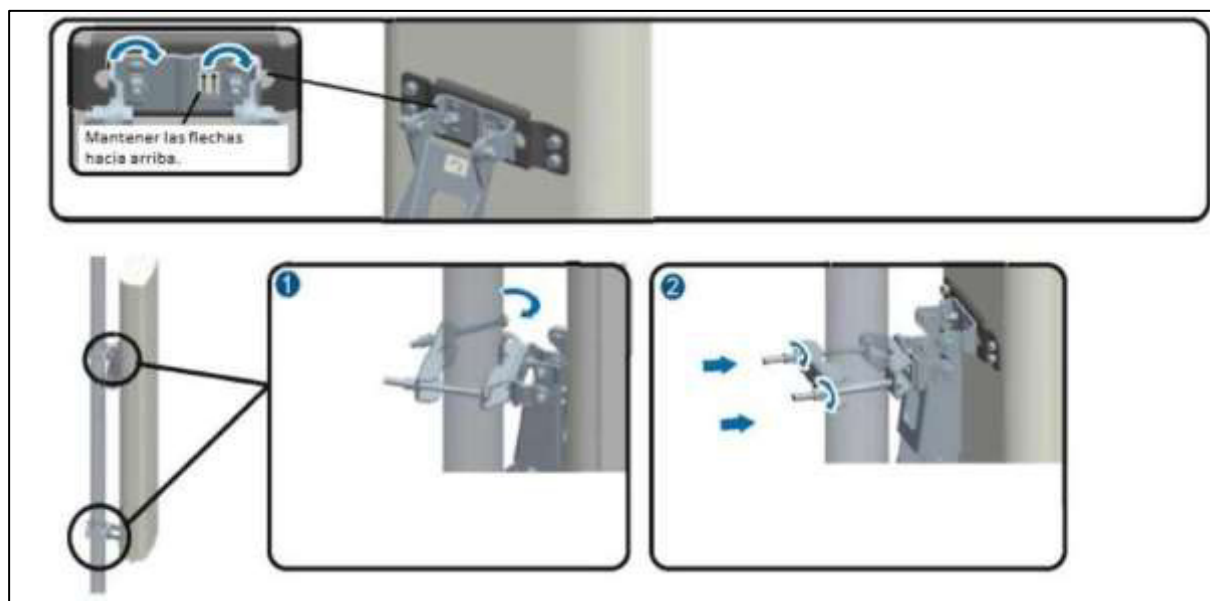


Figura 42

Anclajes de la Antena Pasiva AMB4520R6v06

**Figura 43**

Forma correcta de instalar la Antena al Soporte Metálico



Aterramiento de equipos

- Las antenas pasivas y las RRU deberán conectarse a la barra de tierra más próxima.
Si no existe espacio suficiente en la cara frontal, los equipos se aterrizarán por la

parte superior de dicha barra.

Figura 44

Aterramiento de las RRU's en la barra tierra

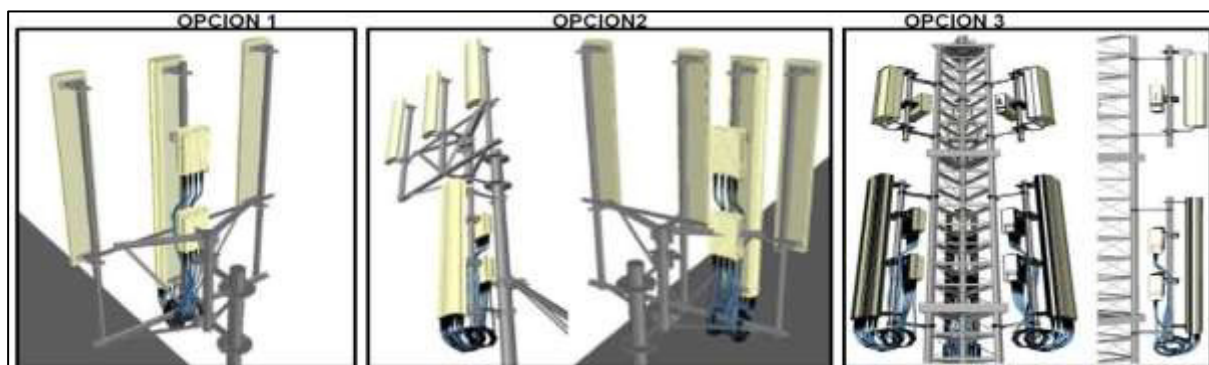


C. Soluciones de implementación.

- La nueva antena se ubicará en un nuevo soporte de 3m de acuerdo a lo indicado en el diseño. El nuevo soporte no deberá interferir con el acceso para el mantenimiento y operación de los equipos existentes.

Figura 45

Soluciones de instalación



Opción 1: Desmontaje de la antena IDEN e instalación de nuevo soporte (3m y 2.5")

para solución LTE AWS.

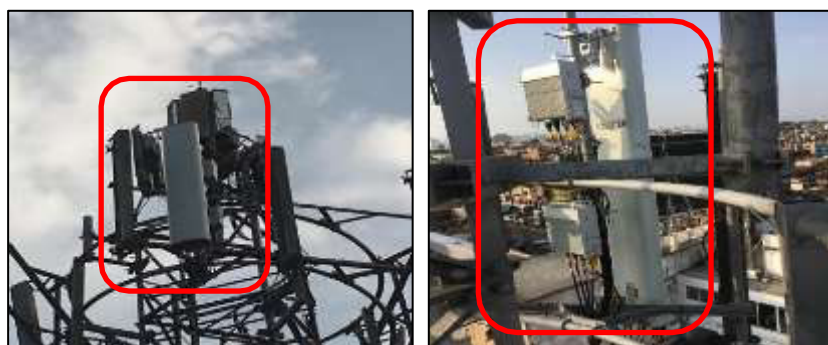
Opción 2: Se instalará un soporte nuevo para la solución LTE AWS, ubicándolo en la parte inferior del soporte existente o dentro de la estructura pivotante correspondiente al sector IDEN o GUL,

Opción 3: Colocación de soporte adicional para la solución LTE AWS ubicado debajo de la AAU3910.

Nota. Si la segunda RRU3971 no puede ser instalada back to back en el soporte IDEN se deberá ubicar la RRU en algún punto de la pivotante (Por debajo o entre los soportes).

Figura 46

Solución final LTE 4T6S



2.7.2.7. Instalación de Cableado General.

Tabla 4

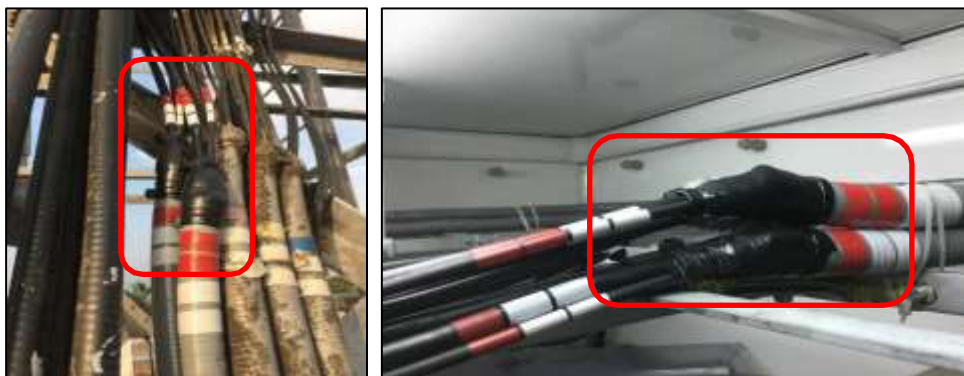
Distribución del cableado

Tipo de Cable	Flex Conduit	Cantidad	Tubería
Cable de Energía de RRU + Fibra Óptica	1 Pulgada	8	1 Conduit para DC + FO para sector S01 Conduit para DC + FO para sector S11 Conduit para DC + FO para sector S21 Conduit para DC + FO para sector S31 Conduit para DC + FO para sector S61 Conduit para DC + FO para sector S71 Conduit para DC + FO para sector S81 Conduit para DC + FO para sector S9

Es importante considerar que los conductos (Conduit) no deben introducirse dentro de los gabinetes. Los Conduit deberán ser sometidos a vulcanizado y, posteriormente, fijados con bridas negras en las curvas de drenaje, así como en los puntos de entrada y salida de la reserva de fibra óptica y en el acceso al gabinete.

Figura 47

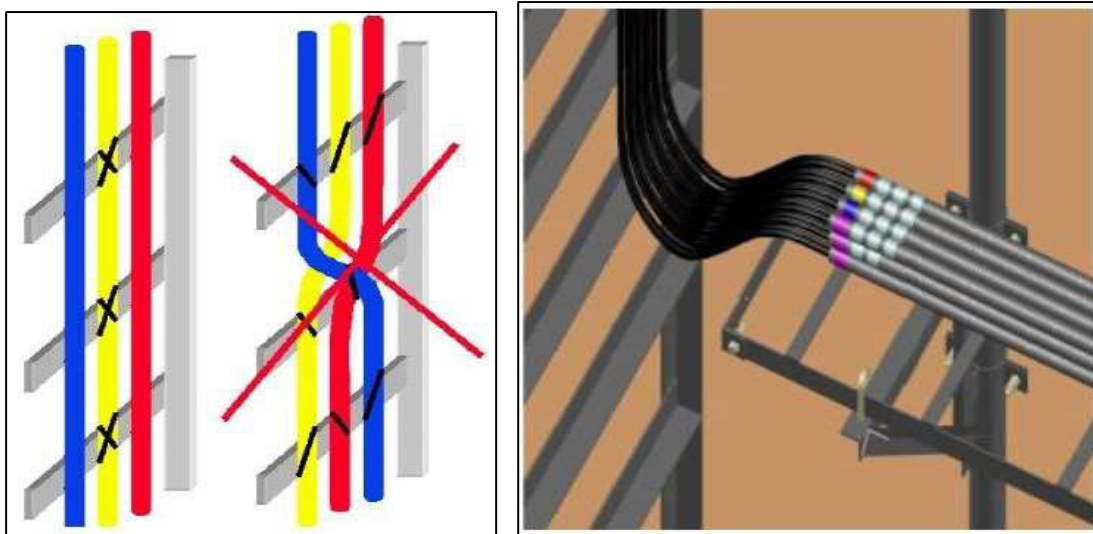
Sellado y sujetado de Conduit en FO excedente



- El cableado deberá instalarse respetando la linealidad de su recorrido.
- Los cables del mismo tipo deben mantenerse agrupados a lo largo de toda la trayectoria, evitando cruces entre ellos.
- Todos los cables deben sujetarse utilizando cintillos o bridas, empleando color negro para exteriores y blanco para interiores.
- Los cintillos de fijación se colocarán en forma de cruz y se cortarán al ras.
- Además, todos los cables deben ser etiquetados en ambos extremos, utilizando etiquetas amarillas y cintas de colores.
- Si el recorrido de los cables atraviesa paredes, los conductos deberán fijarse mediante abrazaderas de una oreja o adaptaciones angulares como escuadras).

Figura 48

Normas generales del cableado de FO



Nota. Los conductos Conduit correspondientes a la solución LTE AWS – 4T6S se instalarán por encima de la tubería ya existente, manteniendo el orden de los distintos sectores.

Figura 49

Cableado de FO vertical



- En el caso de torres se realizará la curva de drenaje al inicio del recorrido vertical, vulcanizado la salida de cables e identificando los cables y tuberías Conduit

con cintas de colores.

- En situaciones donde la escalerilla esté nivelada con el piso, la tubería Conduit deberá elevarse al menos un metro y asegurarse a la estructura de la torre.
- En el caso de mástiles independientes, el Conduit ascenderá por el mástil hasta alcanzar la altura de la RRU, donde se efectuará una curva de drenaje; no se debe olvidar vulcanizar la salida de los cables y etiquetar tanto los cables como las tuberías Conduit.
- La separación entre los cintillos de sujeción deberá ser de 1 metro a lo largo del recorrido horizontal y de 30 cm en el trayecto vertical.
- El clamp cuenta con tres niveles, debiendo asignarse el primer nivel al sector 0, seguido por los sectores 1 y 2.

Figura 50

Curva de drenaje de FO



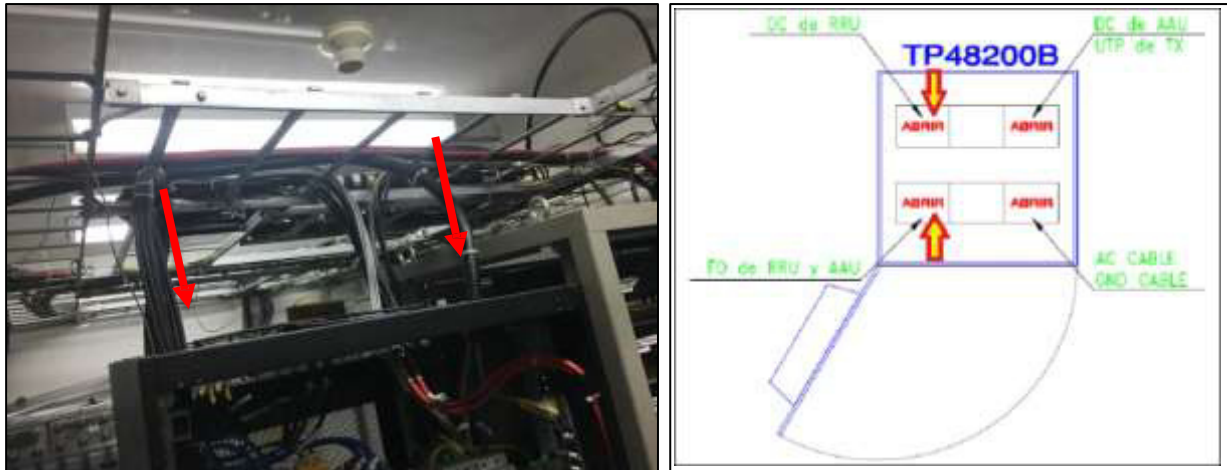
Ingreso de Cables al gabinete TP48200B

- Los cables de alimentación de corriente continua (DC) de las RRU se introducirán por la ventana posterior izquierda del gabinete, mientras que los cables de fibra

óptica (FO) accederán por la ventana frontal izquierda.

Figura 51

Ingreso de Cables izq. (FO) y dcha. (DC)



Ingreso de Cables al Shelter

- La introducción de los cables se efectuará mediante el pasamuros Roxtec, empleando la posición disponible más próxima a la tubería Conduit ya instalada.
- La disposición de los sectores se efectuará en orden ascendente, ya sea vertical (S0, S1, S2) o horizontal, según corresponda.
- Los cables de la tecnología IDEN solo podrán cortarse en caso de que no haya espacio disponible en el pasamuros y cuenten con la validación correspondiente.
- El Conduit deberá ser sellado en el pasamuros con Sikaflex por la parte externa, realizando el sellado inmediatamente después de que el Conduit haya sido introducido en el shelter.

Figura 52

Ingreso de los cables al Shelter (pasamuro)



Cableado excedente de FO en Gabinete de TX

- El tendido de la fibra óptica se realizará por la cara lateral izquierda del gabinete de transmisión (TX) y posteriormente se conectará a la BBU, ubicándose por fuera del riel de anclaje.
- La fibra óptica de la RRU no necesita protección adicional con espiral plástica, ya que cuenta con recubrimiento metálico que la protege.
- No está permitido emplear la base ni los costados del gabinete para alojar la reserva de Fibra Óptica.

Figura 53

Cable excedente de FO en Gabinete



Outdoor: En caso de que el sitio disponga de escalerilla vertical, el sobrante de fibra óptica deberá colocarse correctamente enrollado (rollos con diámetro superior a 30 cm), asegurado a la escalerilla mediante precintos metálicos y marcado con cintas de colores en ambos extremos del rollo.

En caso de no disponer de escalerilla vertical, los rollos excedentes de fibra óptica se colocarán sobre los rollos previamente existentes en el sitio, fijándolos a la estructura con precintos metálicos y rotulándolos con cintas de colores en los dos extremos del rollo.

Indoor: Se deberá emplear una escalerilla auxiliar para almacenar la reserva de fibra óptica dentro del shelter o sala de equipos. El exceso de fibra, debidamente enrollado en rollos mayores a 30 cm de diámetro, se colocará sobre los rollos sobrantes existentes, asegurándolo a la escalerilla con cintillos blancos y señalizándolo con cintas de colores en ambos extremos del rollo.

Figura 54

Cableado excedente de FO Indoor



2.7.2.8. Estándar de Etiquetado.

Figura 55

Código de colores para sectores

Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4

Código de colores por tecnología:

- 4G, LTE – AWS + 30°, colocar una cinta de color para identificar el sector y adicionar dos cintas de color blanco para identificación.
- 4G, LTE – AWS – 30°, Se deberán colocar dos cintas de colores para identificar el sector y, además, agregar dos cintas blancas adicionales.
- Rotular tuberías Conduit, cable de FO, cable DC, cable GND, rollos excedentes de FO, jumpers RF.

Figura 56

Rotulado de Cinta en el Cable



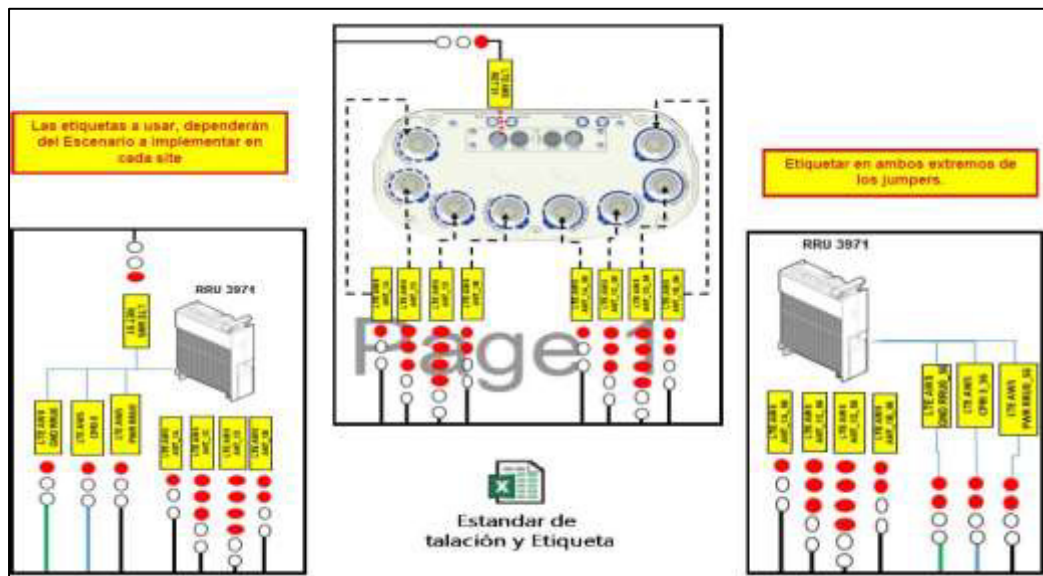
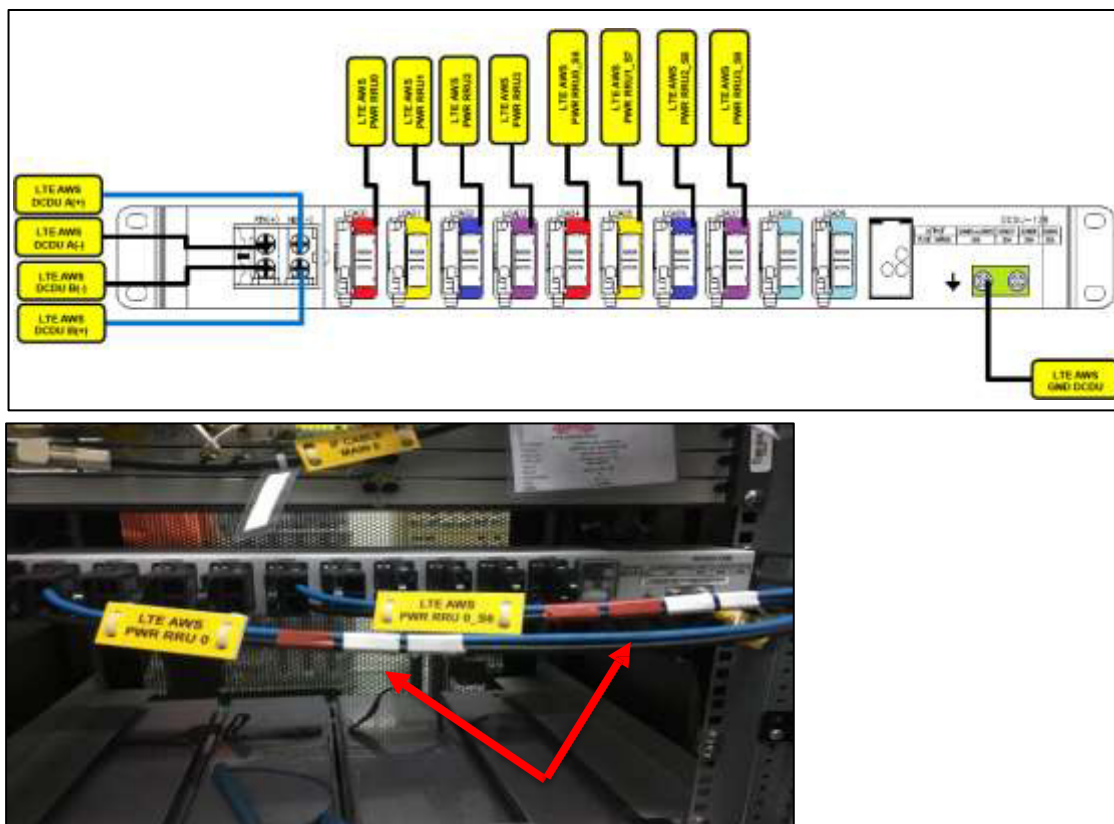
Figura 57*Etiquetado de cableado***Figura 58***Estándar de etiquetado Antena y RRU*

Figura 59*Etiquetado en Antena y RRU*

- El etiquetado de energía de la DCDU, en ambos extremos, será con etiquetas amarillas de poliestireno.

Figura 60*Etiquetado DCDU12B*

- Solución final de un antes y después de la implementación

Figura 61

Solución final en gabinete (antes y después)

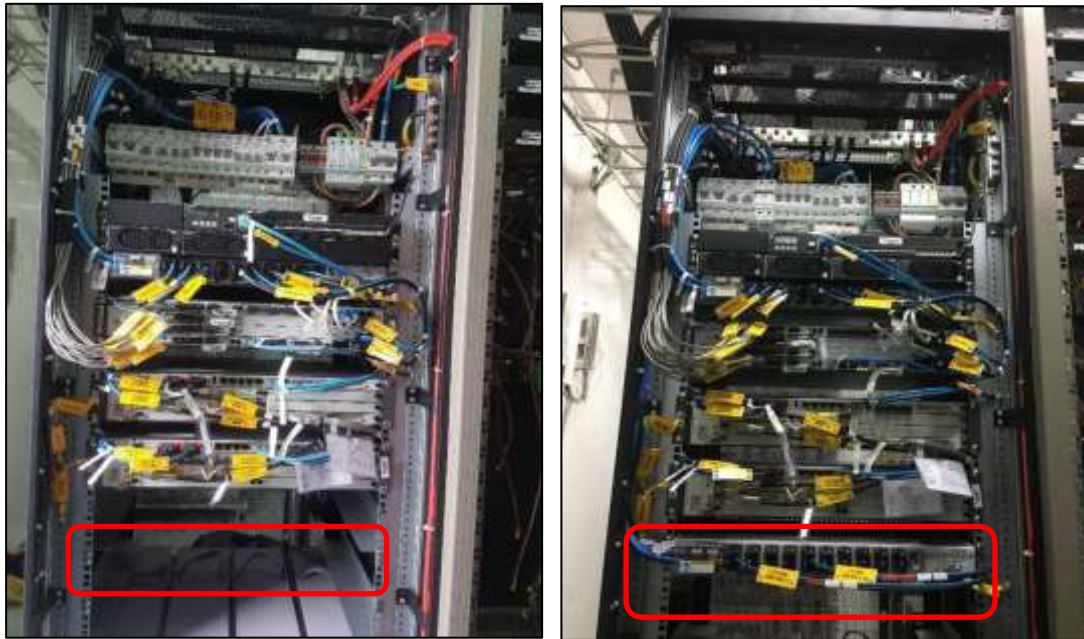


Figura 62

Instalación de equipos nuevos en torre



2.7.2.9. Pruebas y Resultados. Para las pruebas correspondientes se ha utilizado algunos programas que simulan radioenlaces y cobertura de estaciones base.

Tomando en cuenta como referencia especificaciones técnicas del fabricante y realizando una investigación previa de las necesidades del distrito de Chorrillos, así mismo, haciendo investigaciones teóricas del proyecto y su funcionamiento, podemos observar algunas pruebas y resultados a través del programa a elegir.

Figura 63

Radiación de la Antena AMB4520R6v06

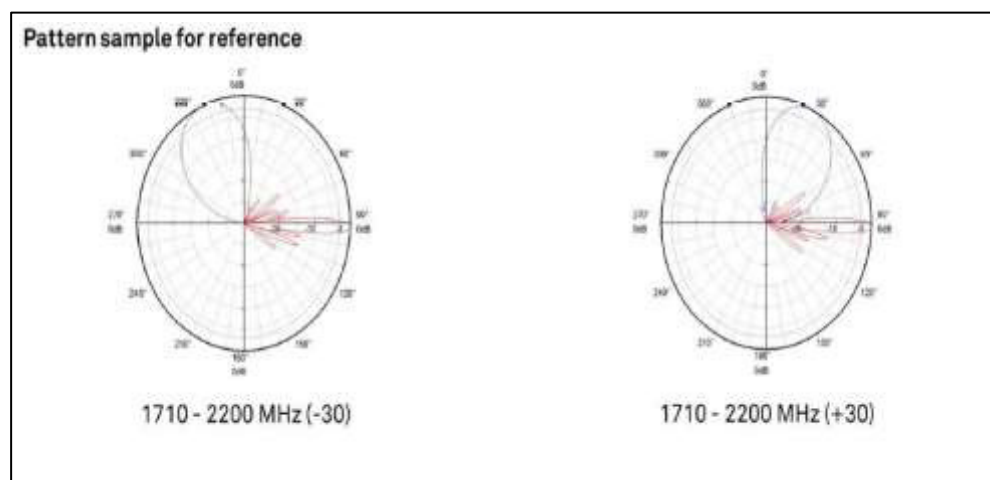


Figura 64

Patrón de radiación de la Estación base (Resultado)



Se realizaron otras pruebas correspondientes, las que te pide el cliente, también como

reporte final y prueba de funcionamiento del servicio. Los programas a utilizar para realizar dichas pruebas son:

Figura 65

G-netTrack (Monitoreo de red) y Speedtest (Velocidad)



Figura 66

Pruebas realizadas en el Proyecto 4T6S



2.7.3. Factibilidad Técnica – Operativa

La viabilidad de este proyecto se fundamenta en las condiciones particulares que permiten garantizar el cumplimiento de los objetivos generales y específicos a lo largo del desarrollo de la propuesta de solución, así como el control de los costos estimados. En esta sección se expondrán los estudios de factibilidad realizados para evaluar la viabilidad del proyecto, considerando tanto el análisis técnico como el operativo. Los resultados obtenidos de estos estudios permitirán concluir sobre la factibilidad del proyecto.

“Un proyecto factible consiste en la acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad”

2.7.3.1. Factibilidad Técnica. El proyecto LTE AWS – 4T6S como ya se indicó en los puntos anteriores, buscará su objetivo incrementar la capacidad por celda en una estación base ya existente, la cual presenta diversas actividades durante su desarrollo, se realiza un estudio de campo (TSS), conociendo las distintas configuraciones y usos de la estación base en mención. También se quiere conocer los equipos y el propósito de cada valor de su capacidad, así como las principales características a la hora de elegir un sistema que beneficie y solucione la problemática del proyecto.

Se necesita Tomar una solución para el desarrollo que justifique la implementación adoptada. Si bien es cierto existe equipos que benefician a una sala de data center o gabinete, sin embargo, se desconoce varios de sus elementos. Los antiguos sistemas radiantes o Estaciones base, tienen elementos obsoletos y la mayoría han sido sustituidos debido a los grandes avances tecnológicos que benefician una buena comunicación. Estos últimos están Compuestos, principalmente por rectificadores, BBU, DCDU, bancos de batería, elementos de protección y elementos de respaldo. Estos equipos deben actuar de forma sincronizada a fin de mantener y brindar un mejor servicio con la capacidad necesaria para los clientes.

En el presente Trabajo se plantea la definición técnica y económica de la

implementación en torre y en sala de los equipos ubicados en el 0130079_LM_HUAYLAS del distrito de Chorrillos.

Por lo anteriormente expuesto se concluye que técnicamente es completamente factible el desarrollo del Proyecto LTE AWS – 4T6S, dado que se tiene correctamente identificada el desarrollo de todos los cálculos eléctricos y de radiación necesarios que justifiquen la solución adoptada teniendo conformidad en los siguientes puntos:

- La instalación de equipos Pasivos y modificando en caso de existir alguna deficiencia.
- Elaboración de planos necesarios para la definición de la solución adoptada.
- Desarrollo de un plan de trabajos del Proyecto LTE AWS – 4T6S.
- Elaboración de un presupuesto aproximado de la instalación.
- Cumplimiento del objetivo del proyecto.

A si mismo se cuenta con todas las facilidades de la instalación en todo el Site para el montaje de los equipos electrónicos proyectados.

2.7.3.2. Factibilidad Operativa. A las personas quien va dirigido el siguiente proyecto de expansión 4G, como lo son operadores, Ingenieros de proyectos, supervisores y coordinadores, solo deberán contar con conocimientos básicos de electrónica y telecomunicaciones para poder visualizar e interpretar los valores de operación de los equipos en campo.

Dentro de este se evalúan y compraran las siguientes características:

- Capacidad energética o de operación soportada por el dispositivo.
- Duración de funcionamiento continuo.
- Rangos de voltaje o niveles eléctricos.
- Dimensiones físicas o volumen del equipo.
- Requerimientos de conservación y mantenimiento.

- Y otros aspectos adicionales.
- Con la finalidad de obtener mejoras.

2.7.3.3. Conclusión de Factibilidad. A partir de lo expuesto en los puntos previos, tanto los estudios de factibilidad técnica como los operativos han arrojado resultados favorables para el proyecto, lo que confirma su viabilidad.

El proyecto resulta beneficioso para la empresa considerando que se está logrando el objetivo principal el cual plantea realizar mejoras en cuanto la realidad problemática con la cual se cuenta actualmente en algunas partes del Perú, brindando los mejores beneficios del operador tanto en cobertura como en velocidad.

Este proyecto será de mayor utilidad para el avance de la tecnología y conocimientos para todos los que están involucrados en este rubro de las telecomunicaciones.

2.7.4. Cuadros de Inversión

El cuadro de inversión a mostrar tiene como base un estimado de costos preliminar realizado, el cual toma como referencia precios de cotizaciones enviadas por las empresas proveedoras de los equipos, el operador trabaja con el cliente Huawei, la cual ya tienen varios proyectos ya implementados y en servicio. A continuación, presentamos el cuadro que detalla los costos que se prevé tendrá la implementación del diseño propuesto.

Tabla 5

Cuadro de inversión

CUADRO DE INVERSIÓN	
Descripción	Precio de Instalación (S/.)
Costo de equipos	6400.00
Costo de cableado y accesorios	2050.00
Costo de movilización	2500.00
Instalación	1900.00
Puesta en marcha	1400.00
Costo Total de Inversión	14250.00

III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA

Durante el tiempo que he desempeñado como coordinador de proyectos en la empresa Obras Civiles & Telecomunicaciones S.R.L. se ha desarrollado actividades relacionadas con la contribución y viabilidad en distintas regiones del país. A continuación, se detallan los aportes más relevantes:

- Implementación e integración del proyecto de expansión de capacidad 4G, 4T6S y 4T4R, en toda la región del Perú. En este proyecto, se pudo dar solución a los abonados que se encontraban en zonas con poca cobertura.
- Se llevó a cabo la supervisión de los equipos de trabajo durante la fase de campo, realizando un seguimiento constante de los progresos alcanzados a lo largo de esta etapa, sea con personal propio o con contratista, y así, poder optimizar tiempos para cumplir con el cronograma establecido.
- Se efectuó el control de calidad de los entregables requeridos en los distintos proyectos asignados, registrando observaciones y coordinando con las áreas de implementación y diseño para prevenir posibles retrasos.
- Elaboración y gestión de manera organizada, los documentos necesarios para el ingreso requerido en los distintos ambientes que se requiere ingresar, sea estación base propia del operador o estaciones coubicados que requieren documentación adicional. Con esta gestión se puede llevar a cabo la etapa de construcción.
- Inducción hacia el nuevo personal propio o contratista, acerca de los procesos que se llevaban a cabo para desarrollar los proyectos, con la finalidad minimizar errores en posteriores trabajos.
- Reuniones constantes con el cliente final, brindando una presentación del avance del trabajo, brindando sugerencias e indicando los posibles retrasos que puedan ocurrir en la etapa de construcción del proyecto.

IV. CONCLUSIONES

- Se concluyó que, en el desarrollo del trabajo realizado, se lograron cumplir los objetivos planteados, alcanzando los estándares técnicos establecidos. En ese sentido, se determinaron las condiciones operativas de la estación base y se definió la manera de optimizar su funcionamiento mediante la implementación de nuevos equipos tecnológicos, lo que permitió mejorar su desempeño general.
- Asimismo, se concluyó que la puesta en marcha del proyecto permitió obtener mayores beneficios en términos de cobertura y ancho de banda para los usuarios del distrito de Chorrillos, contribuyendo a una mejora en la calidad del servicio de comunicación y a la reducción de interrupciones que podrían generar pérdidas económicas para el operador.
- Del mismo modo, se determinó que el desarrollo del proyecto permitió disminuir la cantidad de visitas del personal técnico especializado destinadas a labores de mantenimiento, debido a que el sistema implementado correspondió a una tecnología de última generación. Además, se estableció que todo el sistema instalado pudo ser supervisado de manera remota desde una estación base, lo que facilitó el monitoreo continuo y una gestión más eficiente de la red.
- En el aspecto económico, se concluyó que el proyecto de implementación 4T6S resultó rentable, considerando que la Tasa Interna de Retorno alcanzó un valor de 28,0 %. Asimismo, el periodo de recuperación de la inversión se estimó en un plazo de 1 año, 4 meses y 20 días, a partir del cual los ingresos generados se consideraron como utilidades para el operador.
- Finalmente, a partir del análisis comparativo realizado antes y después de la ejecución del proyecto, se concluyó que los beneficios económicos derivados del ahorro en costos de mantenimiento, materiales y operación se recuperaron en un

periodo reducido, lo que permitió que el proyecto se mantuviera viable y con resultados económicos favorables a lo largo del tiempo.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir con los lineamientos de selección de instrumentos (grado de protección, áreas peligrosas) indicados en el presente trabajo de investigación con la finalidad de evitar errores en el funcionamiento de los mismos.
- En este trabajo se ha utilizado un simulador que nos ayuda a obtener datos importantes de una estación base existente, teniendo en cuenta que no todos los sectores necesitan una ampliación de capacidad, sin embargo, se recomienda realizar un swap de equipo dependiendo lo que se necesite a futuro.
- El desarrollo del presente trabajo de investigación pueda ser utilizado como base de ingeniería que ayude a los diferentes casos que necesite una mejora en la capacidad de celda de cada estación existente, esto dependiendo al estudio y análisis que se realice.
- La mejora que se está proponiendo en este proyecto, es un beneficio para las telecomunicaciones, ayudar a tener una buena comunicación con todos los usuarios y una mejora en la tecnología que está avanzando enormemente.
- Con la finalidad de evitar imprevistos en la implementación de la solución 4T6S se debe tomar en cuenta varios parámetros como por ejemplo hardware y software, los cuales deben ser dimensionados adecuadamente, considerando que se debe tener la mayor accesibilidad y practicidad por el operador para sus mantenimientos respectivos y futuras ampliaciones en los equipos de sala y torre.

VI. REFERENCIAS

- 3GPP. (2009). *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio frequency (RF) system scenarios*. (3GPP TR 36.942, Version 8.2.0 Release 8) [Documento técnico]. https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136942/08.02.00_60/tr_136942v080200p.pdf
- Abdul, S. (2009). *Dimensioning of LTE Network, Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface*. [Dimensioning of LTE Network](#)
- Dahlman, E., Parkvall, S. y Sköld, J. (2011). *4G LTE / LTE-Advanced for mobile broadband*. Academic Press. [Introduction to LTE Cellular Networks | Springer Nature Link](#)
- De la Roche, G., Valcarce, A., Lopez-Perez, D. y Zhang, J. (2010). Access Control Mechanisms for Femtocells. *IEEE Communications Magazine*, 48(1), 33-39. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5394027>
- Doru, C., Holger, C. y Huseyin, U. (2010). Deployment Offloading Architectures Benefits in and Joint Macrocell Macro-Femto Deployments. *IEEE Communications Magazine*, 48(1), 26-32. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010ICoM..48a..26C/abstract>
- Gajardo, J. (2022). *Determinación de los principales parámetros de un sistema de comunicación móvil, para la ampliación de la red de telefonía móvil de la empresa Bitel, para las asociaciones de vivienda San Antonio y La Unión en el sector de Viñani, ciudad de Tacna, año 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3244>
- Gómez, P. (2013). *Diseño de una red de 4G LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P provincia de Santa Elena*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio institucional UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/items/d092f4c0-f66f->

[45d6-9f60-77c34d1dbea4](#)

Holma, H. y Toskala, A. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA based radio Access*.

John Wiley & Sons [LTE for UMTS | Wiley Online Books](#).

Sesia, S., Toufik, I. y Baker, M. (2009). *LTE- The UMTS Long Term Evolution: From Theory*

Practice. Wiley. [LTE – The UMTS Long Term Evolution | Wiley Online Books](#)

Núñez, J. (2013). *Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en*

Bogotá bajo el estándar 3GPP y la recomendación ITU-R M.1457. [Tesis de Magíster,

Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional UNAL

<https://repositorio.unal.edu.co/items/6841af82-3e15-409c-a6e4-ecd734c42153/full>

Tafur, C. (2017). *Diseño de una estación base 4G LTE para la mejora de los servicios*

multimedia del distrito de Huanza, provincia de Huarochiri. [Tesis de pregrado,

Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. Repositorio institucional UIGV.

<https://repositorio.uigv.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/cce05654-ab26-454c-95fc-60a142e24d26/content>

Zhang, L. (2010). *Network capacity, coverage estimation and frequency planning of 3GPP*

Long Term Evolution [Tesis de Maestría, Linköpings Institute of Technology].

<https://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A376065&dswid=-5446>

VII. ANEXOS

Anexo A

Ubicación de la implementación

Latitud: -12.1706390381

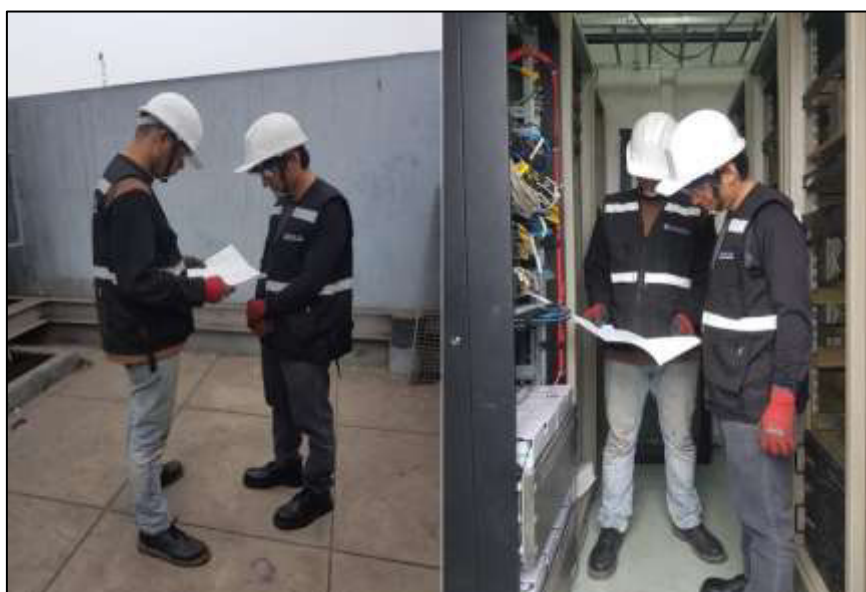
Longitud: -77.0231781006

Altitud: 37 msnm



Anexo B

Personal en charla de 5 minutos



Anexo C

Personal con epps completos



Anexo D

Personal trabajando en sala y torre



Anexo E

Implementación en sala



Anexo F

Implementación en torre

