

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ciencias



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Puesta en servicio de una estación base celular

Para obtener el título profesional de Ingeniero Físico

Elaborado por

Pedro Enrique Huarote Rubina

0000-0001-6318-8571

Asesor

Mg. Rafael Diego Pérez Collantes

0009-0000-7258-2386

LIMA – PERÚ

2024

| | | |
|-----------------------|--------------------|---|
| Citar/How to cite | Huarote Rubina [1] | |
| Referencia/Reference | [1] | P. Huarote Rubina, " <i>Puesta en servicio de una estación base celular</i> ". [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024. |
| Estilo/Style: IEEE | | |

| | | |
|--------------------------------|-----------------|---|
| Citar/How to cite | (Huarote, 2024) | |
| Referencia/Reference | | Huarote, P. (2024). <i>Puesta en servicio de una estación base celular</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. |
| Estilo/Style: APA (7ma ed.) | | |

Resumen

Este trabajo de suficiencia profesional titulado “Puesta en servicio de una estación base celular” se centra en la implementación de una nueva estación base para mejorar la cobertura celular en Perú mediante tecnologías 3G y 4G. Se plantea que la instalación de esta estación base permite a los pobladores acceder a servicios de comunicación e internet de calidad, especialmente en zonas rurales. El método de investigación utilizado es un estudio de gabinete para seleccionar los equipos adecuados, seguido de la instalación, configuración y pruebas de campo de la estación base; asimismo, se analizan aspectos técnicos como el enlace microondas y la optimización de recursos. Se concluye que la nueva estación base garantiza una red celular ininterrumpida y de calidad, mejorando la conectividad en diversas áreas; además, se destaca que la implementación de tecnologías avanzadas permite brindar servicios a entidades públicas en zonas rurales, facilitando una respuesta más rápida ante eventualidades.

Palabras clave - Estación base, 3G, 4G, cobertura celular.

Abstract

This professional proficiency work entitled “Commissioning of a cellular base station” focuses on the implementation of a new base station to improve cellular coverage in Peru through 3G and 4G technologies. It is proposed that the installation of this base station allows residents to access quality communication and internet services, especially in rural areas. The research method used is a desk study to select the appropriate equipment, followed by the installation, configuration and field testing of the base station; technical aspects such as the microwave link and resource optimization are also analyzed. It is concluded that the new base station guarantees an uninterrupted and quality cellular network, improving connectivity in various areas; in addition, it is highlighted that the implementation of advanced technologies allows services to be provided to public entities in rural areas, facilitating a faster response to eventualities.

Keywords - Base station, 3G, 4G, cellular coverage.

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----|
| Resumen..... | iii |
| Abstract..... | iv |
| Introducción | xii |
| Capítulo I. Antecedentes | 1 |
| 1.1 Conceptos generales de comunicación por microondas..... | 1 |
| 1.1.1 Fundamento de la radiación | 1 |
| 1.1.2 Zona de Fresnel..... | 12 |
| 1.1.3 Enlaces microondas..... | 14 |
| 1.1.4 Técnicas de ingeniería de radio | 15 |
| 1.2 Conceptos generales de redes móviles..... | 16 |
| 1.2.1 Generalidades..... | 16 |
| 1.2.2 Arquitectura del sistema | 18 |
| 1.3 Antenas..... | 27 |
| 1.3.1 Características y parámetros de las antenas..... | 28 |
| 1.3.2 Antena funcional plana | 33 |
| 1.3.3 Aplicaciones de antenas planas | 33 |
| Capítulo II. Formulación del problema | 38 |
| Capítulo III. Revisión bibliográfica..... | 39 |
| 3.1 Componentes de la planta de poder (power plant) | 39 |
| 3.1.1 Unidad de control o SMU..... | 39 |
| 3.1.2 Módulos rectificadores..... | 40 |
| 3.1.3 Sistema de baterías..... | 41 |
| 3.1.4 Distribución DC | 42 |
| 3.2 Componentes de una red celular | 43 |
| 3.2.1 Unidad de radio remota (RRU) | 43 |
| 3.2.2 Unidad de banda base (BBU) | 45 |
| 3.2.3 Antenas sectoriales | 49 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3 | Componentes del enlace MW | 54 |
| 3.3.1 | Indoor Unit (IDU) | 54 |
| 3.3.2 | Outdoor Unit (ODU) | 57 |
| 3.3.3 | Hybrid coupler | 59 |
| 3.3.4 | Antena MW | 60 |
| | Capítulo IV. Métodos y materiales | 63 |
| 4.1 | Procedimiento de instalación de equipos | 63 |
| 4.1.1 | Asignación de implementación de estación base | 63 |
| 4.1.2 | Entrega de equipos | 63 |
| 4.1.3 | Visita técnica | 64 |
| 4.1.4 | Delivery de equipos | 69 |
| 4.1.5 | Instalación de equipos RF y MW | 70 |
| 4.2 | Procedimiento de configuración, integración y activación de estación base celular | 77 |
| 4.2.1 | Configuración de enlace MW | 77 |
| 4.2.2 | Configuración de gabinete de energía | 79 |
| 4.2.3 | Configuración de nodo B | 80 |
| 4.3 | Proceso de pruebas del servicio activad | 83 |
| | Conclusiones | 88 |
| | Recomendaciones | 89 |
| | Acrónimos | 90 |
| | Referencias bibliográficas | 93 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Dispositivos e interfaces de red E-UTRAN | 26 |
| Tabla 2 Descripción de puertos de la unidad de radio remota (RRU) | 45 |
| Tabla 3 Distribución de Slot en la unidad de banda base (BBU) según el modelo | 45 |
| Tabla 4 Descripción de tarjetas de la BBU | 45 |
| Tabla 5 Descripción de puertos de la tarjeta UMPT | 48 |
| Tabla 6 Propiedades mecánicas de la Antena | 50 |
| Tabla 7 Descripción de tarjetas de la IDU | 54 |
| Tabla 8 Descripción de partes de la ODU | 59 |
| Tabla 9 Descripción de partes del Coupler | 60 |
| Tabla 10 Detalle de diámetro por frecuencia | 60 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Diagrama de flujo del sistema de comunicación..... | 1 |
| Figura 2 | Generación de una onda electromagnética: se compone de campos eléctricos y magnéticos en ángulo recto..... | 4 |
| Figura 3 | Fenómeno de reflexión y refracción: Situación de partida con una onda reflejada y otra transmitida | 5 |
| Figura 4 | Fenómeno de difracción: Diagrama esquemático de la difracción de una onda plana por una apertura | 8 |
| Figura 5 | Absorción atmosférica estimada..... | 9 |
| Figura 6 | Transmisión sobre la tierra esférica: Ondas espaciales y superficiales. | 10 |
| Figura 7 | La refracción de un haz de microondas..... | 11 |
| Figura 8 | Perfil de la tierra eficaz para varios factores de k. | 12 |
| Figura 9 | Zonas de Fresnel. | 13 |
| Figura 10 | Diagrama esquemático de un enlace. | 15 |
| Figura 11 | Escenario de referencia para las soluciones de interworking en redes heterogéneas. | 17 |
| Figura 12 | Arquitectura genérica de un sistema celular | 20 |
| Figura 13 | Escenarios para la prestación de servicios de comunicación utilizando redes celulares móviles | 21 |
| Figura 14 | Escenarios donde se brinda servicios de comunicación entre redes celulares y otras redes. | 21 |
| Figura 15 | Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3gpp (GSM, UMTS Y LTE) | 22 |
| Figura 16 | Arquitectura del sistema LTE..... | 23 |
| Figura 17 | Red de acceso E-UTRAN..... | 25 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 18 | Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN | 27 |
| Figura 19 | Diagrama de radiación | 28 |
| Figura 20 | Antenas omnidireccionales..... | 34 |
| Figura 21 | Antenas unidireccionales | 35 |
| Figura 22 | Antenas direccionales | 36 |
| Figura 23 | Comparativo de antenas | 37 |
| Figura 24 | Unidad de control (SMU) | 39 |
| Figura 25 | Unidad de control (SMU) y sus partes | 40 |
| Figura 26 | Módulos Rectificadores | 40 |
| Figura 27 | Módulos Rectificadores y sus partes | 41 |
| Figura 28 | Baterías..... | 41 |
| Figura 29 | Baterías y sus conexiones..... | 42 |
| Figura 30 | Distribución de conexiones de la DCDCU | 42 |
| Figura 31 | Unidad de radio remota (RRU) | 43 |
| Figura 32 | Unidad de radio remota (RRU) y sus partes | 44 |
| Figura 33 | Tarjeta UBBP | 46 |
| Figura 34 | Tarjeta UPEU | 46 |
| Figura 35 | Tarjeta FAN de la BBU | 47 |
| Figura 36 | Tarjeta UMPT | 48 |
| Figura 37 | Transceiver | 49 |
| Figura 38 | Antena Sectorial RF Huawei – Modelo AOC4518R4v06 | 50 |
| Figura 39 | Distribución de bandas en puertos RF de la Antena..... | 51 |
| Figura 40 | Especificaciones del puerto de RET | 51 |
| Figura 41 | Especificaciones de la Antena RF | 52 |
| Figura 42 | Tipos de Jumpers..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 43 Distribución de tarjetas del RTN950A..... | 54 |
| Figura 44 Tarjeta CSHO..... | 55 |
| Figura 45 Tarjeta ISM6..... | 55 |
| Figura 46 Tarjeta EG4/ EG4P | 56 |
| Figura 47 Tarjeta FAN de la IDU | 57 |
| Figura 48 Outdoor Unit (ODU)..... | 58 |
| Figura 49 Coupler - 1..... | 59 |
| Figura 50 Antena MW | 61 |
| Figura 51 Coupler - 2 | 61 |
| Figura 52 Cable IF..... | 62 |
| Figura 53 Vista Frontal de la visita técnica | 65 |
| Figura 54 Vista loza de equipos, acometida AC, sistema de aterramiento y tablero de energía | 65 |
| Figura 55 Vista sistema de tierra en sala como en torre..... | 66 |
| Figura 56 Vista de escalerillas en piso | 66 |
| Figura 57 Verificación de soportes RF..... | 67 |
| Figura 58 Verificación de soporte MW y vistas de torre..... | 68 |
| Figura 59 Delivery de equipos..... | 69 |
| Figura 60 Instalación de gabinetes..... | 71 |
| Figura 61 Energizado de Gabinete | 71 |
| Figura 62 Instalación de módulos rectificadores..... | 72 |
| Figura 63 Instalación de DCDU y BBU | 72 |
| Figura 64 Instalación de banco de baterías..... | 73 |
| Figura 65 Instalación de RTN 950A..... | 74 |
| Figura 66 Instalación de RRU, antenas y cableados | 74 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 67 | Instalación de antena, ODU's y cableados | 75 |
| Figura 68 | Recorrido de cableado | 76 |
| Figura 69 | Link Budget (LB)..... | 77 |
| Figura 70 | Configuración MW | 78 |
| Figura 71 | Data Field (DF)..... | 79 |
| Figura 72 | Configuración de IP en el gabinete de energía..... | 79 |
| Figura 73 | Prueba de ping desde el gabinete de energía hacia el gestor | 80 |
| Figura 74 | Prueba de ping desde OYM hacia el servidor U2000 | 81 |
| Figura 75 | Prueba de ping desde el 2G hacia el servidor U2000 | 81 |
| Figura 76 | Prueba de ping desde el 3G hacia el servidor U2000 | 82 |
| Figura 77 | Prueba de ping desde el 4G hacia el servidor U2000 | 82 |
| Figura 78 | Prueba de nivel de recepción con el aplicativo G-NetTrack..... | 84 |
| Figura 79 | Prueba de UL (Up Load) y DL (Down Load) con el aplicativo SpeedTest..... | 85 |
| Figura 80 | Diagrama de vista frontal de equipos instalados en una estación Base (Torre + Sala) | 86 |
| Figura 81 | Diagrama de vista de planta de equipos instalados en una estación Base (Torre + Sala) | 87 |

Introducción

La evolución de las comunicaciones móviles en las últimas décadas, tanto a nivel nacional como internacional, ha sido impulsada por la creciente demanda de usuarios. Esta necesidad constante de conectividad es fundamental para que tanto el sector público como el privado sigan realizando inversiones en tecnologías que mejoren y amplíen estos servicios.

Las comunicaciones móviles han avanzado significativamente gracias a la adopción de tecnologías de vanguardia, comenzando desde 2G hasta llegar a 4G (LTE), que representa la cuarta generación. Esta evolución ha permitido alcanzar velocidades de tráfico de datos extremadamente altas, mejorando así la calidad y eficiencia de la conectividad móvil en la actualidad.

Junto a ello es esencial el medio de transmisión, el cual es el Enlace Microondas (MW), ya que para poder lograr transferir datos de gran capacidad es necesario poder tener un medio de transmisión que soporte el mismo.

En este informe daremos a conocer los conceptos fundamentales necesarios para poner en funcionamiento (en servicio) todos los equipos involucrados, lo que permitirá activar eficientemente una estación base

Luego de que el Operador pueda definir el escenario final de la Estación Base según las necesidades y requerimientos de una zona específica, se procede con el delivery, implementación de Equipos y Puesta en servicio de los mismos.

Cabe mencionar que OSIPTEL es la encargada de regular los servicios móviles que ofrecen las diferentes operadoras, el cual se encarga de verificar que todos los servicios ofrecidos a los usuarios se cumplan, por ejemplo: como la velocidad mínima, calidad de voz y otros.

Capítulo I. Antecedentes

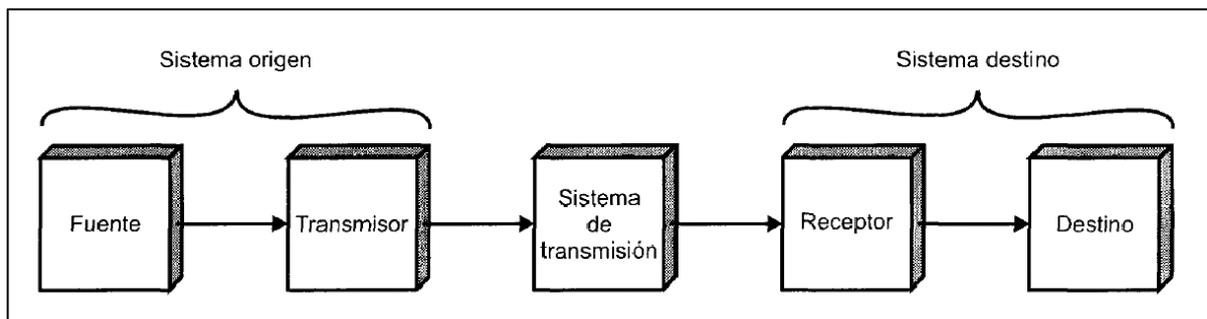
1.1 Conceptos generales de comunicación por microondas

Según San Román et al. (2018) sostienen, que el término de radio frecuencia (RF) hace referencia a aquella parte del espectro electromagnético donde se pueden crear ondas electromagnéticas, estas últimas se propagan al mismo tiempo en campos eléctricos y magnéticos.

De acuerdo con Pineda (2014) fundamentalmente, la comunicación electrónica es el uso de circuitos electrónicos para enviar, recibir y procesar información. Esta información puede ser analógica (relativa o continua), como sonidos, videos o música, como números binarios, letras, imágenes o instrucciones del procesador. Antes de poder comunicarse mediante estos sistemas, la información debe de transformarse en energía electromagnética.

Figura 1

Diagrama de flujo del sistema de comunicación.



Nota. Tomado de “Diseño de un enlace de microondas para los servicios de voz y datos: procedimiento de instalación, configuración y puesta en marcha” (p. 20), por J. C. Pineda, 2014, D.F. México.

1.1.1 Fundamento de la radiación

Desde el punto de vista de San Román et al. (2018), la radiación electromagnética se puede entender como una combinación de ondas eléctricas y ondas magnéticas que, al moverse juntos por el espacio, crean un movimiento de cargas. Estas ondas electromagnéticas adecuadamente utilizadas y adaptadas

(normalmente cambiando adecuadamente la amplitud, fase y/o frecuencia de la onda original) pueden ser utilizadas para transmitir información.

Según Bará (1999), al considerarse un medio eléctrico ideal, sin cargas y sin corrientes. Las ecuaciones de Maxwell se plasman de la siguiente forma:

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \bar{H} = \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} = \epsilon \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \bar{D} = \epsilon \nabla \cdot \bar{E} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \bar{B} = \mu \nabla \cdot \bar{H} = 0 \quad (4)$$

- E es el campo eléctrico, en voltios por metro (V/m).
- H es el campo magnético, en amperios por metro (A/m²).
- D es la densidad de flujo eléctrico, en culombios por metro cuadrado (C/m).
- B es la densidad de flujo magnético, en weber por metro cuadrado (Wb/m).

Desarrollando las ecuaciones y haciendo uso de las ecuaciones de Laplace se logra obtener:

$$\nabla^2 \bar{E} - \mu \epsilon \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} = 0 \xrightarrow{\text{en coordenadas cartesianas}} \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_i}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

$$\nabla^2 \bar{H} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial t^2} = 0 \quad \longrightarrow \quad \frac{\partial^2 H_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H_i}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 H_i}{\partial t^2} = 0 \quad (6)$$

Por lo tanto:

$$1/c^2 = \mu \varepsilon \quad (7)$$

Se puede concluir que las perturbaciones electromagnéticas se pueden transmitir como una onda con la siguiente velocidad de propagación en un espacio vacío o en el aire:

$$c = 1/\sqrt{\mu \varepsilon} \quad (8)$$

Debemos de tener en cuenta los siguientes valores:

$$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 = 8.85418782 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$$

$$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} \approx 3,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- μ permeabilidad magnética o permeabilidad
- ε constante dieléctrica o permitividad

Según Albornoz (2007), la distancia entre dos puntos de la onda electromagnética con igual amplitud se le denomina longitud de onda λ .

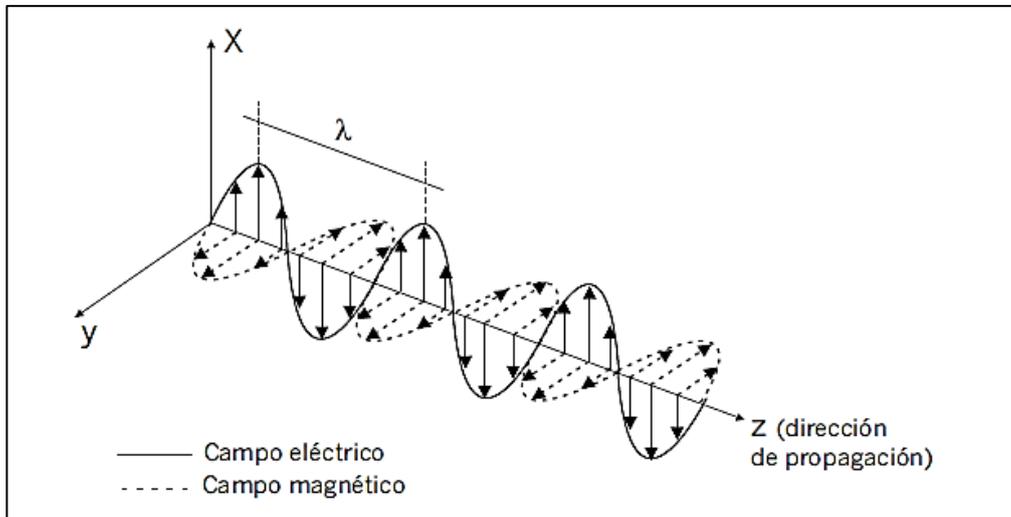
$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (9)$$

- v es la velocidad con la que se propaga la onda: depende de las características eléctricas del medio donde se propaga.
- f es su frecuencia.

Se considerará la longitud de onda en el vacío cuando no se indica el medio de propagación.

Figura 2

Generación de una onda electromagnética: se compone de campos eléctricos y magnéticos en ángulo recto.



Nota. Tomado de "Radioenlaces digitales" (p. 46), por J.M. Albornoz, 2007, España.

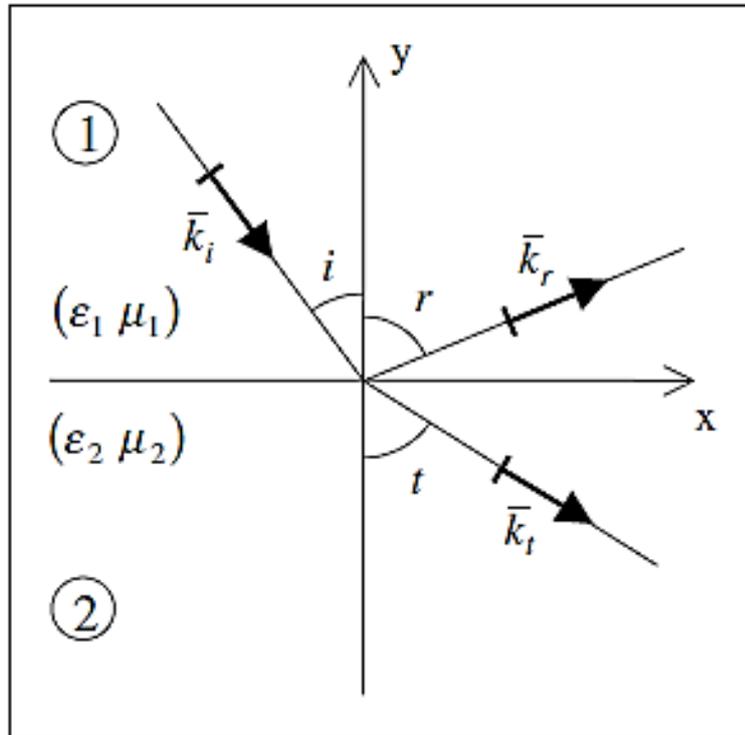
1.1.1.1 Mecanismo de propagación de la onda electromagnética.

Porque la onda electromagnética se comporta como onda de luz.

Algunos de los comportamientos fenomenológicos asociados son: reflexión, refracción, difracción, absorción, los cuales juegan papeles importantes en la propagación de radio (Pineda, 2014).

Figura 3

Fenómeno de reflexión y refracción: Situación de partida con una onda reflejada y otra transmitida.



Nota. Tomado de "Ondas Electromagnéticas en comunicaciones" (p. 131), por J. Bará, 1999, Barcelona.

Según Bará (1999), cuando una onda plana incide desde un medio 1 a un medio 2, donde simulamos que la onda se refleja en el medio 1 ($\epsilon_1 \mu_1$) ($y > 0$):

$$\bar{E}_r(\bar{r}) = \bar{E}_{0r} e^{-j\bar{k}_r \cdot \bar{r}} \quad (10)$$

y el mismo es transmitido en el medio 2 ($\epsilon_2 \mu_2$) ($y < 0$).

$$\bar{E}_t(\bar{r}) = \bar{E}_{0t} e^{-j\bar{k}_t \cdot \bar{r}} \quad (11)$$

Donde:

- r es el ángulo de reflexión (formado por k_r y la normal a la superficie).
- t es el ángulo de refracción (formado por k_t y la normal a la superficie).

- \mathbf{k}_r y \mathbf{k}_t están contenidos en el plano de incidencia.

Además:

$$k_r^2 = k_i^2 = \omega^2 \mu_1 \epsilon_1 \equiv k_1^2, \quad k_t^2 = \omega^2 \mu_2 \epsilon_2 = k_2^2 \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_1(\bar{r}) &= \bar{E}_i(\bar{r}) + \bar{E}_r(\bar{r}) \quad \text{en (1)} \quad (y > 0) \\ \bar{E}_2(\bar{r}) &= \bar{E}_t(\bar{r}) \quad \text{en (2)} \quad (y < 0) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\rightarrow E_{ix}(\bar{r}) + E_{rx}(\bar{r}) = E_{tx}(\bar{r}) \quad (y = 0) \quad (14)$$

Si procedemos a reemplazar las ecuaciones, obtenemos:

$$E_{0ix} e^{-jk_{ix}x} + E_{0rx} e^{-jk_{rx}x} = E_{0tx} e^{-jk_{tx}x} \quad (15)$$

Si dicha ecuación se cumple para todos los valores posibles de X, entonces los tres términos que dependen de X serán iguales, por lo tanto:

$$e^{-jk_{ix}x} = e^{-jk_{rx}x} = e^{-jk_{tx}x} \rightarrow k_{ix} = k_{rx} = k_{tx} \rightarrow k_1 \sin i = k_1 \sin r = k_2 \sin t \quad (16)$$

Con esta condición podemos afirmar que las tres ondas (incidente, reflejada y transmitida) tienen la misma fase en todos los puntos de la superficie. Por lo que:

- El ángulo de reflexión es igual al de incidencia:

$$i = r \quad (17)$$

- Ley de Snell de la refracción:

$$\frac{1}{v_1} \sin i = \frac{1}{v_2} \sin t \quad (18)$$

Como:

$$1/v = \sqrt{\mu \epsilon} \quad (19)$$

Entonces:

$$\sqrt{\epsilon_{r1}} \sin i = \sqrt{\epsilon_{r2}} \sin t \quad \text{ó} \quad n_1 \sin i = n_2 \sin t \quad (20)$$

Donde se define a “**n**” como el “**índice de refracción del medio**”, el cual es igual al cociente entre la velocidad de la luz y la velocidad del medio:

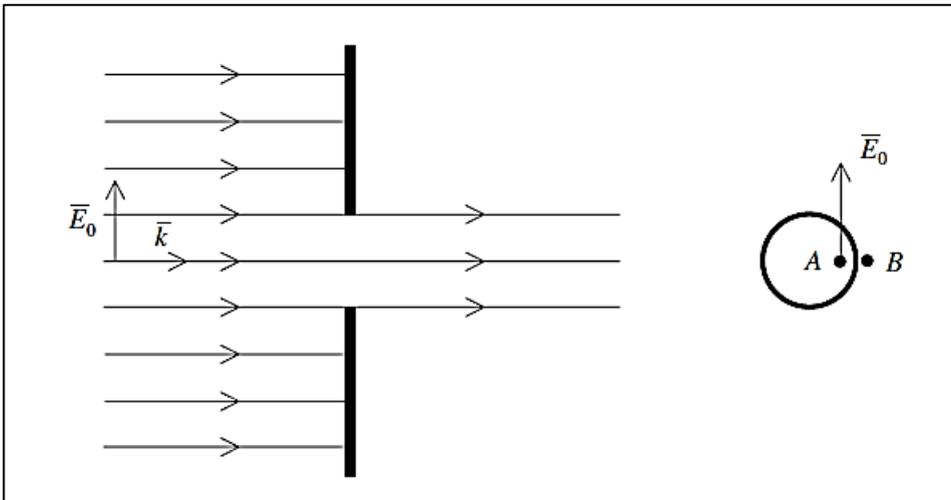
$$\sqrt{\epsilon_r} = n \quad (21)$$

$$n = \frac{c \text{ (en vacío)}}{v \text{ (en medio)}} = \frac{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \sqrt{\epsilon_r} > 1 \quad (22)$$

“De todo lo expuesto podemos decir que el índice de refracción de un medio se representa por número que siempre es mayor que la unidad”.

Figura 4

Fenómeno de difracción: Diagrama esquemático de la difracción de una onda plana por una apertura.



Nota. Onda plana luminosa incidente sobre una pantalla opaca con una apertura (supuesta circular) y sección del haz luminoso a la salida Tomado de "Ondas Electromagnéticas en comunicaciones" (p. 152), por J. Bará, 1999, Barcelona.

Bará (1999) sostiene que los materiales absorbentes se refieren a materiales que absorben la energía electromagnética dentro de cierto margen de frecuencia, el cual no se refleja y no la deja pasar.

Debido a que el color negro en el margen visible llega a absorber toda la radiación y no la refleja, entonces a esta ausencia de luz es cuando nos referiremos con el término "negro". En óptica también se le llama "de color negro" a los materiales absorbentes.

Arbitrariamente imaginemos 2 puntos próximos A y B (como se muestra en la ecuación), uno dentro del haz y otro fuera del mismo.

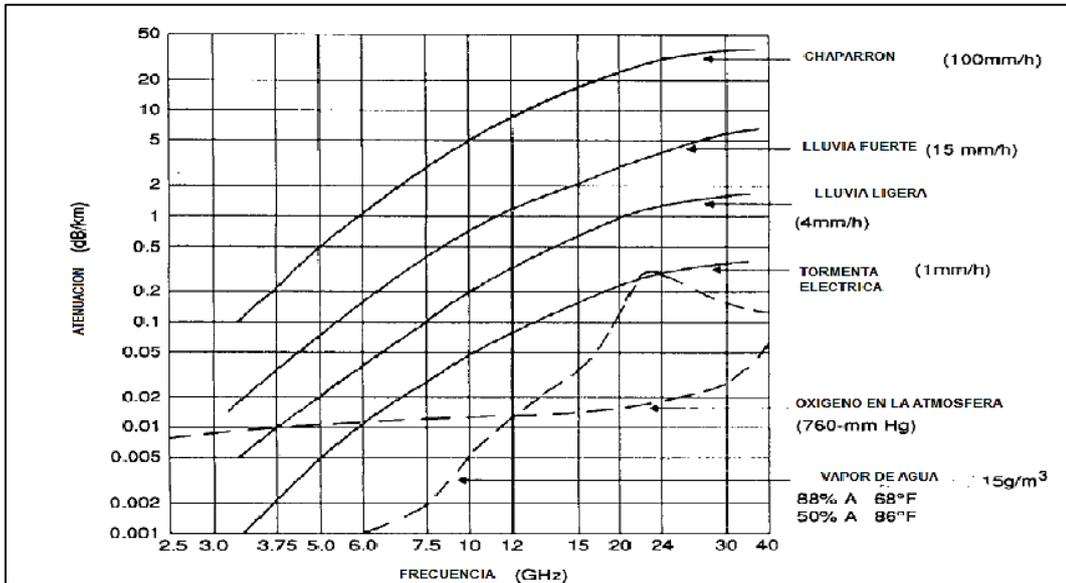
$$\bar{E}(A) = \bar{E}_0 \quad , \quad \bar{E}(B) = 0 \quad (23)$$

Y si se considera continuidad del campo eléctrico en un mismo medio, se tendría:

$$\bar{E}(A) = \bar{E}(B) \quad (24)$$

Figura 5

Absorción atmosférica estimada



Nota. Se muestra la absorción atmosférica estimada: Las comunicaciones terrestres por microondas deben propagarse siempre a través de la atmósfera, el oxígeno de la atmósfera absorbe parte de la energía de microondas. Tomado de "Diseño de un enlace de microondas para los servicios de voz y datos: procedimiento de instalación, configuración y puesta en marcha" (p. 24), por J. C. Pineda, 2014, D.F. México.

Según Albornoz (2007) indicó que en la atmósfera de la tierra se tiene 2 gases que se encargan de absorber la energía generada por las señales de microondas, los cuales son el oxígeno y el vapor de agua.

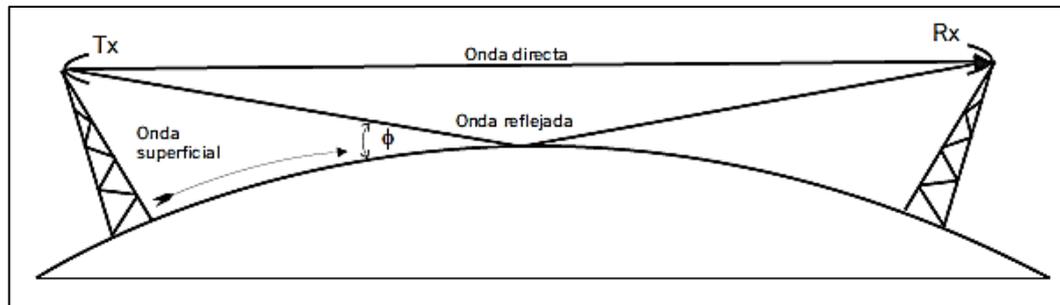
La pérdida de potencia de señal debido a este fenómeno depende de la frecuencia y concentración del gas en la atmósfera, y está causada por momentos magnéticos y eléctricos los cuales son propios de las moléculas de oxígeno y agua.

Cuando el vapor de agua se condensa en forma de niebla o lluvia, se producen pérdidas que dependen de la relación entre la longitud de onda de la señal y el tamaño promedio de las gotas de agua. Si el tamaño de este último es muy pequeño, las pérdidas se deberán principalmente a la absorción. Por otro lado, si el tamaño de la gota es comparable a la longitud de onda de la señal, la energía incidente sobre la

gota se dispersará en direcciones aleatorias. El resultado final es una reducción de la potencia de la señal recibida, que depende de la frecuencia, polarización e intensidad de la lluvia o niebla.

Figura 6

Transmisión sobre la tierra esférica: Ondas espaciales y superficiales.



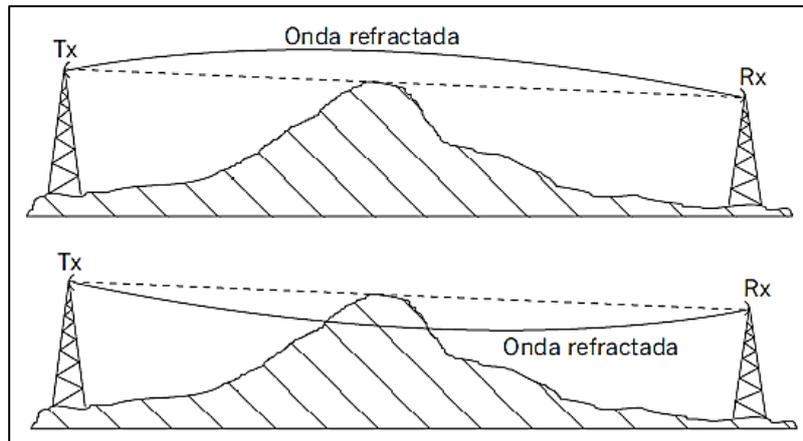
Nota. Tomado de “*Radioenlaces digitales*” (p. 71), por J.M. Albornoz, 2007, España.

Según Albornoz (2007), Sommerfeld estableció que la intensidad de campo que se recibe por parte del receptor puede dividirse en dos contribuciones, tal cual se muestra en la Figura 6.

- Onda espacial: Energía electromagnética que se desplaza por la troposfera.
- Onda Superficial: Energía electromagnética que se refleja a lo largo de la superficie terrestre.

Figura 7

La refracción de un haz de microondas.



Nota. Tomado de "Radioenlaces digitales" (p. 71), por J.M. Albornoz, 2007, España.

Se muestra la curvatura real de la Tierra real y cómo un haz de microondas que viaja 90° hacia la superficie de la Tierra se desvía en un factor k .

La figura muestra cómo cambia la longitud del camino con diferentes valores del coeficiente k .

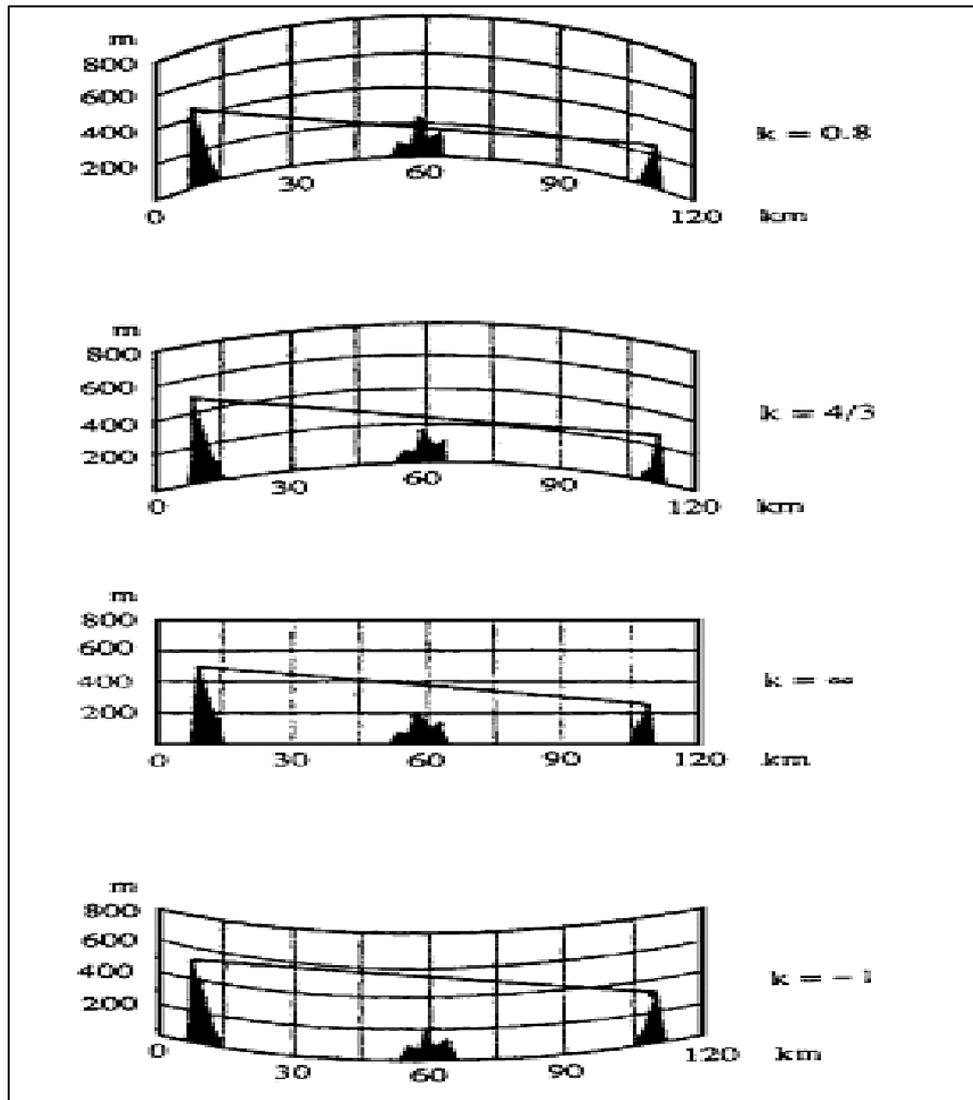
Los cambios en la curvatura de la Tierra causados por la refracción se expresan mediante el coeficiente k , que se define como la variación del radio efectivo de la Tierra mediante la variación del valor real del radio de la Tierra:

$$k = \frac{\text{radio efectivo de la tierra}}{\text{valor verdadero del radiode la tierra}} \quad (25)$$

Tenga en cuenta que para cada valor del factor k , la antena debe inclinarse en un ángulo diferente con respecto al suelo para lograr la longitud de trayectoria máxima para ese factor k en particular. Esto significa que si el salto es para $k = 4/3$, si el cambio de temperatura hace que k se convierta en $2/3$.

Figura 8

Perfil de la tierra eficaz para varios factores de k .



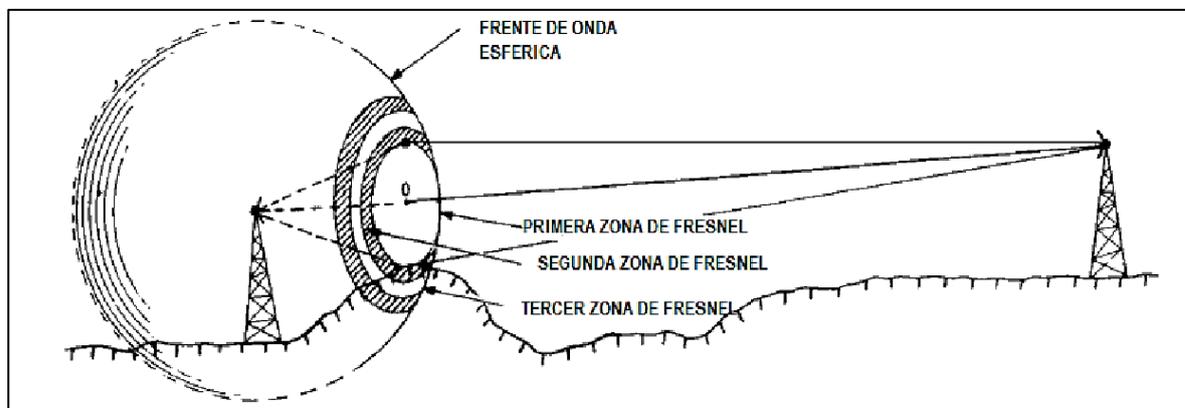
Nota. Tomado de “Diseño de un enlace de microondas para los servicios de voz y datos: procedimiento de instalación, configuración y puesta en marcha” (p. 27), por J. C. Pineda, 2014, D.F. México.

1.1.2 Zona de Fresnel

Pineda (2014) indica que debido a la interacción de la Tierra hace que la condición de propagación cambie, debido a que las señales recibidas dependen no solo de las señales que se propagan en el espacio, sino también de las ondas reflejadas por la superficie. Asimismo, estas ondas que se reflejan pueden alcanzar a la antena receptora desfasadas o en fases con las ondas directas, amplificando o

debilitando así las señales recibidas, y teniendo en cuenta la característica del punto de reflexión, se puede en algunos casos anular completamente las señales recibidas. Por lo tanto, el objetivo principal de las pruebas de propagación es detectar interferencias y reflejos en diferentes áreas del sistema de microondas. Implican variar la altura de las antenas transmisoras y receptoras para recopilar información y determinar la altura final de la torre. Alguna obstrucción en la trayectoria de la onda impide el paso de la radiación, y a medida que cambia la altura de la antena, la señal mostrará cambios, debido principalmente a las sombras de la obstrucción y a las interferencias causadas por las ondas directa del transmisor y la onda reflejada.

Figura 9
Zonas de Fresnel.



Nota. Tomado de “Diseño de un enlace de microondas para los servicios de voz y datos: procedimiento de instalación, configuración y puesta en marcha” (p. 29), por J. C. Pineda, 2014, D.F. México.

La onda de microondas que llega a la antena receptora está desfasada 180° ($\lambda/2$) con respecto a la onda directa, lo que define el límite de la llamada primera zona de Fresnel.

La segunda y tercera zona de Fresnel se definen como el límite que consta de todos los puntos a partir de los cuales la longitud del camino adicional es de dos y tres medias longitudes de onda, respectivamente. Por lo tanto, en cualquier punto del camino, hay un conjunto de círculos concéntricos con sus centros en la línea de visión directa que representan todos los límites de la zona de Fresnel.

La distancia del camino f_n (en metros) hasta la enésima línea de visión hasta el límite de la zona de Fresnel se aproxima mediante la siguiente ecuación:

$$f_n = 17.3\sqrt{((n d_1 d_2)/FD)} \quad (26)$$

Donde:

d_1 = Distancia desde un extremo de la ruta de acceso al punto de reflexión (km)

d_2 = Distancia desde el otro extremo de la ruta de acceso al punto de reflexión (km)

$D = d_1 + d_2$

F = Frecuencia (GHz)

n = Número de la zona de Fresnel

Estos radios de las zonas de Fresnel pueden tener un efecto significativo si los obstáculos en la trayectoria de las microondas, como árboles o colinas, se acercan al primer radio de la zona de Fresnel.

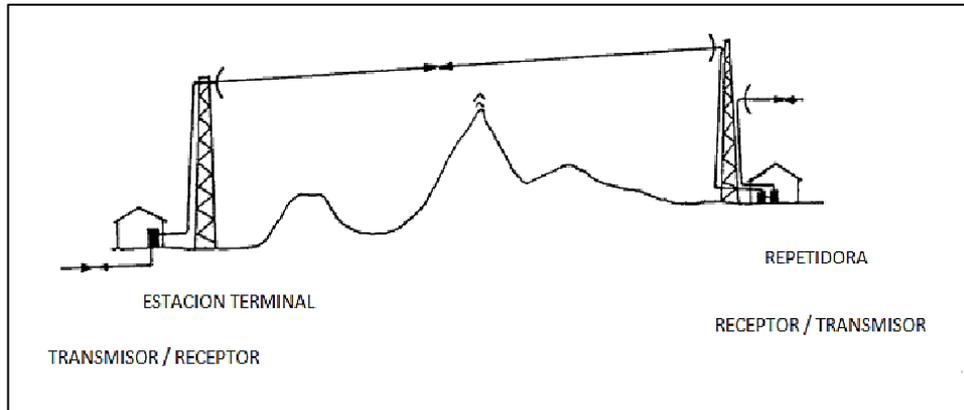
1.1.3 Enlaces microondas

Teniendo en cuenta a Pineda (2014) en su forma más simple, un enlace de microondas puede ser un único salto (Desde Estación terminal hacia Repetidora según se muestra en la Figura 10) que consta de un par de antenas separadas por sólo uno, dos o más kilómetros, o una red troncal que consta de múltiples saltos que abarcan miles de kilómetros. Cuando la antena se coloca entre picos de montañas. La "línea de visión" de microondas tiene algunas ventajas muy atractivas sobre los sistemas de cable. Asimismo, que las condiciones atmosféricas y los efectos del terreno cambian la propagación de los microondas, por lo que incluso si el diseñador puede ver el punto B desde el punto A (línea de visión real), puede que no sea posible colocar la antena

en estos dos puntos y lograr un rendimiento de comunicación satisfactorio como se puede apreciar en la figura 10.

Figura 10

Diagrama esquemático de un enlace.



Nota. Tomado de “Diseño de un enlace de microondas para los servicios de voz y datos: procedimiento de instalación, configuración y puesta en marcha” (p. 354), por J. C. Pineda, 2014, D.F. México.

El objetivo de un sistema de comunicación por microondas es transmitir mensajes de un lugar a otro sin interrupción y reproducirlos claramente en el receptor.

Los canales de voz, vídeo o datos se combinan con tecnología de multiplexación y así se pueda crear la señal de banda base. Esta señal es modulada a una frecuencia intermedia y luego se convierte a una frecuencia de radio para así poder propagarse en el medio. El desarrollo inverso ocurre en el receptor.

1.1.4 Técnicas de ingeniería de radio

Las señales transmitidas llegan al receptor con una amplia gama de niveles de potencia que varían en el tiempo y se ven afectadas por el ruido, la interferencia y la distorsión del canal; además, la mayoría de sistemas cuentan con enlaces bidireccionales que permiten a los usuarios compartir recursos, frecuencia y tiempo. Por ello el usuario usa técnicas que permite optimizar los recursos (cambio de

Modulación, Multiplexación, ancho de banda, frecuencia, cambio de banda de operación por temas de interferencia) (Pineda, 2014).

1.2 Conceptos generales de redes móviles

1.2.1 Generalidades

Agusti et al. (2010) sostienen que debido a que existen de redes donde involucran diferentes tecnologías, surge la necesidad de tener terminales multimodo, es decir, terminales que pueden conectarse a una red mediante diferentes tecnologías de acceso radioeléctrico. Por lo que es valioso resaltar que en su mayor porcentaje el terminal 3G/UMTS también es usado como terminal 2G/GSM al mismo tiempo, no hay duda de que muchos terminales LTE en el futuro serán terminales multimodo que logren soportar tecnologías actuales (banda ancha móvil mediante 3G y 4G). Los sistemas 4G están diseñados particularmente para escenarios que soporten instalaciones de red donde las redes de acceso E-UTRAN coexisten con diferentes redes de acceso de radio. Específicamente, los servicios que tienen conectividad IP troncal de EPC también se pueden proporcionar por medio de redes de acceso 3GPP previos a 4G, lo cual involucra a UTRAN y GERAN. Al interconectarse la red de acceso y la red LTE mediante una interfaz dedicada con la nueva red troncal EPC, asegurando así la continuidad del servicio cuando el terminal cambia de red de acceso (es decir, soportando la transición entre mecanismos de tecnología 3GPP). Cabe precisar que el sistema 4G contempla el uso de red de acceso estandarizada que no sea 3GPP (en adelante denominadas redes no 3GPP) para proporcionar servicios de red troncal EPC.

Definiremos el término interworking cuando se refiere a un conjunto de funciones y mecanismos que logran cierto grado de interacción (es decir, nivel de interworking) en la ejecución de varias redes de comunicación (cuando interactúa en

más de 1 red, es decir que se desplaza de una RED A a otra RED B sin inconvenientes).

1.2.1.1 Escenario de referencia

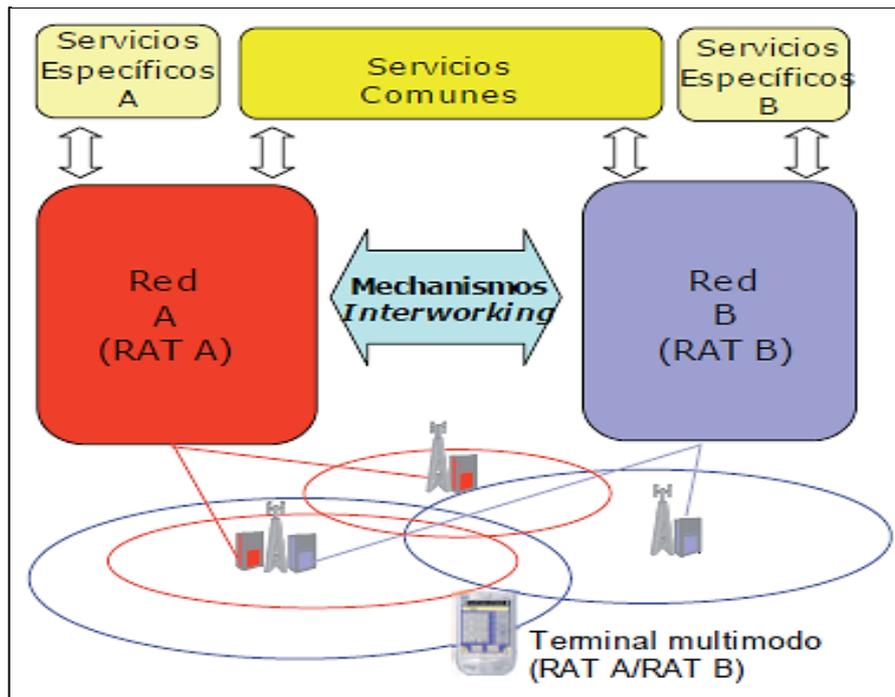
En la siguiente imagen logramos apreciar un caso referencial teniendo en cuenta al analizar el grado de interworking de varias redes.

Para este caso que se muestra consideramos la red A y la red B, en donde ellas tienen diferentes tecnologías, RAT A y RAT B, las cuales podrían contar con cobertura en puntos específicos en el área de servicio.

Por lo tanto, se pueden considerar escenarios en los que la red A y B cuentan con disponibilidad en el área de cobertura.

Figura 11

Escenario de referencia para las soluciones de interworking en redes heterogéneas.



Nota. Tomado de "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles" (p. 375), por R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

En cuanto a la prestación de servicios, como se muestra en figura 11, se estima que la Red A y Red B puedan brindar accesibilidad a un mismo conjunto de servicios (por ejemplo, los servicios de accesibilidad a la Internet pueden proporcionarse a través de ambas redes). También puede darse el caso que una de las redes puede especializarse para brindar acceso a un conjunto específico de servicios. Como análisis podría darse el caso de 4G y 3G, esta red 4G se puede utilizar con el fin de brindar servicios de video de buena calidad que no están disponibles a través de del 3G, mientras que los servicios telefónicos sólo se pueden proporcionar a través de UMTS.

1.2.2 Arquitectura del sistema

1.2.2.1 Introducción.

Debido a un análisis preliminar de las arquitecturas comunes utilizadas actualmente en los sistemas móviles 2G/3G, se identificaron las partes básicas del esquema de la red que componen todo el universo de sistemas específicos de 3GPP (GSM_2G, UMTS_3G, LTE_4G). Por medio de dicha clasificación se puede definir claramente quienes serían los componentes nuevos que se estarían introduciendo en los sistemas 4G y si cumplen con los criterios básicos de diseño de la red 2G y 3G (Agusti et al., 2010).

La descripción 4G fue introducido originalmente por 3GPP para denotar un esfuerzo interno para desarrollar la red de acceso UMTS conocida como UTRAN. Oficialmente, la nueva red de acceso se denomina E-UTRAN (Evolved UTRAN), aunque el término LTE también suele utilizarse en las especificaciones como sinónimo de E-UTRAN. De manera similar a las redes troncales, 3GPP utiliza el término SAE (System Architecture Evolution) para denotar actividades de investigación relacionadas con la evolución de las especificaciones de las redes troncales de conmutación de paquetes. Formalmente, a esta red troncal se le conoce como Evolved

Packet Core (EPC) o dominio de conmutación de paquetes Evolved 3GPP, al igual que con las redes de acceso, la nominación SAE a menudo se considera sinónimo de EPC. La combinación de la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC forma una red UMTS recientemente desarrollada, oficialmente denominada EPS (Evolved Packet System).

1.2.2.2 Arquitectura de los sistemas celulares.

La arquitectura simplificada del sistema de comunicación móvil celular se muestra en la figura 12. Agusti et al. (2010) afirmaron que en dicha arquitectura se logra identificar tres componentes básicos, puesto que el modelo de red es de muy alto nivel.

- **Equipos de usuarios:** Se refiere a los dispositivos que conceden el servicio de conexión a la red de cada usuario. Los mismos pueden contener una tarjeta con chip (Universal Integrated Circuit Card, UICC) el cual este garantiza la conexión a las redes y los servicios gracias a la información que contiene. Los equipos de los usuarios se conectan gracias a la red inalámbrica.
- **Redes de acceso:** Se encarga que el sistema logre soportar transmisiones de la red hacia y desde los dispositivos de los usuarios para proporcionarles las conexiones que se requieran con los equipos troncales de la red.

El servicio que transmite la red de acceso que lo logra la transferencia de información del equipo del usuario (comunicación de datos y señales) hacia o desde la red troncal es un servicio demoniado portador, es decir, una funcionalidad cuyo objetivo principal es proporcionar una capacidad determinada de la transmisión.

Esta red tiene la responsabilidad de manejar el uso adecuado de los recursos de radios habilitadas para proporcionar servicios portadores de manera eficiente. La activación de los recursos de transmisión en la red de acceso suele estar controlada por las redes troncales.

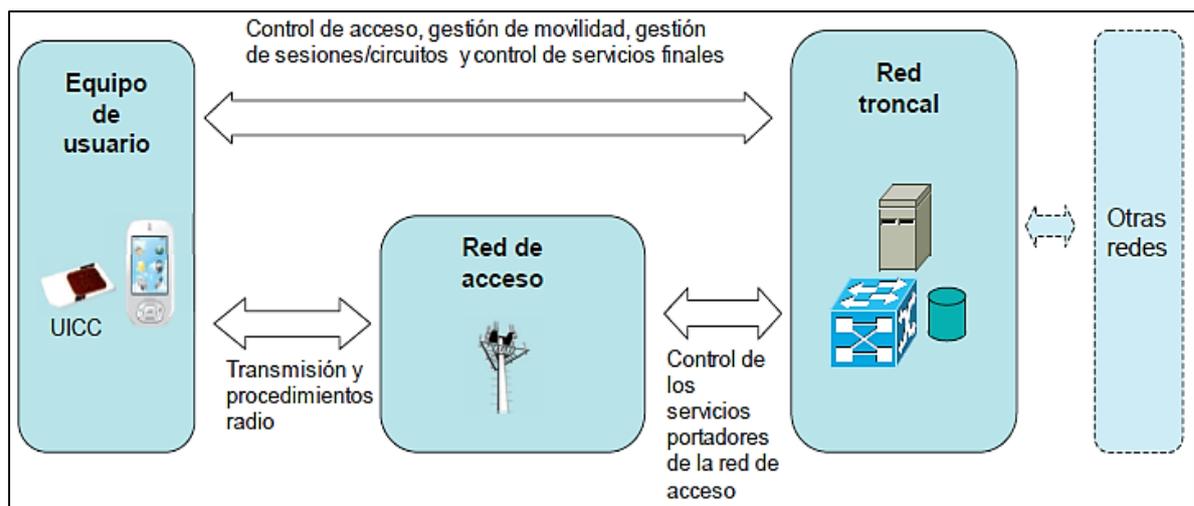
Esta red está constituida por diferentes estaciones bases y tecnologías 3G y 4G.

- **Redes troncales:** Es la encargada de poder controlar el acceso a la red móvil (por ejemplo, autenticar el usuario dentro del sistema), administrar el traslado del usuario en la red, administra las sesiones de datos de los usuarios que transmiten información, administra los cambios que se realizan cuando se interconectan con diferentes redes.

Se involucra en las operaciones relacionadas con la gestión del servicio final proporcionado al usuario (por ejemplo, controles y señalización relacionados con los servicios de telefonía). El enrutamiento de la red troncal consta de equipos con funciones de conmutación de circuitos, enrutamiento de paquetes (routing), base de datos, etc.

Figura 12

Arquitectura genérica de un sistema celular

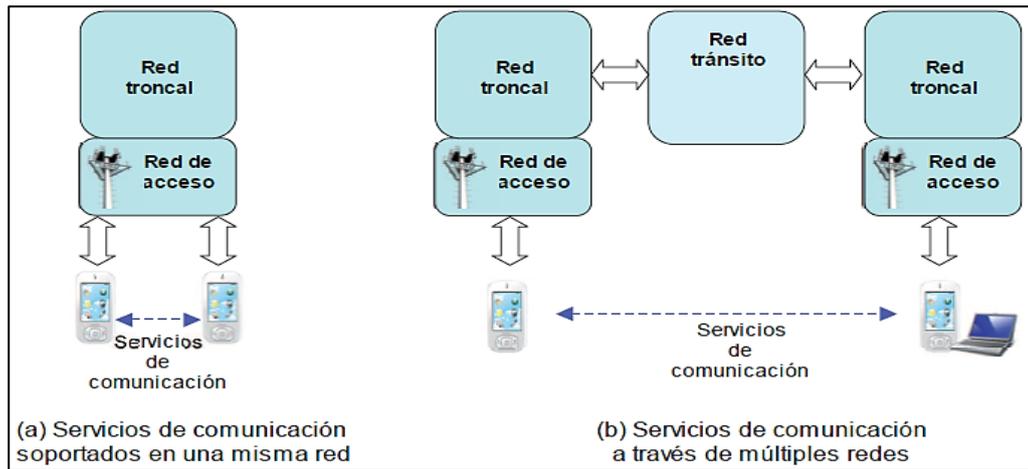


Nota. Tomado de "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles" (p. 57), por R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

En la figura 13, se aprecia dos tipos de escenarios donde se muestra que la red celular móvil adquiere servicio de comunicación.

Figura 13

Escenarios para la prestación de servicios de comunicación utilizando redes celulares móviles

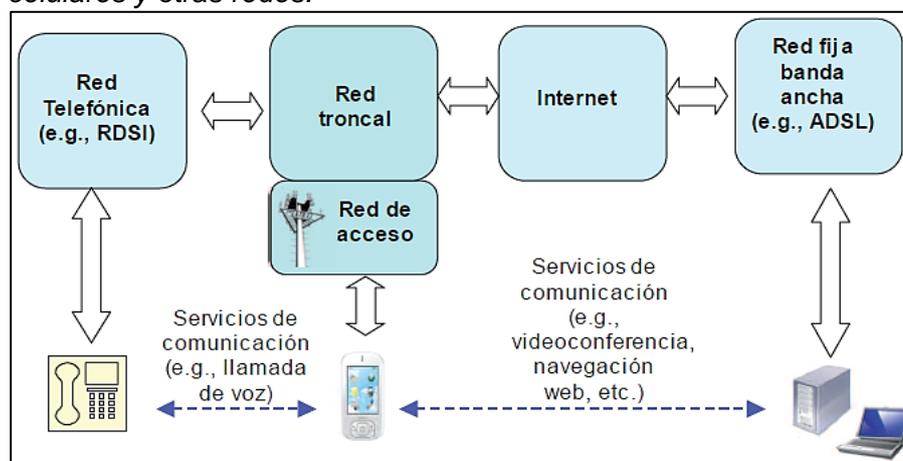


Nota. Tomado de “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles” (p.57), por R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

En la figura 14 muestra un escenario donde se brinda servicios entre dispositivos conectados a una red móvil y dispositivos ubicados en redes diferentes (por ejemplo, red de telefonía, Internet, otros.).

Figura 14

Escenarios donde se brinda servicios de comunicación entre redes celulares y otras redes.

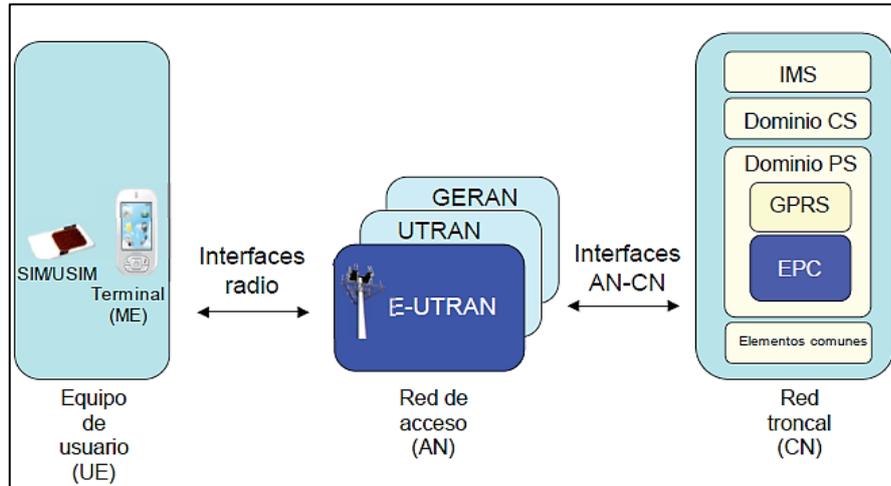


Nota. Tomado de “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles” (p.58), por R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

1.2.2.3 Arquitectura general de sistemas 3gpp.

Figura 15

Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3gpp (GSM, UMTS Y LTE)



Nota. Tomado de “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles” (p. 58), por R. Agustí, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

Los equipos de usuarios en 3GPP está conformado por dos elementos fundamentales: el mismo equipo también llamado terminal móvil (llamado Mobile Equipment, ME) y la tarjeta UICC. A esta UICC se le puede llamar como tarjeta User Identity Module (SIM) en 2G (GSM) y Universal SIM (USIM) en 3G (UMTS) y 4G (LTE), es responsable de recopilar la información y soportar programas relacionados con la suscripción del usuario a los servicios prestados. Con esta separación de terminales y tarjetas, el usuario (identificado por la tarjeta SIM/USIM) puede anclarse a diferentes terminales para acceder a la red.

En términos de redes de acceso, 3GPP define tres redes de acceso diferentes: GERAN (Red de Acceso Radio GSM/EDGE), UTRAN (Red de Acceso Radio Terrestre UMTS) y E-UTRAN (UTRAN Evolucionada). La red de acceso GERAN y UTRAN está dentro del sistema 3G UMTS, por otro lado, se tiene una nueva red de accesos llamada E-UTRAN el cual está el sistema LTE. Cada red de acceso tiene su interfaz de radio propia para comunicarse mediante el equipo del usuario: GERAN (a menudo también

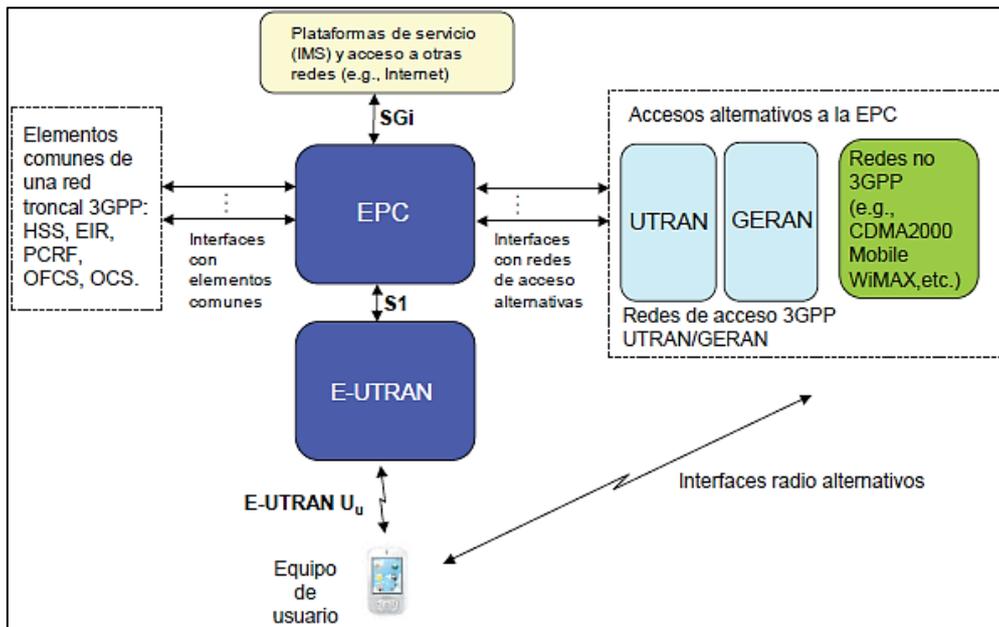
llamado GSM o 2G) usa acceso TDMA, UTRAN usa tecnología WCDMA y E-UTRAN apuesta por la tecnología OFDMA. En consecuencia, la red de acceso y la red troncal se interconectan mediante la interfaz AN-CN especial para cada red de acceso.

1.2.2.4 Arquitectura del sistema LTE.

En la figura 16 se aprecia de forma compacta toda la arquitectura de la red 4G (LTE), conocida como Sistema de paquetes evolucionado (Evolved Packet System - EPS). Desde la posición de Agusti et al. (2010) las partes fundamentales del sistema 4G LTE son, las nuevas redes de acceso E-UTRAN y las nuevas redes troncales de dominio de paquetes EPC (en adelante red troncal EPC), por otro lado, el subsistema IMS, que fue creado originalmente en el contexto del desarrollo del sistema UMTS.

Figura 16

Arquitectura del sistema LTE



Nota. Tomado de “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles” (p.62), por R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

Las redes de acceso E-UTRAN y las redes troncales EPC habilitan conjuntamente servicios de transmisión de paquetes IP entre los equipos de los

usuarios y las redes de paquetes externos (como plataformas IMS) y/u otra red de telecomunicaciones (por ejemplo, Internet). Agusti et al. (2010) sostienen que los servicios de transporte de paquetes de IP (por ejemplo, velocidad de datos en bits/segundo, latencia y comportamiento de pérdida) se pueden configurar según las necesidades del servicio final que lo utiliza, y su creación (señalización) se realiza externamente. La plataforma de servicio (por ejemplo, IMS) se ejecuta y es transparente para la red troncal de EPC. El servicio de transmisión de paquetes IP que ofrece la red 4G(LTE) entre los equipos de los usuarios y las redes externas se conoce como servicio portador EPS. Además, la red de acceso E-UTRAN ofrece los servicios de transportes de paquetes como Portador de Acceso Radio E-UTRAN (ERAB - Radio Access Bearer). Asimismo, indican que el sistema 4G (LTE) considera tener en cuenta el acceso a sus servicios mediante UTRAN y GERAN, al igual que el uso de otra red de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP. El grupo de interfaces EPC permite interconectar redes de acceso alternativas (3GPP y no 3GPP). También, además a los equipos que logran implementar funciones de norma 3GPP, la infraestructura de red LTE también integra otros elementos típicos de la red IP, como enrutadores (routers) y servidores de Protocolo de configuración dinámica de host (DHCP - *Dynamic Host Configuration Protocol*) para la configuración automatizada de direcciones IP de los equipos de la red LTE y los servidores DNS (*Domain Name Server*), para que luego se asocie el nombre de un dispositivo a su dirección IP.

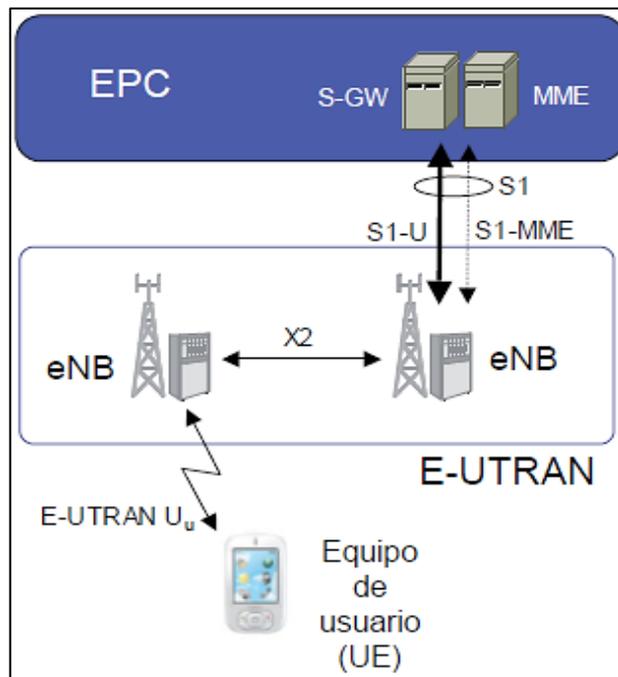
1.2.2.5 Arquitectura de E-UTRAN (red de accesos evolucionada).

La arquitectura de la red de acceso consta de una única unidad de red, denominada nodo B evolucionado (eNB), que forma una estación base E-UTRAN. Por lo tanto, la estación base E-UTRAN abarca todas las funciones de la red de acceso, que son diferentes de las redes de acceso GSM y UMTS, que constan de estaciones base (BTS, NodeB) y equipos de control (BSC y RNC).

Como se muestra en la figura 17 la red de acceso E-UTRAN se conforma de varios eNB que proporciona conectividad entre los equipos de los usuarios (UE) y las redes troncales EPC. El eNB se interconecta con otros componentes del sistema a través de tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

Figura 17

Red de acceso E-UTRAN



Nota. Tomado de "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles" (p.63), por R. Agustí, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

E-UTRAN Uu, de igual manera conocida como LTE Uu o sólo interfaz de radio 4G (LTE), hace posible el transporte de información entre el eNB y el equipo del usuario a través de canales de radio.

Alternativamente, los eNB se pueden conectar entre sí a través de la interfaz X2. Por medio de mismo, los eNB pueden intercambiar señales por medio de mensajes diseñados para gestionar de manera más eficiente el consumo de recursos de radio

(por ejemplo, información que ayude a disminuir la interferencia entre eNB) y el tráfico de usuarios del sistema cuando se mueven de una ubicación a otra, mientras realiza el proceso de handover.

En la tabla 1 se resumen los dispositivos e interfaces de la red E-UTRAN y se brindan las características más resaltantes 3GPP asociadas a ellos.

Tabla 1

Dispositivos e interfaces de red E-UTRAN

| Entidades de red | Denominación | Descripción | Referencias 3GPP ¹⁾ |
|------------------|--|----------------------------|--|
| | | Envolved Node (eNB) | Estación base de la red de acceso E-UTRAN |
| | Denominación | Entidades de red asociadas | |
| | E-UTRAN Uu (también denominada LTE Uu o interfaz radio) | eNB UE | TS 36.300 [4] Documentos TS 36.2xx y TS 36.3xx |
| Interfaces | X2 | eNB eNB | Documentos TS 36.42x TS 29.281 [26] |
| | S1-MME | eNB Red troncal EPC (MME) | Documentos TS 36.41x |
| | S1-U | eNB Red troncal EPC (S-GW) | TS 29.281 [26] |

Nota. Tomado de “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles” (p.64), por R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

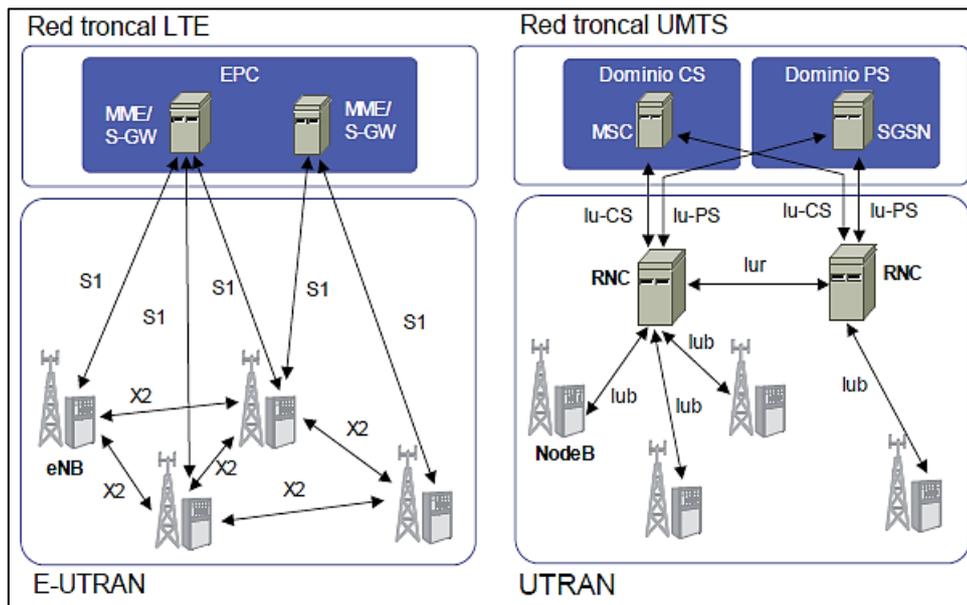
1.2.2.6 Comparativa E-UTRAN y UTRAN.

La arquitectura E-UTRAN es muy diferente de las redes de acceso UTRAN y GERAN.

En la figura 18 apreciamos esquemáticamente una implementación sencilla de la red E-UTRAN y la red UTRAN para poder mostrar un modelo de la red acceso 3G y 2G y poder identificar las dos arquitecturas.

Figura 18

Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN



Nota. Tomado de "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles" (p.76), por R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez & O. Sallent, 2010, España.

1.3 Antenas

El Institute of Electricla and Electronic (IEEE, 1993, citado en Ponce 2011) sostiene que las antenas son como "una parte de un sistema de transmisión o recepción diseñado específicamente para emitir o recibir ondas electromagnéticas" (p. 1). Asimismo, casi la mayoría de los medios de telecomunicaciones utilizan antenas para poder transmitir las señales a distancias largas por medio de ondas electromagnéticas. Por lo tanto, se puede decir que existen dos categorías de antenas principales: Las unidireccionales, las cuales se encargan de enviar señales en una sola dirección con finalidad de evitar que se dispersen para que lleguen a la dirección deseada, y las omnidireccionales, al igual que las antenas usadas en la telefonía móvil, envían señales en todas las direcciones posibles. Con cual se intenta cubrir el mayor alcance de radio posible.

Las antenas, indiferentemente de su uso, tienen ciertas características básicas. Los más comunes como: patrón de radiación, polarización, directividad, ganancia,

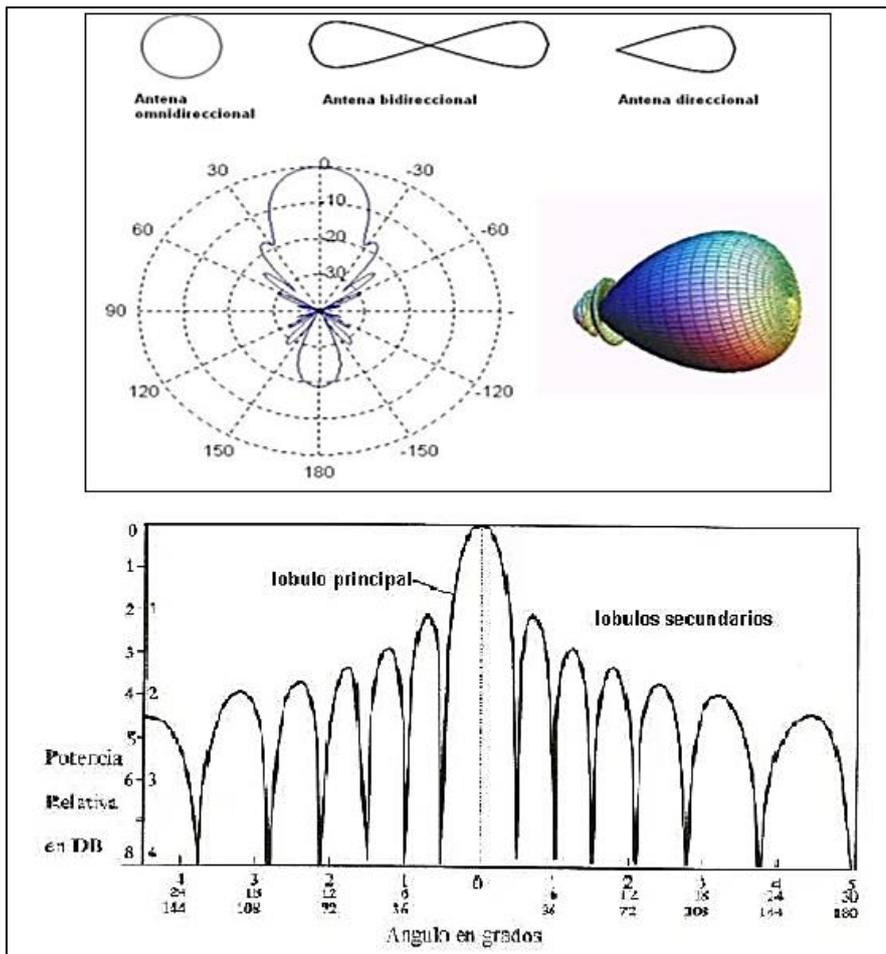
impedancia, ancho de banda, mientras que otras tienen propiedades como: resistencia de radiación, relación frente a espalda (parte frontal a la parte trasera de la antena), etc. Estos ultimo no se aplican a todos los tipos de antenas.

1.3.1 Características y parámetros de las antenas

1.3.1.1 Diagrama de radiación.

Figura 19

Diagrama y patrón de radiación



Nota. Tomado de “Localización óptima de antenas para una empresa de telecomunicaciones en el Callao” (p.11), por A. Ponce, 2011, Lima. Y Tomado de “Antenas” (p.6), por D. Duque, 2017, Ecuador.

Duque (2017) sostuvo que la distribución espacial de la energía radiada de una antena está determinada por “el patrón de radiación” y suele ser la característica principal que se especifica en una antena después de conocer la frecuencia en la que opera. Lo más habitual en la práctica es realizar secciones planas del patrón de radiación y no vista de la superficie tridimensional.

Se tiene 2 vistas más importantes del patrón de radiación:

- Plano – E: Plano principal paralelo al vector de la intensidad del campo eléctrico cuando este tiene su máximo valor.
- Plano – H: Plano principal perpendicular al Plano – E.

Tenemos 3 tipos de patrón de radiación principales:

- Omnidireccional (Plano – H): Es usado para sistemas de radio difusión o en servicios de comunicaciones donde su prioridad es poder cubrir de igual forma en todas las direcciones. Su patrón es circular en el plano horizontal, mientras que en el plano vertical tendrá un ancho angular.
- Bidireccional: Es altamente direccional y se usa cuando necesitamos lograr la ganancia máxima y requerimos concentrar la radiación en un determinado sector reducido.
- Direccional (Plano – E): Es usada cuando se requiere tener una cobertura específica en alguno de los planos. En patrón en el otro plano principal podría tener un ancho angular o en forma de circunferencia dependiendo la necesidad que se requiera cubrir.

Para los diferentes tipos de patrón de radiación pueden aparecer lóbulos (haces) de radiación que no deseamos, ha estos se les conoce como lóbulos laterales o secundarios, estos últimos se encuentran separados del lóbulo principal. Debido a que los lóbulos laterales nos influyen en la dirección principal de interés, es recomendable mantener dichos lóbulos en niveles razonablemente bajos.

1.3.1.2 Ancho de banda.

Duque (2017) definió que el ancho de banda es la que se encarga de medir la habilidad para poder radiar o recepcionar las diferentes frecuencias, el rango de frecuencias que se usa para radiar o recibir es cuando la eficiencia de la potencia de la misma es del 50% a más. Se logra obtener un gran ancho de banda cuando sacrificamos la ganancia de la misma.

Se puede calcular el ancho de banda de las siguientes formas:

- Cuando se expresa en forma de porcentaje:

$$B_w = (\Delta f / f) \cdot 100 \quad (27)$$

Donde B_w es el ancho de banda, f es la frecuencia central y Δf es el rango de frecuencia.

- Cuando se expresa en términos de una fracción o múltiplos de una octava:

$$B_w = \log_2(f_{\text{sup}} / f_{\text{inf}}) \quad (28)$$

Donde B_w es el ancho de banda, f_{sup} es la frecuencia mayor y f_{inf} es la frecuencia menor de operación.

1.3.1.3 Densidad de potencia radiada.

Es definida como la potencia en la unidad de superficie. El cual es medido en vatios por metro cuadrado (Ponce, 2011).

$$\vec{P}(\theta, \phi) = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}) \quad (29)$$

Donde:

El campo eléctrico está representado por E y el campo magnético por H .

1.3.1.4 Impedancia característica del medio.

Definido como el coeficiente entre los módulos de los respectivos campos eléctricos y magnéticos expresado por la siguiente ecuación (Ponce, 2011).

$$n = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|} \quad (30)$$

Es una antena única que emite energía uniformemente en todas direcciones, El valor de $n = 1$ se utiliza en casos ideales.

1.3.1.5 Directividad.

Definido como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección a una distancia determinada y la densidad de potencia radiada por una antena isotrópica a la misma distancia con la misma potencia radiada total (Ponce, 2011).

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_t}{4\pi \cdot r^2}} \quad (31)$$

Donde r es la distancia radial desde la antena al punto donde se determina el campo y W_t es la intensidad de radiación.

1.3.1.6 Ganancia.

Se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia radiada por una antena isotrópica a la misma distancia y la potencia entregada a la antena (Ponce, 2011).

$$G(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_e}{4\pi \cdot r^2}} \quad (32)$$

La diferencia entre directividad y ganancia es que la primera es la cantidad de potencia que irradia la antena, pero debido a las pérdidas óhmicas, la antena irradia menos potencia, es decir, la ganancia.

Si los dos son iguales, la eficiencia ideal es del 100%, pero en la práctica la eficiencia es inferior al 90%, definida como la relación entre los dos:

$$e = \frac{D(\theta, \phi)}{G(\theta, \phi)} \quad (33)$$

1.3.1.7 Impedancia.

Es definida como la dirección o concentración de ondas emitidas mediante la antena en una determinada dirección. Se puede representar mediante la forma geométrica que depende de los cambios de las ondas. Si cambia la forma sinusoidal, se produce una elipse; También existe polarización lineal y circular (Ponce, 2011).

1.3.1.8 Polarización.

Es definida como la relación del voltaje mediante la corriente en sus terminales de entrada. Suele ser un número complejo, la parte real es definida como resistencia de la antena y la parte imaginaria se llama impedancia de la antena (Ponce, 2011).

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} \quad (34)$$

$$Z_i = R_z + jX_a \quad (35)$$

Se divide en resistencia de radiación y resistencia óhmica, con lo cual se obtiene lo siguiente:

$$Z_i = R_r + R_\Omega + jX_a \quad (36)$$

Al anularse la reactancia inicial, dicha antena se denominará resonante.

1.3.1.9 Adaptación.

Definida como la relación entre la potencia de entrada y la potencia que se recibe en su máxima transferencia de potencia (Ponce, 2011).

$$C_a = \frac{W_r}{W_r^m} \quad (37)$$

1.3.2 Antena funcional plana

Se tiene tres tipos principales (Ponce, 2011):

- De bucle magnético: Se compone por anillos circulares, octogonales o rectangulares, que no son afectadas desde una altura de más de un metro y medio. Adecuado para alto voltaje, pero bajo ancho de banda.
- Antenas Microstrip: Se trata de antenas resonantes impresas para enlaces inalámbricos de microondas de banda estrecha. Son sencillos de fabricar, pequeños y adaptables, son eficiencia baja, potencia baja y una polarización de baja pureza.
- Antenas de apertura sintética (SAR): Son un tipo de radar que emite una señal en pulsos y la devuelve como un eco que mide la intensidad, el retardo y crea una imagen del objeto que se está midiendo.

1.3.3 Aplicaciones de antenas planas

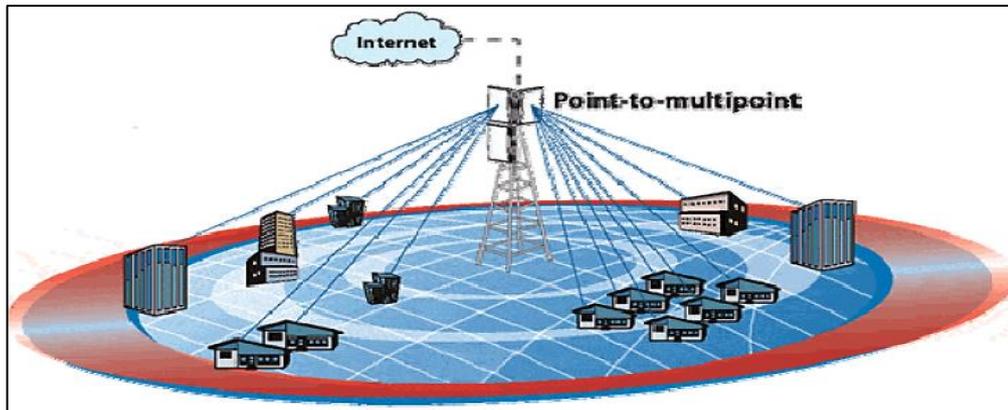
Ponce (2011) consideró las siguientes aplicaciones de antenas planas; conforme se detalla a continuación:

1.3.3.1 Antenas sectoriales.

Recordando, las Antenas omnidireccionales tienen un alcance más corto, pero logran cubrir 360° en todas las direcciones, lo que ayuda a que las señales se centralicen, tal cual se muestra en la siguiente figura.

Figura 20

Antenas omnidireccionales



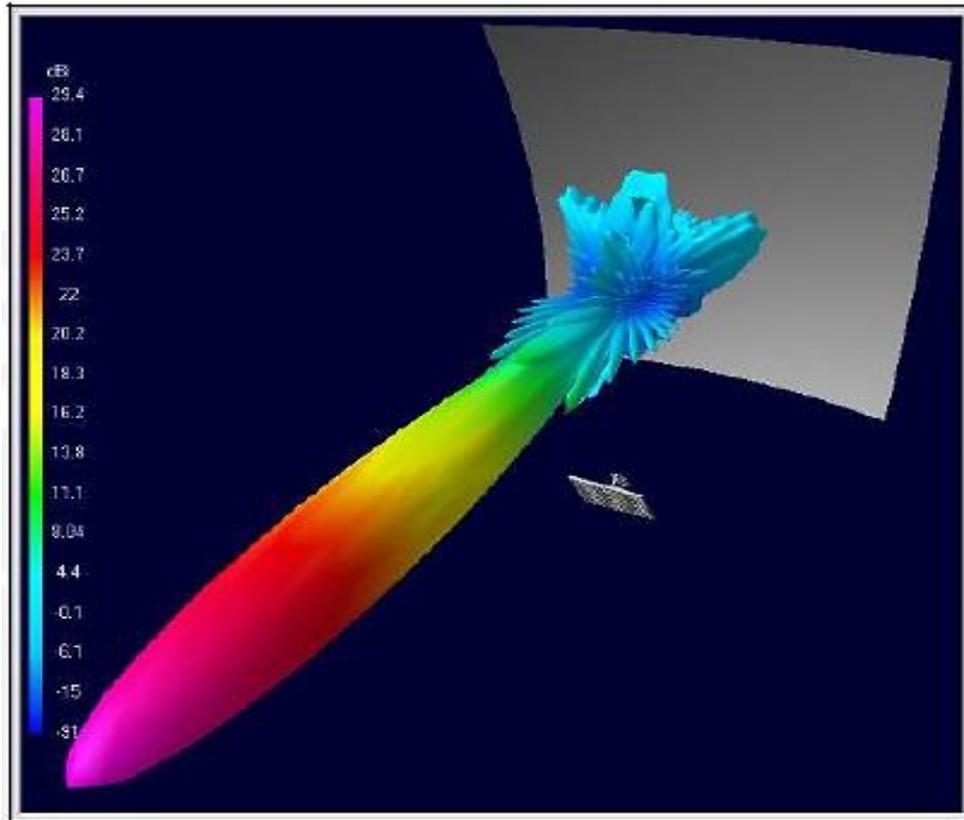
Nota. Tomado de “Localización óptima de antenas para una empresa de telecomunicaciones en el Callao” (p.17), por A. Ponce, 2011, Lima.

Como el segundo tipo tenemos a la antena unidireccional o direccional. Son como linternas que apuntan en la dirección de un punto y tienen la ventaja de un largo alcance, pero no una amplia cobertura (No abarcan muchos grados (°) alrededor de ellas, es decir que se enfocan en una determinada zona).

Si los interlocutores están cara a cara puede haber buena comunicación entre ambas partes, pero si están fuera del área de cobertura no podrá escuchar sonido alguno del otro interlocutor, es decir no tendrá recepción.

Figura 21

Antenas Undireccionales

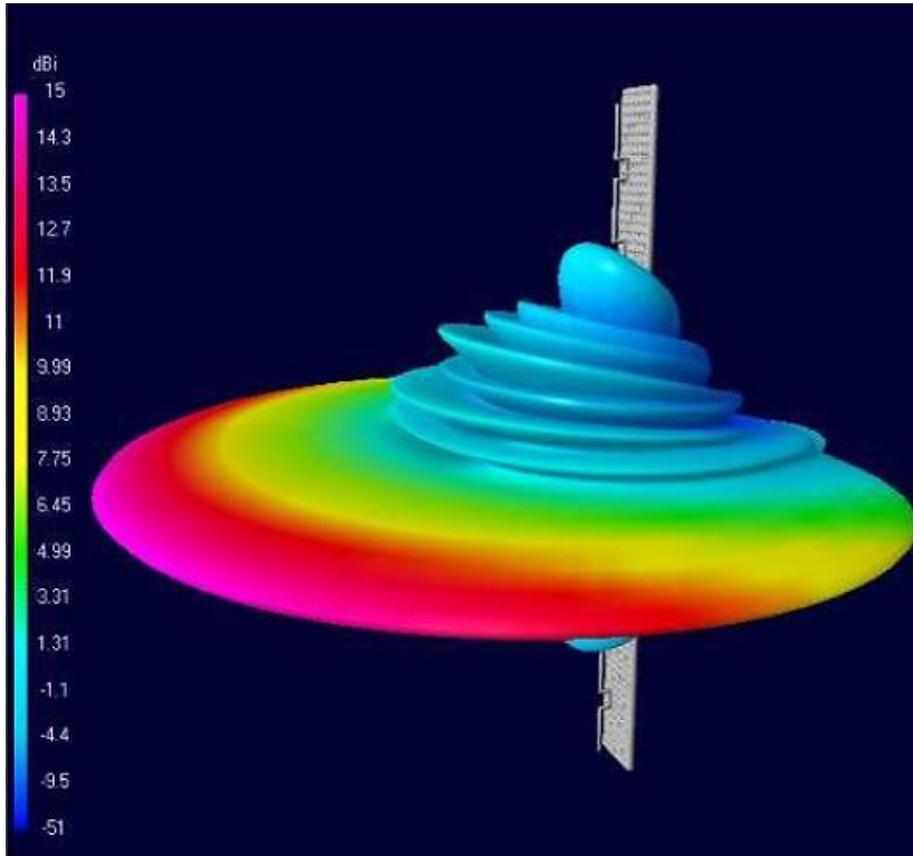


Nota. Tomado de “Localización óptima de antenas para una empresa de telecomunicaciones en el Callao” (p.18), por A. Ponce, 2011, Lima.

Las antenas sectoriales son un híbrido de antena unidireccional y omnidireccional porque tienen las características de las antenas direccionales y, por lo tanto, pueden recibir radios más grandes (360°) y distancias más largas, la figura 22 se puede apreciar este tipo de antena.

Figura 22

Antenas direccionales



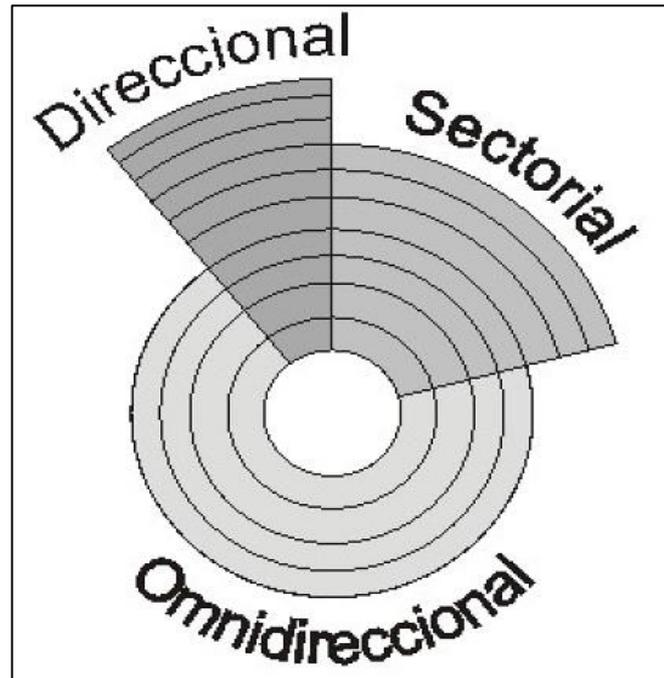
Nota. Tomado de "Localización óptima de antenas para una empresa de telecomunicaciones en el Callao" (p.19), por A. Ponce, 2011, Lima

Podemos lograr ello de maneras diferentes. Una es colocando con una distancia de 120° tres antenas para poder anular las interferencias y tener mayor cobertura. Puedes hacer lo mismo, pero utilizando cuatro antenas sectoriales, una en cada vértice, el cual tiene una alta penetración en relación de efecto/alcance.

En la figura 23 se puede apreciar gráficos de perfil horizontal de los tres modos de propagación de ondas observados. La antena direccional tiene un alcance mayor y una amplitud menor, la antena omnidireccional cubre un radio de distancia corta (aprox 1 Km), mientras que la antena sectorial cubre niveles medios (aprox 5 km), por lo que se utilizan con mayor frecuencia en redes celulares y conexiones a Internet.

Figura 23

Comparativo de antenas



Nota. Tomado de "Localización óptima de antenas para una empresa de telecomunicaciones en el Callao" (p.19), por A. Ponce, 2011, Lima

Capítulo II. Formulación del problema

Consiste en la descripción de los procedimientos y trabajos a realizarse para la implementación de una nueva estación base en las operadoras de CLARO y/o ENTEL.

El fin de los trabajos a realizar es poder brindar cobertura celular en las diferentes zonas del territorio peruano mediante la tecnología UMTS y LTE, para ello es importante elegir el radio enlace y tecnologías adecuadas según el estudio en gabinete realizado por el operador móvil.

Una vez identificado los equipos adecuados según el estudio realizado, estos se instalarán según el requerimiento del operador dentro del área arrendada por el mismo.

Posteriormente el operador móvil realiza la entrega de equipos para que se realice su instalación, configuración y activación de la estación base celular, luego se procede a realizar pruebas en campo para verificar que dicha estación base esté operando con normalidad.

Capítulo III. Revisión bibliográfica

3.1 Componentes de la planta de poder (power plant)

El Equipo de energía es la responsable de suministrar energía DC a la BTS y MW, por lo que se requieren de varios rectificadores para que pueda transformar energía AC en DC y así puedan funcionar oes equipos de la estación base celular.

El Equipo de Energía es la que también puede activar el Grupo Electrógeno (GE) si es que no hubiese energía AC.

3.1.1 Unidad de control o SMU

Entel (sf) considera que el SMU es la encargada de gestionar energía de salida DC, monitorear las alarmas internas como externas, monitorear temperatura para un mejor funcionamiento de los equipos internos y externos, indicador de funcionamiento de baterías para mejorar su vida útil.

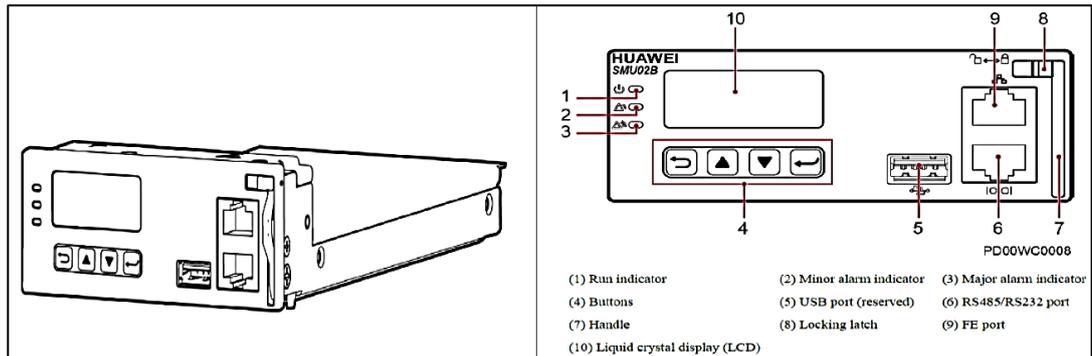
Figura 24

Unidad de control (SMU)



Figura 25

Unidad de control (SMU) y sus partes



Nota. Tomado de “Estándar de Instalación de gabinete Modelo TP48200A-HX09A6&-TBC300A-TCA3 V1.3 – Proyecto Rollout” (p.5), por Entel, Lima

3.1.2 Módulos rectificadores

Son los encargados de suministrar la energía DC a los equipos instalados para que opere la Estación Base Celular. Es importante saber que dependiendo de la cantidad de equipos a utilizarse se necesite una mayor o menor cantidad de módulos rectificadores (Entel, sf).

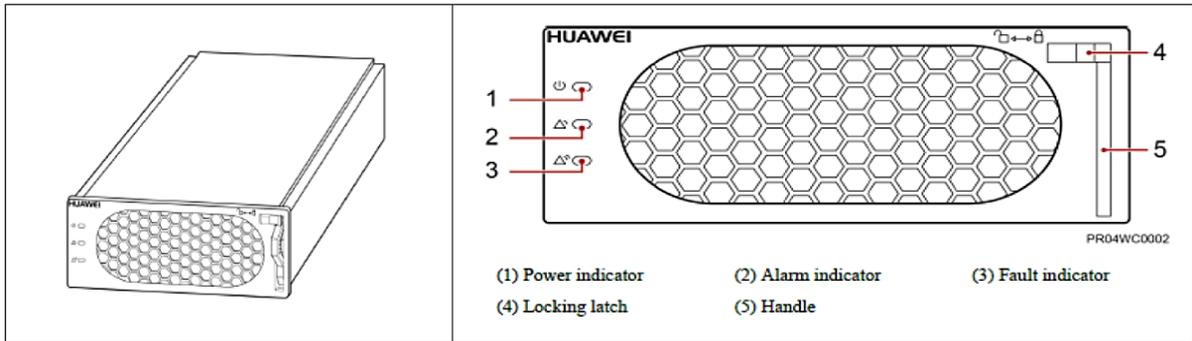
Figura 26

Módulos Rectificadores



Figura 27

Módulos Rectificadores y sus partes



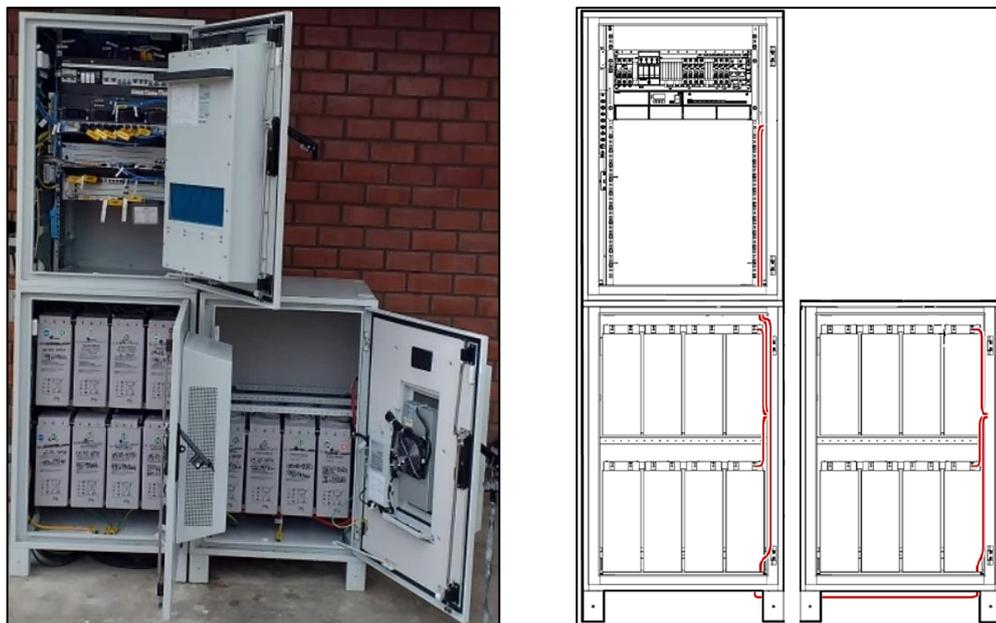
Nota. Tomado de “Estándar de Instalación de gabinete Modelo TP48200A-HX09A6&-TBC300A-TCA3 V1.3 – Proyecto Rollout” (p.4), por Entel, Lima

3.1.3 Sistema de baterías

Teniendo en cuenta a Entel (sf) es el sistema de respaldo que suministrará energía DC (48 a -54 VDC) a todos los equipos internos y externos de la Estación Base ante un corte de energía comercial y un mal funcionamiento del Grupo Electrónico (GE).

Figura 28

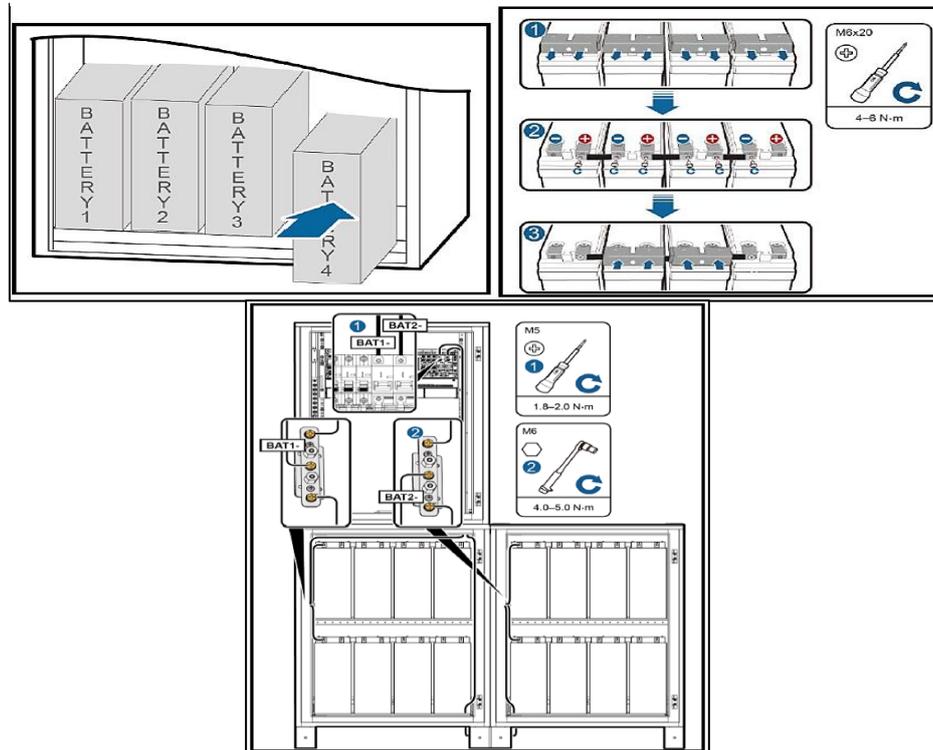
Baterías



Nota. Tomado de “Estándar de Instalación de gabinete Modelo TP48200A-HX09A6&-TBC300A-TCA3 V1.3 – Proyecto Rollout” (p.2), por Entel, Lima.

Figura 29

Baterías y sus conexiones



Nota. Tomado de “Estándar de Instalación de gabinete Modelo TP48200A-HX09A6&-TBC300A-TCA3 V1.3 – Proyecto Rollout” (p.22), por Entel, Lima.

3.1.4 Distribución DC

Dicho Equipamiento sirve para poder distribuir de manera más óptima la salida energía DC hacia los Equipos de la Estación Base Celular.

Figura 30

Distribución de conexiones de la DCDU

| DCDU Switch | SW0 | SW1 | SW2 | SW3 | SW4 | SW5 | SW6 | SW7 | SW8 | SW9 |
|-------------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| Amp | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Equipo | RRU0 | RRU1 | RRU2 | RRU3 | BBU | BBU | AAU0 | AAU1 | AAU2 | AAU3 |

3.2 Componentes de una red celular

Según Huawei Technologies (HT, 2017) considera los siguientes componentes de una red celular; conforme se detalla a continuación:

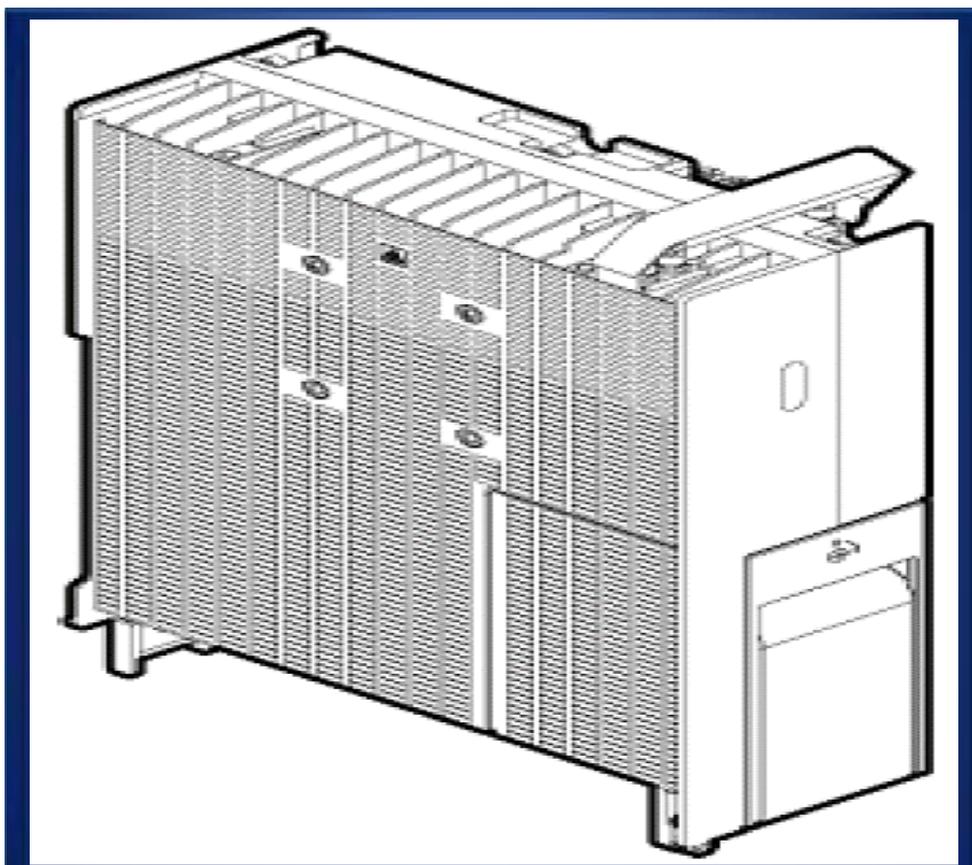
3.2.1 Unidad de radio remota (RRU)

La RRU es un equipo que se conecta con la antena sectorial, la misma con la tecnología solicitada por el operador. El cual tiene la función de amplificar la señal accediendo a la presencia de radios lógicos (TRX).

La RRU puede ser de diferentes modelos dependiendo de la frecuencia o banda que se requiera implementar y pueden configurarse de diferentes modos según el modelo de la misma. Las dimensiones de esta varían según su modelo.

Figura 31

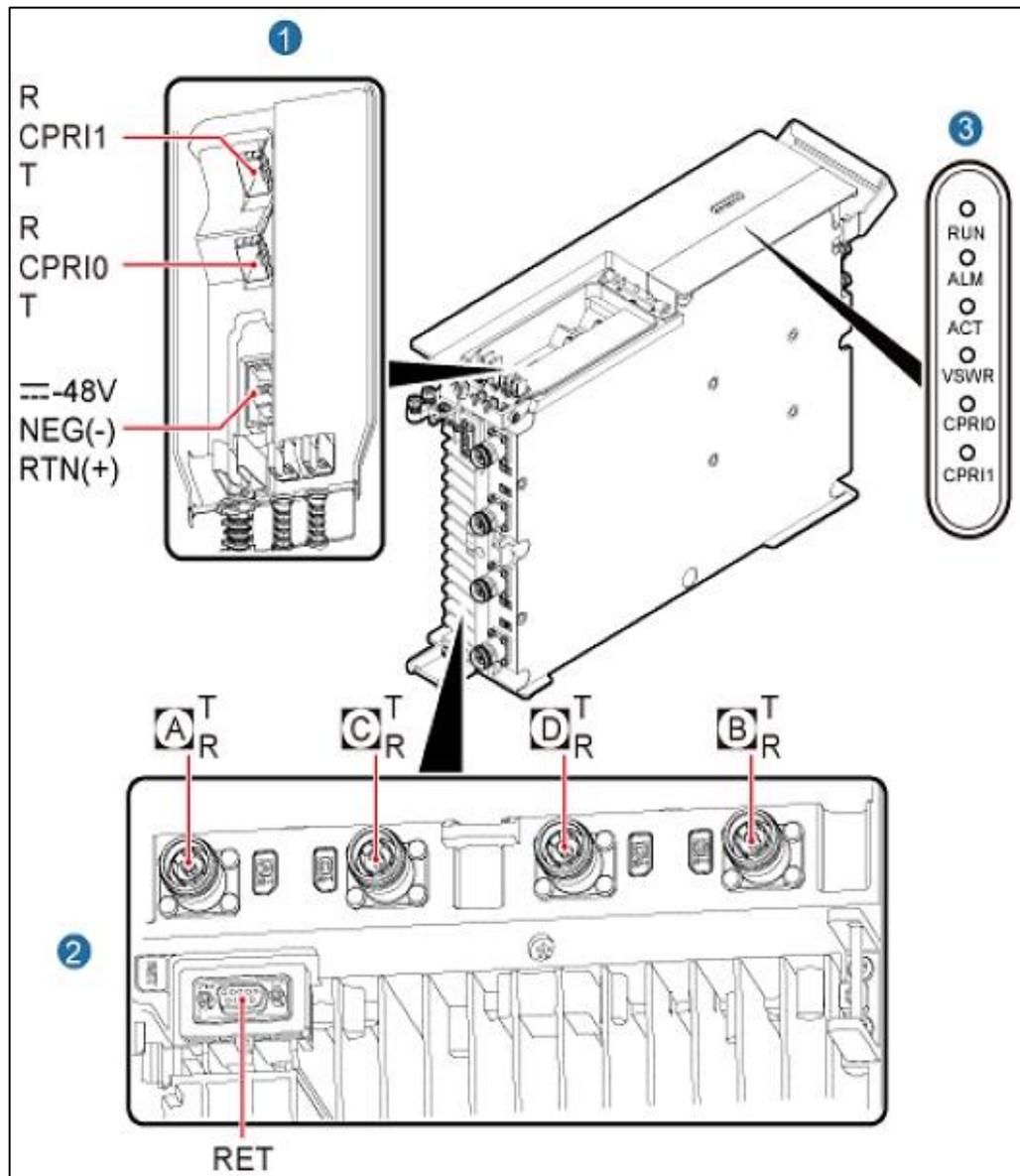
Unidad de radio remota (RRU)



Nota. Tomado de “RRU5301cw Description” (p.5), por Huawei Technologies, 2017.

Figura 32

Unidad de radio remota (RRU) y sus partes



Nota. Tomado de "RRU5301cw Description" (p. 6), por Huawei Technologies, 2017.

Tabla 2*Descripción de puertos de la unidad de radio remota (RRU)*

| Puertos | Cantidad | Descripción |
|-------------------|----------|---|
| Puerto RF | 4 | Conectores hacia el sistema de Antena |
| Puerto CPRI | 2 | Conectores hacia la BBU (Puertos ópticos) |
| Puerto de Energía | 1 | Energía de -48V |
| Puerto de RET | 1 | Conector hacia la unidad de conexión remota (RCU) |

3.2.2 Unidad de banda base (BBU)

La BBU es un módulo donde se insertan los diferentes tipos de tarjetas, las mismas pueden ser tarjetas de Banda base, tarjeta controladora y tarjetas de Energía. Puede ser de diferentes modelos (3900, 3910, 5900, ...).

Tabla 3*Distribución de Slot en la unidad de banda base (BBU) según el modelo*

| BBU 5900 | | | | BBU 3900 / 3910 | | | |
|----------|--------|--------|---------|-----------------|--------|--------|---------|
| Slot 16 | Slot 0 | Slot 1 | Slot 18 | Slot 16 | Slot 0 | Slot 4 | Slot 18 |
| | Slot 2 | Slot 3 | | | Slot 1 | Slot 5 | |
| | Slot 4 | Slot 5 | Slot 19 | | Slot 2 | Slot 6 | Slot 19 |
| | Slot 6 | Slot 7 | | | Slot 3 | Slot 7 | |

Tabla 4*Descripción de tarjetas de la BBU*

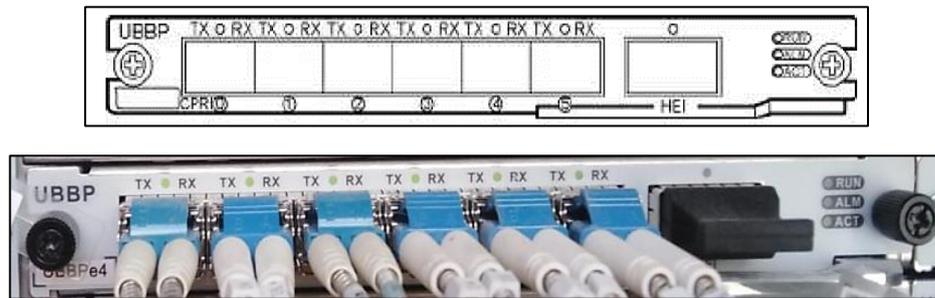
| Tarjetas | Modelos | Ubicación | Tecnología |
|----------|-----------|--------------|---------------|
| UBBP | UBBPe/f/g | Slot 0 -6 | 3G Y 4G (LTE) |
| UMPT | UMPTb/e | Slot 7 | 3G Y 4G (LTE) |
| FAN | FANc | Slot 16 | - |
| UPEU | UPEUb/c/e | Slot 18 y 19 | - |

3.2.2.1 Tarjeta UBBP.

Esta tarjeta se encarga de establecer el enlace entre la BBU y RRU, el mismo es el encargado de procesar el 3G (UMTS) y 3G (LTE). Se tiene diferentes versiones debido al avance de las tecnologías.

Figura 33

Tarjeta UBBP



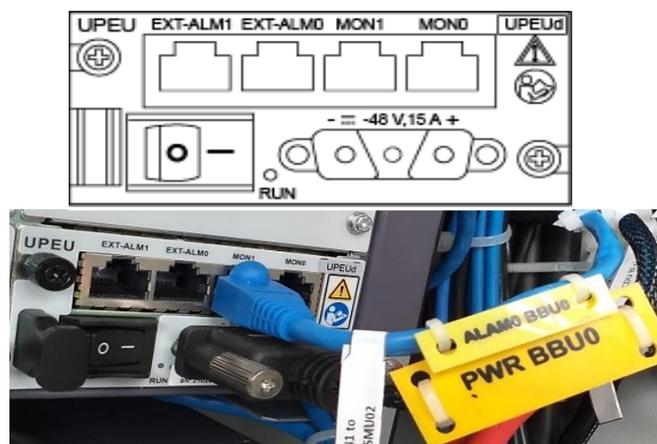
Nota. Tomado de "BBU3900 Description" (p.20), por Huawei Technologies, 2018.

3.2.2.2 Tarjeta EPEU.

Esta tarjeta se encarga de gestionar las alarmas internas y de convertir los -48V a +12V en DC, por lo que es la encargada de energizar toda la BBU por medio del BACKPLANE, este último encuentra en la parte interna posterior de la BBU y se encarga de intercomunicar todas las tarjetas de la BBU.

Figura34

Tarjeta UPEU



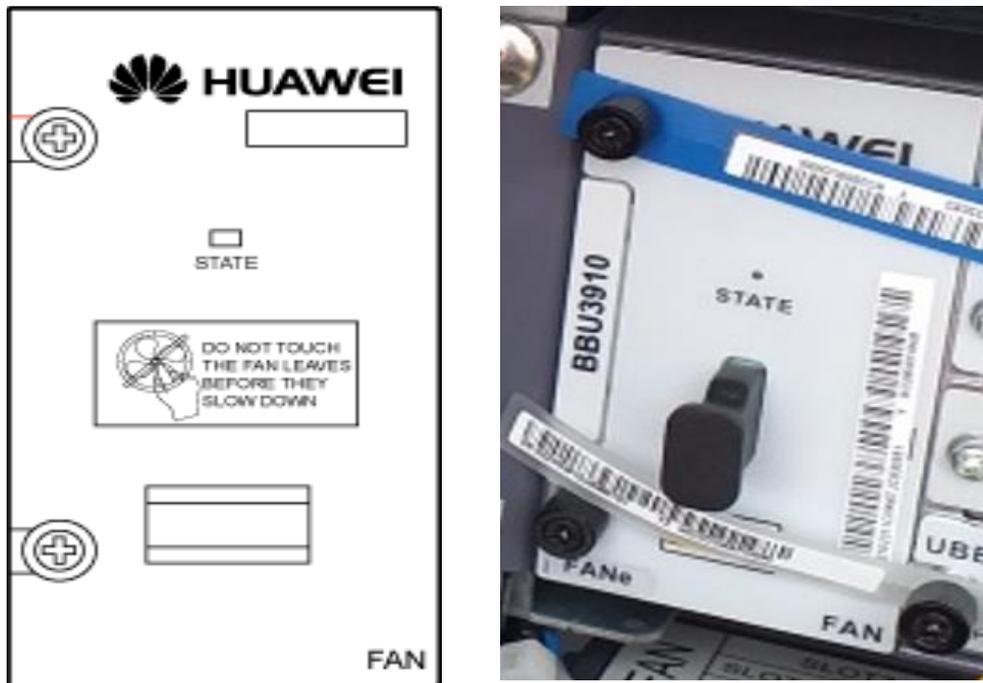
Nota. Tomado de "BBU3900 Description" (p.32), por Huawei Technologies, 2018.

3.2.2.3 Tarjeta FAN.

Esta tarjeta es la encargada de controlar la temperatura y funciona como disipador de calor de la BBU.

Figura 35

Tarjeta FAN de la BBU



Nota. Tomado de “BBU3900 Description” (p.34), por Huawei Technologies, 2018.

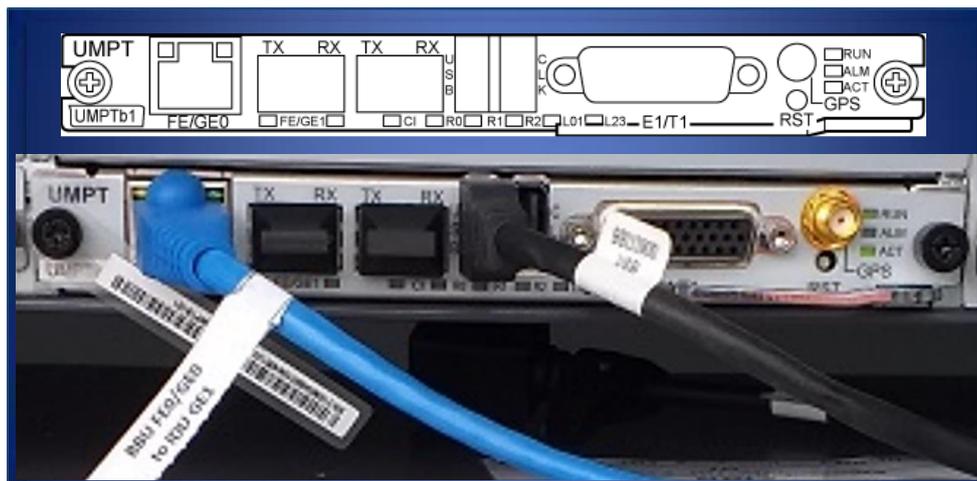
3.2.2.4 Tarjeta UMPT.

Esta tarjeta se encarga de procesar los datos del sistema de telefonía y datos móviles.

- Gestiona las configuraciones y dispositivos, monitorea el rendimiento y procesa la señalización de la estación base.
- Tiene un puerto USB, puertos de transmisión y un puerto de mantenimiento, que se utilizan para actualización automática de software, transmisión de señales y mantenimiento mediante el U2000.

Figura 36

Tarjeta UMPT



Nota. Tomado de “BBU3900 Description” (p.13), por Huawei Technologies, 2018

Tabla 5

Descripción de puertos de la tarjeta UMPT

| Puerto | Conector | Descripción |
|-------------------|-------------|--|
| E1 / T1 | DB26 Hembra | Puerto de transmisión de señal E1/T1. |
| FE/GE0, FE/GE2 | RJ45 | - Puerto de transmisión de señal eléctrica FE/GE - Los puertos eléctricos FE/GE en un UMPTe proporcionan protección contra sobretensiones. Por lo tanto, no hay SLPU requerido si los cables de transmisión van a ser conectado a puertos eléctricos Ethernet en un Gabinete Outdoor. |
| XGE1, XGE3 | SFP Hembra | Puerto de transmisión de señal óptica FE/GE/10GE. |
| GPS | SMA | Los puertos GPS de la UMPT se utiliza para transmitir señales recibidas de la antena al satélite. |
| USB | USB | Utilizado para la actualización del software de una estación base. Este puerto también funciona como puerto Ethernet de puesta en servicio. |
| CLK | USB | Utilizado para recibir señales TOD. |
| CI | SFP Hembra | Se utiliza para conectarse a otra BBU o USU. |
| RST | - | Se utiliza para resetear la BBU. |

3.2.2.5 Transceiver de fibra óptica (SFP).

Es una forma única de transceptor de fibra óptica con módulo óptico, porque es un dispositivo que recibe y transmite datos a través de fibras ópticas.

La conversión fotoeléctrica es su función principal, por lo que convertir las señales ópticas en señales eléctricas y viceversa hace que permita la transmisión de señales con un ancho de banda muy grande, asegurando así la transmisión de señales a larga distancia.

Estos transceivers pueden ser para Fibra SM (Single Mode) o MM (Multi Mode).

Figura 37

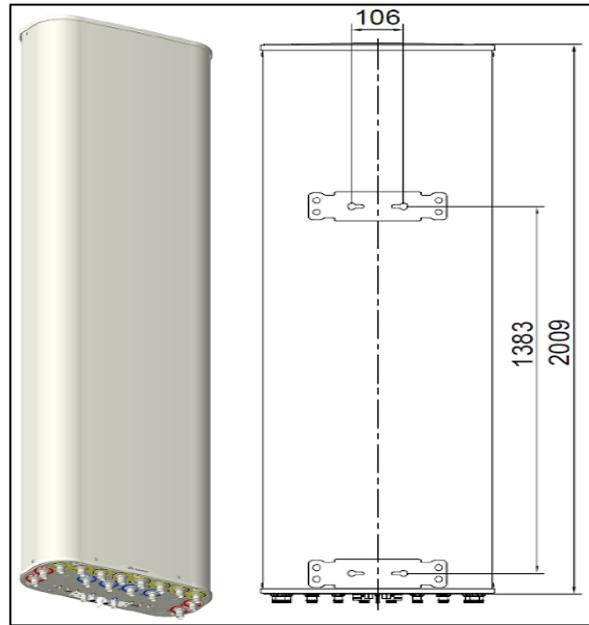
Transceiver



3.2.3 Antenas sectoriales

Las antenas sectoriales son adecuadas para brindar mayor cobertura en grandes áreas con alta densidad de conexión, es decir, pueden usarse tanto en puntos de acceso como en enlaces Punto Multipunto (PTMP), por lo que son la mejor opción para este tipo de cobertura móvil.

La antena más adecuada para este tipo de soluciones (3G y 4G) es el siguiente modelo: AOC4518R4v06 de marca HUAWEI.

Figura 38*Antena Sectorial RF Huawei – Modelo AOC4518R4v06*

Nota: Tomado de “AOC4518R4v06” (p.2), por Huawei Technologies.

Tabla 6*Propiedades mecánicas de la Antena*

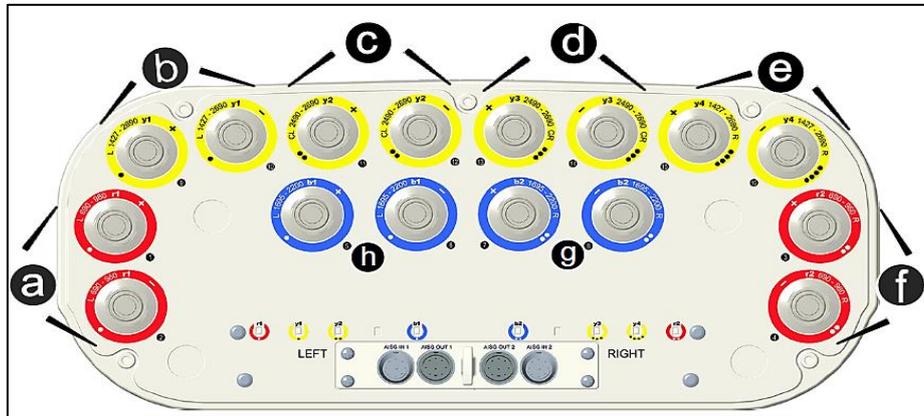
| Mechanical Properties | |
|-------------------------------------|--|
| Antenna dimensions (H x W x D) (mm) | 2009 x 469 x 206 |
| Packing dimensions (H x W x D) (mm) | 2265 x 555 x 255 |
| Antenna weight (kg) | 45.5 |
| Clamps weight (kg) | 5.8 (2 units) |
| Antenna packing weight (kg) | 61 (Included clamps) |
| Mast diameter supported (mm) | 50 – 115 |
| Radome material | Fiberglass |
| Radome colour | Light grey |
| Operational temperature (°C) | -40 .. +65 |
| Wind load (N) | Frontal: 605 (at 150 km/h) Lateral: 370 (at 150 km/h) Maximum: 800 (at 150 km/h) |
| Max. operational wind speed (km/h) | 200 |
| Survival wind speed (km/h) | 250 |
| Connector | 16 x 4.3-10 Female |
| Connector position | Bottom |

Nota. Tomado de “AOC4518R4v06” (p.2), por Huawei Technologies

Este modelo de antena es capaz de soportar diferentes bandas, por lo que se distribuye en los puertos RF que tiene la misma

Figura 39

Distribución de bandas en puertos RF de la Antena



Nota. Este modelo de antena es capaz de soportar diferentes bandas, por lo que se distribuye en los puertos RF que tiene la misma. Tomado de “AOC4518R4v06” (p.3), por Huawei Technologies

Para este modelo de antena se tiene un puerto de RET el cual se encarga poder configurar el TILT eléctrico interno de la antena RF.

Figura 40

Especificaciones del puerto de RET

| Integrated RET Specifications | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|-----|---------|-----|---------|----|-----------|-----|
| Properties | | | | | | | | |
| RET type | Integrated RET | | | | | | | |
| RET protocols* | AISG 2.0 / 3GPP | | | | | | | |
| Input voltage range (V) | 10 - 30 DC | | | | | | | |
| Power consumption (W) | < 0.5 (when the motor does not work, 12 V) < 4.5 (when the motor is working, 12 V) < 10 (when the motor is starting up or shutting down, 12 V) | | | | | | | |
| Adjustment time (full range) (s) | Typ. 40 (typically, depending on antenna type) | | | | | | | |
| RET connector | 4 x 8 pin connector according to IEC 60130-9 Daisy chain in: Male / Daisy chain out: Female | | | | | | | |
| Pin assignment according AISG | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | DC | n/c | RS-485B | n/c | RS-485A | DC | DC return | n/c |
| Lightning protection (kA) | 2.5 (10/350 μ s) 10 (8/20 μ s) | | | | | | | |

Nota. Tomado de “AOC4518R4v06” (p.3), por Huawei Technologies.

Figura 41

Especificaciones de la Antena RF

| Antenna Specifications | | | | | | | | |
|--|--|-------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------------------------|-----------|
| Electrical Properties | | | | | | | | |
| Frequency range (MHz) | 2 x (690 - 960) (Lr1/Rr2) | | | | 2 x (1695 - 2200) (Lb1/Rb2) | | 2 x (2490 - 2690) (CLy2/CRy3) | |
| | 690 - 803 | 790 - 862 | 824 - 894 | 880 - 960 | 1695 - 1990 | 1920 - 2200 | | |
| Polarization | +45°, -45° | | | | | | | |
| Electrical downtilt (°) | 2 - 14 , continuously adjustable, each band separately | | | | 2 - 12 , continuously adjustable, each band separately | | | |
| Gain (dBi) | at mid Tilt | 14.6 | 14.9 | 15.1 | 15.3 | 16.1 | 16.7 | 17.1 |
| | over all Tilts | 14.5 ±0.5 | 14.8 ±0.5 | 15.0 ±0.5 | 15.2 ±0.5 | 16.0 ±0.6 | 16.6 ±0.5 | 17.0 ±0.5 |
| Side lobe suppression for first side lobe above main beam (dB) | > 15 | > 16 | > 16 | > 16 | > 15 | > 16 | > 16 | > 16 |
| Horizontal 3dB beam width (°) | 70 ±6 | 69 ±6 | 68 ±6 | 66 ±6 | 70 ±7 | 66 ±6 | 63 ±6 | |
| Vertical 3dB beam width (°) | 10.8 ±0.8 | 10.0 ±0.6 | 9.5 ±0.6 | 8.9 ±0.5 | 7.2 ±0.8 | 6.4 ±0.7 | 5.0 ±0.6 | |
| VSWR | < 1.5 | | | | < 1.5 | | | |
| Cross polar isolation (dB) | ≥ 28 | | | | ≥ 28 | | | |
| Interband isolation (dB) | ≥ 27 | | | | ≥ 27 | | | |
| Front to back ratio , ±30° (dB) | > 21 | > 21 | > 22 | > 23 | > 23 | > 25 | > 24 | |
| Cross polar ratio (dB) | 0° | > 18 | > 18 | > 18 | > 18 | > 16 | > 16 | > 18 |
| Max. power per input (W) | 400 (at 50°C ambient temperature)* | | | | 250 (at 50°C ambient temperature)* | | | |
| Intermodulation IM3 (dBc) | ≤ -153 (2 x 43 dBm carrier) | | | | ≤ -153 (2 x 43 dBm carrier) | | | |
| Impedance (Ω) | 50 | | | | 50 | | | |
| Grounding | DC Ground | | | | DC Ground | | | |
| Electrical Properties | | | | | | | | |
| Frequency range (MHz) | 2 x (1427 - 2690) (Ly1/Ry4) | | | | | | | |
| | 1427 - 1518 | 1695 - 1990 | 1920 - 2200 | 2200 - 2490 | 2490 - 2690 | | | |
| Polarization | +45°, -45° | | | | | | | |
| Electrical downtilt (°) | 2 - 12 , continuously adjustable, each band separately | | | | | | | |
| Gain (dBi) | at mid Tilt | 15.8 | 17.0 | 17.2 | 17.3 | 17.6 | | |
| | over all Tilts | 15.7 ±0.6 | 16.9 ±0.6 | 17.1 ±0.5 | 17.2 ±0.5 | 17.5 ±0.5 | | |
| Side lobe suppression for first side lobe above main beam (dB) | > 15 | > 16 | > 16 | > 16 | > 16 | > 16 | | |
| Horizontal 3dB beam width (°) | 70 ±7 | 69 ±6 | 68 ±6 | 65 ±6 | 59 ±6 | | | |
| Vertical 3dB beam width (°) | 8.9 ±0.6 | 7.2 ±0.5 | 6.4 ±0.6 | 5.6 ±0.4 | 5.1 ±0.4 | | | |
| VSWR | < 1.5 | | | | | | | |
| Cross polar isolation (dB) | ≥ 28 | | | | | | | |
| Interband isolation (dB) | ≥ 27 | | | | | | | |
| Front to back ratio , ±30° (dB) | > 23 | > 26 | > 25 | > 24 | > 24 | | | |
| Cross polar ratio (dB) | 0° | > 17 | > 18 | > 18 | > 18 | > 16 | | |
| Max. power per input (W) | 250 (at 50°C ambient temperature)* | | | | | | | |
| Intermodulation IM3 (dBc) | ≤ -153 (2 x 43 dBm carrier) | | | | | | | |
| Impedance (Ω) | 50 | | | | | | | |
| Grounding | DC Ground | | | | | | | |

Nota. Tomado de "AOC4518R4v06" (p.1), por Huawei Technologies.

3.2.3.1 Cables Jumper.

Es el cableado que se encarga de interconectar los puertos RF de la RRU con los puertos RF de la Antena Sectorial.

Estos tienen en sus extremos conectores RF, los cuales pueden variar según el requerimiento por el tipo de Equipamiento a utilizar. Los tipos de Conectores RF pueden ser rectos o acodados en los siguientes modelos: DIN 7/16, Mini DIN 4.3/10, otros.

Figura 42

Tipos de Jumpers



3.3 Componentes del enlace MW

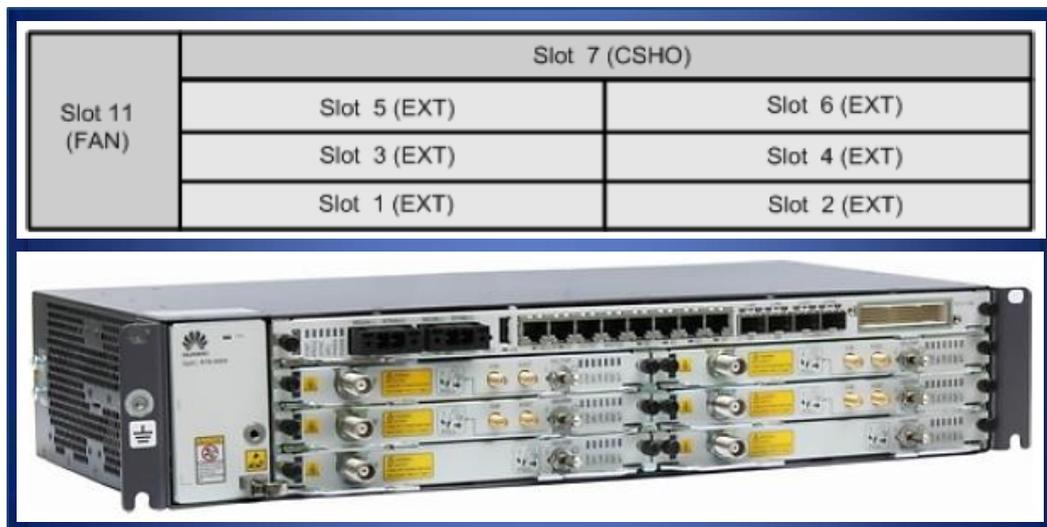
Teniendo en cuenta a Huawei Technologies (HT, 2019) los componentes del enlace MW son los siguientes; de acuerdo al detalle que se indica a continuación:

3.3.1 Indoor Unit (IDU)

Para el medio de transporte se tiene diferentes marcas y modelos de IDU, por lo que para escenarios 3G (UMTS) y 4G (LTE) se utilizan las IDU de marca HUAWEI y modelo RTN 950A, estas soportan hasta 6 tarjetas IF y ocupan 2 UR (Rack Unit).

Figura 43

Distribución de tarjetas del RTN950A



Nota. Tomado de “Optix RTN 950A Radio Transmission System V100R019C00” (p. 5), por Huawei Technologies, 2019

Tabla 7

Descripción de tarjetas de la IDU

| Tarjetas | Ubicación | Tecnología |
|----------|-----------|---|
| CSHO | Slot 7 | Tarjeta controladora |
| ISM6 | Slot 7 | Tarjeta IF |
| EG4 | Slot 16 | Tarjeta distribuidora de puertos Ethernet |
| FAN | Slot 11 | Tarjeta de ventilación |

3.3.1.1 Tarjeta CSHO.

La tarjeta CSHO funciona como tarjeta de control, conmutación y temporización del sistema RTN 950A. Ellos convergen y preparan varios servicios a través de los puertos de servicio GE/STM-1/E1 y TDM/híbrido, las mismas tienen 2 puertos para entra de energía DC.

Figura 44

Tarjeta CSHO



Nota: Tomado de “Optix RTN 950A Radio Transmission System V100R019C00” (p. 28), por Huawei Technologies, 2019.

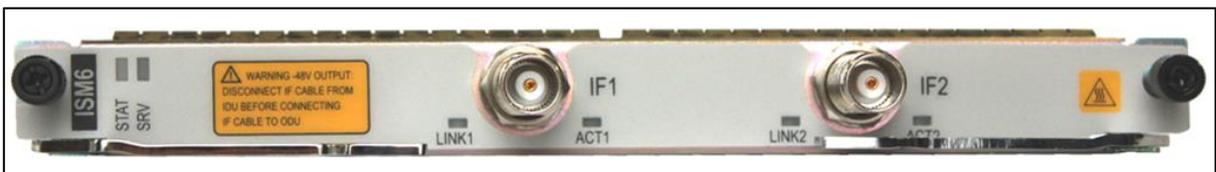
3.3.1.2 Tarjeta ISM6

Las tarjetas ISM6 son tarjetas IF de doble canal de nueva generación. Las mismas tienen 2 puertos IF.

- Recibe y transmite señales por sus 2 puertos IF.
- Proporciona canales de gestión a las ODU.
- Suministra energía de -48 V a las ODU.
- Soporta la protección 1+1 HSB/FD/SD entre los 2 puertos IF.

Figura 45

Tarjeta ISM6



Nota. Tomado de “Optix RTN 950A Radio Transmission System V100R019C00” (p. 28), por Huawei Technologies, 2019.

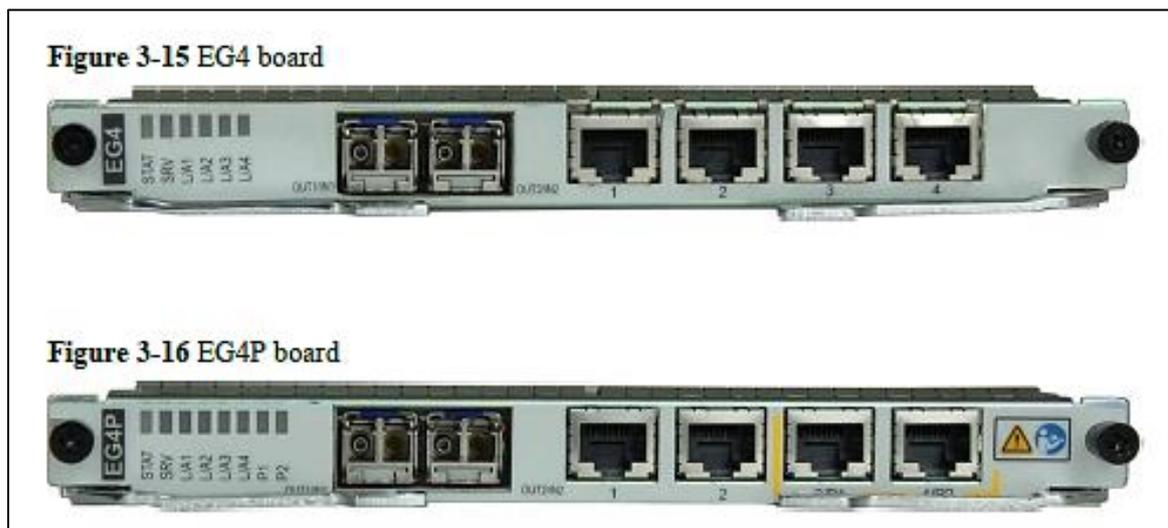
3.3.1.3 Tarjeta EG4 / EG4P

Las tarjetas EG4/EG4P reciben y transmiten servicios GE o transportan conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS) por medio de túneles.

Esta tarjeta recibe, transmite, procesa y converge señales de servicio por sus 4 puertos GE. Ellos también pueden recibir/transmitir señales ópticas utilizando transceiver en 2 de sus puertos FE.

Figura 46

Tarjeta EG4/ EG4P



Nota. Tomado de “Optix RTN 950A Radio Transmission System V100R019C00” (p. 30), por Huawei Technologies, 2019.

3.3.1.4 Tarjeta FAN

Esta tarjeta disipa el calor generado en el chasis mediante refrigeración por aire. Esta también ajusta la velocidad de rotación de su ventilador e informa el estado de estas.

Figura 47

Tarjeta FAN de la IDU



Nota: Tomado de "Optix RTN 950A Radio Transmission System V100R019C00" (p. 654), por Huawei Technologies, 2019.

3.3.2 Outdoor Unit (ODU)

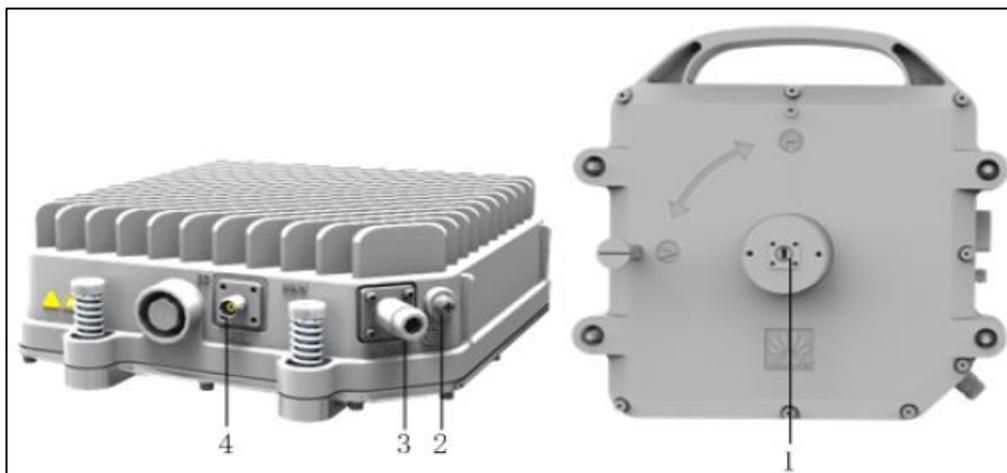
Es la unidad externa de un sistema de microonda, esta se usa para poder convertir y amplificar señales, como la frecuencia y potencia para amplificar la señal. Esta también puede determinar las frecuencias que utilizará para transmitir y recibir.

Permite tener las siguientes características:

- Diferentes espacios entre canales.
- Diferentes modulaciones.
- Función de modulación adaptativa (AM).
- Variación de frecuencia TX/RX por medio del software.
- Variación de potencia TX por medio del software.
- Verificación temperatura.

- Validación de potencia TX.
- Validación de potencia RX.
- Interfaz del indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI): La ODU cuenta con la interfaz RSSI, el cual muestra mediante el voltaje la potencia RX.
- Mutea la potencia transmitida.
- Monitoreo automático de la potencia de transmisión (ATPC).
- Monitoreo remoto de la potencia de transmisión (RTPC).
- Puede ajustar de manera automática de ganancia (AGC) de las señales que recibe.

Figura 48
Outdoor Unit (ODU)



Nota. Tomado de “RTN XMC ODU Hardware Description” (p. 13), por Huawei Technologies, 2019

Tabla 8

Descripción de partes de la ODU

| Ítem | Nombre de interface | Cantidad | Descripción |
|------|------------------------------|----------|---|
| 1 | Canal de Interface de la ODU | 1 | Es una interfaz de guía de ondas que es conectado a una antena, un acoplador híbrido, una antena adaptadora o una guía de ondas flexible. |
| 2 | Punto de Aterramiento | 1 | Perno para aterramiento de la ODU. |
| 3 | Puerto IF | 1 | La interfaz IF se conecta a la IDU a través de un cable IF. |
| 4 | Interface RSSI | 1 | Podemos calcular el nivel de señal que recibe la ODU por medio del voltaje que marca la interfaz que se puede medir por medio del multímetro. |

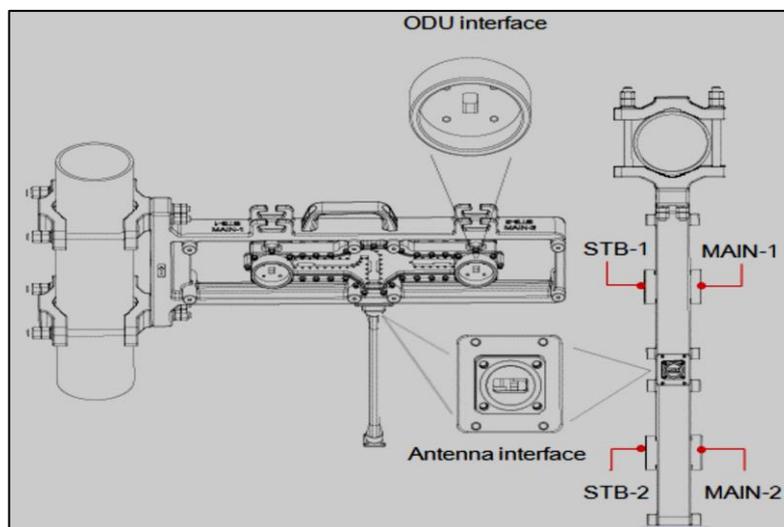
3.3.3 Hybrid coupler

Se utiliza para unir o separar señales de RF, tiene las siguientes funciones y características:

- En la dirección TX, el acoplador híbrido combina dos rutas de señales de RF en una ruta y transmite las señales a la antena.
- En la dirección RX, el acoplador híbrido divide las señales de RF recibidas de la antena en dos rutas y transmite las señales a la ODU.

Figura 49

Coupler - 1



Nota. Tomado de "RTN XMC ODU Hardware Description" (p. 145), por Huawei Technologies, 2019.

Tabla 9*Descripción de partes del Coupler*

| Ítem | Nombre de interface | Cantidad | Descripción |
|------|---------------------------------|----------|---|
| 1 | Canal de Interface de la Antena | 1 | Usado para conectarse con la antena, con un adaptador de antena, una guía de onda flexible. |
| 2 | Interface Principal | 1 | Usado para conectar con la ODU principal. |
| 3 | Interface Secundaria | 1 | Usado para conectar con la ODU secundaria. |

3.3.4 Antena MW

Se utilizan para transmitir y recibir ondas electromagnéticas, son adecuados para implementar enlaces directivos. Su función principal es transformar las señales de radiofrecuencia emitidas por la ODU y las ondas electromagnéticas (OEM) emitidas al espacio.

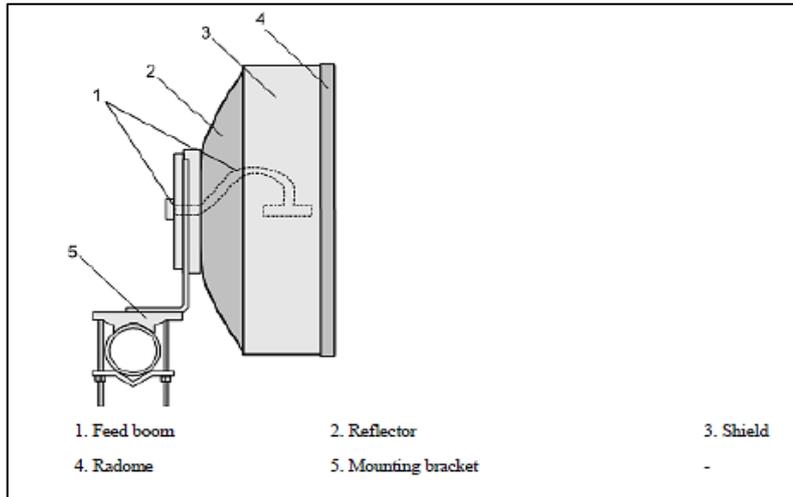
Las Antenas MW varían de diámetro de acuerdo al escenario o distancia del enlace.

Tabla 10*Detalle de diámetro por frecuencia*

| Frecuencia | Diámetro de antena | | | |
|------------|--------------------|-------|-------|---------------|
| | 0.3 m | 0.6 m | 1.2 m | 1.8 m - 3.0 m |
| 7 GHz | - | - | - | Si |
| 13 GHz | - | - | Si | - |
| 18 GHz | - | Si | - | - |
| 23 GHz | SI | Si | - | - |

Figura 50

Antena MW



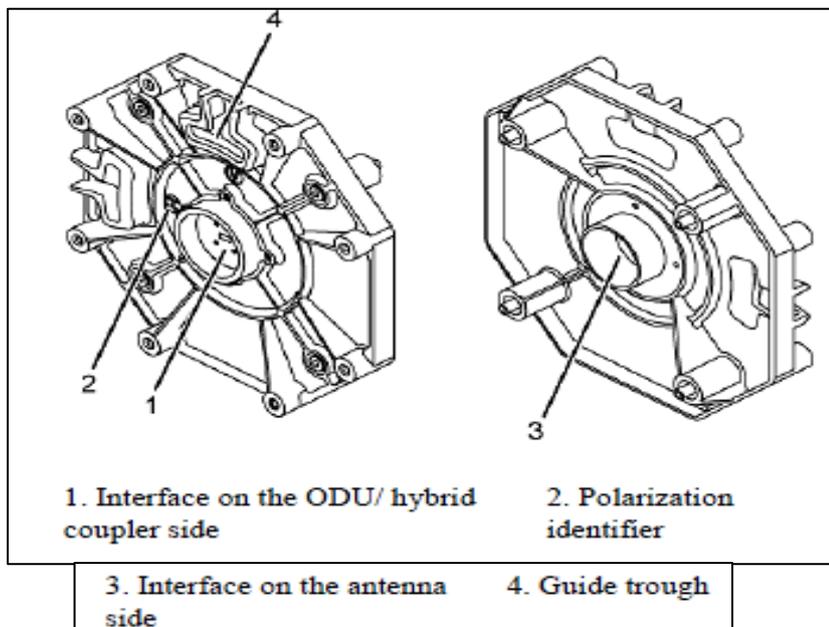
Nota. Tomado de "RTN XMC ODU Hardware Description" (p. 159), por Huawei Technologies, 2019.

3.3.4.1 Adaptador de Antena

El adaptador de antena se utiliza para transferencia si la antena no se adapta a la ODU RTN XMC.

Figura 51

Coupler - 2



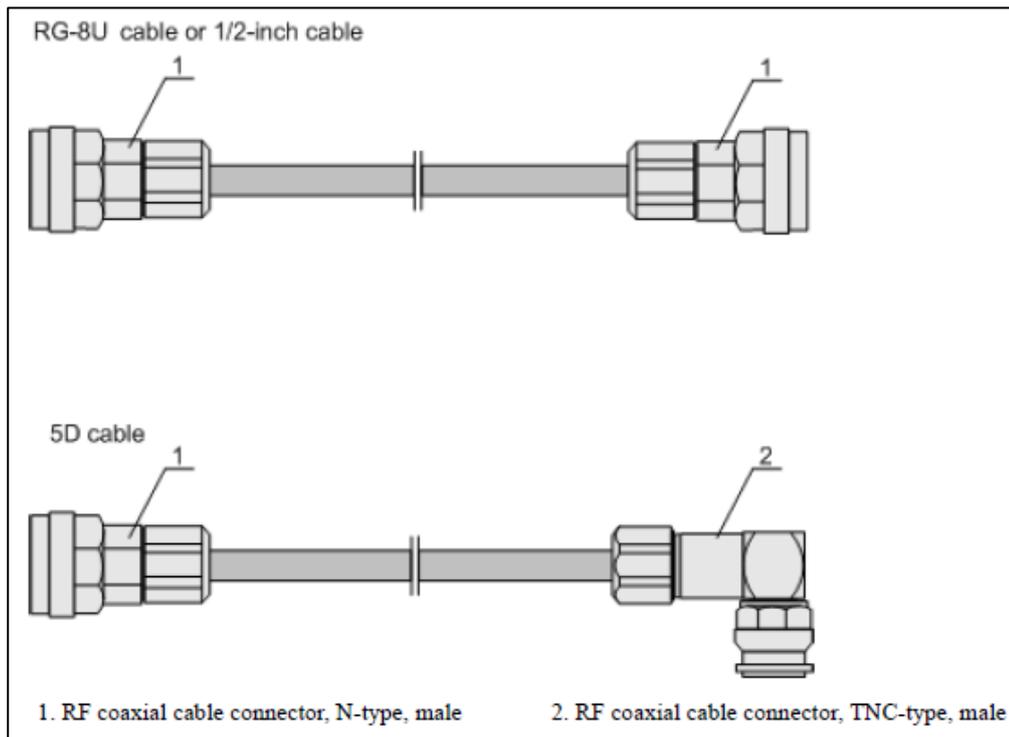
Nota. Tomado de "RTN XMC ODU Hardware Description" (p. 169), por Huawei Technologies, 2019.

3.3.4.2 Cable IF

Es utilizado para interconectar la ODU y IDU, las señales IF son transmitidas por esta, al igual que las señales O&M y alimentación de -48 V entre la ODU y la IDU.

Figura 52

Cable IF



Nota. Tomado de "RTN XMC ODU Hardware Description" (p. 173), por Huawei Technologies, 2019.

Capítulo IV. Métodos y materiales

4.1 Procedimiento de instalación de equipos

Para la implementación de un Nodo B se necesita tener claro las consideraciones y estándares necesarias según el requerimiento de cada operador.

A continuación, se detalla los aspectos a considerar para dicha implementación.

4.1.1 Asignación de implementación de estación base

Los diferentes operadores al momento de asignar la implementación de una o varias estaciones base, tienen en consideración los siguientes criterios:

- La infraestructura como caseta, losa de equipos, escalerillas a nivel de piso y torre estén finalizados.
- Se tenga definido los estudios en gabinete para la generación de parámetros de la estación base.
- La contratista asignada sepa los estándares solicitados.
- Deben de tener capacidad de respuesta inmediata de la implementación y de respuestas a sus solicitudes.
- Cumplan con el tiempo adecuado establecido para la implementación, de ser el caso mejorar los mismos.

4.1.2 Entrega de equipos

Una vez definida la solución final a implementarse por parte del operador, el mismo procederá a solicitar a su logística la entrega del todo el equipamiento a instalarse en la estación base, ello incluye equipos de energía, RF y MW.

Dicho proceso de entrega de equipos tiene un tiempo aproximado de 3 a 5 días calendarios.

4.1.3 Visita técnica

Al ya tenerse la asignación de implementación y el proceso de entrega de equipos por parte del operador, la contratista asignada programa sus accesos tanto al NE (Nearend) y FE (Farend) para que pueda realizar una inspección visual de lo realizado por CW (Civil work).

Dentro de dicha inspección debe de verificar algunos puntos importantes como:

- Acceso total al SITE, de haber restricciones o conflicto en la zona se debe de informar para que el ingreso de equipos sea coordinado.
- La distribución en el espacio arrendado debe de estar según los planos aprobados por el operador.
- El SITE debe de contar con Energía comercial, GE o Energía provisional.
- Tablero principal de Energía instalado.
- Se debe de tener la acometida entre el Tablero de Energía y la loza de equipos para que se pueda energizar los mismos.
- Loza de Equipos debe de estar culminada.
- Ductos y cableados de sistema de tierra.
- Escalerillas en piso entre loza de equipos y base de Torre culminada.
- Torre debe de contar con línea de vida instalada para que el ascenso del personal técnico sea seguro.
- Torre debe de contar con sistema de tierra.
- Soportes para antenas RF y antena MW debe de estar según los Azimuth que solicitan los planos aprobados, los cuales deben de coincidir el estudio realizado por el operador.
- Soportes RF debe de tener la longitud y diámetro adecuado según estándar.

Figura 53

Vista Frontal de la visita técnica

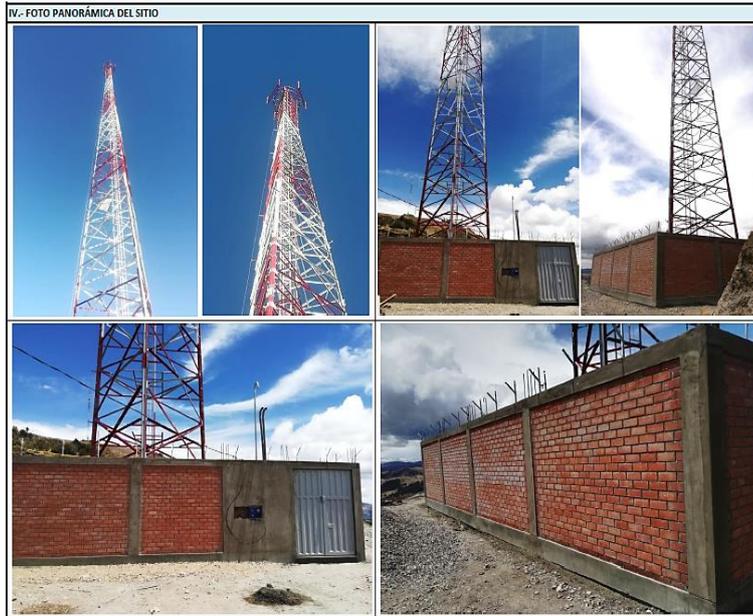


Figura 54

Vista loza de equipos, acometida AC, sistema de aterramiento y tablero de energía

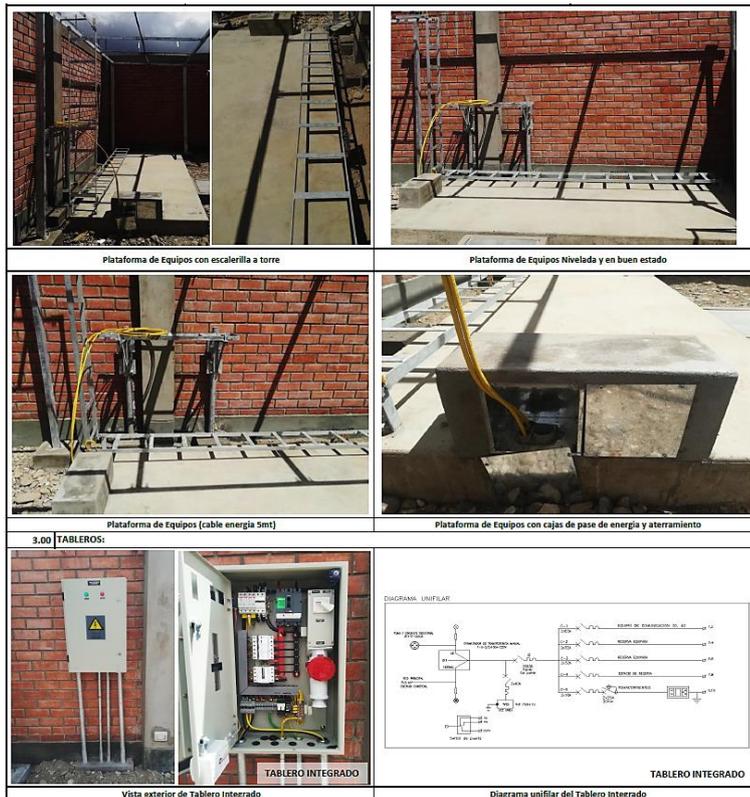


Figura 55

Vista sistema de tierra en sala como en torre

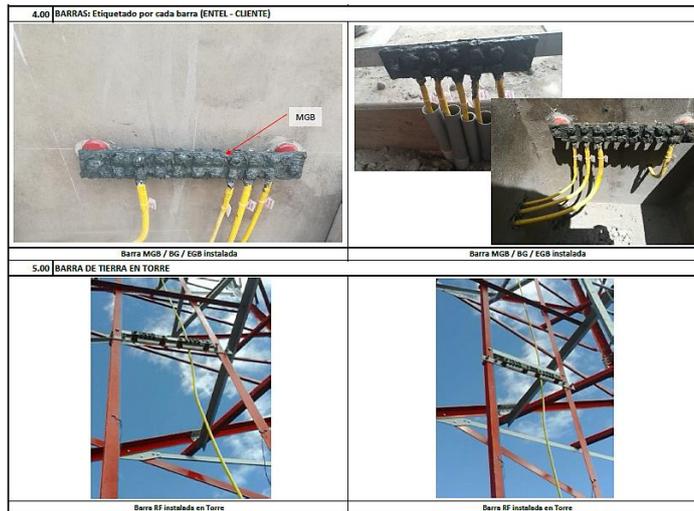


Figura 56

Vista de escalerillas en piso



Figura 57

Verificación de soportes RF

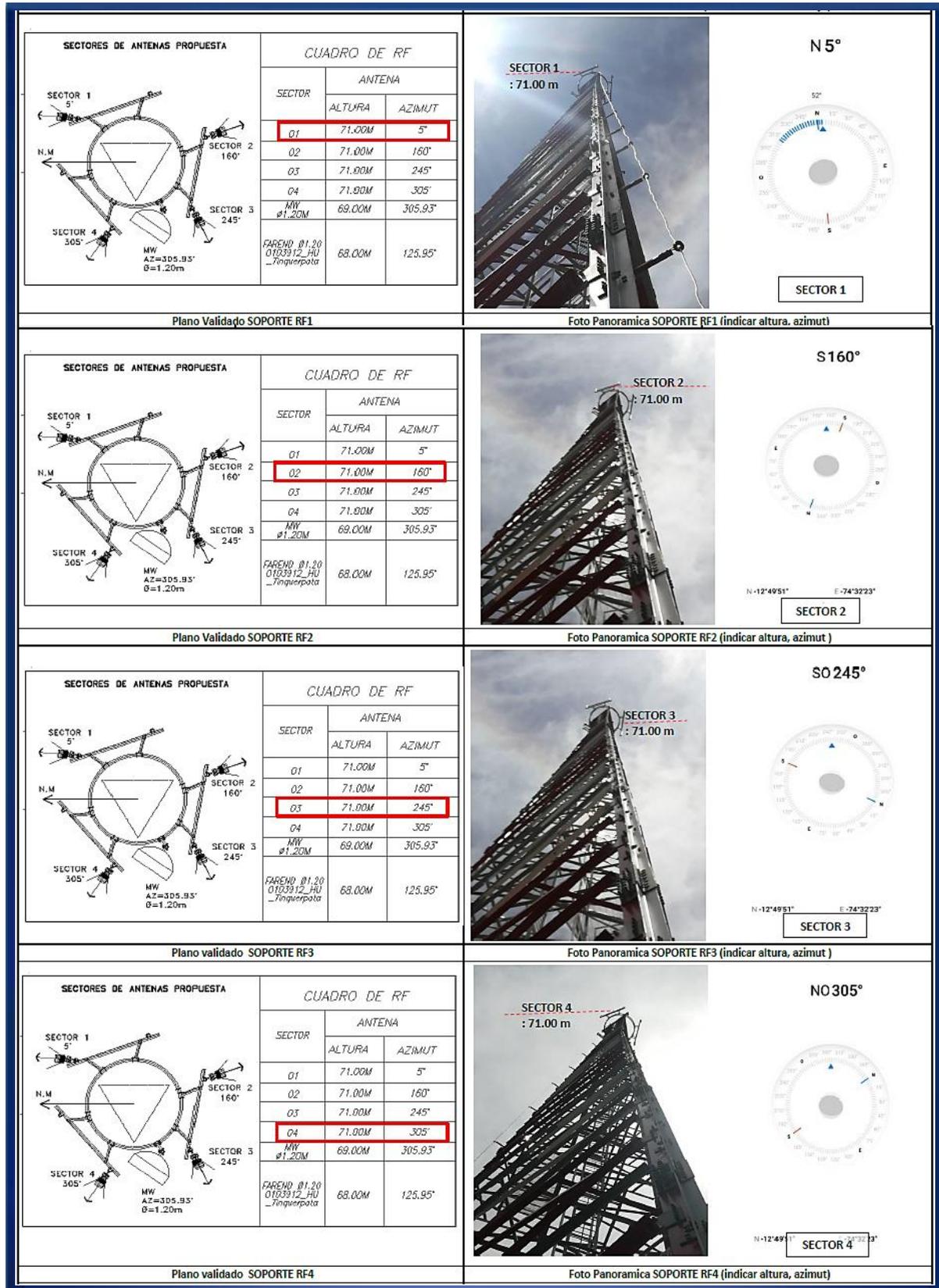
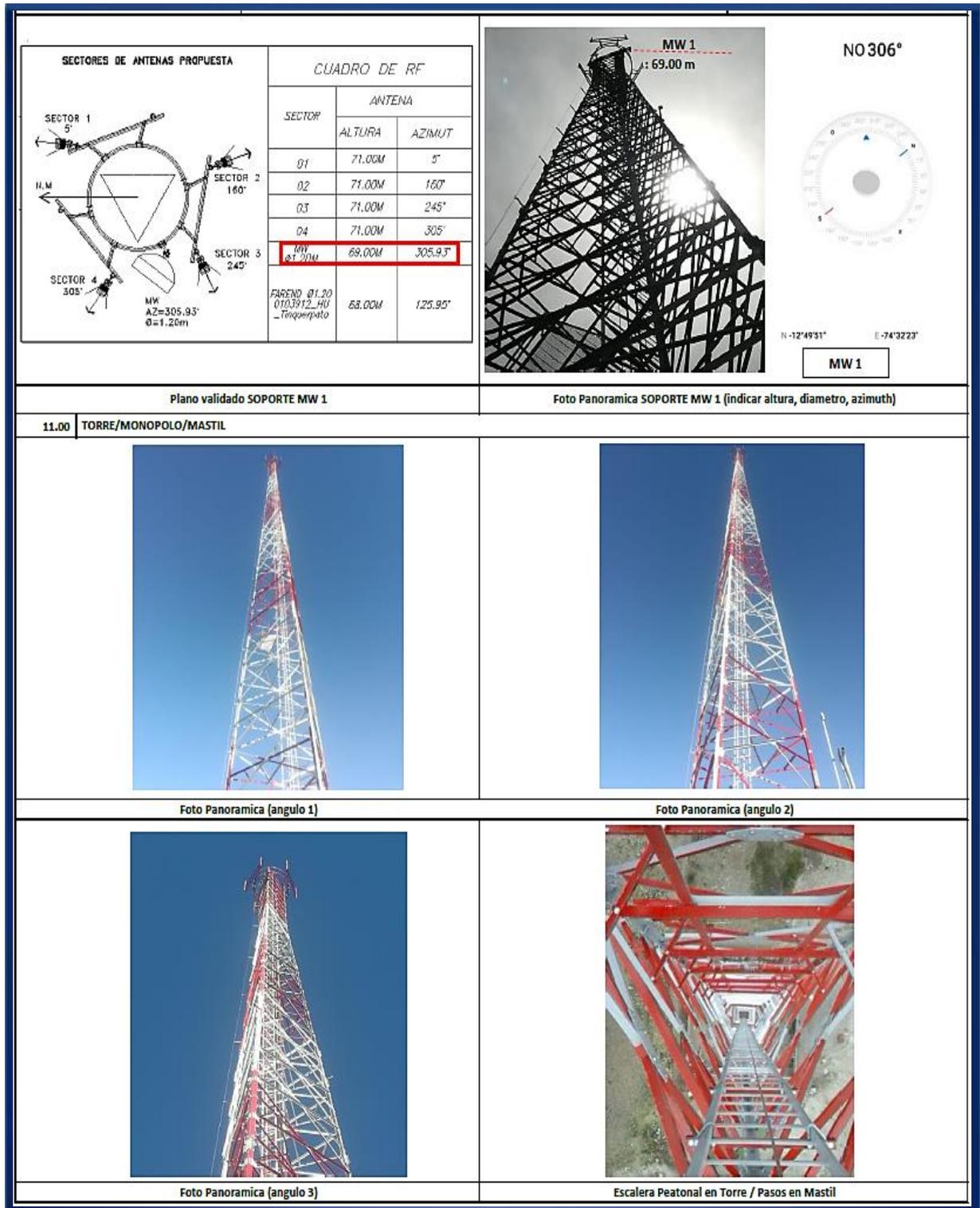


Figura 58

Verificación de soporte MW y vistas de torre



4.1.4 Delivery de equipos

Toda vez que el operador haya entregado todos los equipos conforme y no se tenga inconvenientes en la inspección realizada, se procederá con el delivery de equipos (traslado de equipos al SITE).

Figura 59

Delivery de equipos



4.1.5 Instalación de equipos RF y MW

Una vez que los equipos estén en sitio y los accesos regularizados, se procederá a realizar la instalación de todos los mismos, por lo que se detalla las actividades a realizar:

- Anclaje de gabinetes en loza de equipos. (Figura 60)
- Energizado de gabinetes con energía AC. (Figura 61)
- Instalación de Módulos Rectificadores. (Figura 62)
- Instalación y energizado de DCDU. (Figura 63)
- Instalación y energizado de BBU. (Figura 63)
- Inserción de tarjetas en BBU. (Figura 63)
- Instalación y energizado de IDU RTN950A. (Figura 65)
- Inserción de tarjetas en RTN950A. (Figura 65)
- Instalación y energizado de bancos de baterías. (Figura 64)
- Instalación y energizado de RRU's. (Figura 66)
- Instalación de fibras ópticas entre tarjetas UBBP y RRU. (Figura 66)
- Instalación de Antenas RF. (Figura 66)
- Instalación de Jumpers entre RRU y Antena RF. (Figura 66)
- Instalación del cable de RET entre RRU y antena RF. (Figura 66)
- Instalación de Antena MW. (Figura 67)
- Instalación de Coupler y ODU's. (Figura 67)
- Instalación de Cable IF. (Figura 68)

Figura 60

Instalación de gabinetes



Figura 61

Energizado de Gabinete



Figura 62

Instalación de módulos rectificadores



Figura 63

Instalación de DCU y BBU



Figura 64

Instalación de banco de baterías



Figura 65
Instalación de RTN 950A

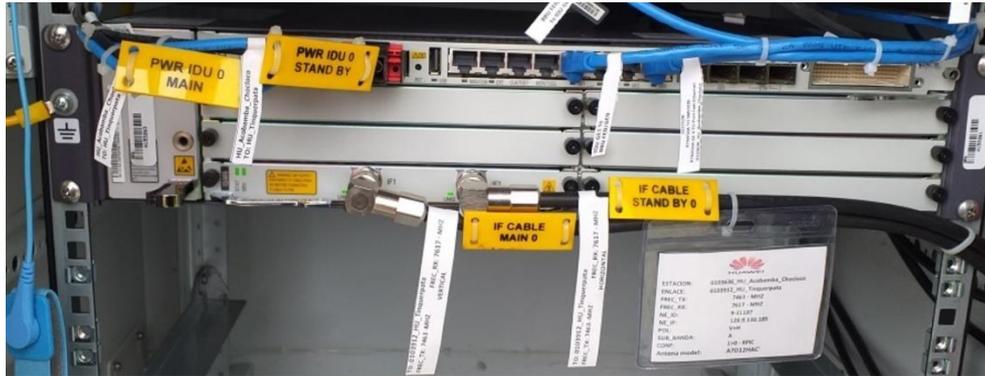


Figura 66
Instalación de RRU, antenas y cableados



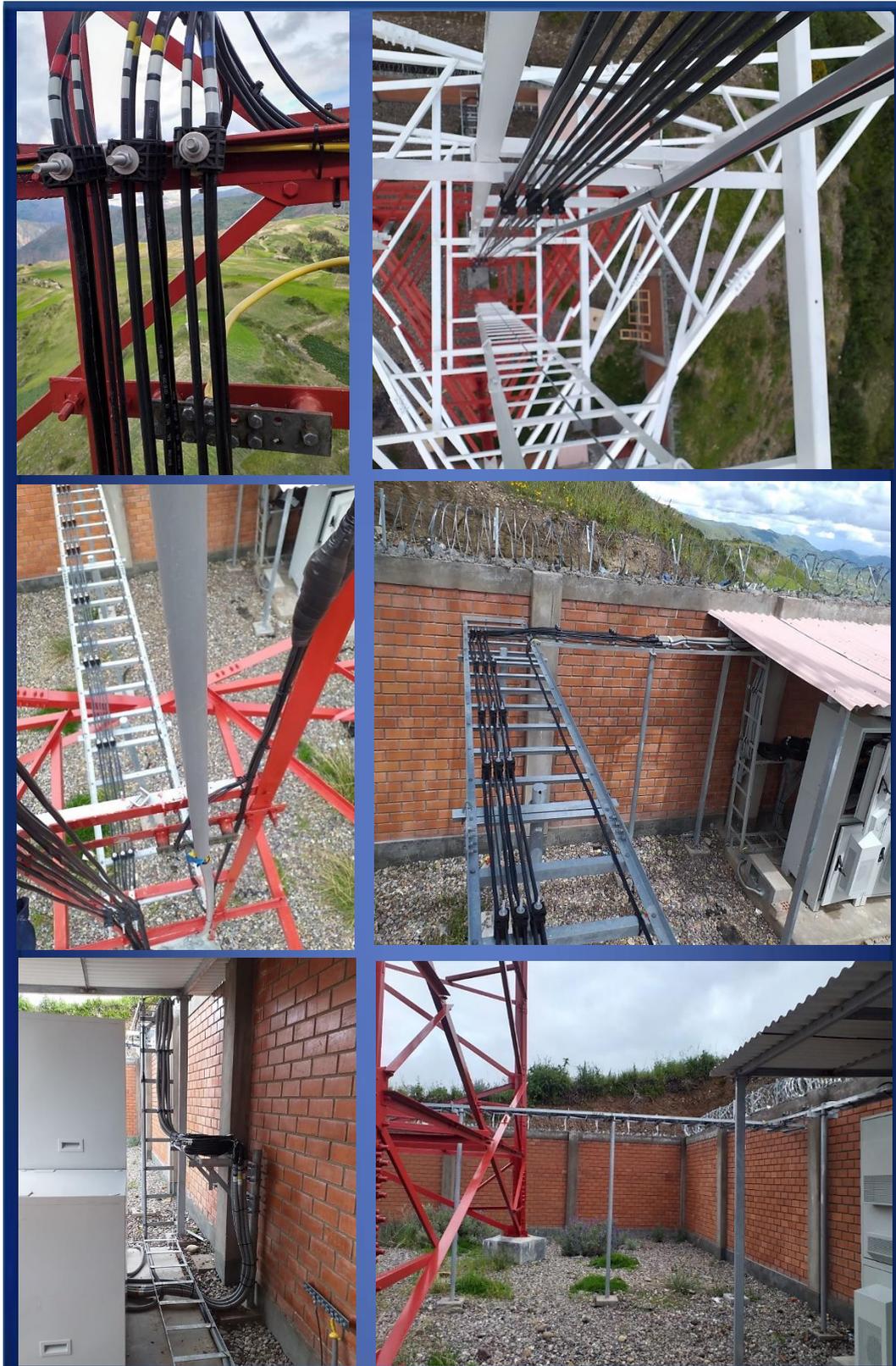
Figura 67

Instalación de antena, ODU's y cableados



Figura 68

Recorrido de cableado



4.2 Procedimiento de configuración, integración y activación de estación base celular

4.2.1 Configuración de enlace MW

Se realiza las configuraciones necesarias tanto en el NE (NearEnd) como en el FE (FarEnd) según DF (Data Field) y LB (Link Budget), tales como el Identificador, XPIC, Ancho de banda, modulación, frecuencia de transmisión, espaciamiento de la frecuencia, potencia de transmisión.

Figura 69

Link Budget (LB)

| | 0101803_TU_Zorritos | 0101804_TU_Tumbes | | 0101803_TU_Zorritos | 0101804_TU_Tumbes |
|-----------------------------------|--|--|--|---|-------------------|
| Latitude | 03 40 16.31 S | 03 34 11.35 S | | 52.07 | 52.07 |
| Longitude | 080 39 25.30 W | 080 26 53.15 W | | 2.00 | |
| True azimuth (°) | 64.23 | 244.22 | | Effective fade margin (dB) | 29.96 |
| Vertical angle (°) | -0.12 | -0.05 | | Geoclimatic factor | 1.083E-005 |
| Elevation (m) | 47.70 | 38.08 | | Path inclination (mr) | 0.61 |
| Tower height (m) | 70.00 | 70.00 | | Average annual temperature (°C) | 19.31 |
| | | | | Fade occurrence factor (Po) | 5.849E-002 |
| Antenna model | A11D18HS (TR) | A11D18HS (TR) | | Worst month multipath availability (%) | 99.99410 |
| Antenna file name | a11d18hs | a11d18hs | | Worst month multipath unavailability (sec) | 155.01 |
| Antenna gain (dBi) | 43.80 | 43.80 | | Annual multipath availability (%) | 99.99803 |
| Antenna height (m) | 46.00 | 40.00 | | Annual multipath unavailability (sec) | 620.93 |
| Orientation loss (dB) | 0.00 | 0.00 | | Annual 2 way multipath availability (%) | 99.99606 |
| Connector loss (dB) | 0.50 | 0.50 | | Annual 2 way multipath unavailability (sec) | 1241.87 |
| RX hybrid loss (dB) | 3.00 | 3.00 | | Polarization | Vertical |
| Other RX loss (dB) | 0.10 | 0.10 | | 0.01% rain rate (mm/hr) | 34.75 |
| | | | | Flat fade margin - rain (dB) | 31.57 |
| Frequency (MHz) | 11380.00 | | | Rain attenuation (dB) | 31.57 |
| Polarization | Vertical | | | Annual rain availability (%) | 100.00000 |
| Path length (km) | 25.78 | | | Annual rain unavailability (min) | 0.00 |
| Free space loss (dB) | 141.81 | | | Annual rain + multipath availability (%) | 99.99606 |
| Atmospheric absorption loss (dB) | 0.42 | | | Annual rain + multipath unavailability (min) | 20.70 |
| Net path loss (dB) | 58.73 | 58.73 | | | |
| Configuration | 2+0 XPIC | 2+0 XPIC | | Multipath fading method - Rec. ITU-R P.530-7/ 8 | |
| Radio model | 11G_XMC2H_512Q_40M_317M | 11G_XMC2H_512Q_40M_317M | | Rain fading method - Rec. ITU-R P.530-8/13 (R837-5) | |
| Radio file name | 11xmc2h512q40mx | 11xmc2h512q40mx | | | |
| TX power (dBm) | 26.50 | 26.50 | | | |
| Emission designator | 40M0D7W | 40M0D7W | | | |
| EIRP (dBm) | 69.80 | 69.80 | | | |
| TX channel assignments | CH10H 11075.00V CH10L 11075.00H CH12H 11155.00V CH12L 11155.00H | CH10H 11605.00V CH10L 11605.00H CH12L 11685.00V CH12L 11685.00H | | | |
| RX threshold criteria | 1E-6 BER | 1E-6 BER | | | |
| RX threshold level (dBm) | -64.50 | -64.50 | | | |
| Receive signal (dBm) | -39.23 | -39.23 | | | |
| Thermal fade margin (dB) | 32.27 | 32.27 | | | |
| XPIC fade margin - multipath (dB) | 33.95 | 33.95 | | | |
| Flat fade margin - multipath (dB) | 30.02 | 30.02 | | | |

Figura 70
Configuración MW

The figure displays three sequential screenshots of the Huawei Web LCT (Local Configuration Terminal) interface, showing the configuration of a Microwave Link (MW) between two radio terminals. The interface is accessed via a Microsoft Edge browser at the URL `https://localhost:13443/webict/nemgr/device/rtn/ne_114/5.114.07.20/page/main.html?neid=28&realNEID=617899&neName=0101804_TU_Tumbes%20to%20Zorritos&neType=114&neuser=ict&ne...`.

Top Screenshot: Basic Parameters

- Local Radio Terminal (0101804_TU_Tumbes):** NE ID: 9-28075, IP: 129.9.123.23
- Opposite Radio Terminal (0101803_TU_Zorritos):** NE ID: 186-30750, IP: 129.9.120.30
- Slot Layout:** Microwave Link Configuration
- Basic Parameters:**
 - Protection: 1+0 (selected)
 - XPIC:
 - Polarization - V: 3-ISM8-1(0101803_TU_Zorritos 3/1 V MA)
 - Link ID - V: 1
 - Polarization - H: 3-ISM8-2(0101803_TU_Zorritos 3/2 H SLF)
 - Link ID - H: 2
 - Exchange of Polarization Directions:
 - MIMO:
 - IF Service Type: Hybrid(Native E1+ETH)
 - IF Channel Bandwidth: 40MHz
 - AM Status:
 - Modulation Mode: 512QAM/257Mbit/s

Middle Screenshot: RF Parameters

- Modulation Mode:** 512QAM/257Mbit/s
- TX Modulation Mode:** 512QAM
- RX Modulation Mode:** 512QAM
- Guaranteed E1 Capacity(V/H):** 0 / 0
- STM-1 Capacity(V/H):** (empty)
- Data Service Bandwidth(Mbit/s) (V/H):** 256.564-256.564 / 256.564-256.564
- RF Parameters (Left):**
 - TX Frequency (MHz): 11605.0
 - Actual RX Frequency (MHz): 11075.0
 - T/R Spacing (MHz): 530.0
 - ATPC:
 - TX Power (dBm): 26.5
 - Actual TX Power (dBm): 26.4
 - Power to Be Received-V (dBm): -46.0
 - RX Power-V (dBm): -41.8
 - Power to Be Received-H (dBm): -46.0
- RF Parameters (Right):**
 - TX Frequency (MHz): 11075.0
 - Actual RX Frequency (MHz): 11605.0
 - T/R Spacing (MHz): 530.0
 - ATPC:
 - TX Power (dBm): 26.5
 - Actual TX Power (dBm): 26.4
 - Power to Be Received-V (dBm): -46.0
 - RX Power-V (dBm): -40.9
 - Power to Be Received-H (dBm): -46.0

Bottom Screenshot: Equipment Information

- Equipment Information (Left):**
 - Frequency (GHz): 11
 - Station Type: TX high
 - RF Type: High
 - Equip Type: High Capacity
 - Product SN: 16-8
- Equipment Information (Right):**
 - Frequency (GHz): 11
 - Station Type: TX low
 - RF Type: High
 - Equip Type: High Capacity
 - Product SN: 28-8

Figura 71
Data Field (DF)

| NEAR END | Far End Site | MW 1 | Port | MW/ Existente 2 | Port | Observacion | Datos IP |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------|---|---|
| 0101803_TU_Zorritos | 0101804_TU_Tumbes | 0101803_TU_Zorritos to Tumbes | 3-ISM8-2 | 0101804_TU_Tumbes to Zorritos | 3-ISM8-2 | Insertar tarjetas ISM8 en los slots indicados. Reutilizar recursos lógicos. Lado NE: Insertar nuevo chasis 950A y nombrarlo "0101803_TU_Zorritos to Tumbes" Lado FE: Renombrar IDU "0101804_TU_Tumbes_IDEN" como "0101804_TU_Tumbes to Zorritos" | IP MW: 10.62.176.169/170 Zorritos: NE ID: 9-28075 LSR ID: 10.60.176.37 |

Luego de realizarse las configuraciones necesarias y colocar el IP de gestión de las IDU's según DF, se procede a informar al operador móvil para que pueda agregar dicho Link a su gestor y se inicie con la integración del mismo.

Ello permitirá que el operador móvil pueda configurar los servicios de 3G, 4G, gestión de Gabinete Energía en toda la ruta y así dichos servicios puedan llegar hasta la estación base celular.

4.2.2 Configuración de gabinete de energía

Se realiza la configuración de IP para la gestión desde el gestor del operador.

Figura 72
Configuración de IP en el gabinete de energía

| RECT_VLAN | RECT_IP | RECT_GATEWAY | RECT_MASK |
|-----------|-------------|--------------|-----------------|
| 510 | 10.44.83.38 | 10.44.83.37 | 255.255.255.252 |

Figura 74

Prueba de ping desde OYM hacia el servidor U2000

| OYM_VLAN | OYM_IP | OYM_GATEWAY | OYM_MASK | OYM_BVI |
|----------|--------------|-------------|----------|---------|
| 1015 | 10.48.133.15 | 10.48.133.1 | 27 | 10 |

The screenshot shows the Windows network configuration interface for the 'Propiedades de Conexión de área local' (Local Area Connection Properties) window. The 'Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4)' (Internet Protocol Version 4 (TCP/IPv4)) tab is active, showing the following settings:

- Obtener una dirección IP automáticamente:
- Usar la siguiente dirección IP:
- Dirección IP: 10 . 48 . 133 . 15
- Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 224
- Puerta de enlace predeterminada: 10 . 48 . 133 . 1
- Obtener la dirección del servidor DNS automáticamente:
- Usar las siguientes direcciones de servidor DNS:
- Servidor DNS preferido: . . .
- Servidor DNS alternativo: . . .
- Validar configuración al salir:

Overlaid on the configuration window is a command prompt window showing the results of a ping test to 10.48.133.1:

```
Haciendo ping a 10.48.133.1 con 32 bytes de datos:  
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.  
Estadísticas de ping para 10.48.133.1:  
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 0, perdidos = 4  
(100% perdidos).  
C:\Users\instacon>ping 10.48.133.1  
Haciendo ping a 10.48.133.1 con 32 bytes de datos:  
Respuesta desde 10.48.133.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255  
Respuesta desde 10.48.133.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255  
Respuesta desde 10.48.133.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255  
Respuesta desde 10.48.133.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255  
Estadísticas de ping para 10.48.133.1:  
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0  
(0% perdidos).  
Tiempo aproximado de ida y vuelta en milisegundos:  
Mínimo = 2ms, Máximo = 3ms, Media = 2ms  
C:\Users\instacon>
```

Figura 75

Prueba de ping desde el 2G hacia el servidor U2000

| GSM_VLAN | GSM_IP | GSM_GATEWAY | GSM_MASK | GSM_BVI |
|----------|--------------|-------------|----------|---------|
| 1515 | 10.49.133.15 | 10.49.133.1 | 27 | 50 |

The screenshot shows the Windows network configuration interface for the 'Propiedades de Conexión de área local' (Local Area Connection Properties) window. The 'Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4)' (Internet Protocol Version 4 (TCP/IPv4)) tab is active, showing the following settings:

- Obtener una dirección IP automáticamente:
- Usar la siguiente dirección IP:
- Dirección IP: 10 . 49 . 133 . 15
- Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 224
- Puerta de enlace predeterminada: 10 . 49 . 133 . 1
- Obtener la dirección del servidor DNS automáticamente:
- Usar las siguientes direcciones de servidor DNS:
- Servidor DNS preferido: . . .
- Servidor DNS alternativo: . . .
- Validar configuración al salir:

Overlaid on the configuration window is a command prompt window showing the results of a ping test to 10.49.133.1:

```
Respuesta desde 10.48.133.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255  
Respuesta desde 10.48.133.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255  
Respuesta desde 10.48.133.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255  
Estadísticas de ping para 10.48.133.1:  
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0  
(0% perdidos).  
Tiempo aproximado de ida y vuelta en milisegundos:  
Mínimo = 2ms, Máximo = 3ms, Media = 2ms  
C:\Users\instacon>ping 10.49.133.1  
Haciendo ping a 10.49.133.1 con 32 bytes de datos:  
Respuesta desde 10.49.133.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=255  
Respuesta desde 10.49.133.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255  
Respuesta desde 10.49.133.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255  
Respuesta desde 10.49.133.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255  
Estadísticas de ping para 10.49.133.1:  
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0  
(0% perdidos).  
Tiempo aproximado de ida y vuelta en milisegundos:  
Mínimo = 2ms, Máximo = 3ms, Media = 2ms  
C:\Users\instacon>
```

Figura 76

Prueba de ping desde el 3G hacia el servidor U2000

| UMTS_VLAN | UMTS_IP | UMTS_GATEWAY | UMTS_MAS | UMTS_AGG |
|-----------|--------------|--------------|----------|----------|
| 2015 | 10.50.133.15 | 10.50.133.1 | 27 | 100 |

The screenshot shows a network configuration script for a 3G environment. The script includes parameters for UMTS VLAN (2015), IP (10.50.133.15), gateway (10.50.133.1), and other network settings. A terminal window displays the results of a ping test from the 3G interface to the server IP 10.50.133.1, showing successful responses with 3ms TTL and 32 bytes of data.

Figura 77

Prueba de ping desde el 4G hacia el servidor U2000

| LTE_VLAN | LTE_IP | LTE_GATEWAY | LTE_MASK |
|----------|--------------|-------------|----------|
| 2515 | 10.51.133.15 | 10.51.133.1 | 27 |

The screenshot shows a network configuration script for a 4G environment. The script includes parameters for LTE VLAN (2515), IP (10.51.133.15), gateway (10.51.133.1), and other network settings. A terminal window displays the results of a ping test from the 4G interface to the server IP 10.51.133.1, showing successful responses with 3ms TTL and 32 bytes of data.

Luego de que se integren el enlace MW, Gabinete de Energía y NODO B a la RED de operador móvil. El operador procederá a activar las celdas para poder realizar las pruebas necesarias.

4.3 Proceso de pruebas del servicio activad

Luego que todos los equipos se encuentren en la RED del operador, los mismos proceden con la activación de Celdas para que se pueda realizar las pruebas de cobertura, para ello usan 2 aplicativos, los cuales son:

- G-NetTrack
- SpeedTest

Figura 78

Prueba de nivel de recepción con el aplicativo G-NetTrack

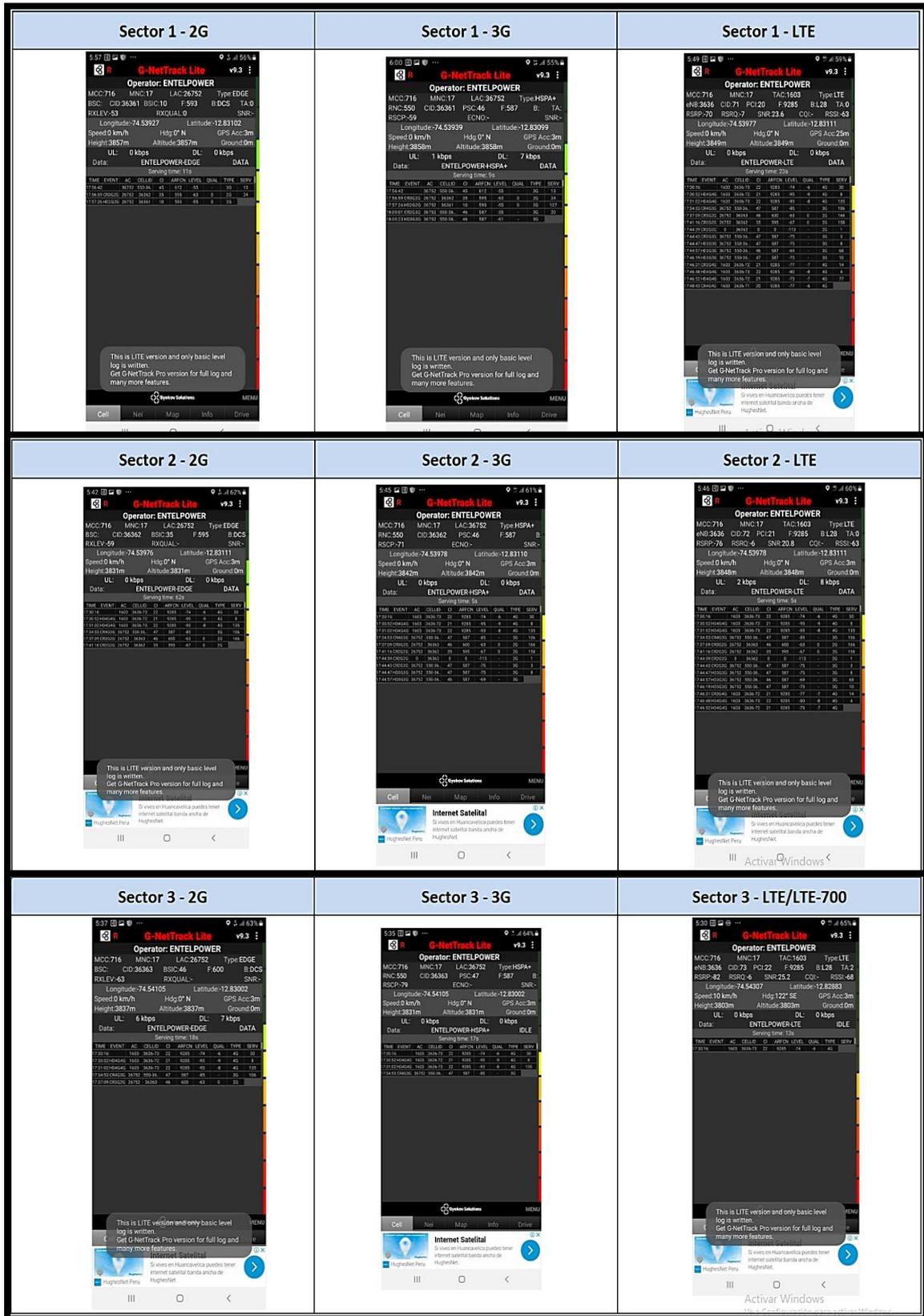


Figura 79

Prueba de UL (Up Load) y DL (Down Load) con el aplicativo SpeedTest



Figura 80

Diagrama de vista frontal de equipos instalados en una estación Base (Torre + Sala)

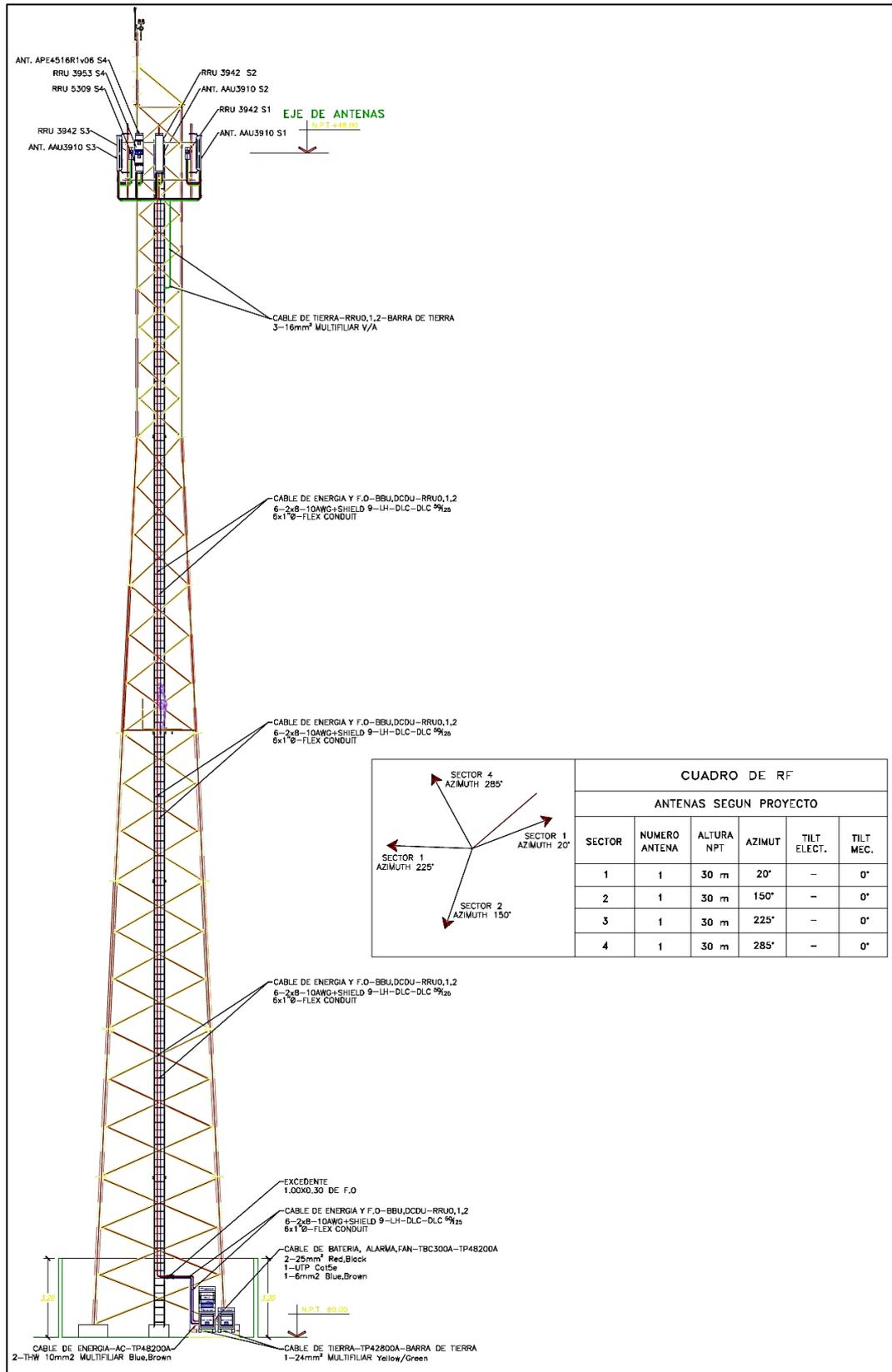
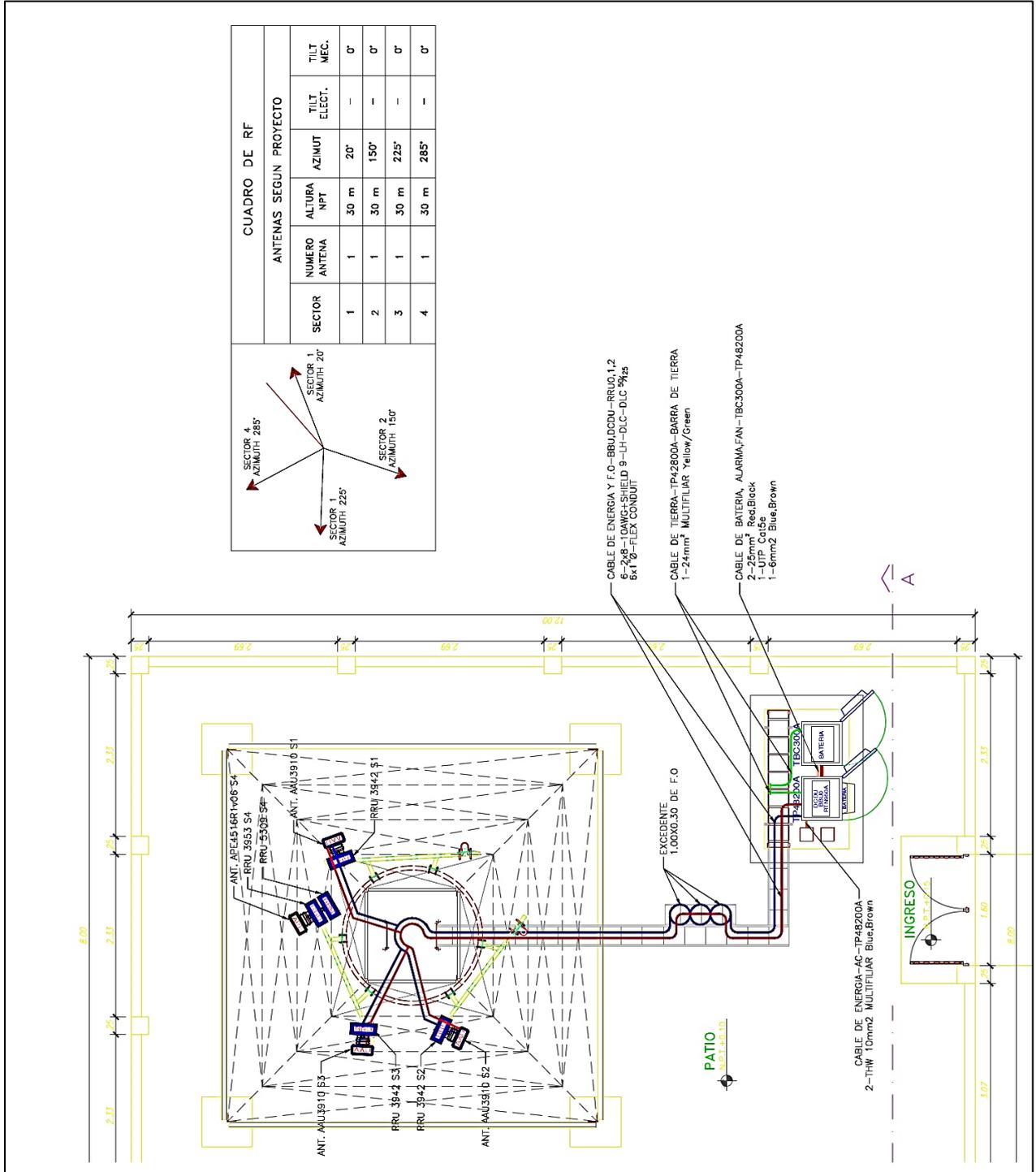


Figura 81

Diagrama de vista de planta de equipos instalados en una estación Base (Torre + Sala)



Conclusiones

- Se concluye que gracias a la instalación de la nueva estación base, los pobladores de las diferentes zonas a nivel nacional podrán navegar en una red celular que le permitirá estar informado, poder acceder a nuevos contenidos del internet, entre otros.
- Se concluye que, gracias a las pruebas realizadas, los equipos instalados garantizan una disponibilidad de la red de manera ininterrumpida y de calidad.
- Se concluye que gracias al análisis previo de la línea de vista garantizada del enlace microondas, la estación base podrá operar de manera óptima.
- Se concluye que, gracias a las nuevas tecnologías implementadas, se puede brindar comunicación e internet dedicado a las entidades públicas en zonas rurales, como son: los colegios, las comisarias, centros de salud, entre otros. Con la finalidad de que se pueda tener una respuesta más rápida ante cualquier eventualidad en la zona.

Recomendaciones

- Se recomienda que la estación base implementada pueda recibir un mantenimiento periódico acorde a las recomendaciones de cada fabricante y así poder tener la red disponible al 100%.
- Se recomienda que antes de la instalación de la estación base celular se realice un estudio de suelo y/o estructural según sea el caso, de igual manera realizar un estudio de impacto ambiental, el cual se debe de presentar a las entidades pertinentes en Perú.
- Se recomienda que el cableado utilizado para la implementación de la estación base celular cumpla las normas necesarias solicitadas por el fabricante, ello con la finalidad para que no tenga afectación de los servicios brindados.
- Se recomienda que se pueda realizar monitoreo de las estadísticas de los servicios de voz y datos, ello con la finalidad de poder analizar la implementación adicional de alguna tecnología en el sector que sea necesario para evitar la saturación de los mismos.

Acrónimos

AC: Corriente alterna.

ADSL: → Asimetric Digital Subscriber Line → Línea de Abonado Digital Asimétrica.

AN: Red de acceso.

BBU: Unidad de banda base.

BSC: Base Station Controller → Controlador de estación base.

BTS: Base Transceiver Station → Estación base.

CN: Red central.

CS: Conmutación de circuitos.

DC: Corriente continua.

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol → Protocolo de configuración dinámica de host.

DNS: Domain Name Server → Sistema de nombres de dominio.

EDGE: Enhanced Data rates for GSM of Evolution → Datos Mejorados para la Evolución del GSM.

eNB: Evolved Node B → Nodob evolucionado.

EPC: Evolved Packet Core → Evolución de la arquitectura de red central 3GPP.

EPS: Evolved Packet System → Sistema de Paquetes Evolucionado.

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network → Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionada.

FDMA: Frequency-Division Multiple Access → Acceso múltiple por división de frecuencia.

GE: Grupo electrógeno.

GERAN: GSM EDGE Radio Access Network → Red de Radio Acceso GSM/EDGE

GPRS: General Packet Radio Service → Servicio General de Paquetes de Radio.

GSM: Global System For Mobile Communication → Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.

IDU: Unidad interior.

LTE: Long Term Evolution → Evolución a Largo Plazo.

MW: Microondas.

ODU: Unidad exterior.

OFDMA: Orthogonal frequency-division multiple Access → Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales.

PS: Conmutación de paquetes.

RAT: Remote Access Trojan → Troyano de acceso remoto.

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados.

RF: Radio frecuencia.

RNC: Radio Network Controller → Controlador de la Red de Radio.

RRU: Unidad de radio remota.

SAE: System Architecture Evolution → Evolución de la arquitectura del sistema.

SIM: Subscriber Identity Module → Módulo de Identidad del Suscriptor.

SMU: Unidad de Medida de fuente o Unidad de Control.

TDMA: Time-Division Multiple Access → Acceso múltiple por división de tiempo.

UE: Equipo de usuario.

UICC: Universal Integrated Circuit Card → Tarjeta de circuito integrado universal.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System → Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

USIM: Universal Subscriber Identity Module → Módulo Universal de Identificación del Suscriptor.

UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network → Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre.

VLAN: Virtual local area network → Red de área local virtual.

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access → Acceso múltiple por división de código de banda ancha.

3GPP: 3rd Generation Partnership Project → Proyecto Asociación de Tercera Generación.

Referencias bibliográficas

Albornoz, J. M. (2007). *Radioenlaces Digitales*. Académica Española.

https://tableroalparque.weebly.com/uploads/5/1/6/9/51696511/libro_radioenlaces_caps_1-2-1-libre.pdf

Agusti, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrús, R., Pérez, J. y Sallent, O. (2010).

LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Fundación Vodafone España. <https://proyectolte.files.wordpress.com/2012/09/lte-nuevas-tendencias.pdf>

Bará, J. (1999). *Ondas electromagnéticas en comunicaciones*. Universidad Politécnica de Catalunya.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36205/9788498802405.pdf>

Duque, D. (2017). *Antenas*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

<https://es.scribd.com/document/430837606/antenas-libro>

Entel S. A. (sf). *Estándar de Instalación de gabinete Huawei Modelo TP48200A-HX09A6 & TBC300A-TCA3 V1.3 – Proyecto Rollout*.

<https://es.scribd.com/doc/282997299/Estandar-de-Instalacion-TP48200A-HX09A6-TBC300A-TCA3-V1-3-Rollout-pdf>

Huawei Technologies Co. (2017). *Huawei RRU5301cw descripcion*.

<https://es.scribd.com/document/482884089/RRU5301cw-Description-700-4x50>

Huawei Technologies Co. (2018). *Huawei BBU3900 descripcion*.

<https://www.manualslib.com/manual/2427888/Huawei-Bbu3900.html>

Huawei Technologies Co. (2019). *Hardware descripcion: RTN XMC ODU*.

<https://actfor.net/ueditor/php/upload/file/20191118/1574007551602411.pdf>

Huawei Technologies Co. (2019). *IDU Hardware descripcion: OptiX RTN 950A Radio Transmission System V100R019C00*.

<https://actfornet.com/ueditor/php/upload/file/20191118/1574007558281387.pdf>

Pineda, J. C. (2014). *Diseño de un enlace de microondas para los servicios de voz y datos: procedimiento de instalación, configuración y puesta en marcha* [Proyecto terminal de pregrado]. Instituto Politécnico Nacional de México.

<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/21519?show=full>, E. G

Ponce, A. R. (2011). *Localización óptima de antenas para una empresa de telecomunicaciones en el Callao* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú.

https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/921/PONCE_ANTINORI_ALDO_ANTENAS_TELECOMUNICACIONES_CALLAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

San Román, E. G., Castillo, P. R., Sotomayor, M. G., Gonzales, L. V. y Zenteno, E. J. (2018). *Teoría y Aplicaciones de Ingeniería de Microondas*. Universidad Católica San Pablo. <https://ucsp.edu.pe/publicaciones/teoria-y-aplicaciones-de-ingenieria-de-microondas/>