



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OBTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

**Optimización de una Estación Base con Tecnología LTE-TDD en la Ciudad
de Jinotepe.**

Elaborado por:

Br. Alison Dayan Téllez García

Carnet: 2012-44353

Tutor:

Ing. Marlovio José Sevilla Hernández

Managua, 25 de Noviembre del 2022

DEDICATORIA

Dedico este proyecto monográfico a Dios, mis padres, mis abuelos, mi familia.

A Dios porque me permitió nuevamente la vida y por siempre estar a mi lado protegiéndome en cada paso que doy.

A mis padres porque a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, gracias a ellos soy lo que soy, los amo con mi vida.

A mis abuelos que en vida estuvieron presente en mis estudios y hoy me cuidan desde el cielo.

A mi familia que es la que a diario me motiva a seguir adelante mejorando siendo mi esposa y mi hijo el pilar más fuerte que tengo en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa y lograr el sueño de ser un Ingeniero en Telecomunicaciones.

A mi excompañero de trabajo monográfico Br. Fernando José González Monjarrez Carnet: 2012-44445, quien jugó un papel importante en el desarrollo de este proyecto, pero por motivos personales no tuvo la oportunidad de culminar junto conmigo este trabajo monográfico.

A mi tutor, Ing. Marlovio José Sevilla Hernández, por su esfuerzo y dedicación, quien compartió conmigo sus conocimientos y experiencia para llevar a cabo la culminación de estudios.

A Nuestra Universidad Nacional de Ingeniería, por brindarnos los recursos y convertirnos en personas profesionales y capaces para hacer cumplir con responsabilidad nuestro título.

A docentes Ingenieros de la facultad (FEC) por brindarme apoyo, orientación y tiempo para responder a mis consultas y dudas.

RESUMEN

El presente trabajo monográfico presenta el uso de la tecnología LTE (Long Term Evolution) usando uno de los tipos de duplexaciones permitidos dentro de la tecnología de comunicación celular, TDD (Time Division Duplex) para bandas no emparejadas.

Para la evaluación de esta red se analizan los parámetros RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Received Quality), SNIR (Signal to Noise plus Interference Ratio). En cada parámetro se presentan escenarios reales de visitas técnicas realizadas a cinco (5) de los clientes más distantes al Nodo J1, se hicieron pruebas de conexión desde la interface de los equipos outdoor que tienen instalados los clientes para obtener los niveles de cobertura y ver la calidad del servicio de internet brindado por el ISP.

Se hace uso de un software como herramienta de trabajo para sistemas de RF en dispositivos como computadoras de escritorio y portátiles, realizando con ella simulaciones de cobertura en una estación base ubicada en la ciudad de Jinotepe, la estación base utiliza tecnología LTE-TDD, con dicho software se realizaron simulaciones y se optimizara la red activa para proponer mejorar el servicio de los clientes existentes y futuros en la ciudad de Jinotepe.

Palabras claves: **LTE-TDD, RSRP, RSRQ, SNIR, ISP, J1, RF.**

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	4
1. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	5
1.1 BREVE HISTORIA DE LA EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA INALÁMBRICA.....	5
1.1.1 PRIMERA GENERACIÓN 1G.....	5
1.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN 2G.....	5
1.1.3 TERCERA GENERACIÓN 3G.....	6
1.1.4 CUARTA GENERACIÓN 4G.....	6
1.2 FUNDAMENTOS LTE (LONG TERM EVOLUTION).....	8
1.3 FUNDAMENTOS LTE FDD Y LTE TDD.....	9
1.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE.....	11
1.4.1 EUTRAN.....	12
1.4.2 EPC.....	14
1.4.3 HSS (HOME SUBSCRIBER SERVICE).....	15
1.4.4 CAPA FÍSICA.....	15
1.4.5 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING).....	15
1.4.6 OFDMA (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS)....	16
1.4.7 SC-FDMA (SINGLE CARRIER FREQ DIVISION MULTIPLE ACCESS).....	17
1.4.8 MIMO.....	18
1.5 BREVE DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE ATOLL.....	19
2. EQUIPOS DE LA ESTACIÓN BASE LTE-TDD JINOTEPE 1.....	20
2.1 GABINETE APM30H Y IBBS200D.....	20
2.1.1 CONFIGURACION APM30H.....	21
2.1.2 INTERIOR DEL GABINETE APM30H.....	21
2.1.3 COMPONENTES DEL APM30H.....	22
2.1.4 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA DEL MODELO APM30H.....	25
2.1.5 ESTRUCTURA DEL IBBS200D.....	26
2.1.6 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA DEL IBBS200D.....	27
2.2 CONMUTADOR DE ACCESO ETHERNET BROCADE 6910.....	28

2.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONMUTADOR.....	29
2.3 TERMINAL DE RED UNIVERSAL ISCOM RAX711.....	30
2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL ISCOMRAX711.....	31
2.4 PROTECTOR CONTRA SOBRETENSIONES LEVITON 51120-1.....	32
2.4.1 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS.....	33
2.4.2 ESPECIFICACIONES MEDIOAMBIENTALES.....	33
2.4.3 ESPECIFICACIONES MECÁNICAS.....	33
2.4.4 INFORMACIÓN DE RENDIMIENTO.....	34
2.5 BATERÍA SOLAR AGM 100AH 12V 12TD100F4.....	34
2.5.1 CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS.....	34
2.6 RRU Air4G-W24-2510MT 2.56-2.63GHz.....	35
2.6.1 CONEXIONES DE LA PARTE INFERIOR DEL AIR4G.....	36
2.6.1.1 PUERTOS RF DE CONEXIÓN DE ANTENA SECTORIAL Air4G.....	36
2.6.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL AIR4G.....	37
2.6.2.1 ESPECIFICACIONES FÍSICAS.....	38
2.6.2.2 ESPECIFICACIONES LTE.....	38
2.7 ANTENA SECTORIAL ALPHA WIRELESS AW3008-T0-F.....	38
2.7.1 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS.....	39
2.7.2 PATRONES DE RADIACIÓN DE LA ANTENA AW3008-T0-F.....	40
3. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS LTE DE LOS USUARIOS DE JINOTEPE.....	40
3.1 CPE OUTDOOR LTE CAT 6 MONOMODO LED CON IAD INTERIOR.....	41
3.1.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	41
3.2 ROUTER TENDA F3.....	42
3.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	42
3.3 ROUTER LINKSYS E900.....	43
3.3.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	43
4. ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE LA ESTACIÓN BASE LTE-TDD JINOTEPE 1.....	44
5. CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA Y CANTIDAD DE CLIENTES QUE ADMINISTRA ACTUALMENTE LA ESTACIÓN BASE LTE-TDD JINOTEPE 1.....	51

6. PRUEBAS DE CONEXIÓN Y COBERTURA DESDE LA INTERFACE DE LOS EQUIPOS LTE OUTDOOR DE LOS CLIENTES MÁS ALEJADOS AL NODO LTE-TDD JINOTEPE1.....	53
6.1 UBICACIÓN Y DISTANCIA DE LOS USUARIOS AL NODO J1.....	55
6.2 METODO Y DATOS REALES DE VISITAS REALIZADAS DONDE LOS USUARIOS.....	56
6.3 VALORES DE CALIDAD DE LOS PARÁMETROS DE SEÑAL LTE.....	61
6.4 VALORES REALES DE CALIDAD, DE LA RECEPCIÓN DE SEÑAL DEL CPE LTE OUTDOOR.....	62
7. PRINCIPALES DIFERENCIAS QUE EXISTEN AL UTILIZAR LOS TIPOS DE DUPLICACIÓN FDD Y TDD EN LTE.....	71
8. RESUMEN DE LAS VISITAS TÉCNICAS REALIZADAS.....	73
8.1 NIVEL Y CALIDAD DE LA SEÑAL RSRP.....	74
9. DISEÑO DE LAS REDES LTE TDD.....	74
9.1 ÁREA DE COBERTURA.....	75
10. OPTIMIZACIÓN DEL NODO J1, PARA BRINDAR UN MEJOR SERVICIO A LOS USUARIOS.....	78
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. No 1: Dúplex por división de frecuencia y división de tiempo.....	9
Fig. No 2: Arquitectura del sistema LTE.....	12
Fig. No 3: Red de acceso E-UTRAN.....	13
Fig. No 4: Arquitectura básica de la red troncal EPC.....	14
Fig. No 5: Asignación de recursos de diferentes usuarios en OFDMA.....	16
Fig. No 6: Asignación de recursos de diferentes usuarios en SC-FDMA.....	17
Fig. No 7: Esquemas MIMO en el DL.....	19
Fig. No 8: Estación base configurada con un APM30H y un IBBS200D.....	22
Fig. No 9: Interior del APM30H.....	23
Fig. No 10: Estructura interna del IBBS200D.....	28
Fig. No 11: Switch Ethernet Access Brocade 6910.....	30
Fig. No 12: Acceso a pymes y redes de backhaul móviles.....	32
Fig. No 13: Aspecto del ISCOMRAX711.....	33
Fig. No 14: Levitón 51120-1.....	35
Fig. No 15: Batería solar AGM 100AH 12V 12TD100F4.....	36
Fig. No 16: Estación base.....	37
Fig. No 17: Unidad de estación base Air4G, terminación Ethernet.....	38
Fig. No 18: Unidad de estación base Air4G, puertos RF.....	38
Fig. No 19: Antena sectorial AW3008-T0-F.....	41
Fig. No 20: Patrones de radiación.....	42
Fig. No 21: CPE exterior LTE-TDD Cat 6.....	43
Fig. No 22: Router Tenda F3.....	44
Fig. No 23: Router Linksys E900.....	45
Fig. No 24: Exterior de los gabinetes Huawei APM30H y gabinete IBBS200D.....	46
Fig. No 25: Interior de los gabinetes Huawei APM30H y gabinete IBBS200.....	47
Fig. No 26: Torre Jinotepe 1.....	48
Fig. No 27: CPE Outdoor LTE Cat 6.....	49
Fig. No 28: Parte inferior del CPE Outdoor LTE Cat 6.....	49
Fig. No 29: Conexiones del POE.....	50
Fig. No 30: Puertos del POE y Fuente de carga.....	50
Fig. No 31: SIM CARD LTE-TDD.....	51
Fig. No 32: Reporte de avería.....	52
Fig. No 33: Reporte de avería.....	53
Fig. No 34: Distribución de usuarios.....	57
Fig. No 35: Distribución de Celdas.....	58
Fig. No 36: Conexión de los equipos Terminales LTE.....	59

Fig. No 37: Conexión entre el ordenador y el Router mediante cable de red.....	60
Fig. No 38: Navegador web Google Chrome.....	60
Fig. No 39: Ingreso a la interfaz del CPE LTE-TDD Outdoor.....	61
Fig. No 40: Menú de la interfaz del CPE LTE-TDD Outdoor cliente 1.....	61
Fig. No 41: Distancia del domicilio del cliente 1 al Nodo J1.....	62
Fig. No 42: Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE-TDD del CPE Outdoor cliente 1.....	62
Fig. No 43: Distancia del domicilio del cliente 1 al Nodo J1.....	66
Fig. No 44: Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE del CPE Outdoor cliente 1.....	66
Fig. No 45: Distancia del domicilio del cliente 2 al Nodo J1.	68
Fig. No 46: Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE del CPE Outdoor cliente 2.....	68
Fig. No 47: Distancia del domicilio del cliente 3 al Nodo J1.....	70
Fig. No 48: Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE del CPE Outdoor cliente 3.....	70
Fig. No 49: Distancia del domicilio del cliente 4 al Nodo J1.....	72
Fig. No 50: Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE del CPE Outdoor cliente 4.....	72
Fig. No 51: Mapa de cobertura del nodo existente J1.....	78
Fig. No 52: Simulación de la red LTE-TDD, del ISP en Jinotepe, correspondiente J1.....	79
Figura No 53 Figura No 53 Mapa de la red LTE-TDD, del ISP en Jinotepe, correspondiente J1.....	79
Figura No 54 Mejoras de cobertura de la red LTE-TDD en J1.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1: Cuadro comparativo de las generaciones móviles.....	7
Tabla No. 2: Comparación entre LTE-FDD y LTE TDD.....	10
Tabla No. 3: Componentes del APM30H.....	24
Tabla No. 4: Especificaciones de ingeniería del modelo APM30H.....	27
Tabla No. 5: Especificaciones de ingeniería del IBBS200D.....	29
Tabla No. 6: Características del ISCOMRAX711.....	33
Tabla No. 7: Consumo de energía del Air4G.....	39
Tabla No. 8: Especificaciones físicas del Air4G.....	39
Tabla No. 9: Especificaciones LTE del Air4G.....	40
Tabla No. 10: Especificaciones eléctricas de Antena sectorial AW3008-T0-F.....	41
Tabla No. 11: Estado y ocupación del nodo.....	55
Tabla No. 12: Ubicación y distancia de los usuarios.....	58
Tabla No. 13: Valores de calidad de los parámetros de señal LTE.....	64
Tabla No. 14: Valores de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE Outdoor.....	65
Tabla No. 15: Valores de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE Outdoor cliente 1.....	67
Tabla No. 16: Valores de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE Outdoor recepción cliente 2.....	69
Tabla No. 17: Valores de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE Outdoor cliente 3.....	71
Tabla No. 18: Valores de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE Outdoor cliente 4.....	73
Tabla No. 19: Principales diferencias que existen al utilizar los tipos de duplicación FDD y TDD en LTE.....	74
Tabla No. 20: Resumen del nivel y calidad de la señal RSRP.....	77

INTRODUCCION

En la sociedad actual todos los aspectos de la vida diaria dependen de las telecomunicaciones. La prosperidad, salud, educación y bienestar de un país dependen enormemente de la calidad y extensión con que son implantadas sus instalaciones, no solamente ponen la información a disposición de las personas, sino que también cubren las necesidades básicas de las actividades industriales y comerciales. [1]

El desarrollo del presente trabajo monográfico está orientado a Optimizar una Estación Base con Tecnología **LTE-TDD** (Long Term Evolution-Time Division Duplex) del proveedor **ISP** (Internet Service Provider) en la ciudad de Jinotepe, para mejorar la calidad de servicio.

Se realizara un análisis para determinar el estado, la capacidad y el comportamiento de la troncal de la estación base, para luego proponer sugerencias que permitan mejorar la capacidad de la estación con el fin de descongestionar, y mejorar la calidad del servicio de internet brindado por el ISP hacia los usuarios en Jinotepe.

Ya que este, como al igual que otras empresas de telecomunicaciones debe adaptarse a los cambios en la realidad social que generó la pandemia del COVID 19 y responder al aumento generalizado de la demanda de ancho de banda.

En la realización de este análisis al sistema de comunicaciones inalámbrico LTE -TDD en Jinotepe, se recopilará información sobre la cantidad de abonados que hay actualmente, el ancho de banda que tiene la estación base, el estado actual y especificaciones de los equipos.

Se realizarán pruebas de conexión y cobertura en la ubicación de los clientes más distantes a la estación base, para medir y evaluar los niveles de recepción de los equipos desde la interface. Se utilizará el software ATOLL para simular el sistema de comunicaciones inalámbrica LTE-TDD, de acuerdo a las especificaciones de los equipos, luego se compararán los resultados de la simulación con los datos obtenidos de las mediciones de campo.

Objetivos

Objetivo general:

- Optimizar una Estación Base con Tecnología LTE-TDD en la ciudad de Jinotepe, para mejorar la calidad de servicio.

Objetivos específicos:

- Analizar y diagnosticar la red actual LTE-TDD en la ciudad de Jinotepe, para garantizar a los clientes un servicio de calidad.
- Analizar la capacidad de ancho de banda y cantidad de clientes que administra actualmente la Estación Base LTE-TDD en la ciudad de Jinotepe, para determinar los niveles de saturación y disponibilidad.
- Realizar pruebas de conexión y cobertura desde la interface de los equipos, en la ubicación de los clientes más distantes a la estación Base para medir y evaluar los niveles de recepción de señal.
- Simular la red LTE-TDD usando el software ATOLL para predecir el funcionamiento, de acuerdo a las especificaciones instaladas en los equipos de la estación base.
- Realizar comparación de los datos obtenidos, en las visitas técnicas y las simulaciones para proponer una optimización del Sistema LTE-TDD de la ciudad de Jinotepe.

Antecedentes

Dentro de los antecedentes destacaremos los trabajos monográficos realizados en la **UNI** (Universidad Nacional de Ingeniería), así como también los trabajos monográficos realizados a nivel nacional y a nivel internacional, los cuales se mencionan a continuación:

En la UNI se encontraron dos (2) trabajos monográficos que anteceden al nuestro, el primero se llama: Estudio experimental por simulación del diseño de una red LTE de telefonía y datos móviles en Nicaragua. En este trabajo monográfico realizado por el ingeniero Carlos Rodríguez Avilés, se hicieron mediciones de campo del sistema LTE utilizado por la empresa de telecomunicaciones YOTA en Managua. Luego usaron el software ATOLL para realizar simulaciones con los mismos parámetros de la red y especificaciones de los equipos de la red de YOTA en Managua para comparar los resultados de las mediciones de campo con los resultados de la simulación con el objetivo de explorar el desempeño de la red LTE de YOTA. [2]

El segundo trabajo monográfico se llama: Análisis de la Radio propagación para un escenario Outdoor-to-Indoor en las Bandas 850 MHz y 2100 MHz. Este trabajo monográfico realizado por el ingeniero Maxwell Josué Calderón Jiménez se fundamenta en la comparación de los resultados de mediciones reales de un canal de comunicación en las bandas 850 MHz y 2100 MHz con los resultados adquiridos mediante la implementación del software Wireless Insite ®. Con el objetivo de analizar las características de radio propagación dentro de un entorno Outdoor-to-Indoor. [3]

En la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua se encontró un trabajo monográfico en el que realiza un Análisis de una red de acceso para el despliegue de la red LTE (4G) con la técnica **FDD** (frequency division duplex) en el municipio de Masaya, departamento de Masaya. [4]

A nivel internacional se encontró el siguiente trabajo monográfico: Análisis de capacidad y cobertura de una red móvil LTE para la ciudad de Popayán. [5]

Justificación

La pandemia generada por el COVID-19 nos ha hecho valorar muy positivamente el impacto que tienen los sistemas y servicios de telecomunicaciones, ya que nos permiten entre otras cosas el trabajo a distancia o la educación online. [6] Debido a esta enfermedad se ha dado un aumento sustancial de entre 20% y 70 % en el volumen del tráfico de datos y la duración de las llamadas de voz en las redes, este aumento en el consumo de datos se debe principalmente a la demanda de aplicaciones relacionadas con el trabajo remoto, videoconferencia, aplicaciones de entretenimiento (transmisión de video y audio), redes sociales y mensajería. [7]

Todo lo mencionado anteriormente ha traído como consecuencia un aumento en el tráfico de datos y la demanda de acceso al ancho de banda por parte de los usuarios del ISP, en el municipio de Jinotepe del departamento de Carazo. Al mismo tiempo muchos de estos usuarios han reportado intermitencia en el servicio de internet y sumado a esto la estación base de la red LTE-TDD del ISP en Jinotepe Carazo está a su máxima capacidad.

Ante la situación actual la empresa ISP podría no estar en capacidad de brindar un servicio de calidad a sus usuarios, por eso es necesario realizar un análisis al sistema de comunicaciones inalámbrico LTE-TDD en Jinotepe, con el fin de proponer posibles soluciones que permitan contrarrestar el congestionamiento en la estación base y los problemas de intermitencia que experimentan los usuarios, para lograr una buena implementación y un buen funcionamiento del sistema de comunicaciones inalámbrico del proveedor de servicios en Jinotepe para que este sea más eficiente y confiable.

CAPITULO I

1. Fundamentos Teóricos

1.1 Breve historia de la evolución de la telefonía inalámbrica

La evolución de la tecnología móvil se ha segmentado por generaciones las cuales se describen a continuación:

1.1.1 Primera generación 1G

Entre 1970 y 1973 Martin Cooper, considerado “El Padre” de la telefonía celular, construyó el primer teléfono celular, el cual era analógico de gran peso y volumen. Los sistemas de la primera generación solo brindaban servicios de voz basados en transmisión de radio analógicos. El primer operador de telefonía celular apareció en 1979 con el nombre de **NTT** (Nippon Telephone and Telegraph), en Tokyo, Japón.

En los Estados Unidos esta generación se denominó **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) y se creó en 1982. El sistema utilizaba 40MHz dentro de la banda de 800 a 900 MHz asignada por la **FCC** (Federal Communications Commission). La primera infraestructura se desplegó en Chicago, con un área de servicio de 5500 Km². AMPS ofrecía 832 canales, con una tasa de 10kbps.

1.1.2 Segunda generación 2G

La principal característica de la segunda generación, es la transición a la tecnología digital. Esta etapa inicia en 1990. En esta generación ya se podía transmitir mensajes de texto **SMS** (Short Messages Service), datos y fax. La velocidad de transmisión de datos fue de 9.6Kbps.

A finales de los 90s se introdujeron mejoras significativas a la tecnología con el objetivo de mejorar las tasas de transmisión de datos, estas mejoras se conocen como la generación 2.5G y estaba basada en las tecnologías **GSM** (Global System for Mobile communications), **GPRS** (General Packet Radio System), **HSCSD** (High Speed Circuit Switched Data), **EDGE** (Enhanced Data Rates in GSM Environment), IS-95B, IS-136B. La tasa de transmisión de 2.5G fue desde

56Kbps hasta 150Kbps en óptimas condiciones. Con mejoras en la codificación EDGE se logró tasas de 384Kbps.

1.1.3 Tercera generación 3G

La primera red comercial 3G fue lanzada por NTT DoCoMo en Japón el 01 de octubre de 2001, basado en tecnología W-CDMA. La primera red comercial 3G en Estados Unidos fueron Monet Mobile Networks y Verizon basado en tecnología CDMA2000 1x EV-DOD a partir de octubre de 2003.

Esta generación es una clara evolución de la anterior. Se mejora la potencia de las antenas, permitiendo más conexiones, mejor calidad de voz y mayor velocidad para transferir datos, alcanzando velocidades desde 384 Kbps y permitiendo una movilidad total a usuarios viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores y una tasa máxima de 2 Mbps permitiendo una movilidad limitada a usuarios caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores.

Esta generación también tiene su generación intermedia conocida como 3.5G o 3G+ denominada **HSPA** (High Speed Packet Access) con capacidades de transmisión de datos capaz de alcanzar velocidades de hasta 14,4 Mbps en el enlace descendente y 5,8 Mbps en el enlace ascendente. [8]

1.1.4 Cuarta generación 4G

La cuarta generación inicia en el año 2010, específicamente en Japón. En los subsiguientes años se despliega en el resto del mundo. Existen tres organizaciones que se han encargado de desarrollar estándares de comunicaciones móviles con el fin de cumplir los requisitos del IMT-Advanced.

La **3GPP** (Third Generation Partnership Project) empezó a finales de 2004 la primera especificación del sistema LTE (Long Term Evolution) que fue concluida a finales de 2008 y ha evolucionado posteriormente a LTE-Advanced. Por otro lado, la IEEE ha creado la familia 802.16 conocida como WiMAX, también conocida como WirelessMAN-Advanced. Por último, la 3GPP2 comenzó el desarrollo del sistema UMB (Ultra Mobile Broadband) como evolución del

sistema CDMA2000 con las intenciones de convertirse en un sistema de 4G, pero el proyecto fue dejado inconcluso para pasar a apoyar a LTE.

4G se considera todo IP (All-IP), lo que permite contar con una plataforma común para todas las tecnologías que se han desarrollado hasta la actualidad y que son la base para la próxima generación 5G. La diferencia fundamental entre la red GSM / 3G y All-IP es que la funcionalidad del RNC y el BSC ahora se distribuye a la BTS. Lo cual implica redes menos costosas y mayores velocidades de transferencia de datos. [9]

Tabla No. 1 Cuadro comparativo de las generaciones móviles [9]

Generación	Periodo	Tecnología	TX	MOD	Servicio
1G	1970-1989	AMPS, NMT, TACS	9kbps	FM-FDMA	Voz
2G	1990-2000	D-AMPS, GSM/GPRS, CDMAone, EDGE	56-384 [Kbps]	TDMA - CDMA	Voz + data
3G	2001-2009	CDMA2000 / EV-DO, UMTS, WCDMA/HSPA+, TD	0.384-14.4 [Mbps]	TD-SCDMA, WCDMA, TDD, FDD	Voz + data Multimedia
4G	2010-2019	LTE, LTE-A	50-1000 [Mbps]	OFDMA, OFDM	All IP
5G	2020-2030	N/A	N/A	N/A	IoT

1.2 Fundamentos de LTE (Long Term Evolution)

El sistema LTE fue diseñado por la 3GPP con la idea de incrementar en gran medida las capacidades que ofrecían los sistemas de comunicaciones móviles anteriores. En este sentido, LTE es el primer sistema en ofrecer todos los servicios incluidos: voz sobre el protocolo IP, dejando atrás la conmutación de circuitos para pasar a un nuevo sistema basado completamente en conmutación de paquetes. Además, las velocidades pico de la interfaz del radio que introduce LTE superan ampliamente a aquellas conseguidas en los sistemas anteriores, soportando velocidades de al menos 100 Mbps en el Downlink y 50 Mbps en el Uplink, que permite a los usuarios la posibilidad de movilizarse a grandes velocidades y al mismo tiempo disfrutar de los servicios multimedia.

El sistema LTE se caracteriza por ofrecer una canalización flexible que permite alcanzar altas velocidades de transmisión y facilitar la migración gradual hacia LTE de bandas espectrales ocupadas por 2G y 3G, es una tecnología de radio acceso con canales o portadoras de ancho de banda en un rango de 1.4MHz hasta 20MHz. Las bandas de frecuencia estándares en que se implementa esta tecnología, incluyen las bandas 700MHz, 850MHz, 1700MHz, 1800MHz, 1900MHz, 2100MHz, 2600MHz. La interfaz de aire comprende tecnologías **FDD** (Frequency Division Duplexing) y **TDD** (Time Division Duplexing). [10]

LTE emplea una técnica de acceso múltiple en la capa física, llamada **OFDMA** (Orthogonal Frequency División Multiplexing Access) en el **Dowlink** (descarga de datos), en la que divide el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. Mientras que para el **Uplink** (carga de datos) utiliza la técnica **SC-FDMA** (Single Carrier Frequency División Multiplexing Access) que es una variante de OFDMA con la diferencia de que esta presenta un **PARP** (Peak to Average Power Ratio) reducido, lo cual evita que se tenga picos muy grandes en la señal. Además, lo que repotencia el esquema de LTE es el uso de antenas **MIMO** (Multiple-Input and Multiple-Output). MIMO hace posible el contar con múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor, para de esta forma mejorar la calidad de la comunicación. [11]

1.3 Fundamentos LTE FDD y LTE TDD

LTE puede utilizar tanto **FDD** (Frequency Division Duplexing) como **TDD** (Time Division Duplexing) ya que admite el funcionamiento en espectro emparejado y no emparejado al admitir el funcionamiento dúplex basado en FDD y TDD con las estructuras de tiempo-frecuencia. La flexibilidad del espectro es una de las características clave de LTE, Además de la flexibilidad en el ancho de banda de transmisión.

En FDD hay dos frecuencias portadoras, una para la transmisión en el enlace ascendente y otra para la transmisión en el enlace descendente. En el caso de TDD existe una única frecuencia portadora, la transmisión en el enlace descendente y enlace ascendente tiene lugar en diferentes intervalos de tiempo que no se superponen. Al igual que FDD, LTE TDD admite anchos de banda desde 1.4MHz hasta 20MHz.

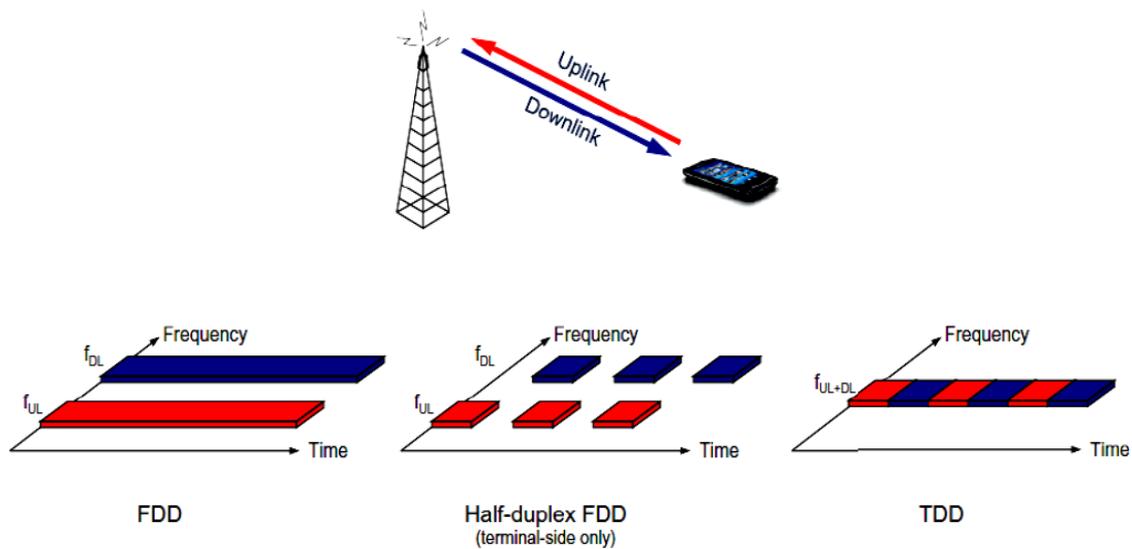


Fig. No 1: Dúplex por división de frecuencia y división de tiempo [12]

Tabla No. 2 Comparación entre LTE-FDD y LTE TDD [12]

LTE-FDD	LTE-TDD
Utiliza dúplex por división de frecuencia	Utiliza dúplex por división de tiempo
Generalmente más adecuado para aplicaciones como llamadas de voz que tienen tráfico simétrico, porque el tráfico en ambas direcciones es siempre constante.	Es mejor para reasignar tráfico que FDD, como Internet u otros servicios centrados en datos.
Requiere espectro emparejado con diferentes frecuencias con banda de guarda.	No requiere espectro emparejado ya que la transmisión y la recepción ocurren en el mismo canal
Permite una planificación más sencilla que TDD LTE.	Es más económico que LTE-FDD ya que en TDD-LTE no se necesita duplexor para aislar transmisiones y recepciones.
FDD LTE es full dúplex, esto significa que tanto la carga como la descarga están siempre disponibles.	TDD LTE es semidúplex, ya que la carga o la descarga pueden usar el canal, pero no al mismo tiempo.
Con FDD, el ancho de banda no se puede reasignar dinámicamente y se desperdicia el ancho de banda no utilizado.	TDD puede asignar más tiempo a la parte que requiere más ancho de banda, equilibrando así la carga
FDD-LTE cada subtrama de enlace descendente se puede asociar con una subtrama de enlace ascendente	TD-LTE el número de subtrama de enlace descendente y ascendente es diferente y tal asociación no es posible.
Requiere dos canales libres de interferencias	Solo requiere un canal libre de interferencias.

1.4 Arquitectura del sistema LTE

EPS (Evolved Packet System) o LTE, está compuesta por **E-UTRAN** (Evolved Universal Terrestrial Radio Access), la **EPC** (Evolved Packet Core) basados totalmente en el protocolo IP soportando los servicios de voz y datos por conmutación de paquetes y por los **UE** (User Equipment).

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS y otras redes de telecomunicaciones como Internet. La interfaz entre la E-UTRAN y la EPC, se denomina S1, y proporciona a la EPC los mecanismos necesarios para gestionar el acceso a los equipos de usuario (UE) a través de la E-UTRAN. La interfaz radio entre los equipos de usuario y E-UTRAN se denomina Uu.

La interfaz S1 se divide en dos interfaces S1-MME, que conecta la E-UTRAN a la entidad encargada de sustentar las funciones relacionadas al plano de control (MME), y S1-U la cual conecta la E-UTRAN a la entidad encargada de procesar el plano de usuario (S-GW). Esta división permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión para señalización y para el tráfico de usuarios.

La EPC también se conecta por medio de interfaces, sistemas comunes de redes 3GPP, como el **HSS** (Home Subscriber Server), el cual contiene toda la información de planes y servicios de los suscriptores, el Subsistema Multimedia IP (IMS), que pertenece a plataformas de servicios externas y donde se maneja **VoLTE** (Voice over LTE), y redes de acceso 3GPP y no 3GPP. [13]

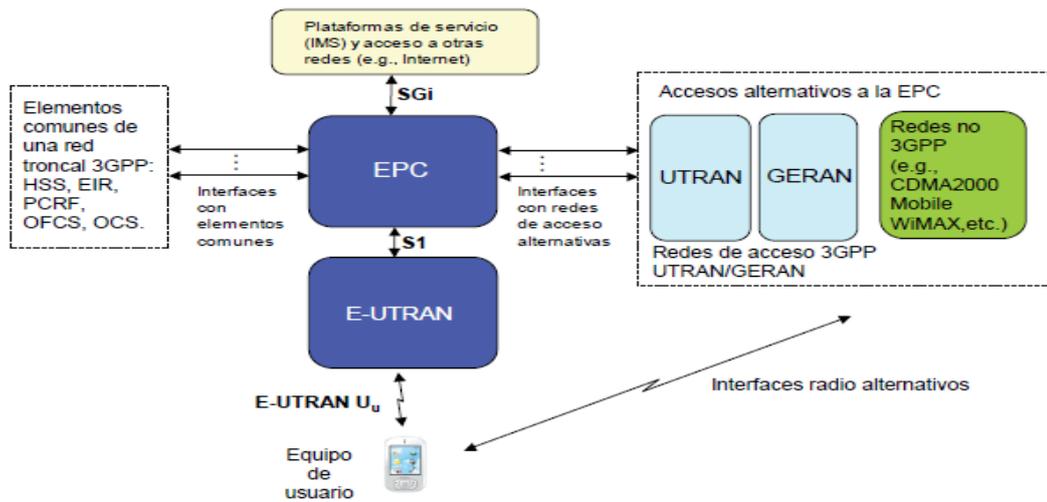


Fig. No 2: Arquitectura del sistema LTE [12]

1.4.1 E-UTRAN

El Evolved-UTRAN se compone únicamente de un tipo de elemento de red, la radio base, definida en LTE como Nodo B evolucionado (eNB), que es la estación base de E-UTRAN. A diferencia de la arquitectura de redes 2G & 3G, la capa de radio acceso E-UTRAN no contiene un elemento tipo Controlador de Red de Radio (RNC o BSC), sino que se conforma exclusivamente de una red de radiobases (eNB).

El nodo B canaliza las comunicaciones de transmisión y recepción hacia el terminal móvil UE. El eNB maneja la tecnología de radio LTE y adicionalmente gestiona las funcionalidades tradicionales de un controlador de red de radio. Sus funciones son: Administración de recursos de radio, Control de admisión, Scheduling de data de usuario, Señalización de control y cifrado de datos, Administración de bearers de radio.

Como se puede ver en la Figura 3, una red de acceso E-UTRAN está formada por eNB que proporcionan la conectividad entre los UE y la red troncal EPC. Un eNB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

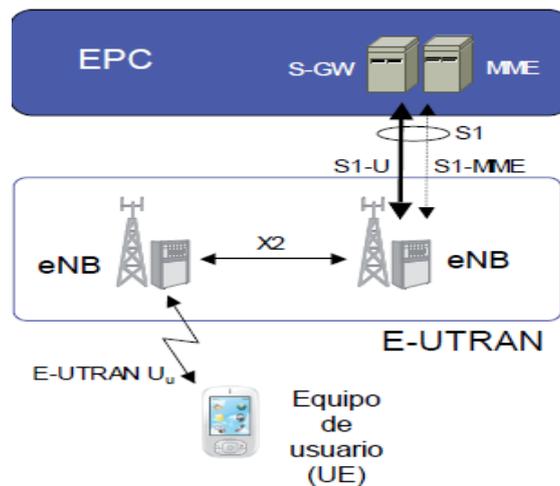


Fig. No 3: Red de acceso E-UTRAN [12]

Interface de radio Uu: Es la interface de aire, especificada por la 3GPP como interface LTE-Uu. Esta interface comunica al eNB con el terminal móvil o UE (User Equipment). A través de la interface aire se manejan los planos de control y de usuario. En el plano de control se maneja señalización por medio de mensajes de RRC (Radio Resource Control). En el plano de usuario, la interface facilita la comunicación directa del móvil UE hasta el EPC.

Interface S1: Esta interface comunica el E-UTRAN con el EPC, transportando información entre la parte de radio acceso y el core de la red. En el plano de control, el eNB se comunica hacia el MME a través de la interface S1-MME. Los mensajes de señalización se basan en S1 Application Protocol, para la gestión de movilidad. Este protocolo a la vez lleva transparentemente información no relacionada al E-UTRAN, entre el UE y el MME, llamada Non-Access Stratum, NAS. En el plano de usuario, el eNB se comunica con el S-GW por medio de la interface S1-U, a través del uso de un túnel con el GPRS Tunnelling Protocol, GTP-U. El GTP-U encapsula los paquetes IP y los transporta a través del túnel GTP llevando la data del usuario.

Interface X2: Es la interface entre dos eNB, utilizada durante un handover inter-eNB. El plano de control trabaja con el protocolo X2-AP, y transmite señalización de handover y de administración de recursos de radio, RRM. En el plano de usuario, se crea un túnel GTP a través de la X2, por medio del protocolo GTP-U, para comunicar los datos de usuario entre el eNB origen y el eNB destino

1.4.2 EPC

El **EPC** (Evolved Packet Core) se compone de tres entidades de red: MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (P-GW). Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

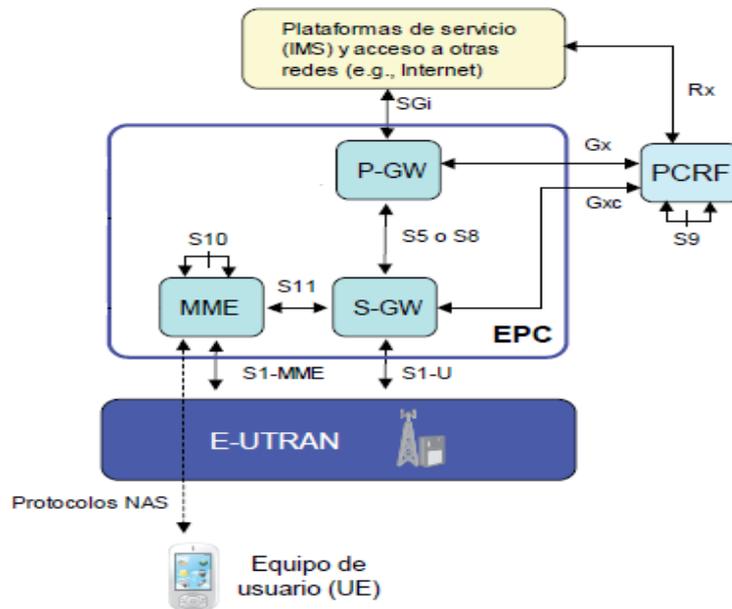


Fig. No 4: Arquitectura básica de la red troncal EPC [13]

El MME o entidad de administración de movilidad, se encarga de suministrar las funcionalidades del plano de control sobre la red del EPC. Sus funciones son: Autenticación de usuarios, Generación de identidades temporales y asignación a UEs, Manejo de señalización durante handovers, Administración de data bearers.

El S-GW y el P-GW proveen la conectividad del plano de usuario entre la red de radio acceso y redes de datos externas, como la Internet. Las funciones principales del S-GW son: Ruteo de paquetes de datos, Forwarding, Referencia de punto de anclaje durante movilidad. Las funciones principales del P-GW son: Asignación de direcciones IP a usuarios, Control de políticas, Soporte a plataformas de charging.

1.4.3 HSS (Home Subscriber Service)

Es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. La información almacenada es tanto lo relativo a la suscripción del usuario como lo necesario para la operatividad de la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (desde el MME de red troncal EPC y también desde servidores de control del subsistema IMS). La información almacenada en la HSS que podemos encontrar es: identificadores universales del usuario, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, etc. [14]

1.4.4 Capa física

Como se había mencionado anteriormente, la técnica de acceso empleada por LTE en el enlace descendente es la de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA), y para el caso del enlace ascendente, acceso múltiple por división de frecuencias de portadora única (SC-FDMA). Estas técnicas son la versión multiusuario de la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), la cual es una técnica de transmisión multi portadora que consiste en multiplexar un conjunto de símbolos sobre un grupo de subportadoras ortogonales entre sí, permitiendo la transmisión simultánea de los símbolos y su separación en la recepción.

1.4.5 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)

OFDM es una técnica de multicanalización basada en el uso de varias subportadoras para poder transmitir información de datos y control (símbolos) sobre cierto ancho de banda. Gracias a las propiedades de ortogonalidad de las subportadoras, es posible efectuar la transmisión simultánea de todos los símbolos manteniendo la capacidad de separación de los mismos en recepción. Cada subportadora es modulada individualmente mediante esquemas de modulación convencionales tales como PSK y QAM.

1.4.6 OFDMA (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS)

OFDMA está basada en la modulación multiportadora y en el acceso múltiple por división de frecuencia.

Las subportadoras en OFDMA pueden ser asignadas a diferentes usuarios indistintamente, ello va a depender del servicio que el usuario tenga contratado. Con la asignación de más subportadoras se puede mejorar la calidad del servicio que un usuario tenga asignado, también se puede mejorar la velocidad de transmisión.

Gracias a OFDMA es posible enviar varias transmisiones de datos simultáneas de diferentes usuarios en subportadoras diferentes, tal como lo muestra la siguiente figura.

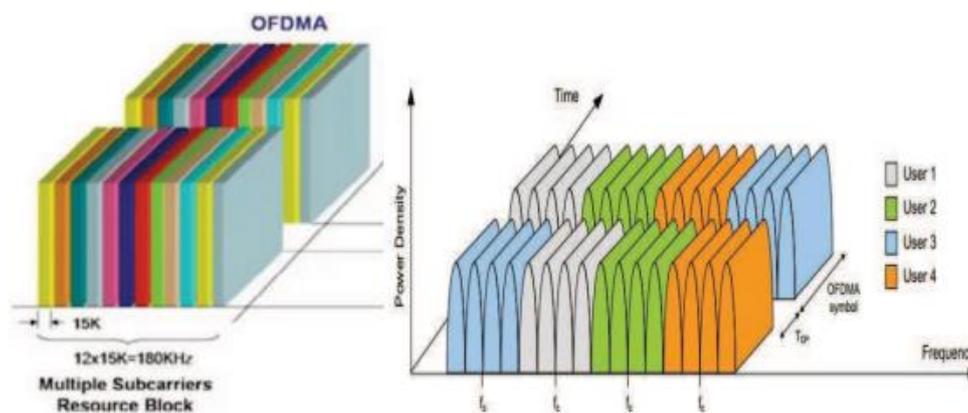


Fig. No 5: Asignación de recursos de diferentes usuarios en OFDMA [16]

Mediante OFDMA la asignación de subportadoras a los usuarios se lleva a cabo dinámicamente, ya que esto depende de las condiciones del canal radio, es decir, la asignación dependerá de la relación señal a ruido que presente el mismo. Esta asignación dinámica involucra un procedimiento denominado scheduling en el dominio de la frecuencia. Esto conllevará a una mayor velocidad de transmisión y consecuentemente una mejora en la eficiencia espectral.

1.4.7 SC-FDMA (SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS)

SC-FDMA es una técnica con altas velocidades de transmisión que ha sido adoptado por el 3GPP para los sistemas móviles 4G para el enlace ascendente. Este esquema de modulación se basa en la transmisión OFDM y se caracteriza porque cada uno de los símbolos es transformado al dominio de la frecuencia mediante la transformada discreta de Fourier DFT (Discrete Fourier Transform) antes de entrar en el bloque de transmisión OFDM.

Este esquema de modulación en el Uplink es muy ventajoso para reducir el PAPR e incrementar la eficiencia de los amplificadores de potencia. El bajo PAPR hace que SC-FDMA sea la tecnología que se adapte mejor al Uplink ya que se logra un uso muy eficiente de la energía almacenada en las baterías de los dispositivos móviles.

En SC-FDMA se transmite un símbolo de determinado usuario en un conjunto de subportadoras simultáneamente. Todas las subportadoras en el Uplink (enlace ascendente) son moduladas con el mismo símbolo; la siguiente figura muestra que el primer grupo de subportadoras de color verde son moduladas por el mismo dato, por lo tanto, se transmiten M símbolos secuencialmente cada uno ocupando todo el ancho de banda disponible y con una duración igual al tiempo de símbolo. [15]

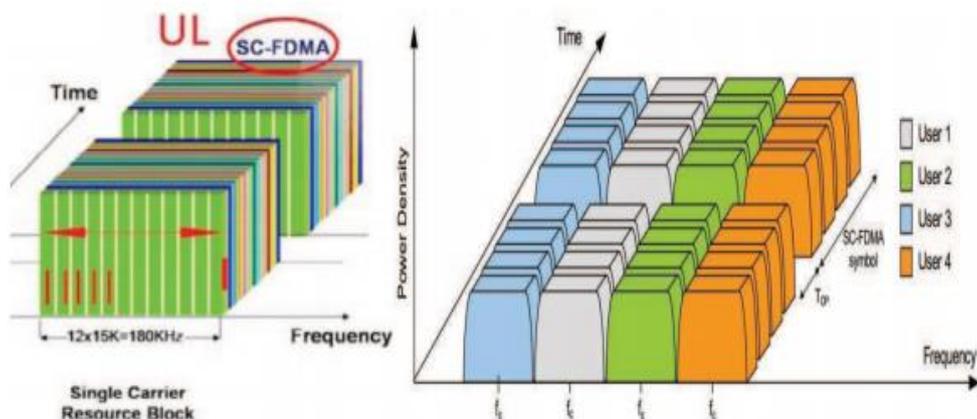


Fig. No 6: Asignación de recursos de diferentes usuarios en SC-FDMA [16]

1.4.8 MIMO

MIMO usa las palabras input y output para hacer referencia al canal radio (medio de transmisión, antenas, cableado y circuitos analógicos conectados a las antenas) y no a los transmisores y receptores. LTE utiliza la técnica SFBC (Space Frequency Block Coding) la cual se basa en el principio de Alamouti, en donde los datos se copian en distintas frecuencias en lugar de bloques de tiempo.

Para incrementar la eficiencia espectral, MIMO se basa en multiplexación espacial, en la cual varios flujos de datos de distintos usuarios son transmitidos simultáneamente. Los términos MIMO y multiplexación espacial generalmente se usan como sinónimos.

La terminología que se usa en LTE cuando se habla de MIMO es:

- Codeword (CW); datos de usuario: Representan los datos de un usuario antes de que sean modificados para su transmisión. Se pueden usar uno o dos CWs, (CW0 y CW1) dependiendo de las condiciones del canal.
- Layer stream: Es sinónimo de flujo. En multiplexación espacial al menos dos layers deben ser usadas. En LTE se permiten hasta cuatro layers. El número de layers es siempre menor o igual al número de antenas.
- Precoding: La pre codificación modifica los flujos de datos antes de la transmisión. Esto puede ser hecho por diversidad o multiplexación espacial.

En SU-MIMO, se envían dos CWs a un único UE. En tanto que en MU-MIMO cada CW es enviado solamente a un UE. En la Fig. 7, (a) muestra el funcionamiento de SU-MIMO y (b) el funcionamiento de MU-MIMO. En la opción (a) se puede apreciar el uso de dos codewords para un único usuario (UE). En la opción (b) se muestra un escenario de MU-MIMO DL en el que la estación base transmite simultáneamente a K UEs.

En LTE se definen siete modos de operación para MIMO en el enlace descendente, éstos son: Puerto de antena simple, Diversidad de transmisión, Multiplexación espacial de lazo abierto, Multiplexación espacial de lazo cerrado,

Multi-Usuario MIMO, Lazo cerrado de grado 1 cpre-codificación y Puerto de antena única.

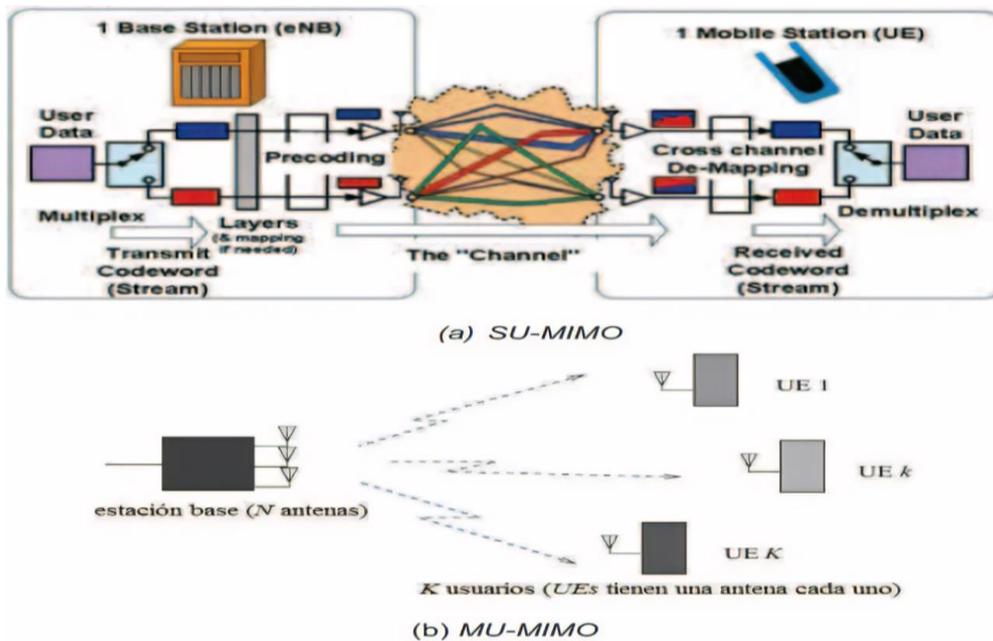


Fig. No 7: Esquemas MIMO en el DL [16]

En el Uplink únicamente MU-MIMO puede ser implementado, lo que implica la transmisión simultánea de codewords de diferentes UEs en el mismo instante y frecuencia en varias layers. [16]

1.5 Breve descripción del software ATOLL

Atoll es un software RNP (Radio Network Planning) desarrollado por la empresa Forsk y se presenta con un entorno de planificación de radio basado en ventanas, fácil de usar, que da soporte a operadores de telecomunicaciones inalámbricos durante todo el tiempo de la vida de la red. Desde el diseño inicial, hasta la fase de optimización y durante las distintas aplicaciones. Más que una herramienta de ingeniería, Atoll es un sistema de información técnico, abierto, escalable y flexible que puede integrarse fácilmente en otro sistema de telecomunicaciones, aumentando la productividad y disminuyendo los tiempos de desarrollo.

Atoll está formado por un módulo principal, al que se le pueden ir añadiendo Módulos de las diferentes tecnologías que poseen. En cada plantilla se proporciona una estructura adecuada a la tecnología en la que se basan. Las diferentes tecnologías que Atoll tiene disponible, dependiendo de la configuración instalada en el equipo, son:

GMS/GPRS/EPRS: Esta plantilla se utiliza para modelar y planificar tecnologías de segunda generación (2G), basadas en TDMA.

CDMA2000: Esta plantilla se utiliza para modelar tecnologías de tercera Generación (3G) basadas en CDMA2000 (evolución de CDMA).

IS-95 CDMAONE: Esta plantilla se utiliza para modelar sistemas de segunda generación (2G) basados en CDMA.

Microwave Radio Links: Permite modelar enlaces de radio, como parte de una red de telecomunicaciones para cualquier plantilla.

UMTS HSPA: UMTS; HSDPA y HSUPA (estos últimos conocidos como HSPA) son sistemas de tercera generación (3G) que se basan en la Tecnología WCDMA. Esta plantilla se utiliza para este tipo de sistemas, puesto que WCDMA y CDMA son incompatibles (a pesar de ser tecnologías similares).

WIMAX: Esta plantilla ha sido desarrollada en cooperación con los proveedores de equipos WIMAX. Actualmente Atoll soporta los estándares IEEE 802.16d y 802.16e.

Por tanto, mediante Atoll se posee una gran variedad de tecnologías disponibles para planificar. En concreto, mediante el módulo WIMAX que nos proporciona esta herramienta, podemos planificar y diseñar redes WIMAX para usuarios fijos, así como para usuarios móviles.

Las principales características de Atoll son las siguientes:

1- Propiedades avanzadas en el diseño de redes: Herramientas para el cálculo de propagaciones de altas prestaciones, soporta redes multicapas y jerárquicas, modelado de tráfico, planificación automática de frecuencia, códigos y optimización de red.

2- Arquitectura abierta y flexible: Soporta entornos multiusuarios gracias a una base de datos innovadora, que permite compartir datos, gestionar la integridad de dichos datos, y una sencilla integración con otros sistemas de Telecomunicaciones.

3- Cálculos distribuidos y paralelos: Atoll permite el reparto de cómputos de tareas entre distintas estaciones de trabajo y soporta cálculos en paralelos en servidores multiprocesador reduciendo significativamente los tiempos de simulación y de predicción, sacando el máximo posible de los hardware disponibles.

4- GIS de última generación: Atoll soporta datos geográficos multi-formatos, multi-resolución y la integración con herramientas GIS. Permite cargar complejas bases de datos con información geográfica y mostrarlas de manera interactiva con múltiples capas.

5- Mediante la implementación de herramientas de planificación podremos disponer de base de datos topográficos de gran resolución y acceder a ellos para obtener perfiles de terreno y datos que se utilizaran para realizar los cálculos de propagación. Nos permitirá emplear métodos de predicción de la propagación radioeléctrica más elaboradas y con cálculos muchos más laboriosos. Además nos facilitará la planificación al poder comprobar distintas posibilidades de configuración de red (variar emplazamientos, potencias, orientación de antenas, etc.), simplificando el proceso de optimización. [17]

CAPITULO II

2. EQUIPOS DE LA ESTACION BASE LTE-TDD JINOTEPE 1

La estación base LTE-TDD ubicada en el municipio de Jinotepe está conformada por los siguientes equipos principales, de telecomunicaciones: Gabinete Huawei APM30H configurado con un IBBS200D, Terminal de red universal ISCOM RAX711, Switch Brocade 6910, protector contra sobretensiones LEVITON 51120-1, Batería solar AGM 100AH 12V 12TD100F4, RRU Air4G WL24 2510MT, Antena sectorial Alpha AW3008.

A continuación, se determinarán las especificaciones de cada uno de ellos:

2.1 Gabinete APM30H y IBBS200D

El APM30H es un módulo de potencia avanzado con enfriador de intercambiador de calor, mientras que el IBBS200D es el sistema de respaldo de batería integrado con un enfriador directo. En la siguiente figura podremos observar como el APM30H es apilado en el IBBS200D el cual es un gabinete de baterías

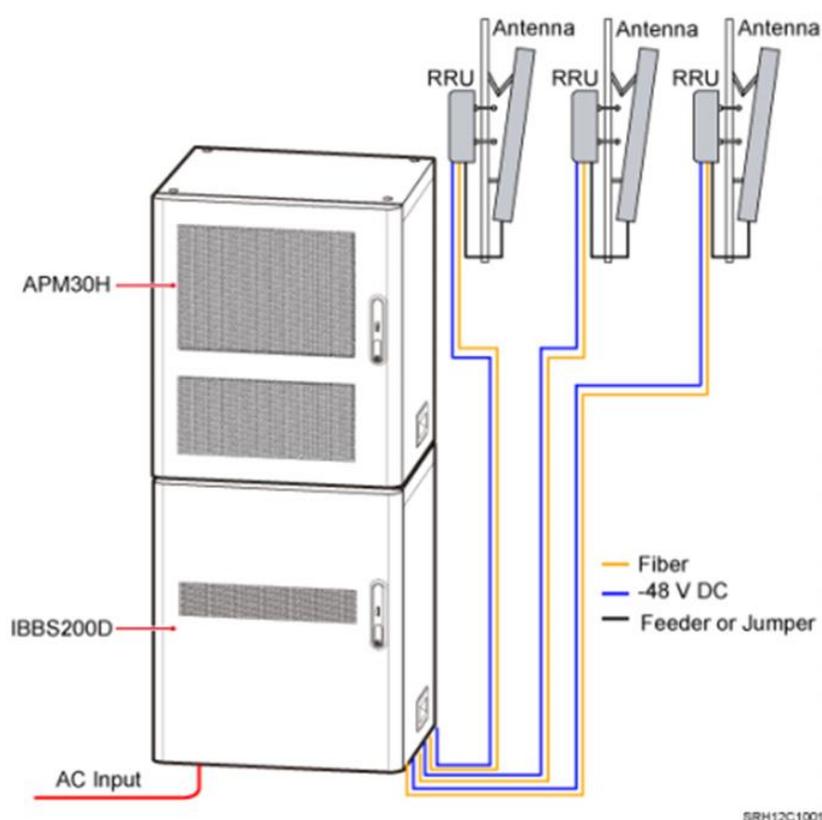


Fig. No. 8 Estación base configurada con un APM30H y un IBBS200D [18]

2.1.1 Un APM30H se configura de la siguiente manera:

El APM30H proporciona un espacio de 5U para equipos de transmisión y utiliza un sistema de energía integrado para alimentar con energía de -48 V DC a la estación base, el equipo de transmisión y los grupos de baterías de almacenamiento en el gabinete de baterías IBBS200D.

Cuando la fuente de alimentación principal no está disponible, los grupos de baterías de almacenamiento alimentan con energía de -48 V DC a la estación base y al equipo de transmisión. Cuando el IBBS200D se configura con baterías de 48 V 50 Ah, el IBBS200D puede proporcionar Energía de respaldo de CC de 48V 50 Ah o 48V 100Ah (al albergar dos paquetes de baterías). [18]

2.1.2 Interior del gabinete

El APM30H suministra alimentación de DC a la estación base macro distribuida o separada en escenarios al aire libre. Proporciona espacio tanto para la BBU como para el equipo de transmisión. Si no se configura un calentador de AC o una SOU en el APM30H y se instala una BBU, se proporciona un espacio de 5U para el equipo del cliente. La siguiente figura muestra el interior del APM30H.

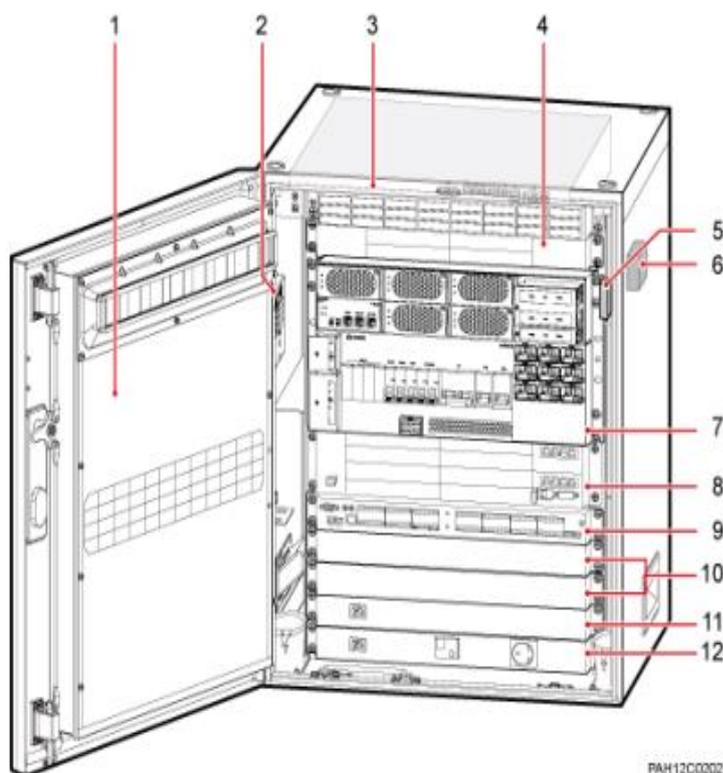


Fig. No. 9 Interior del APM30H [18]

2.1.3 La siguiente tabla describe los componentes del APM30H.

Tabla No. 3 Componentes del APM30H [18]

No.	Componente	Opcional u obligatorio	Cantidad máxima en un solo Gabinete	Observaciones
1	Montaje de Circulación de aire exterior	Obligatorio	1	El conjunto se instala en la puerta frontal, proporcionando circulación de aire interior y exterior y disipando el calor del gabinete.
2	Caja de conexiones	Obligatorio	1	La caja de conexiones convierte una entrada de AC en cuatro salidas de AC y se utiliza en el escenario en el que se configuran una unidad de salida de servicio (SOU) y varias películas de calefacción o calentadores.
3	Ventilador 02D	Obligatorio	1	El conjunto de ventiladores está configurado con ventiladores y unidad central de monitoreo tipo EA (CMUEA), disipando el calor del gabinete.
4	SLPU	Obligatorio	1	Para proporcionar protección a las señales troncales, es obligatorio instalar una unidad de protección contra rayos (SLPU) en el espacio de 1 U superior del gabinete. Está configurado con la unidad de protección contra rayos universal E1 / T1 (UJELP) o la

				<p>unidad de protección contra rayos universal FE (UFLP).</p> <p>Para proporcionar protección para las señales de monitoreo, una SLPU es opcional y se instala en el espacio de 1 U debajo de la BBU. Está configurado con dos placas de unidad de protección contra rayos de señal universal 2 (USLP2)</p>
5	Sensor de estado de la puerta	Obligatorio	1	El sensor de estado de la puerta monitorea el estado (abierto o cerrado) de la puerta del gabinete
6	ELU	Obligatorio	1	La unidad de etiqueta electrónica (ELU) informa el tipo de armario automáticamente para facilitar la resolución de problemas.
7	EPU05A	Obligatorio	1	La EPU convierte la potencia de entrada de AC en potencia de salida de DC y distribuye la potencia de DC a todos los componentes del gabinete. La EPU consta del subrack de EPU, PMU y PSU.
8	BBU3900	Opcional	1	<p>Se pueden configurar un máximo de dos BBU3900 en un APM30H.</p> <p>El BBU3900 proporciona puertos físicos para la comunicación entre el BBU3900 y el BSC o RNC, y</p>

				<p>permite la interacción entre la estación base y el BSC o RNC.</p> <p>El BBU3900 proporciona puertos CPRI para comunicación entre el BBU y los módulos RF.</p> <p>El BBU3900 procesa datos de enlace ascendente y descendente.</p>
9	EMUA	Opcional	2	La unidad de monitoreo ambiental tipo A (EMUA) monitorea el ambiente del equipo.
10	Módulo de llenado	Obligatorio	3	Un módulo de llenado es un componente plástico de 1 U de altura, que evita el reflujó de calor en el espacio vacío debajo del BBU
11	Calentador AC	Opcional	1	El calentador de AC garantiza que los componentes del gabinete funcionen dentro del rango de temperatura aceptable cuando la temperatura ambiente es baja. Se puede instalar en el espacio de 1 U en la parte inferior del armario. Si se configuran tanto un calentador de AC como un SOU, el calentador se instala en el espacio de 1 U sobre el SOU.
12	SOU	Opcional	1	La unidad de salida de servicio (SOU) transfiere la fuente de alimentación de AC al equipo

				del cliente. Se puede instalar en el espacio de 1 U en la parte inferior del armario.
--	--	--	--	---

2.1.4 Tabla No. 4 Especificaciones de ingeniería del modelo APM30H [18]

Artículo	Especificación	Observaciones
Peso	72 kilogramos	Peso total del equipo Incluyendo el marco del gabinete, aire interior del ventilador de circulación, ventilador de circulación del aire exterior, EPS4890B-4830A y Cables Excluyendo el BBU, el equipo de transmisión del cliente, PMU y PSU.
	91 kilogramos	Peso del gabinete en configuración completa Incluido el equipo, una PMU, tres PSU y una BBU Excluyendo el equipo de transmisión del cliente
Dimensiones de la cabina (Ancho x alto x profundidad)	600 mm x 700 mm x 480 mm	La base no está incluida.
Dimensiones de la base (ancho x alto x profundidad)	600 mm x 200 mm x 434 mm	---
Espacio para el Cliente equipo (ancho x alto x profundidad)	482,6 mm x 311,15 mm x 310 mm (19 pulgadas x 7 U x 310 mm o 290 mm)	La profundidad se refiere al espacio entre la columna y la parte trasera del gabinete. La profundidad del espacio de 3 U en la parte inferior del gabinete es de 290 mm
Espacio para cableado y espacio frente al gabinete	70 mm	---

<p>Instalación opción</p>	<p>El APM30H puede ser instalado en el suelo, en una pared o poste, o apilados BBS200T con el RFC</p>	<p>Cuando se instala en modo de pila, el APM30H debe colocarse en el RFC o el IBBS200D</p>
---------------------------	---	--

2.1.5 Estructura del IBBS200D

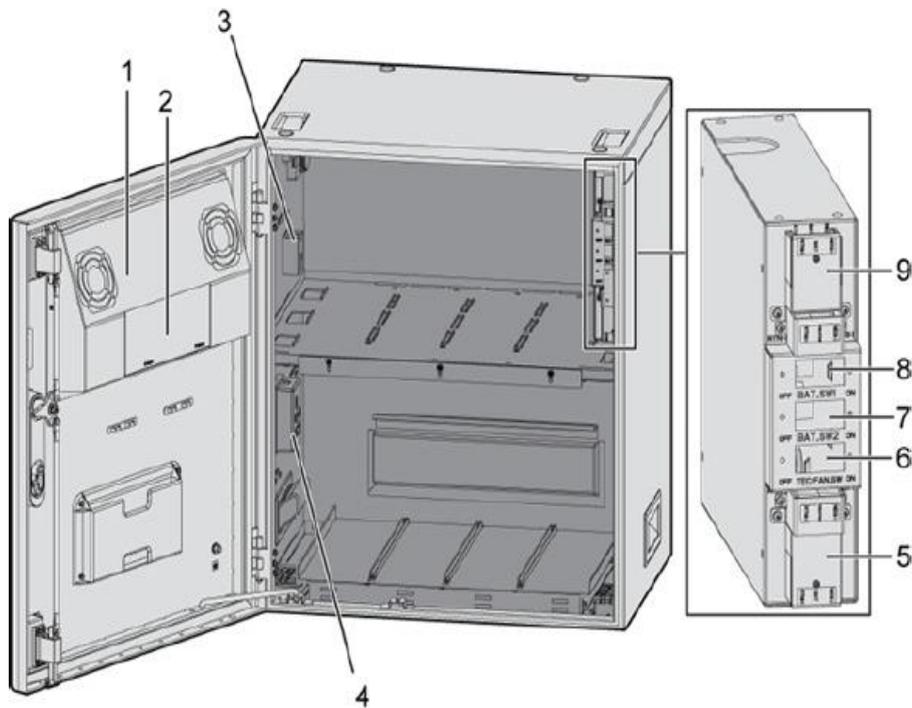


Fig. No. 10 Estructura interna del IBBS200D [18]

- (1) Unidad de ventilador,
- (2) CMUA,
- (3) ELU,
- (4) Potencia de entrada terminal de transferencia para la película calefactora,
- (5) Cableado de alimentación de entrada del ventilador/ baterías terminales,
- (6) MCBs of the TEC/FAN,
- (7) MCB de las baterías en la parte inferior,
- (8) MCB de las baterías en la parte superior,
- (9) Cableado de alimentación de entrada del ventilador/ baterías terminales. [18]

2.1.6 Tabla No. 5 Especificaciones de ingeniería del IBBS200D [18]

Artículo	Especificación	Observaciones
Peso del gabinete	50 kilogramos	Las baterías incorporadas no están Configuradas
Peso de la batería	Soporte de mantenimiento frontal de baterías 48 V 50Ah o 48 V 92 Ah. Una sola batería de 12 V 50 Ah: 21,5 kilogramos. Una sola batería de 12 V 92 Ah: 33,5 kilogramos	Se pueden conectar dos paquetes de baterías de 48 V 92 Ah en paralelo para proporcionar energía de respaldo de 48 V 184 Ah.
Dimensiones del armario (Ancho x alto x profundidad)	600 mm x 700 mm x 480 mm	---
Dimensiones base (ancho x alto x profundidad)	600 mm x 200 mm x 480 mm	---
Instalación opción	El IBBS200D puede instalarse en el suelo o apilarse con el RFC o APM30H.	Cuando se instala en modo de pila, el IBBS200D debe colocarse debajo del RFC o APM30H.

2.2 Conmutador de acceso Ethernet Brocade 6910

Los conmutadores de red son **dispositivos de comunicación que se utilizan para distribuir datos a través de redes cableadas**. Se suelen presentar en forma de carcasa con varios puertos Ethernet o de fibra óptica.

El conmutador de acceso Ethernet 6910 está Optimizado para el acceso Ethernet Pureplay dentro de áreas metropolitanas, admite aplicaciones para servicios Ethernet empresariales, backhaul móvil y ofertas de banda ancha de próxima generación.

El resultado es un conmutador de acceso de vanguardia que ofrece funciones avanzadas de Capa 2, calidad de servicio (QoS) integral y una sólida gestión y supervisión del rendimiento. Con estas capacidades, el conmutador Brocade 6910 puede admitir una amplia gama de servicios, incluidos servicios Ethernet de nivel de operador, Internet de alta velocidad, IPTV de alta calidad y servicios de voz sobre IP (VoIP).

El Switch Brocade 6910 también simplifica la gestión de servicios al proporcionar supervisión y gestión de servicios en el borde de la red. Estas funciones de gestión y supervisión del servicio permiten a los proveedores de servicios identificar problemas de conectividad y rendimiento, y aislar el problema desde una ubicación remota, evitando el costoso envío a la ubicación en el sitio.

La siguiente imagen muestra el exterior del Switch Brocade 6910



Fig. No.11 Switch Brocade 6910 [19]

2.2.1 Especificaciones técnicas

Servicios Ethernet de nivel de operador.

- Hasta 16.000 direcciones MAC.
- Hasta 4000 VLAN.
- Hasta 200 puntos finales de mantenimiento (MEP).
- Puentes de proveedor IEEE 802.1ad
- Gestión de fallos de conectividad IEEE 802.1ag híbrido.
- ITU Y.1731 Medición del rendimiento de un extremo a otro.
- Conjunto completo de protocolos de control de Capa 2: RSTP, MSTP e ITU G.8032
- Tiempo de convergencia inferior a 50 ms para el protocolo de anillo Ethernet (ERP) en nodos limitados.
- Certificación MEF 9 y MEF 14.
- E-LINE (EPL y EVPL), E-LAN y E-TREE.
- Protocolo de tunelización de STP BPDU.
- Agregación de enlaces con hasta ocho puertos por LAG Redundancia.
- Protocolo de control de agregación de enlaces (LACP).
- Espionaje IGMP.
- Registro de VLAN de multidifusión (MVR).

La gestión del tráfico

- Vigilantes de tráfico de entrada y salida de dos velocidades y tres colores.
- Ocho colas por puerto, cada una con un nivel de prioridad distinto.
- Múltiples disciplinas de servicio de colas: prioridad estricta, round robin ponderado.

Políticas y seguridad integrales basadas en hardware

- ACL basadas en hardware (tanto entrante como saliente).
- Layer 2 / Layer 3 / Layer 4 ACL (tanto entrante como saliente).
- ACL IPv6 (tanto entrante como saliente).

Capacidades de monitoreo avanzadas

- Muestreo sFlow basado en hardware que permite una supervisión extensa del tráfico de capa 2-7 para IPv4 y Carrier Servicios ethernet.
- Soporte sFlow.

Capacidades de interfaz

- Soporte de tramas gigantes de hasta 9216 bytes.

Redundancia

- Fuentes de alimentación de AC / DC redundantes duales.
- Diseño sin ventilador. [19]

2.3 Terminal de red universal ISCOM RAX711

El dispositivo de demarcación Ethernet (EDD) de 1000 Mbit/s ISCOM RAX711 desarrollado por Raisecom, está diseñado para el control remoto de acceso a la Red de Acceso Metropolitana (MAN), Pequeña y Mediana Empresa (PYME) y acceso a la red de backhaul móvil.

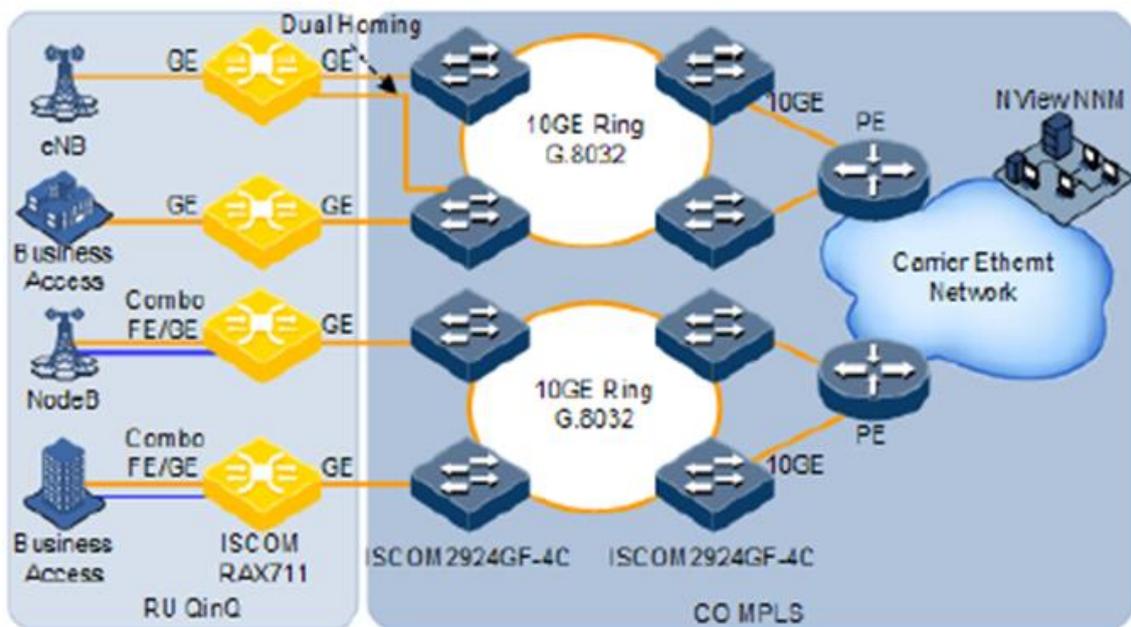


Fig. No.12 Acceso a pymes y redes de backhaul móviles [20]

	Información básica (nombre del dispositivo, modo de idioma, guardar / eliminar configuraciones y reiniciar el dispositivo) Programación de tareas
Ethernet	Dirección MAC (direcciones de 32 K) Marco gigante Longitud máxima de la trama (12 KBytes) VLAN (4094 VLAN) VLAN de usuario QinQ Asignación de VLAN 1: 1 Detección de bucle invertido Protección de interfaz Duplicación de puertos L2CP

2.4 Protector contra sobretensiones Leviton 51120-1

Este producto de protección contra sobretensiones de Leviton se puede usar de forma individual o como parte de una estrategia coordinada de aplicaciones, para proteger equipos electrónicos sensibles en ubicaciones industriales, comerciales y residenciales de la tensión y la degradación causadas por picos transitorios de voltaje.

El Leviton 51120-1 desvía las sobretensiones o picos de voltaje dañinos y evita que lleguen a los equipos electrónicos. Los picos de voltaje se desvían de los microcircuitos sensibles, con lo que protege contra fallos graves, tiempos de inactividad costosos y alteración de los datos.

En la siguiente figura podremos apreciar el exterior del protector contra sobretensiones Leviton 51120-1.



Fig. No.14 Leviton 51120-1 [21]

2.4.1 Especificaciones eléctricas

- Anulación del ruido de EMI/RFI: (de -a -28 dB, a 100 KHz-100 MHz)
- Clasificación de interruptor de circuitos recomendada 20 A, 120/240 V:
- Configuración de voltaje: 120/240 V monofásico
- Frecuencia: 50/60 Hz
- Tecnología para sobretensiones: Diseño MOV 40 mm

2.4.2 Especificaciones medioambientales

- Caja: NEMA 1
- Humedad relativa: 5% a 95% sin condensación
- Inflamabilidad: Clasificado V-2 por UL94
- Rango de temperatura de almacenamiento: de -20 °C a 85 °C
- Temperatura de funcionamiento: -10 °C a 60 °C

2.4.3 Especificaciones mecánicas

- Diagnósticos: LED que indican el estado de la protección
- Tipo de conexión: Cableado en paralelo mediante cables AWG 12

2.4.4 Información de rendimiento

- Capacidad de corriente de corto circuito: 10 kA
- Clasificación de corriente de descarga nominal: 3kA
- Corriente de sobretensión máxima, modo (por fase): 50kA (50kA) [21]

2.5 Batería solar AGM 100AH 12V 12TD100F4

En la siguiente imagen podemos observar el exterior de la batería solar utilizada en el gabinete de baterías IBBS200D de la estación base de Jinotepe.



Fig. No.15 Batería solar AGM 100AH 12V 12TD100F4 [22]

2.5.1 Características y Beneficios

- Alcance de la capacidad de TeleData: 100Ah 5 A durante 20 horas Contenedor y tapa ignífugos 100% nominal C10.
- control de capacidad para enviar Vida útil del flanco de diseño: 8 años a 20°C (68 ° F).
- Placa de separación entre celdas reforzadas.
- Placas ancladas a prueba de vibraciones y golpes.
- Baja auto descarga.
- Baja corriente de flotación y terminales de batería en plomo.
- Conexiones de los terminales frontales para una fácil y rápida instalación y sin mantenimiento [22].

2.6 RRU Air4G-W24-2510MT 2.56-2.63GHz

Unidad de Radio Remota (RRU) Air4G permite al operador beneficiarse de lo mejor de ambos mundos. Las VPN y otros servicios basados en VLAN se pueden operar a través de WiMAX, mientras que, al mismo tiempo, Air4G puede servir a dispositivos finales LTE móviles avanzados.

Opera en las bandas de 700 MHz, 1.4, 2.3-2.7 y 3.3-3.8 GHz. Tiene variantes con dos transmisores y cuatro receptores, así como variantes con cuatro

transmisores y cuatro receptores, también tiene variantes TDD y FDD. Tiene capacidades avanzadas como MIMO y programación avanzada de dominio de frecuencia. Estas capacidades permiten un mayor rendimiento y capacidad para un mejor uso del espectro.

Air4G emplea tecnología de radio definida por software (SDR), y receptor GPS, todo en un paquete para exteriores altamente integrado, es físicamente pequeño y ligero. Este equipo ha sido concebido para su implementación en configuración de 1 sector o en configuración de 3 sectores, que es la configuración óptima para implementaciones de Mobile WiMAX y LTE. [23]

La siguiente figura muestra una estación base donde una antena sectorial de 4 puertos está conectada aun Air4G el cual tiene configurado un GPS.



Fig. No.16 estación base [23]

2.6.1 La siguiente imagen muestra las conexiones de la parte inferior del Air4G.

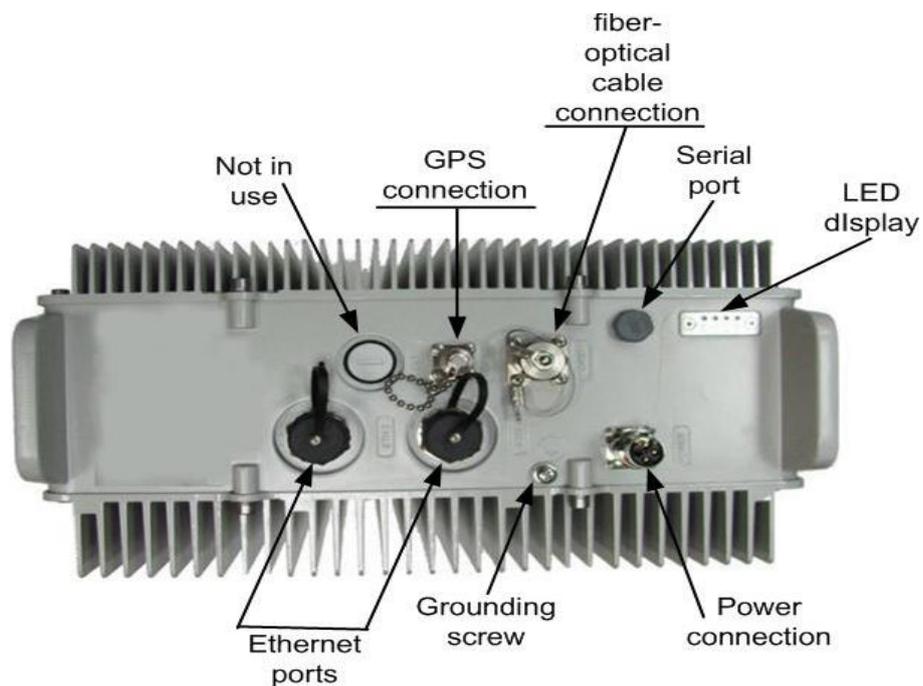


Fig. No.17 Unidad de estación base Air4G, terminación Ethernet [23]

2.6.1.1 En la siguiente imagen podemos observar los puertos RF del Air4G donde va conectada la antena sectorial.



Fig. No.18 Unidad de estación base Air4G, puertos RF [23]

2.6.2 Especificaciones técnicas del Air4G

2.6.2.1 Tabla No. 7 Consumo de energía [23]

Rango de Frecuencia	WiMAX	LTE
5.X	150W	184W
3.X	137W	171W
2.X	200w	236W
1.X	173W	207W
700/800 M	129W	163W

2.6.2.2 Tabla No. 8 Especificaciones físicas [23]

Parámetro	Valor	Comentarios
Dimensiones	Altura 410 mm (16.14 pulg) Ancho 350 mm (13.78 pulg) Profundidad 155 mm (6.10 pulg) Peso Aprox. 17 kg (37.47 Lbs.)	Las dimensiones físicas excluyen manijas y conectores
Configuraciones de antena	Antenas Quad Port y Dual Slant, Antenas sectoriales de 65 y 90 grados, Antenas con inclinación eléctrica manual (MET)	----
El consumo de energía	500 vatios máximo	----
Rango de temperatura de funcionamiento	- 40 ° C hasta + 55 ° C	----

2.6.2.3 Tabla No. 9 Especificaciones LTE [23]

Parámetro	Valor	Comentarios
Banda de frecuencia operativa	700 MHz 800 MHz 1.7 – 1.8 GHz 2.3 – 2.4 GHz 2.496 – 2.7 GHz 3.3 – 3.8 GHz	Incluyendo bandas operativas E-UTRA # 7, 17, 38, 40 y 41.
Dúplexacion	FDD y TDD	----
Canal de banda ancha	1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz	----
Potencia máxima de transportación	37 dBm	----
Soporte MCS	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	
Técnicas avanzadas de antenas	2 x 2 MIMO 4 x 4 MIMO, SU-MIMO, MU-MIMO	

2.7 Antena sectorial ALPHA WIRELESS AW3008-T0-F

Las antenas Alpha Wireless brindan a los operadores de redes inalámbricas, el más alto rendimiento y calidad. Estas antenas de panel se utilizan generalmente en aplicaciones sectorizadas, están diseñadas para patrones de radiación óptimos que mejoran el rendimiento general de la red. Tiene una matriz espaciada horizontalmente que proporciona un rendimiento mejorado de MIMO con un funcionamiento 4x4 completo o funciones de RF de diversidad de recepción.

Esta antena sectorial Trabaja en las bandas 3GPP 38, 40 & 41. Este modelo de antena tiene varias opciones de inclinación disponibles ya que trae incluido un Soporte de montaje con inclinación variable.



Fig. No.19 Antena sectorial AW3008-T0-F [24]

2.7.1 Tabla No. 10 Especificaciones eléctricas [24]

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Rango de frecuencias	MHz	2300-2700MHz
Polarización	Grados	+/- 45 ° Inclinado Lineal
Azimuth Beamwidth	Grados	90°
Azimuth Beam Squint	Grados	3°
Elevation Beamwidth	Grados	7°
Electrical Downtilt	Grados	T0°
Electrical Downtilt Deviation	Grados	1°
Impedancia	Ohms	50
Pérdida de retorno	dB	14
Potencia efectiva máxima por puerto	W	150

2.7.2 La siguiente imagen muestra los patrones de radiación de la antena AW3008-T0-F

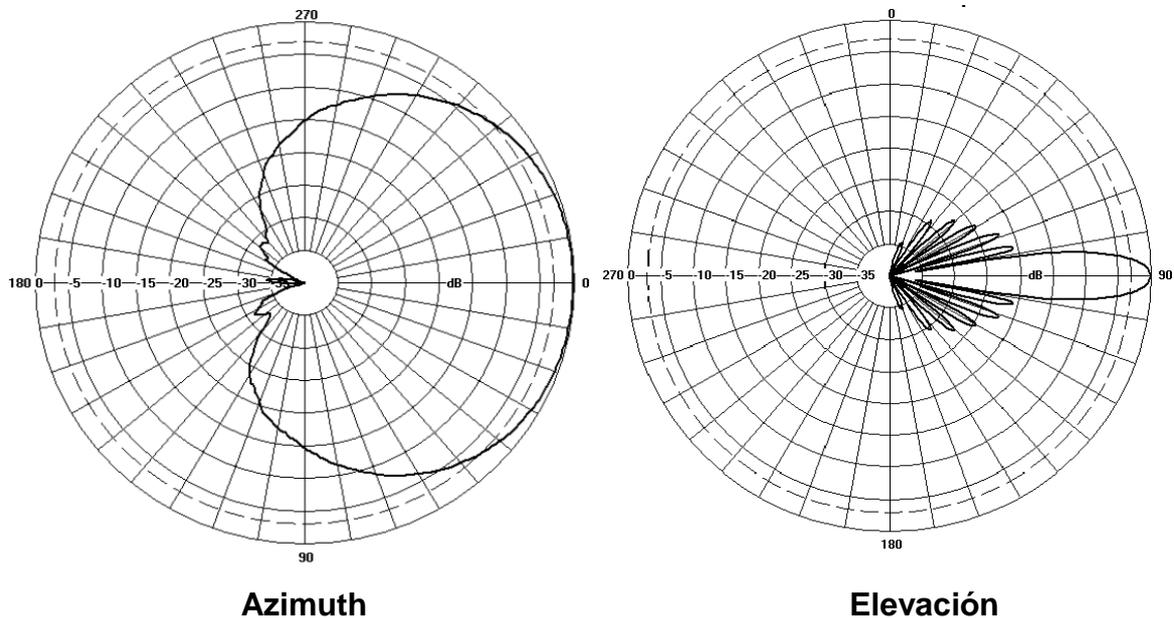


Fig. No. 20 patrones de radiación [24]

3. Especificaciones de los equipos LTE-TDD de los usuarios de Jinotepe

3.1 CPE Outdoor LTE-TDD Cat 6 monomodo LE con IAD interior

El CPE (Customer Premises Equipment), Outdoor LTE-TDD fabricado por la empresa Taiwanesa Gemtek, esa una antena para exteriores la cual recibe la señal de la estación base, puede facilitar a los operadores mejorar la eficiencia de transmisión para brindar servicios de banda ancha inalámbrica de largo alcance a hogares o incluso a líneas privadas comerciales. Admite varias frecuencias y velocidades LTE-TDD.

Es resistente a la intemperie, a los golpes, al agua, al polvo y a los rayos, todo esto combinado asegura la calidad de la comunicación inalámbrica en diferentes entornos al aire libre.



Fig. No. 21 CPE exterior LTE Cat 6 [25]

3.1.1 Especificaciones técnicas

3GPP Rel. 10/11

LTE UE DL Cat 6 / UL Cat 5

Banda TD-LTE 38/40/41/42/43

DL 2CA hasta 40MHz

RJ-45 Giga Ethernet x 1

2x2 MIMO (60 usuarios)

Consumo de energía 12VDC – 1.5A [25]

3.2 Routers

El ISP Carazo, utiliza distintos modelos de router en los domicilios de los usuarios para bríndales el servicio de internet, entre los modelos más usados está el router marca Tenda, modelo F3 y router marca Linksys, modelo E900.

3.2.1 Router Tenda F3

En la siguiente imagen podemos observar el exterior del router Tenda F3



Fig. No. 22 Tenda F3 [26]

3.2.2 Especificaciones técnicas

- Standard&Protocol: IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.3ab.
- Interfaces: 1 puerto WAN de 10/100 Mbps, 3 puertos LAN de 10/100 Mbps.
- Antenna: 3 antenas externas de 5dBi.
- Button: 1*RST.
- Power Entrada: CA 100-240V ~ 50 / 60Hz 0.6A, Salida: DC 9V0.6A.
- Dimension: 185*185*27mm.
- Wireless Standard: IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz.
- Data Rate: 2.4GHz: Up to 300Mbps.
- Frequency: Doble banda simultánea 2.4.
- Transmission Power: CE:<20dBm.
- Wireless Security: WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK.
- DHCP Server: Servidor DHCP, Lista de clientes DHCP, Reserva DHCP.
- Virtual Server: Reenvío de puertos, DMZ Host, UPnP. [26]

3.3.1 Router Linksys E900

En la siguiente imagen podemos observar el exterior del router Linksys E900



Fig. No. 23 router Linksys E900 [27]

3.3.2 Especificaciones técnicas

- Estándares de red: IEEE 802.11b, IEEE 802.11^a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.3, IEEE 802.3u.
- Bandas de radiofrecuencia: 2,4 GHz.
- Puertos: 1 10/100 WAN, 4 10/100 LAN.
- Luces LED: Electricidad, WLAN, Ethernet 1-4, Internet.
- Botones: 1 botón de Reset (Reinicio).
- Temperatura de funcionamiento: Entre 0 y 40°C.
- Temperatura de almacenamiento: De -20 a 70 °C.
- Humedad de funcionamiento: 10 a 80 % sin condensación.
- Tasa de enlace máxima: 300 Mbps.
- Compatibilidad con plataforma: Windows XP, Windows Vista 32/64, Windows 7 32/64, Windows 8 32/64, Windows 8, 1 32/64, Mac OS X 10.5.8 Leopard, Mac OS X 10.6.1 Snow Leopard, Mac OS X 10.7 Lion, Mac OS X 10.8 Mountain Lion, Mac OS X 10.9 Mavericks. [27]

4. Estado actual de los equipos de la estación base LTE-TDD Jinotepe 1

Para verificar el estado de los equipos se procedió a visitar la estación base LTE ubicada en la ciudad de Jinotepe, luego se tomaron fotografías a los equipos como pruebas físicas, las cuales veremos a continuación.

En las siguientes imágenes podremos apreciar la estación base del nodo LTE de Jinotepe.



Fig. No. 24 Exterior de los gabinetes Huawei APM30H y gabinete IBBS200D

En la imagen anterior podemos observar el exterior del gabinete Huawei APM30H, el cual tiene configurado debajo un gabinete de baterías IBBS200D. Estos dos gabinetes están ubicados sobre una estructura de concreto color amarillo, el cual es más alto que el piso para proteger a los equipos de posibles inundaciones causadas por las lluvias u otro factor externo.

Pudimos observar que no se le da mantenimiento de limpieza a las instalaciones, ya que el piso está cubierto con una capa muy gruesa de polvo y basura. Este polvo, podría filtrarse dentro del gabinete y dañar los equipos que se encuentran dentro.

En la siguiente imagen podemos observar el interior de los gabinetes APM30H y IBBS200D. Donde el APM30H tiene configurado un EPU05A que es el que se encarga de distribuir la potencia de DC a todos los componentes del gabinete, luego en el segundo módulo de llenado está instalado un Switch modelo Brocade 6910 el cual se encarga de gestionar y supervisar el tráfico de datos, tiene funciones avanzadas de capa 2 (enlace de datos), en el tercer módulo de llenado se encuentra el terminal de red universal ISCOM modelo RAX711 proporcionado por el ISP UFINET el cual tiene como función brindarle conexión de banda ancha a la estación base mediante fibra óptica.

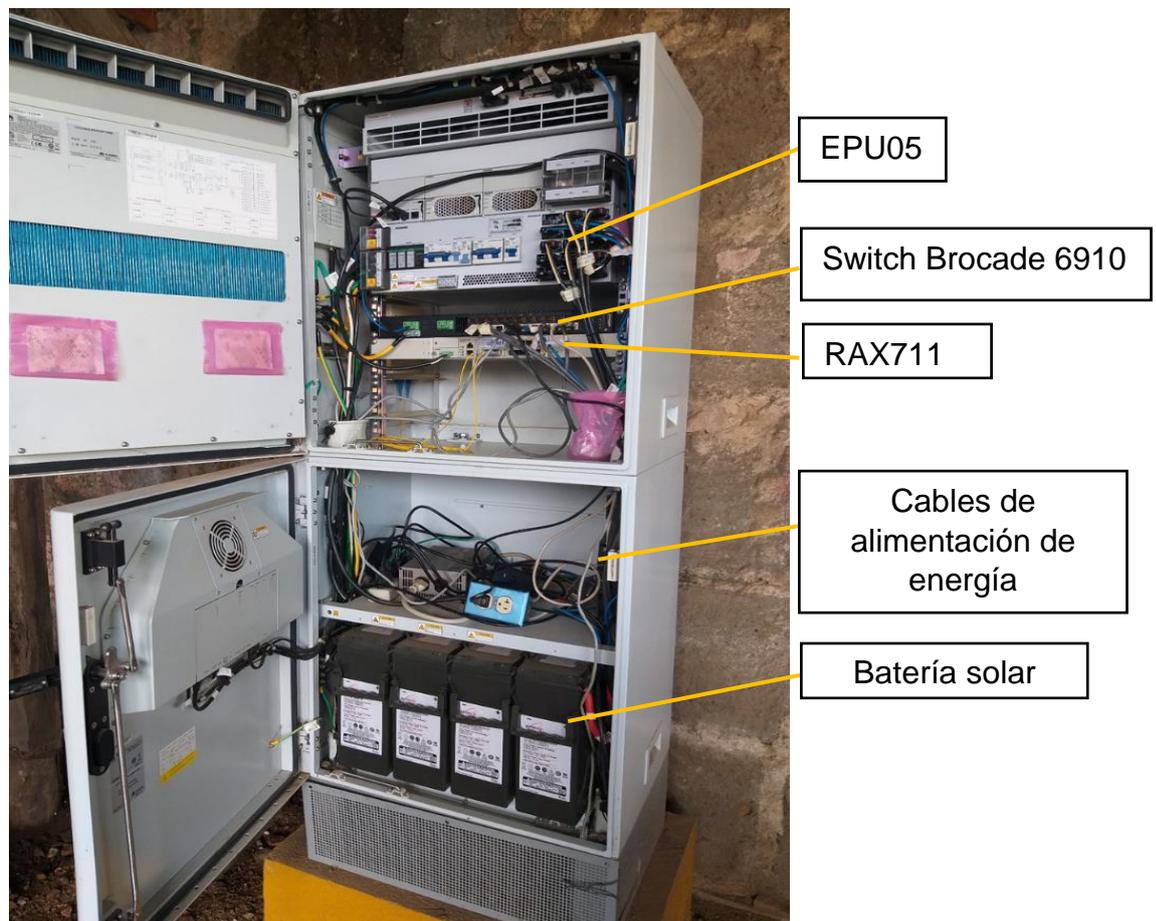


Fig. No. 25 Interior de los gabinetes Huawei APM30H y gabinete IBBS200D

El gabinete de baterías IBBS200D está configurado con un banco de cuatro baterías solares las cuales son usadas como respaldo, cuando no hay energía eléctrica. En el primer módulo de llenado del IBBS200D se observó que los cables de alimentación de energía están todos enredados y doblados esto puede romper los hilos internos del cable y ocasionar un cortocircuito eléctrico.

En la siguiente imagen se puede apreciar la Torre Arriostrada de la estación base LTE de Jinotepe la cual tiene una altura de 36 metros. El sector sur se encuentra a una altura de 35 metros y los sectores oeste y este están a una altura de 34 metros.



Fig. No. 26 Torre Jinotepe 1

En la visita a la estación base no se pudo tomar fotos de los sectores desde un ángulo más cercano ya que no contábamos con equipos de protección, para subir hasta la cima de la torre.

En la imagen número 27 se puede visualizar el exterior del CPE LTE para exteriores de marca Gemtek instalada en el techo del hogar de un usuario, es la encargada de recibir la señal que viene de la estación base de Jinotepe, esta antena trabaja con un Mini SIM Card de 25 x 15 mm LTE, el cual es colocado en la parte inferior de la antena.



Fig. No. 27 CPE Outdoor LTE-TDD cat 6

En la figura 28 se puede observar la parte inferior del CPE Outdoor LTE donde se encuentra la ranura donde se inserta la Mini SIM Card LTE, así como también 4 puertos Ethernet donde se conecta un cable de red RJ45, este cable de red se dirige hacia el interior del hogar del usuario, donde se conecta a un dispositivo llamado POE (Power Over Ethernet) el cual es, el que le suministra 12V de energía eléctrica a la antena Outdoor LTE por el mismo cable de red de conexión de datos. En la figura 29 se puede ver el exterior y las conexiones del dispositivo POE.



Fig. No. 28 Parte Exterior del CPE Outdoor LTE-TDD cat 6

En la siguiente imagen podemos observar las conexiones del dispositivo POE el cual tiene dos puertos Ethernet, los cuales tienen el nombre de LAN Y ODU en el puerto LAN se conecta el Router y en el ODU se conecta la antena Outdoor LTE, estas conexiones se hacen mediante un cable de red RJ45 y en la parte posterior se encuentra el puerto DC IN donde se conecta un cargador de alimentación eléctrica el cual tiene un voltaje de entrada de 100 - 240V y un voltaje de salida de 12V - 1.5A. En la imagen número 30 se podrá apreciar con más detalle los puertos de este dispositivo.

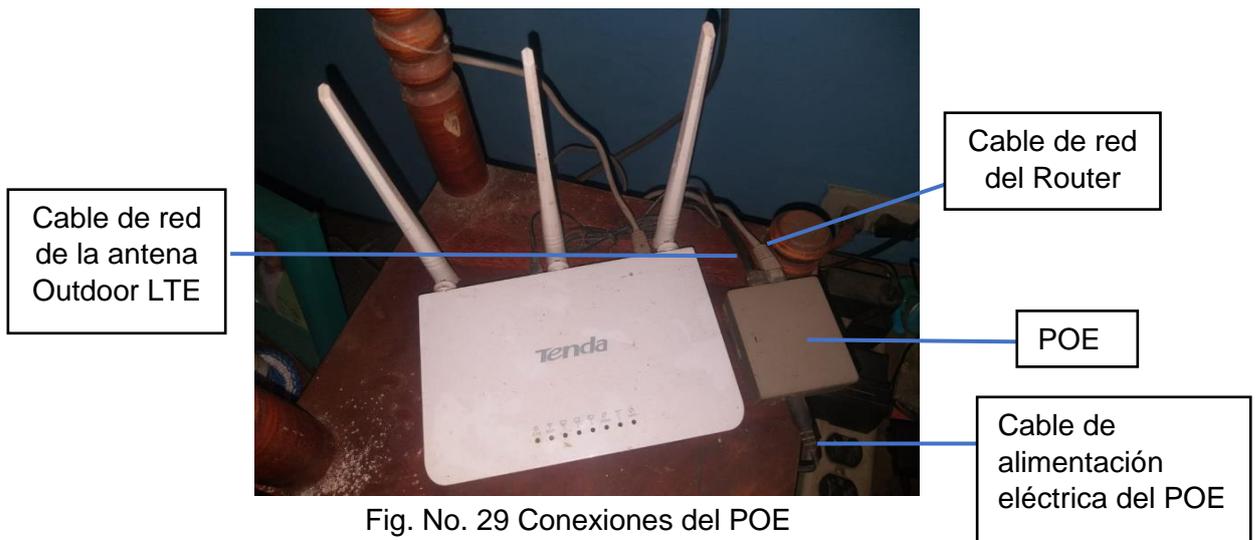


Fig. No. 29 Conexiones del POE



Fig. No. 30 Puertos del POE y Fuente de carga

El POE (Power Over Ethernet) incorpora una tecnología que permite que la alimentación eléctrica se suministre a un dispositivo de red, tales como (switch, punto de acceso, router, teléfono o cámara IP, etc) a través del mismo cable de red usado para la conexión de datos, el resultado es un menor costo, mantenimiento más fácil y una mayor flexibilidad de instalación que con el cableado tradicional. [28]

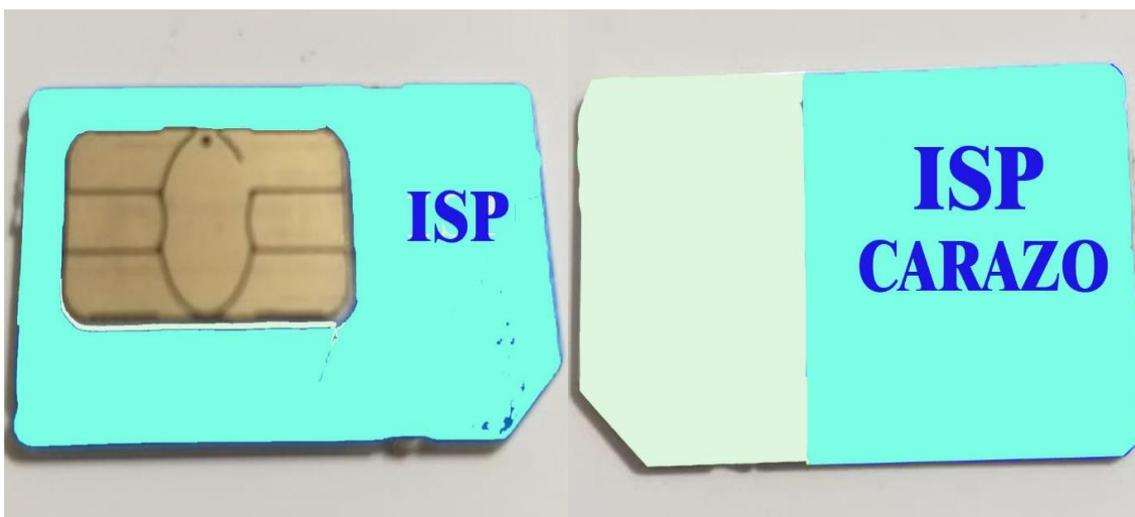


Fig. No. 31 SIM CARD LTE-TDD

En los equipos que se instalan donde los usuarios, se observó que la mayoría de las antenas para exteriores LTE- TDD están cubiertas de moho debido a que están expuestas a la intemperie, así como también en la parte inferior donde se encuentran los puertos Ethernet y el puerto de la SIM CARD se puede encontrar suciedad y telaraña esto afecta correcto funcionamiento y la vida útil del equipo.

En muchos casos los usuarios reportan que no tienen acceso a internet debido a que las antenas Outdoor LTE-TDD están dañadas, los SIM CARD instalados en las antenas están quemados o que los Router que se instalaron no funcionan. La causa de estos problemas se puede deber a que los equipos que se instalan donde los clientes son de vieja data.

En otros casos los usuarios reportan mala conexión de internet debido a que estos se encuentran muy alejados a la estación base, ocasionando fallas en la recepción de la señal, la cual llega a los clientes con una baja calidad. Todo esto se puede verificar en la siguiente imagen tomada del sistema central de información V5, donde se muestran algunas ordenes de averías hechos por los usuarios, así como también se podrá apreciar la solución que aplicaron los técnicos para resolver cada problema.

<p>Orden de Averia</p> <p>Cliente 326</p> <p>Tipo de Averia: Cliente no logra navegar</p> <p>Observaciones de Ticket: CLIENTE REPORTA INTERMITENCIA EN SU SERVICIO.</p> <p>Solucion de Ticket: Asignar frecuencia de celda, cliente atiende a las 10:00 am.</p> <p>Solucion de Averia: Asignado a Cuadrilla tecnica--Se visita domicilio del cliente y se realiza cambio de Simcard—se cambia Router Tenda F3 y se instala router Linksys E900, se realizan correcciones de configuracion de antena outdoor, se realizan pruebas de navegacion con resultados DL:5.55Mbps, UL:5.05-Señal Rsrp -90dbm, Cnr17db-Pci 8.</p> <p>Atendio _____</p> <p style="text-align: center;">Titular</p>
--

Fig. No. 32 Reporte de avería

A como se puede apreciar en la imagen anterior un usuario reporta un servicio de internet lento y en la visita hecha por los técnicos al hogar del usuario, se encontraron con que los equipos instalados estaban en mal estado.

En la siguiente imagen podemos observar otro reporte al igual que el anterior, donde el usuario reporta caída en el servicio de internet y lentitud, pero esta vez la causa es diferente, el usuario se encuentra en una zona muy baja y boscosa para solucionar la falla los técnicos tuvieron que instalar un mástil más grande en longitud, que el que se tenía anteriormente, se procedió a la instalación de la antena Outdoor LTE-TDD para obtener niveles de señal aceptable.

En otros casos cuando el usuario se encuentra muy alejado a la estación base y reporta intermitencia en el servicio igualmente se le instala un mástil más alto para mejorar los niveles de señal.

Orden de Averia

Cliente 148

Tipo de Averia: Cliente no logra navegar

Observaciones de Ticket: CLIENTE REPORTA LENTITUD Y CAIDA CONSTANTE EN SU SERVICIO .

Solucion de Ticket: Saturacion en el sector.

Solucion de Averia: Asignado a Cuadrilla tecnica--Se visita domicilio del cliente, domicilio se encuentra en una zona geografica baja y con abundante vegetacion, cliente instalo su propia estructura (Mastil 60Ft), se necesitan por lo menos 10ft mas de altura para lograr mejorar algunos parametros y mejorar la velocidad, se corrigen algunos parametros de configuracion y se optimiza la navegacion, se le recuerda a cliente utilizar estabilizador de voltaje, se hacen pruebas obteniendo los siguientes datos: DL:5.57Mbps, UL:0.45Mbps, Señal Rsrp -99dbm, Cnr23db-Pci 8.

Atendio _____

Titular

Fig. No. 33 Reporte de avería

5. Capacidad de ancho de banda y cantidad de clientes que administra actualmente la Estación Base LTE-TDD Jinotepe 1

La estación base LTE-TDD de Jinotepe, tiene una capacidad total de ancho de banda de 180 Mbps, la cual se distribuye en 3 sectores asignando 60 Mbps por cada sector. Este ancho de banda es administrado tomando en cuenta la capacidad de cada sector, para cierta cantidad de usuarios con determinados anchos de bandas contratados. Los usuarios indiferentemente del ancho de banda que tengan contratado tendrán una compartición del canal de 1 a 8.

Por ejemplo, Si el proveedor tiene los mismos 10Mbps y tiene 40 clientes con un plan de internet de 2 Mbps, se tendrá 5 canales de 2Mbps cada uno y cada canal será compartido entre 8 usuarios entonces los usuarios tendrán un nivel de compartición de 1 a 8, y significa que ocho usuarios están compartiendo el mismo canal de 2 Mbps y en el momento que los 8 usuarios se encuentren navegando al mismo tiempo, cada uno recibirá una velocidad de descarga 31.25 KBps.

A lo explicado anterior mente se le llama reusó de ancho de banda, que es por ejemplo cuando el proveedor le vende a un usuario un canal con una determinada capacidad de conectividad, pero este canal no es exclusivo de él, ya que anterior mente ese mismo canal ya se había vendido a otro grupo de usuarios. [29]

Este reusó de ancho de banda se puede llevar a cabo ya que no todos los usuarios están navegando o descargando datos al mismo tiempo, por eso es posible vender varias veces la capacidad de acceso a la red, lo cual alivia sustancialmente los costos pues no es lo mismo que un usuario pague por un canal de 2 Mbps de internet a que 8 usuarios paguen por esos mismos 2 Mbps.

La estación base de Jinotepe 1, cuenta con 360 clientes activos, los cuales están distribuidos en cada uno de los 3 sectores de cobertura,

En la siguiente captura tomada del sistema de información V5 se puede verificar algunos parámetros técnicos, % de ocupación por cada sector y el consumo de ancho de banda actual de la estación base LTE-TDD de Jinotepe.

NOMBRE DE NODO	TECNOLOGIA	PCI	AZIMUT	BANDWITH	%OCUPACION	CONSUMO-Mbps	OBSERVACIONES
JINOTEPE 1	LTE-TDD	6	90°	20MHz	75	45	AUN SE PUEDE VENDER EN CELDA
JINOTEPE 1	LTE-TDD	7	180°	20MHz	120	71.7	CELDA SATURADA
JINOTEPE 1	LTE-TDD	8	270°	20MHz	104	62.4	CELDA SATURADA

Tabla. No. 11 Estado y ocupación del nodo

En la imagen anterior se puede apreciar que el nodo LTE-TDD tiene 3 sectores ubicados en los puntos cardinales oeste, este y sur. El sector oeste el cual tiene como identificador de celda física: PCI 8, está configurado con un ° de 270°, el sector sur de PCI 7 tiene un azimut de 180° y el sector este de PCI 6 tiene un azimut de 90°. Los tres sectores del nodo trabajan con un canal de 20 MHz de ancho de banda.

El **PCI** (Physical cell id) son los identificadores que tienen los sectores del nodo LTE, el rango de PCI puede variar de 0 a 504. [30]

Mientras que el azimut es el ángulo horizontal de orientación de la antena en otras palabras es la dirección donde se debe fijar la antena en un plano horizontal. [31]

También podemos observar que en el sector este hay una ocupación del 75% estos usuarios tienen un consumo de 45 Mbps de los 60 Mbps que tiene el sector de capacidad de ancho de banda, el sector sur tiene una ocupación de 120% un consumo de 71.7 Mbps, este sector se encuentra saturado sobrepasando su máxima capacidad, y por ultimo tenemos el sector oeste con una ocupación del

104% estos usuarios tienen un consumo de 62.4 Mbps, este sector también se encuentra saturado sobrepasando su máxima capacidad.

Como se pudo constatar en el sector sur y oeste el consumo excede los 60 Mbps de la capacidad de ancho de banda. Esto puede influir en el ancho de banda final entregado a los usuarios, provocando lentitud en el servicio de internet.

6. Pruebas de conexión y cobertura desde la interface de los equipos LTE Outdoor de los clientes más alejados al nodo LTE-TDD Jinotepe1

Una vez que verificamos y analizamos el ancho de banda, la ocupación en el nodo, el estado y las especificaciones de los equipos del nodo LTE-TDD de Jinotepe 1, como el de los equipos que se les instalan a los usuarios, se procedió a la realización de pruebas de conexión y cobertura desde las interfaces de los equipos outdoor de los usuarios que tienen una ubicación alejada al nodo, para medir y evaluar los niveles de recepción de los equipos.

Para realizar las pruebas de conexión y cobertura se visitaron a cinco usuarios de entre los usuarios más lejanos al nodo, ya que se nos dificultó visitar a todos los usuarios debido a que no contábamos con la ubicación de cada uno de ellos ya que esa información es confidencial. La información de estos cinco usuarios fue extraída del sistema central de información V5 ya que se contaba con el acceso al sistema.

Para la elección de los usuarios se tomó en cuenta aquellos que han reportado en varias ocasiones problemas de conexión en el servicio de internet y que estuvieran alejados al nodo. Las ubicaciones de estos cinco usuarios están distribuidas entre los tres sectores del nodo LTE-TDD de Jinotepe.

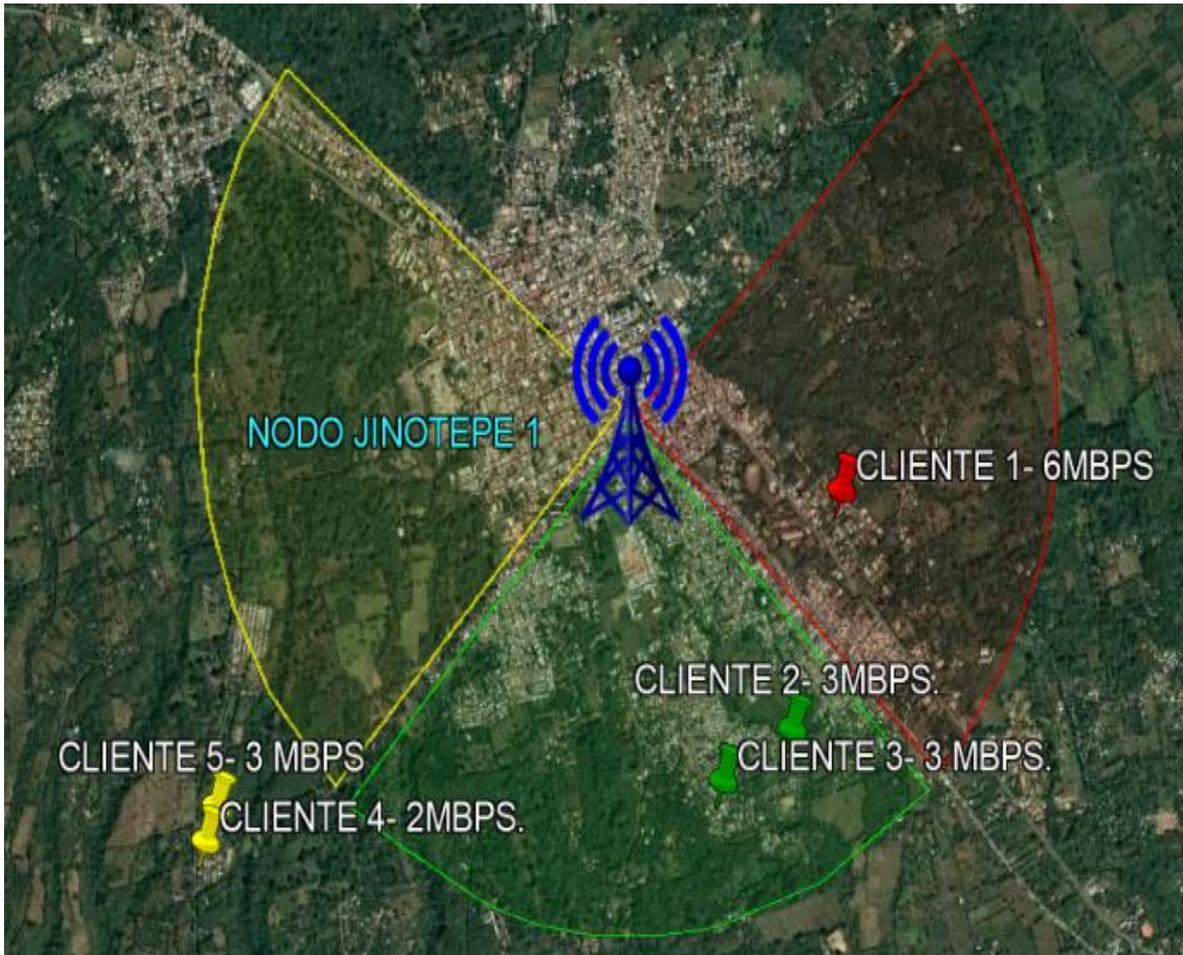


Fig. No. 34. Distribución de usuarios

La figura No. 34 Nos muestra una visualización panorámica tomada de Google Earth donde se puede visualizar como están distribuidos los usuarios a los cuales se les hizo visita técnica, así como también se puede observar el nodo y sus tres sectores, el sector este está representado por el color rojo, el sector sur por el color verde y el sector oeste está representado por el color amarillo. A como vimos anteriormente cada sector tiene una diferencia de azimut entre ellos de noventa grados.

En la siguiente imagen se muestra la información de cada uno de los sectores que se encuentran conectados al Switch brocade 6910, el color verde indica el estado activo de las celdas, estos datos se visualizan en un apartado del servidor del ISP.

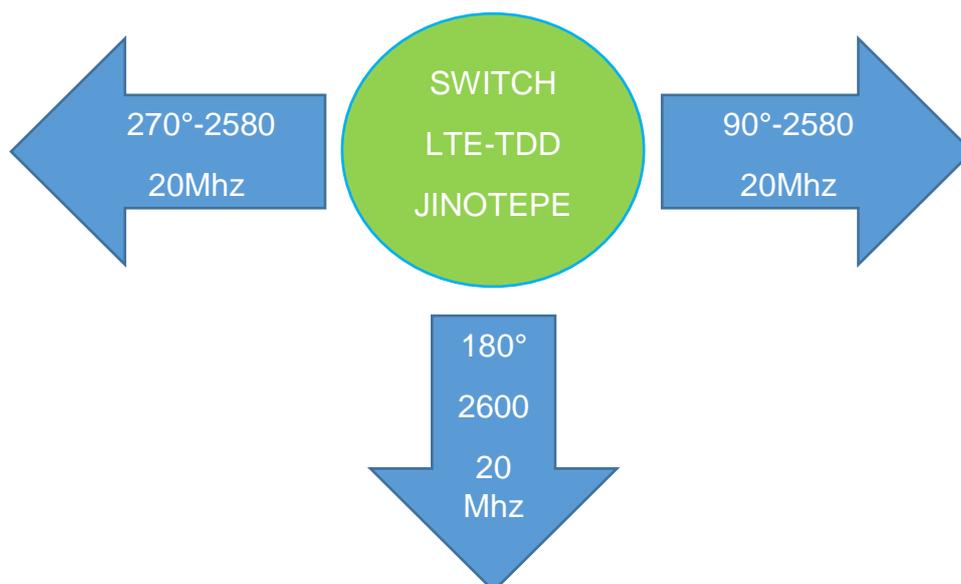


Fig. No. 35. Distribución de Celdas

En la siguiente tabla se detalla con exactitud la ubicación del nodo LTE-TDD de Jinotepe, así como también la ubicación de los usuarios. También se detalla la distancia que hay entre cada usuario con respecto al nodo.

6.1 Tabla No. 12 Ubicación y distancia de los clientes

Sector	Nombre del eNodoB	Ubicación
ESTE-PCI 6	Jinotepe 1	11°50'46.80"N 86°11'45.65"O
SUR-PCI 7	Jinotepe 1	11°50'45.97"N 86°11'45.94"O
OESTE-PCI 8	Jinotepe 1	11°50'46.49"N 86°11'46.62"O
Clientes	Ubicación	Distancia entre el UE y el eNodoB
Cliente 1	11.843027° -86.187384°	1,04 km
Cliente 2	11.834923° -86.189473°	1,48 km
Cliente 3	11.833176° -86.192434°	1,53 km
Cliente 4	11.831116° -86.214586°	2,63 km
Cliente 5	11.832309° -86.214119°	2,51 km

Los equipos que la empresa ISP instala en el hogar de los usuarios para brindarles el servicio de internet, a como se mencionó anterior mente son: un CPE LTE-TDD para exteriores de marca Gemtek, el dispositivo POE es el que alimenta con energía eléctrica a la antena outdoor LTE-TDD por el mismo cable de red usado para la transmisión de datos y por último tenemos el Router el cual va conectado al POE.

En la siguiente imagen se aprecia una representación de cómo sería la conexión de estos equipos en los hogares de los usuarios.

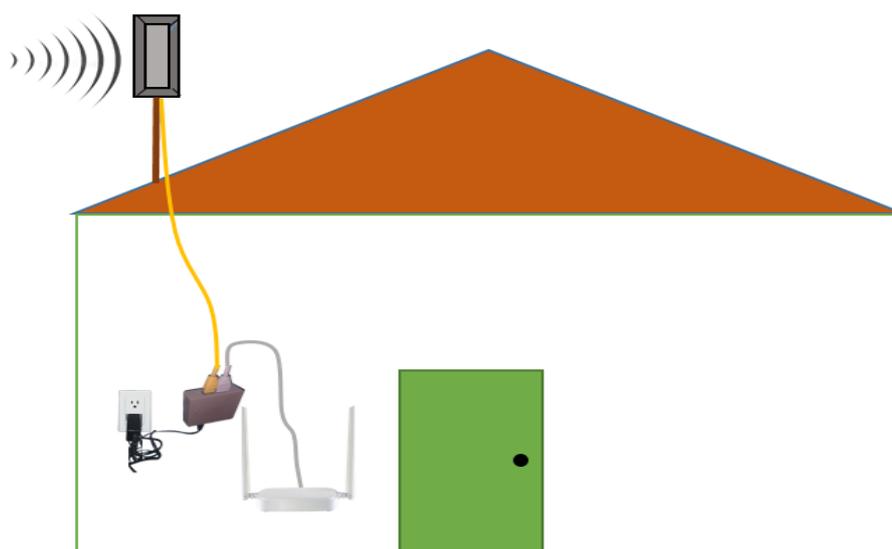


Fig. No. 36. Conexión de los equipos terminales

7. Método y datos reales de pruebas realizadas donde clientes

La metodología y el proceso que se usó para las pruebas de conexión y cobertura de los equipos LTE Outdoor, en las visitas técnicas realizadas a los cinco usuarios es el mismo.

Se utilizó una laptop marca DELL Inspiron14, (el sistema operativo de este ordenador es un WINDOWS 10 de 64 bits, tiene un procesador CORE i5 de 2.30GHZ y una memoria RAM de 8.00 GB), su conexión es por medio de un cable de red (Patchcord) para hacer la conexión física entre el ordenador y el Router del usuario mediante los puertos Ethernet, con el objetivo de ingresar a

la interfaz del CPE LTE Outdoor instalado en el sitio, para evaluar y medir los niveles de recepción de la señal que está recibiendo el equipo.



Fig. No. 37 Conexión entre el ordenador y el Router mediante cable de red

Una vez realizada la conexión física del ordenador con el Router, se procedió a abrir el navegador web Google Chrome instalado en el pc, seguidamente se digito en la barra de direcciones de Google, la dirección IP que ya viene establecida por defecto en el CPE Gemtek LTE-TDD Outdoor, la cual es 192.168.15.1 para poder entrar a la interfaz del equipo.

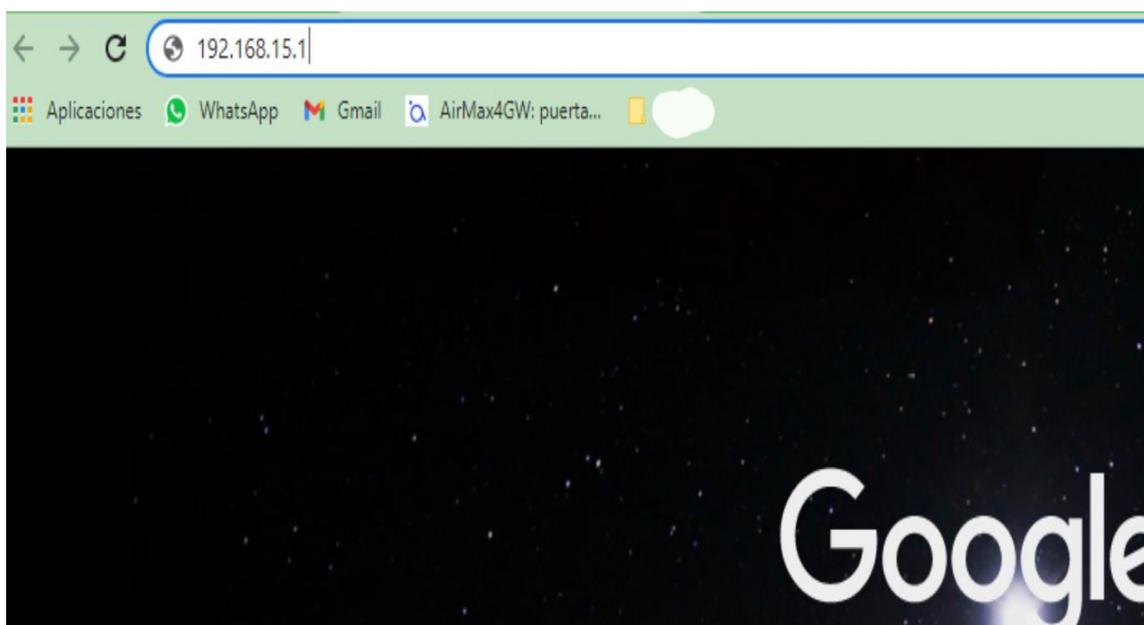


Fig. No. 38 Navegador web Google Chrome

Luego de digitar la IP por defecto del equipo Outdoor en la barra de direcciones y haber presionado la tecla ENTER del pc, el navegador nos redirigió hacia el LOGIN de la interfaz del equipo, una vez estando ahí se procedió a digitar administrador como usuario y contraseña.



Fig. No. 39 Ingreso de la interfaz del CPE LTE-TDD Outdoor

Seguidamente se accedió al menú de la interface del CPE LTE-TDD Outdoor donde seleccionamos la primera opción llamada LTE, luego de haber seleccionado la primera opción, la interfaz nos mostró una nueva ventana donde pudimos visualizar una serie parámetros de intensidad y calidad de la señal que estaba recibiendo el equipo. Estos parámetros de señal se podrán visualizar con más detalle en la figura 42.

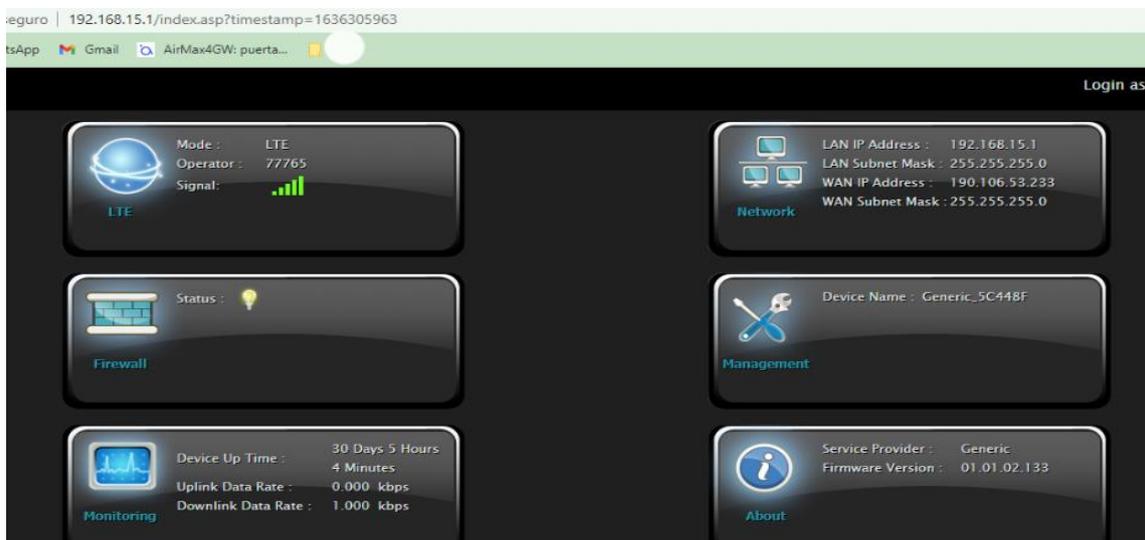


Fig. No. 40 Menú de la interfaz del CPE LTE-TDD Outdoor cliente 1

Los resultados obtenidos en las pruebas de conexión y cobertura que se realizaron desde las interfaces de los equipos LTE Outdoor de los cinco usuarios a los que se visitaron, se mostraran a continuación en orden por cada ID de la persona que tiene contratado el servicio de internet.

Ciente 1

En la visita realizada al Cliente 1 el cual está ubicado a una distancia del eNodoB de 1,04 Km, tal como se aprecia en la figura No. 41.

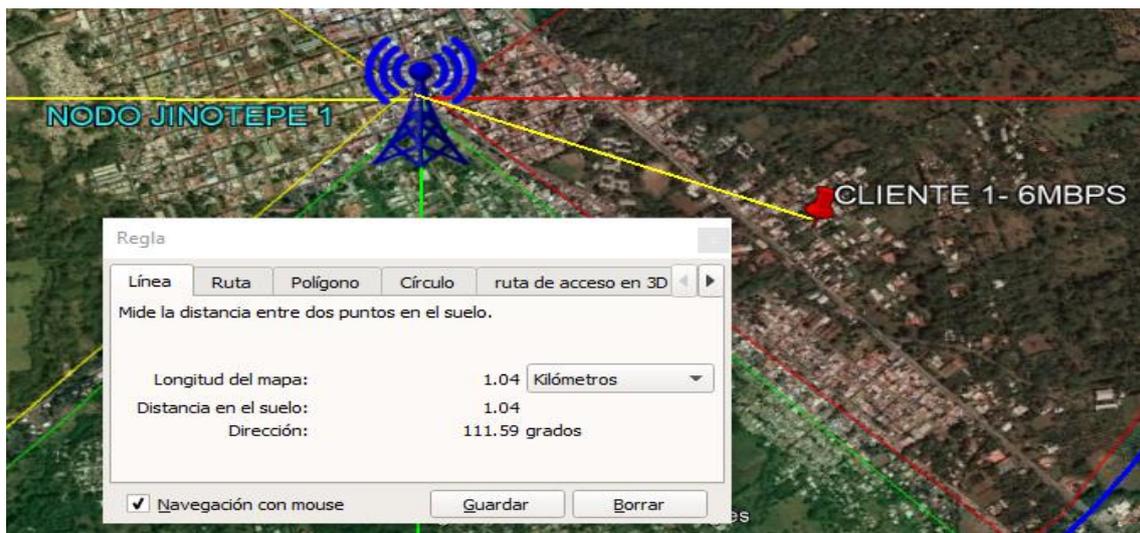


Fig. No. 41. Distancia del cliente 1 al nodo J1.

Seguidamente se realizaron las pruebas de conectividad y se obtuvieron los siguientes resultados de las mediciones realizadas desde la interface del CPE LTE-TDD Outdoor, los cuales se muestran en la siguiente imagen.

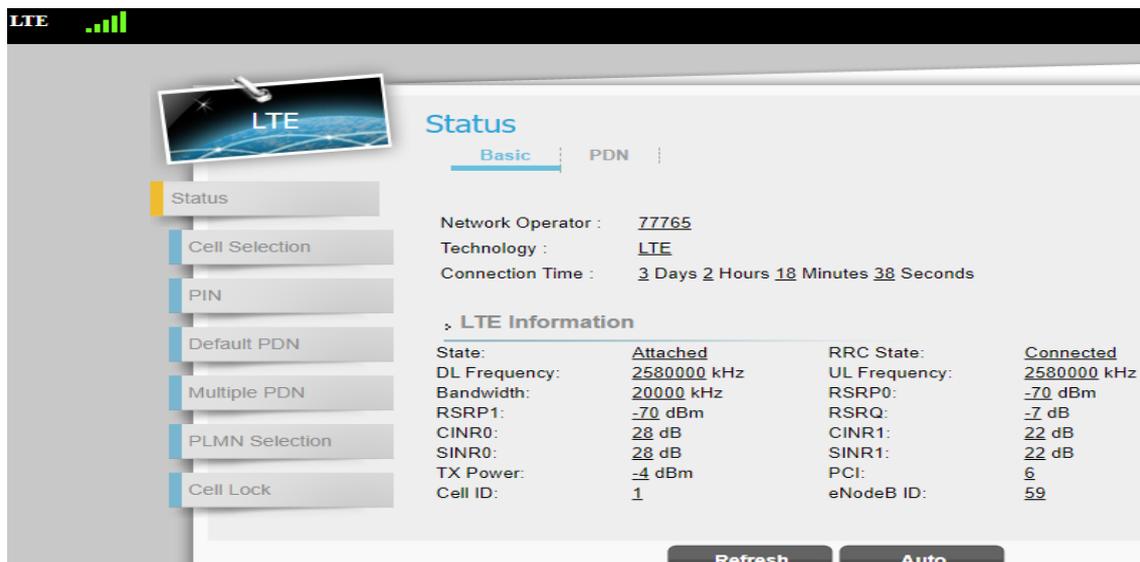


Fig. No. 42. Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE-TDD del CPE Outdoor cliente 1

En la figura 42 es una captura tomada de la interfaz del CPE LTE-TDD Outdoor, en ella se puede ver parámetros importantes como el **RSRP** (Reference Signal Received Power), **RSRQ** (Reference Signal Received Quality), **SINR** (Signal to Interference & Noise Ratio), y **CINR** (Carrier to Interference plus Noise Ratio), que tienen que ver con la calidad y niveles de señal que está recibiendo el equipo, la interfaz del equipo, también muestra parámetros que nos dan información de la banda de frecuencia y ancho de banda de la portadora con la que está trabajando el sector, la potencia de transmisión del equipo (**TX Power**), el identificador de la celda (**Cell ID**) y el identificador del nodo (**eNodeB ID**).

Estos dos últimos parámetros el Cell ID y el eNodeB ID se usan para identificar la celda y el nodo a nivel local dentro de la red del operador. [32]

Al determinar la intensidad y la calidad de la señal en las redes modernas de comunicación por radio, hay una serie de parámetros que se miden y se calculan entre los más importantes de estos parámetros están el **RSRP**, **RSRQ**, **SINR** y **CINR**. Estas mediciones y cálculos se realizan mediante conjuntos de chips especiales presentes en cualquier UE que utilice estas señales. Algunos de estos parámetros pueden parecer a primera vista muy similares, pero cada uno de ellos tiene un propósito diferente y se utilizan en diferentes escenarios.

El RSRP es la potencia de las señales de referencia LTE que están distribuidas en todo el ancho de banda y banda estrecha. El RSRP hace un buen trabajo al medir la potencia de la señal de un sector específico mientras excluye la interferencia y el ruido de otros sectores. Los niveles de RSRP para la señal utilizable suelen oscilar entre un rango de -45dbm (buena) a -140dbm (mala). [33]

El CINR, también llamado SINR, es la relación entre el nivel de la señal y el nivel de ruido (o simplemente la relación entre la señal y el ruido). Un valor CINR positivo significa que hay una señal más efectiva que el ruido.

El valor mínimo aceptable para un funcionamiento estable de la red es un CINR = 10 dB. Un valor CINR negativo significará más ruido en la señal recibida que en la señal efectiva. Cuanto mayor sea el valor CINR, mejor será la calidad de la señal.

El RSRQ, proporciona información adicional cuando el RSRP no es suficiente para tomar una decisión confiable de re-selección de celda o traspaso. Tiene un rango de -40 dB (mala) a -3 dB (buena), Este es el factor más importante al intentar determinar si los dispositivos funcionarán o no. La razón es que incluso si hay potencia de señal, el ruido puede anular los beneficios y hacerla inútil. [34]

La siguiente tabla muestra los diferentes valores de estos parámetros, que corresponden a muy mala, mala, buena y muy buena calidad de señal LTE:

7.1 Tabla No. 13 Valores de calidad de los parámetros de señal LTE-TDD

[34]

Calidad de la señal:	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR / CINR (dB)
Muy bien	> = -80	> = -10	> = 20
Bien	de -80 a -90	de -10 a -15	de 13 a 20
Malo	de -90 a -100	de -15 a -20	de 0 a 13
Muy mal	<= -100	<-20	<= 0

En los resultados obtenidos de las mediciones que se realizaron durante la visita técnica al cliente 1, se encontró que el CPE LTE Outdoor está conectado al sector este del nodo Jinotepe 1, el cual tiene como identificador PCI 6. Este sector está trabajando en la banda de frecuencia de 2,580 MHz, con un ancho de banda de 20 MHz. El canal de propagación es el mismo para ambas direcciones, lo que permite usar los mismos parámetros en Tx y Rx, ya que la

tecnología LTE TDD permite utilizar la misma banda de frecuencia para ambos enlaces. [35]

La siguiente tabla muestra los valores de calidad de la señal que estaba recibiendo el CPE LTE Outdoor, para determinar estos valores se tomó en cuenta los valores de la tabla N°12.

7.2 Tabla No. 14 Valores Reales de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE-TDD Outdoor Cliente 1.

Parámetros	Niveles de señal	Calidad de señal
RSRP1	-70 dBm	Muy bien
CINR0	28 dB	Muy bien
SINR0	28 dB	Muy bien
RSRP0	-70 dBm	Muy bien
RSRQ	-7 dB	Muy bien
CINR1:	22 dB	Muy bien
SINR1	22 dB	Muy bien

Entre los parámetros de la tabla anterior se pudo determinar que los niveles del parámetro que mide la potencia de la señal (RSRP), tiene el valor de muy bien, esto quiere decir que el equipo estaba recibiendo una alta potencia de señal. En los niveles de los parámetros que mide la calidad de la señal (CINR, SINR, RSRQ), tienen el valor de muy bien esto quiere decir, que había más señal efectiva que ruido. Los parámetros RSRP, CINR, SINR se repiten en la interfaz del CPE LTE-TDD Outdoor, esto es debido a que el equipo tiene dos antenas, cada antena tiene su propio flujo para recibir y enviar datos.

Cliente 2

En la visita realizada al cliente 2 el cual está ubicado a una distancia del eNodoB de 1,48 Km, se obtuvieron los siguientes resultados de las mediciones realizadas desde la interface del CPE LTE-TDD Outdoor, los cuales se muestran en la siguiente imagen.

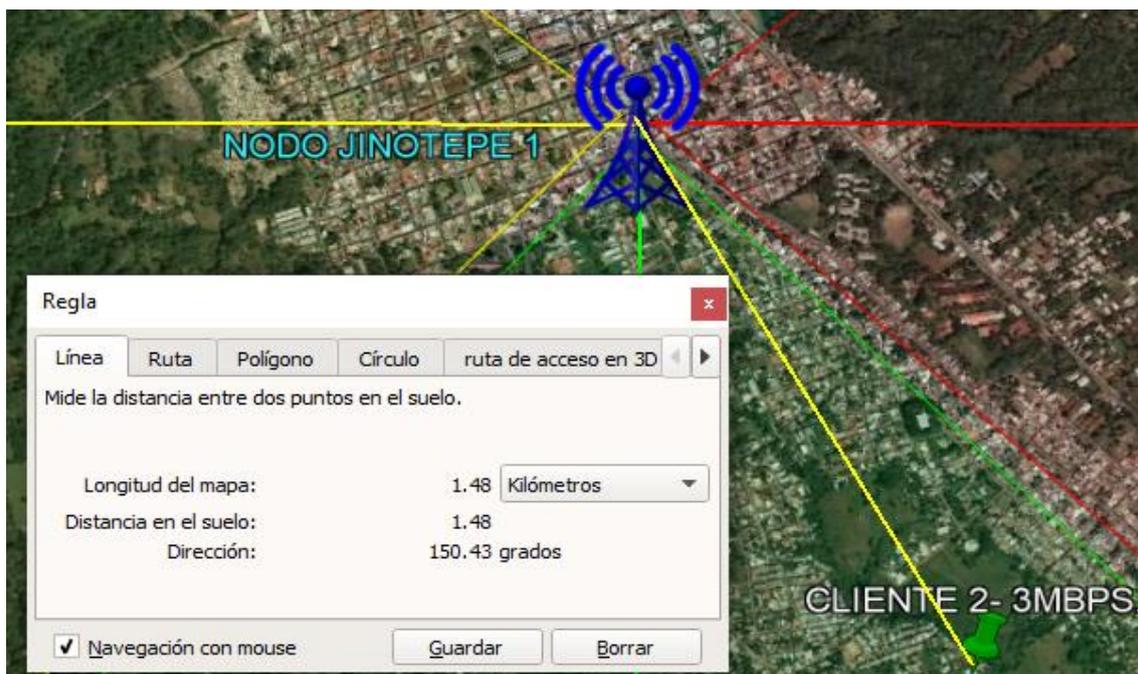


Fig. No. 43. Distancia del cliente 2 al nodo J1.

Seguidamente se presenta los datos que presenta el Outdoor del cliente 2.

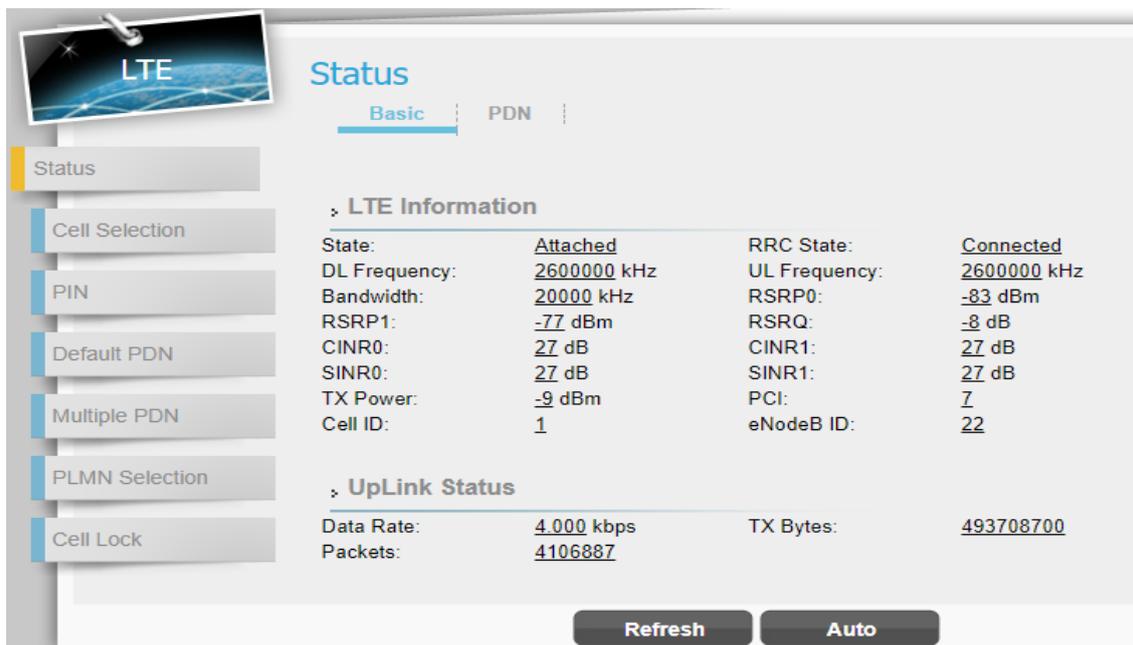


Fig. No. 44 Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE del CPE Outdoor cliente 2.

En los resultados obtenidos de las mediciones se encontró que el CPE LTE-TDD Outdoor está conectado al sector sur, el cual tiene como identificador PCI 7 del nodo Jinotepe 1. Este sector está trabajando en la banda de frecuencia de 2,600 MHz, con un ancho de banda de 20 MHz.

La siguiente tabla muestra los valores de calidad de la señal que estaba recibiendo el CPE LTE-TDD Outdoor.

Tabla No. 15 Valores Reales de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE-TDD Outdoor Cliente 2.

Parámetros	Niveles de señal	Calidad de señal
RSRP1	-77 dBm	Muy bien
CINR0	27 dB	Muy bien
SINR0	27 dB	Muy bien
RSRP0	-83 dBm	Bien
RSRQ	-8 dB	Muy bien
CINR1:	27 dB	Muy bien
SINR1	27 dB	Muy bien

Los valores de calidad de cada parámetro de la tabla anterior determinan que el equipo LTE-TDD está recibiendo una buena calidad de señal, ya que los niveles de los parámetros de potencia de señal están en Muy bien al igual que los niveles de los parámetros que miden la calidad de señal.

Cliente 3

En la visita realizada al cliente 3 el cual está ubicado a una distancia del eNodoB de 1,52 Km, se obtuvieron los siguientes resultados de las mediciones realizadas desde la interface del CPE LTE-TDD Outdoor:

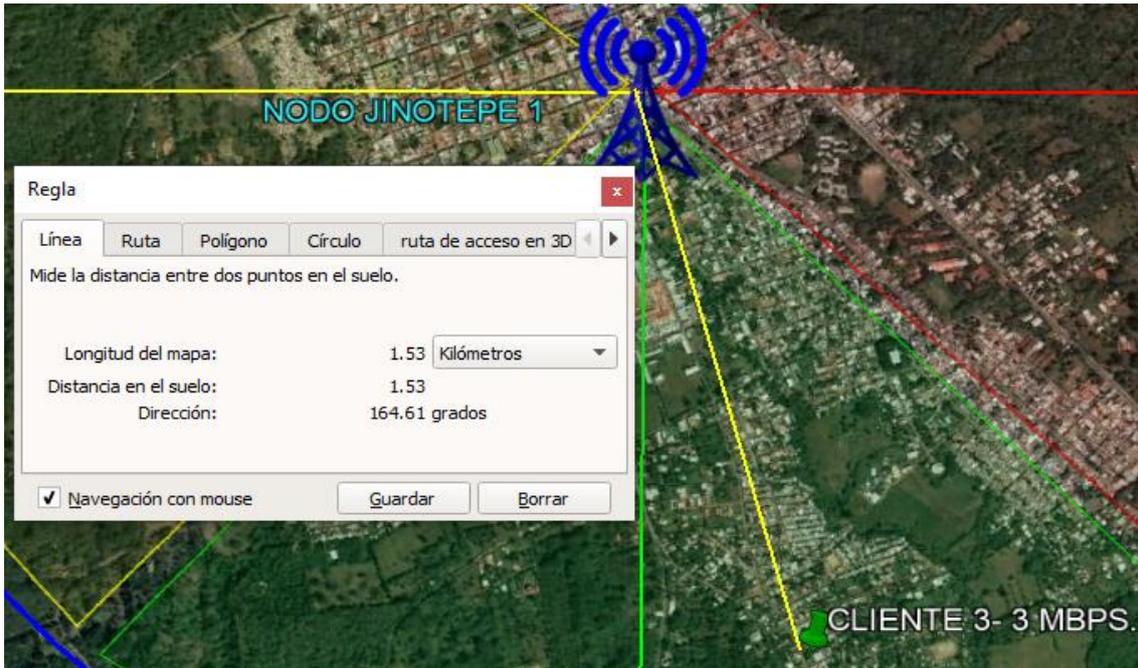


Fig. No. 45. Distancia del cliente 3 al Nodo J1.

Se encontró que el CPE LTE-TDD Outdoor está conectado al sector sur, el cual tiene como identificador PCI 7 del nodo Jinotepe 1. El equipo LTE-TDD está trabajando en la banda de frecuencia de 2,600 MHz, con un ancho de banda de 20 MHz. Estos datos se pueden verificar en la siguiente imagen tomada de la interfaz del equipo.

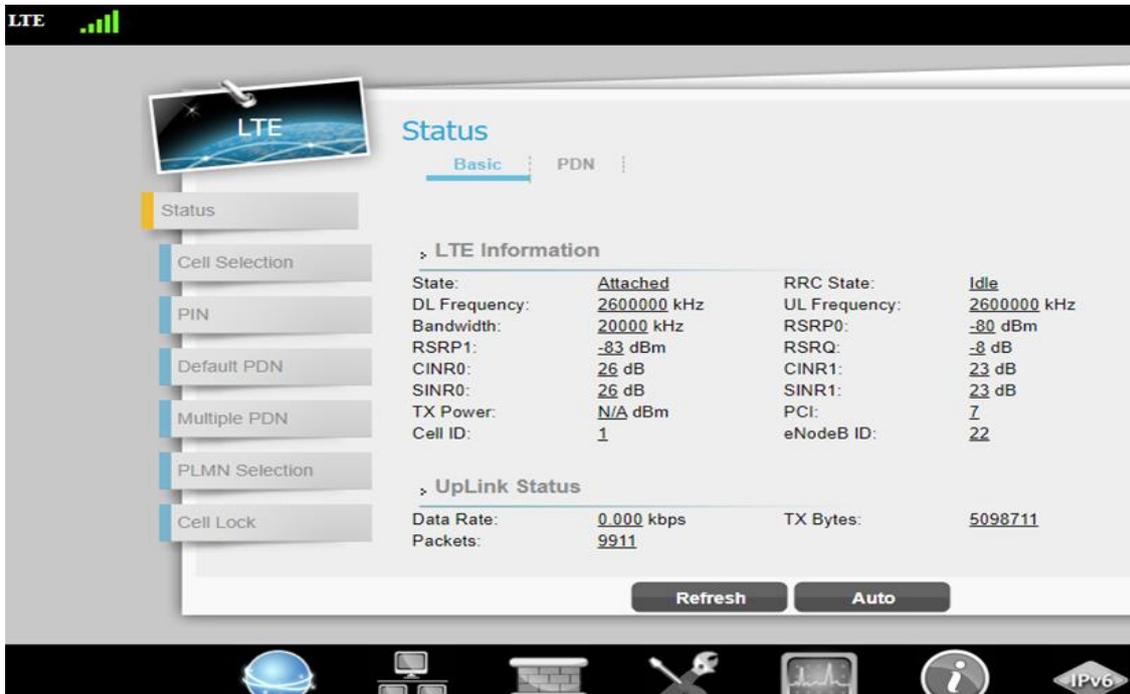


Fig. No. 46 Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE del CPE Outdoor cliente 3

En la siguiente tabla la cual muestra los valores de calidad de señal que estaba recibiendo el equipo LTE-TDD. Se puede ver que los parámetros RSRP1 y RSRP0 tienen un valor de calidad, Bien. Y que los parámetros de calidad de señal (CINR, SINR, RSRQ) también tienen un valor de Muy bien. Esto quiere decir que el CPE LTE –TDD Outdoor está recibiendo unos buenos niveles de potencia de señal y que hay más señal efectiva que ruido.

Tabla No. 16. Valores Reales de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE-TDD Outdoor recepción Cliente 3.

Parámetros	Niveles de señal	Calidad de señal
RSRP1	-83 dBm	Bien
CINR0	26 dB	Muy bien
SINR0	26 dB	Muy bien
RSRP0	-80 dBm	Bien
RSRQ	-8 dB	Muy bien
CINR1:	23 dB	Muy bien
SINR1	23 dB	Muy bien

Cliente 4

En la visita realizada al cliente 4 el cual está ubicado a una distancia del nodo Jinotepe 1 de 2,51 Km, se obtuvieron los siguientes resultados de las mediciones realizadas desde la interface del CPE LTE-TDD Outdoor instalado en el sitio.

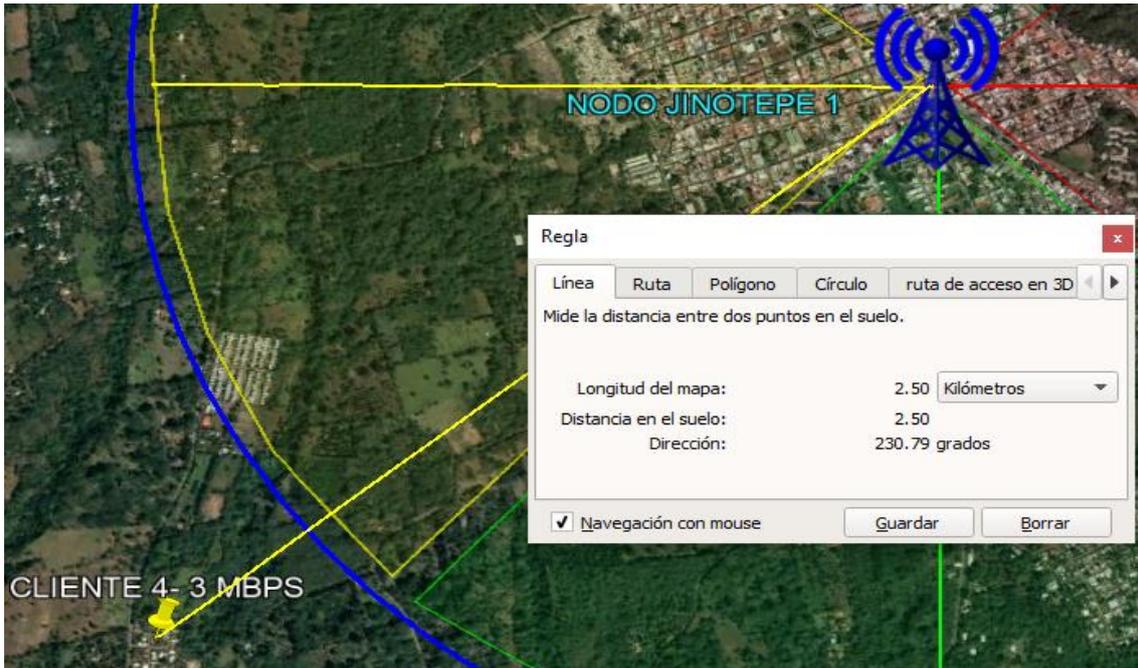


Fig. No. 47. Distancia del domicilio del cliente 4 al Nodo J1

En la siguiente imagen se puede ver como el CPE LTE-TDD Outdoor se encuentra conectado al sector oeste de identificador PCI 8 del nodo Jinotepe 1. Este sector está trabajando en la banda de frecuencia de 2,580 MHz, con un ancho de banda de 20 MHz.

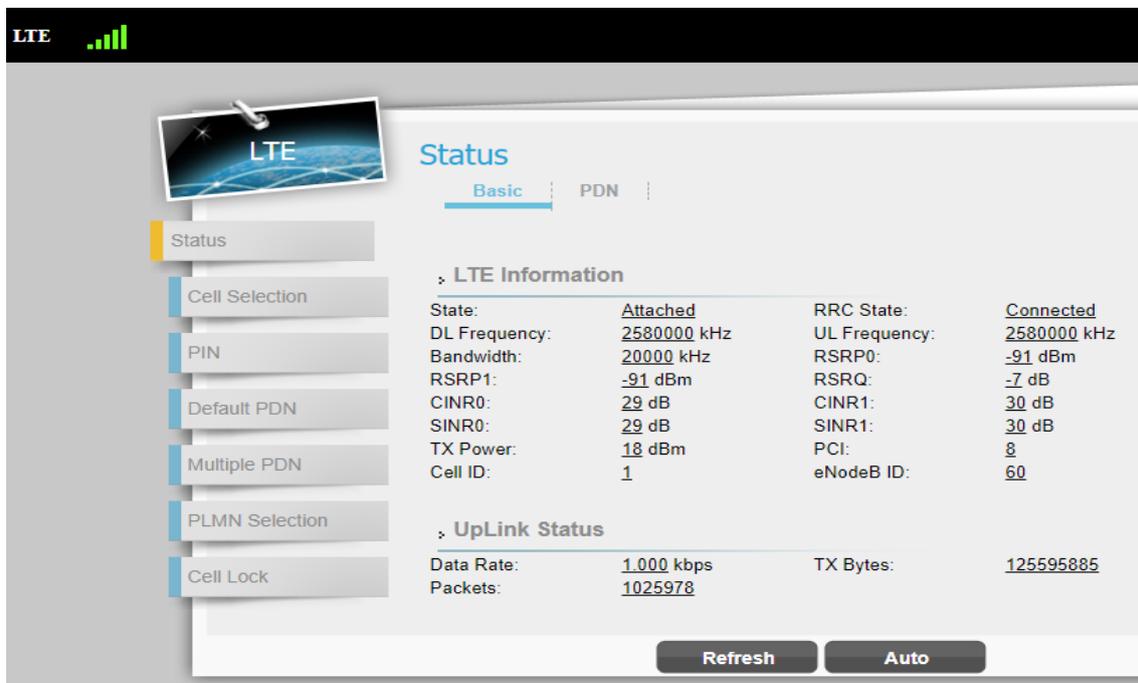


Fig. No. 48 Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE del CPE Outdoor cliente 4

La siguiente tabla muestra los valores de calidad de señal que está recibiendo el CPE LTE –TDD Outdoor.

Tabla No. 17. Valores Reales de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE-TDD Outdoor Cliente 4.

Parámetros	Niveles de señal	Calidad de señal
RSRP1	-91 dBm	Malo
CINR0	29 dB	Muy bien
SINR0	29 dB	Muy bien
RSRP0	-91 dBm	Malo
RSRQ	-7 dB	Muy bien
CINR1:	30 dB	Muy bien
SINR1	30 dB	Muy bien

LA tabla anterior nos muestra que los valores de los niveles de los parámetros que miden la potencia de señal en el equipo LTE es **Malo**, esto quiere decir que el CPE LTE-TDD Outdoor está recibiendo un nivel de potencia de señal bajo ya que el rango para la señal utilizable suele oscilar entre un rango de -45dbm a -90dbm (buena), de -90dbm a 100dbm (mala) y mayor a 100dbm (muy mala). Sin embargo, los niveles de los parámetros (CINR, SINR, RSRQ) tienen un valor de **Muy bien**, lo cual quiere decir que hay más señal efectiva que ruido.

Cliente 5

En la visita realizada al cliente 5 el cual está ubicado a una distancia de 2,63 Km del nodo Jinotepe 1, se obtuvieron los siguientes resultados de las mediciones realizadas desde la interface del CPE LTE –TDD Outdoor.

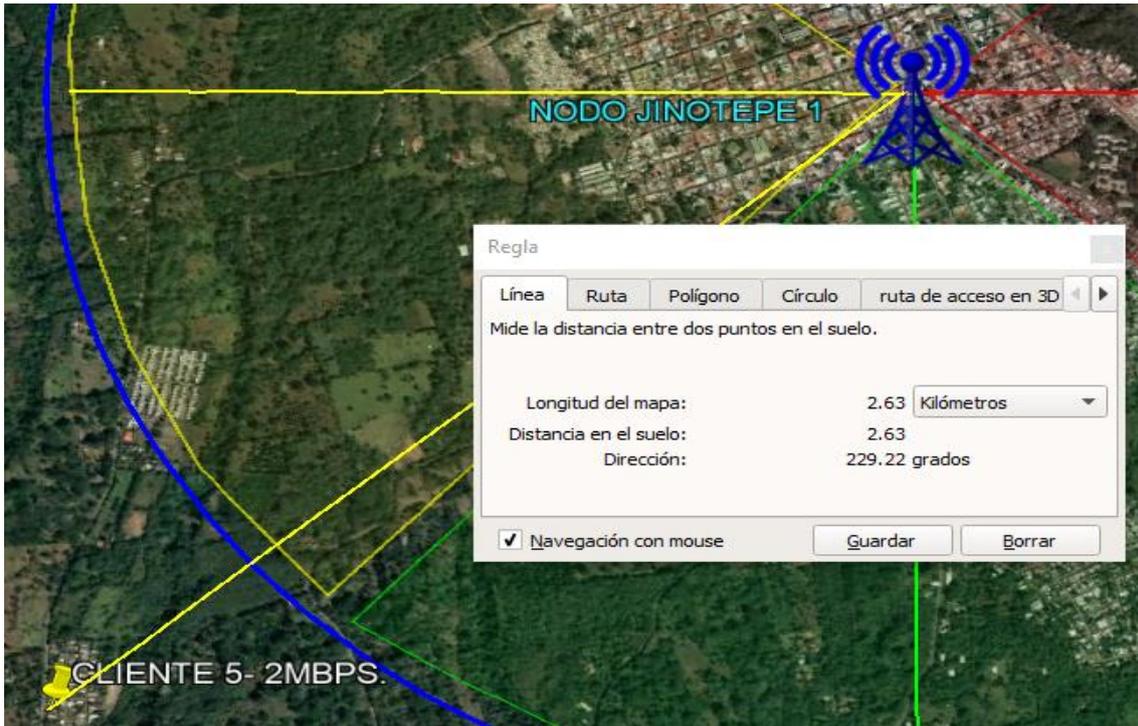


Figura No. 49 Distancia del domicilio del cliente 5 al Nodo J1

Se determinó que el CPE LTE-TDD Outdoor está conectado al sector oeste del nodo Jinotepe 1, el cual tiene como identificador PCI 8. El equipo LTE se encuentra trabajando en la banda de frecuencia de 2,580 MHz, con un ancho de banda de 20 MHz. Estos datos se pueden ver en la siguiente imagen tomada de la interfaz del equipo LTE.

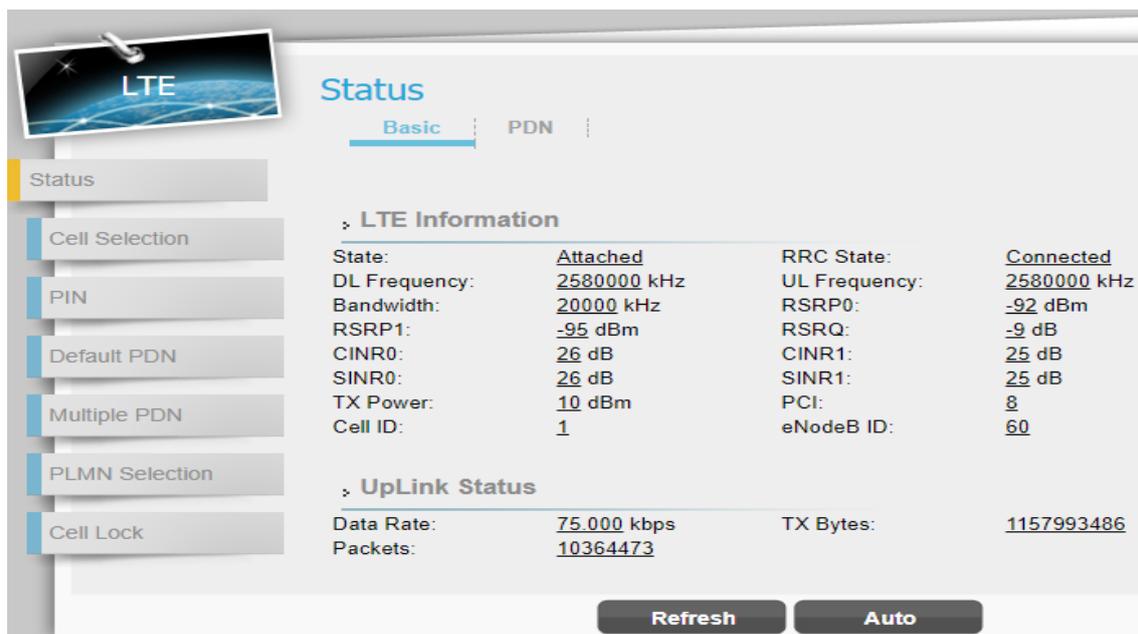


Fig. No. 50 Estatus de recepción de los parámetros de señal LTE-TDD del CPE Outdoor cliente 5

Tomando en cuenta los valores de calidad de señal de la tabla N° 12. Se realizó la siguiente tabla la cual muestra los valores de calidad de señal de los niveles de recepción de los parámetros más importantes que el equipo LTE usa para medir y calcular la potencia y calidad de señal.

Tabla No. 18. Valores Reales de calidad, de la recepción de señal del CPE LTE-TDD Outdoor Cliente 5.

Parámetros	Niveles de señal	Calidad de señal
RSRP1	-95 dBm	Malo
CINR0	26 dB	Muy bien
SINR0	26 dB	Muy bien
RSRP0	-92 dBm	Malo
RSRQ	-9 dB	Muy bien
CINR1:	25 dB	Muy bien
SINR1	25 dB	Muy bien

A como se puede apreciar en la tabla anterior los niveles de potencia (RSRP) que está recibiendo el CPE LTE Outdoor son bajos ya que el rango de una señal mala oscila entre -90dbm a -100dbm. En cuanto a los niveles de los parámetros (CINR, SINR, RSRQ) son muy buenos, hay más señal efectiva que ruido.

A pesar que en las secciones anteriores ya se ha discutido algunas diferencias a nivel físico entre LTE FDD y LTE TDD a continuación, en la Tabla No 18 se identifican las principales diferencias que existen al utilizar los tipos de duplexación FDD y TDD en LTE.

7. Tabla No. 19. Principales diferencias que existen al utilizar los tipos de duplexación FDD y TDD en LTE. [16]

FDD	TDD
Aplicaciones	
Adecuado para las comunicaciones de voz dado que el ancho de banda de enlaces descendentes y ascendente son diferentes y las transmisiones son simultáneas.	Adecuado para web browsing dado que se asigna diferentes ranuras de tiempo de la misma trama para enlaces descendentes y ascendentes, la velocidad de datos en enlaces descendentes llega a ser mayor que en enlace ascendente.
Interferencia	
El uso de FDD es apropiado para redes de área amplia que no tienen regiones aisladas.	La red puede ser afectada considerablemente debido a la interferencia, por lo tanto, el modo TDD se recomienda en redes <i>hot spots</i> lo suficientemente separadas.
Uso de filtro	
Se utiliza el filtro dúplex para separar las transmisiones de enlaces descendentes y ascendente.	El UE y el eNodeB no usan filtro dúplex dado que las transmisiones en enlace descendente y ascendente no son simultaneas.
Coexistencia	
En una celda es posible utilizar el tipo de duplexación FDD o TDD. El equipo de usuario soporta full dúplex FDD, half dúplex FDD y TDD, pero solo un a la vez.	
Asignación del Espectro	
Los recursos en banda de frecuencia asignadas para la transmisión en enlaces descendentes y ascendentes, por lo tanto, la eficiencia del espectro disminuye.	Al operar en bandas de frecuencia no emparejadas, la asignación del espectro es flexible y se puede lograr una mayor eficiencia espectral.
Asignación de Recursos	
Los recursos en las bandas de frecuencia para la transmisión en enlace	Las ranuras de tiempo se asignan de forma flexible para transmitir en enlace

descendente y ascendente son predeterminados, por lo tanto, no soporta tráfico asimétrico.	descendente y ascendente, por lo tanto, soporta el tráfico asimétrico.
Reciprocidad en enlace ascendente y enlace descendente	
Los canales son no correlacionados debido al uso de diferente frecuencia para transmitir en enlace descendente y ascendente.	La reciprocidad de canal puede ser explotada mediante el uso de tecnología smart antenna para incrementar el throughput de los usuarios en el borde de la celda.
Banda de guarda	
El uso de una banda de guarda en FDD para evitar la interferencia entre enlaces descendente y ascendente con lleva al uso ineficiente de los recursos del espectro.	En TDD se usa banda de guarda para evitar la colisión entre transmisiones en enlace descendente y ascendente, en consecuencia, se produce la reducción de capacidad de la red.

Como conclusión de las pruebas de conexión y cobertura realizadas desde las interfaces de los equipos LTE-TDD Outdoor donde los cinco usuarios. Se pudo determinar, que en las mediciones de los parámetros de nivel y calidad de señal realizadas en los equipos de los Clientes: 1, 2 y 3, estaban recibiendo más señal efectiva que ruido y un buen nivel de potencia de señal.

Sin embargo, en las mediciones realizadas de los parámetros de calidad y nivel de señal en los equipos LTE Outdoor de los Clientes IG y JL, los cuales se encuentran a una distancia más alejada que los otros 3 Clientes del nodo Jinotepe 1, se determinó que estaban recibiendo más señal efectiva que ruido, pero la potencia que estaba recibiendo el equipo era baja.

8. Resumen de las visitas técnicas.

En resumen, en las vistas técnicas realizadas a los cinco clientes más distantes del nodo J1, los cuales están ubicados en los 3 sectores de cobertura siendo estos los siguientes, (Celda Este 90°, Celda Oeste 270° y Celda Sur 180°).

Dentro de los parámetros y niveles del equipo tenemos los siguientes datos.

DL Frequency: Es la frecuencia de descarga que utiliza el outdoor para descargar cualquier información o dato desde el sistema 2580000 kHz.

UL Frequency: Es la frecuencia de carga que utiliza el outdoor para enviar cualquier información o dato desde el sistema 2580000 kHz.

Bandwidth: Ancho de Banda, es la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo, nuestro equipo utiliza un Ab de 2000kHz.

RSRP: (Potencia de señal recibida de referencia): la potencia promedio de las señales piloto recibidas (señal de referencia) o el nivel de la señal recibida desde la estación base. El valor RSRP se mide en dBm (dBm).

El Tx Power: Es uno de los parámetros más importantes al momento de realizar la planificación de enlaces inalámbricos, a su vez es un parámetro complejo, para el cual tenemos que considerar varios puntos importantes y restricciones.

RSRQ: (Calidad de señal recibida de referencia): caracteriza la calidad de las señales piloto recibidas. El valor RSRQ se mide en dB (dB).

SINR: (interferencia de señal + relación de ruido) también llamado CINR (portador a interferencia + relación de ruido) es la relación del nivel de señal al nivel de ruido (o simplemente la relación de señal a ruido). El valor SINR se mide en dB (dB). Es simple: cuanto mayor sea el valor, mejor será la calidad de la señal. Con valores SINR inferiores a 0, la velocidad de conexión será muy baja, ya que esto significa que hay más ruido en la señal recibida que la parte útil, y también existe la probabilidad de perder una conexión LTE

Seguidamente se presenta:

8.1 Tabla No. 20. Resumen del nivel y calidad de señal RSRP.

De -51 dBm a -75 dBm: Señal muy alta	Implica máxima velocidad de navegación y cobertura al máximo en nuestro dispositivo.
De -76 dBm a -90 dBm: Señal medio-alta	Permite utilizar los datos y la voz sin problemas, la velocidad de internet puede verse ligeramente resentida.
De -91 dBm a -105 dBm: Señal medio-baja.	Permite utilizar voz y datos, la velocidad de transmisión de datos se ve afectada.
>105 dBm: Señal baja.	Se empiezan a tener dificultades en la voz y la transmisión de datos es lenta y con cortes.

9. Diseño de las redes LTE-TDD

El diseño de las redes LTE-TDD, se desarrolla con los datos obtenidos en las vistas técnicas a los clientes del ISP, recordemos que el área de cobertura es en Jinotepe-Carazo, a continuación se sitúa la estación base en el mapa y se realiza la configuración de los parámetros. Para realizar el análisis de RSRP, RSRQ, SINR, es necesario la configuración de los parámetros que requiera el software Atoll.

9.1 Área de cobertura

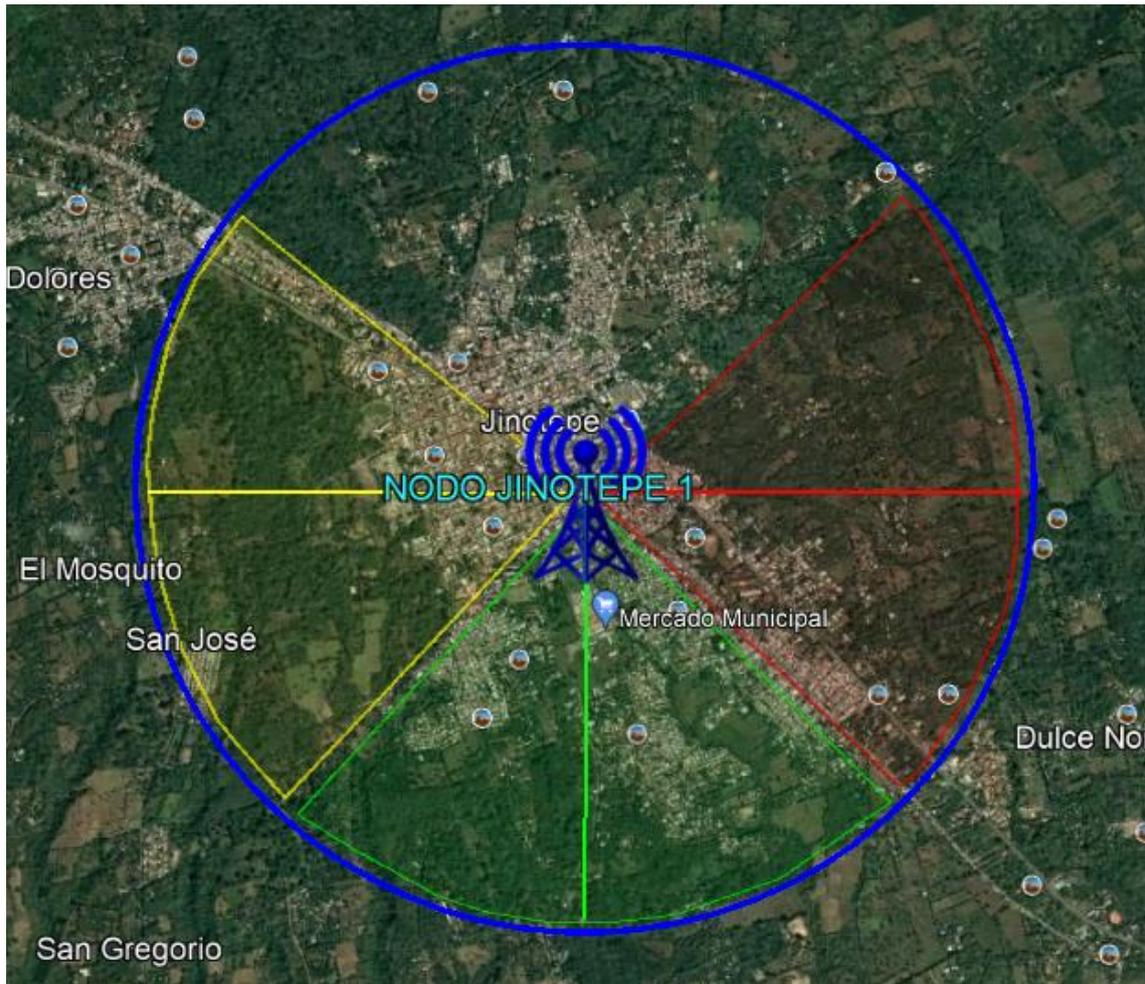


Figura No. 51 Mapa de cobertura del nodo existente J1.

En la Figura No. 51 , se visualiza el área de cobertura seleccionado para diseñar las redes LTE-TDD, el mapa corresponde a la ciudad de Jinotepe, específicamente en el ubicación del nodo J1 del ISP, la zona resaltada en el mapa pertenece a un área urbana del norte de la ciudad con aproximadamente 5 km de superficie, donde se encuentra gran cantidad de edificios de gran altura que pertenecen a entidades financieras, centros comerciales, sedes de diferentes empresas nacionales y multinacionales, entre otros.

Así mismo, en esta área se sitúan zonas residenciales e instituciones educativas. Esta zona también presenta gran afluencia de usuarios. Por estas razones, se selecciona esta área del norte de la ciudad.

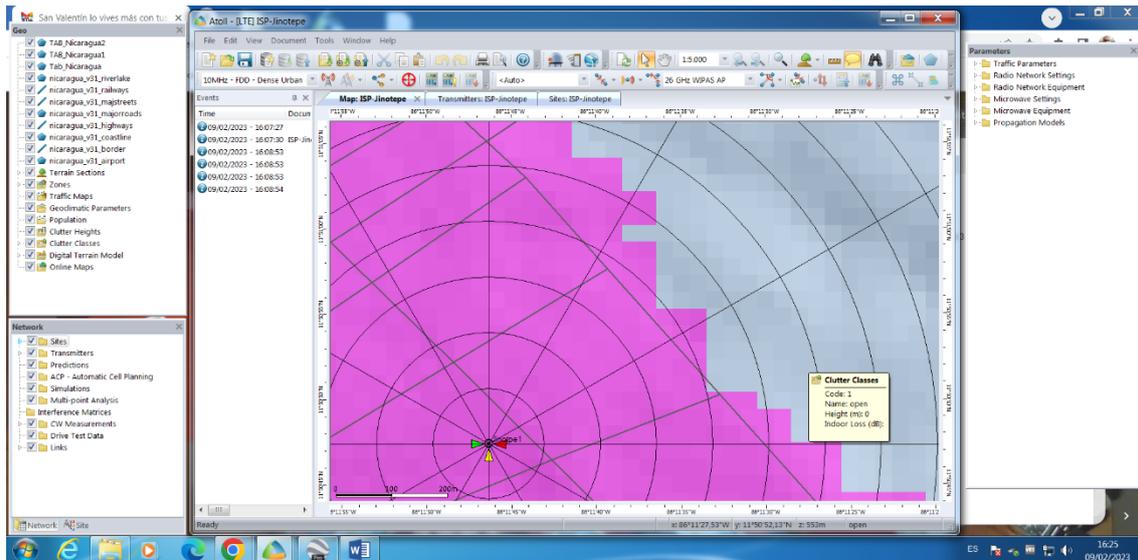


Figura No 52 Simulación de la red LTE-TDD, del ISP en Jinotepe, correspondiente J1.

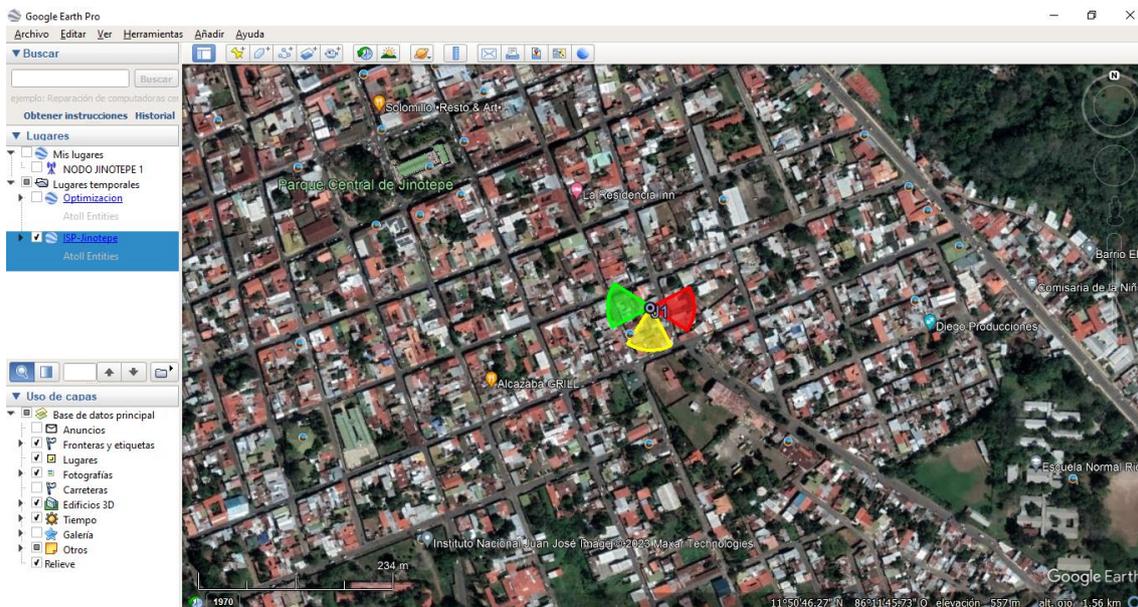


Figura No 53 Mapa de la red LTE-TDD, del ISP en Jinotepe, correspondiente J1.

En esta imagen se puede apreciar que el ISP, posee el nodo J1, en una mala ubicación geográfica en correspondencia a sus clientes, es por tal razón que a los clientes se les brinda un mal servicio, nótese también que este nodo posee solamente 3 antenas sectoriales y no son lo suficiente para brindar una buena cobertura a los clientes.

Debido a esta problemática el ISP puede perder cartera por el mal servicio ya que al no tener una celda destinada para la parte Norte de la ciudad, los clientes

existentes en sus equipos reciben niveles bajos de cobertura, en la parte comercial, esto afecta enormemente ya que se tiene menor cantidad de nuevos clientes y de esta manera se limita a seguir creciendo en cobertura.

En las visitas de campo realizadas durante 16 meses en los domicilios de varios clientes existentes ubicados en los 3 sectores de cobertura, se logró identificar que el mayor problema en el servicio de internet es la lentitud y esta es ocasionada por los niveles de RSRP y SINR, al estar usando el internet, en la interface del Outdoor se visualizaba como los niveles variaban hasta por 2dB.

La mayoría de casos eran similares donde clientes que se encuentran en un radio de más de 900 mts de la estación base, afectando también la vegetación, la altura del terreno y de la estructura que tienen instalados los clientes, hace 9 años cuando el ISP hizo el estudio para instalar la torre de la estación base, la altura de los arboles eran más bajos y los niveles que recepcionaban los equipos de los abonados se encontraban en el rango de cobertura siendo la torre base de 120 Ft equivalentes a 36 mts.

Muchos de los clientes existentes que se encuentran distantes del área de cobertura, cuentan con estructuras de 40 Ft equivalente a 12mts sobre el techo, aunque estas pueden ser: Mástiles de hierro de 10, 20, 30, 40 Ft.

En la actualidad la altura máxima permitida de una estructura para la instalación de un nuevo servicio, es de 20 Ft equivalente a 6mts sobre el techo, siendo esta un tubo liso galvanizado, siempre y cuando la vivienda preste las condiciones en el techo, de lo contrario la venta es negativa para nuevos clientes.

En la estación base actualmente se presentan problemas de energía comercial lo cual afecta ya que las baterías de respaldo tanto como Ups, no soportan el tiempo de carga requerido para mantener activo el servicio en sectores que no son afectados por los cortes energéticos de la comercial.

De acuerdo al estándar, los parámetros de la red no fueron planificados a futuro, ya que como mencionaba anteriormente son varios los motivos del mal servicio y uno de los principales es la altura de la torre de la estación base, igualmente el

método de propagación de radio es ineficiente por el crecimiento en los árboles y los ángulos de cobertura no cubren en totalidad los 360° necesarios para cubrir la ciudad, era necesario la utilización de un software como Atoll para predecir el comportamiento de la red con la altura existente y seleccionar la frecuencia de trabajo que mejor se ajustara a la zona y así mismo calcular una cantidad de abonados para brindarles el servicio de internet.

11. Optimización del nodo J1, para brindar un mejor servicio a los usuarios.

Para proceder a brindar una mejor solución he iniciado por realizar las primeras sugerencias, las cuales deben de ser cumplidas para que el servicio sea 100% funcional para los clientes.

Como primera opción para lograr optimizar el nodo J1, es agregar una (1) antena sectorial más para poder cubrir los 360°, que es por donde están disgregados los clientes del ISP, seguidamente se propone el incremento de ancho de banda en el nodo J1, para brindar una mejor cobertura a todos los clientes.

Seguidamente se presenta en una imagen la simulación del nodo J1, con las 4 antenas con la altura necesaria para transmitir una correcta propagación de ondas hacia los clientes.

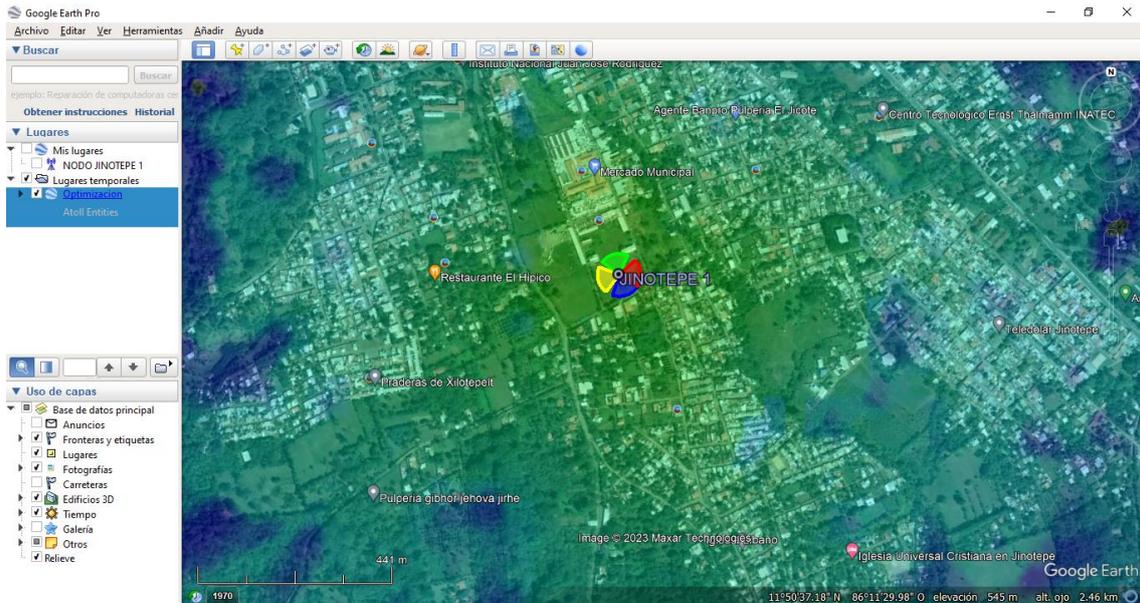


Figura No 54 Mejoras de cobertura de la red LTE-TDD en J1

En esta nueva simulación se pueden apreciar los cambios al sistema de comunicación LTE-TDD, ha mejorado considerablemente, se ha instalado otra antena sectorial para brindar cobertura en la zona norte de Jinotepe, y lograr un mejor servicio para cada uno de los clientes existentes y futuros del ISP.

CONCLUSIONES

- Se analizaron todos los equipos que componen el nodo J1, con la finalidad de la realización de la simulación por medio del software Atoll, empleados en el sistema LTE-TDD
- Se logró verificar los datos para la realización de la simulación por medio del software Atoll, empleando el sistema LTE-TDD.
- Se analizó la capacidad de ancho de banda y los usuarios que forman parte del nodo J1, esto para determinar su capacidad de manejo de los usuarios.
- Se realizaron las pruebas de acceso en casa de los usuarios de la red LTE-TDD, que pertenecen al nodo J1, con la finalidad de realizar la propuesta de optimización de la red, esto con el fin de mejorar el funcionamiento de la red y garantizar que los usuarios más distantes puedan tener un excelente servicio.

RECOMENDACIONES

- Es necesario tener firmes conocimientos teóricos sobre la red móvil, antes de agregar o realizar cambios en una red. Se debe contar con parámetros de radio adecuados para tener resultados confiables al momento de realizar la optimización.
- Se recomienda analizar el rendimiento de los usuarios y la cantidad de usuarios en una celda, antes de agregar o realizar algún cambio en la red, ya que el tráfico de datos y usuarios pueden variar en los días o meses.
- El uso de los equipos que se implementan en la red deben ser los adecuados y para esto se debe tener en cuenta la ficha técnica de cada equipo a usar.
- Se recomienda seguir las instrucciones del fabricante y a su vez analizar la capacidad de cada equipo, sumado a un cambio de equipos para que estos sean actualizados ya que estos, son de vieja data en poder ISP.
- Se recomienda el empleo de la versión licenciada del software Atoll.

Bibliografía

- [1] José, C. (2001). Land Mobile (including Wireless Access) - Volume 1: Fixed Wireless Access. ITU, Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-25-2001-OAS-PDF-S.pdf [Accedido 05- May- 2021].
- [2] Carlos, R. (2013). Estudio experimental por simulación del diseño de una red LTE de telefonía y datos móviles en Nicaragua. Universidad nacional de ingeniería (UNI).
- [3] Maxwell, C. (2017). Análisis de la Radio propagación para un escenario Outdoor-to-Indoor en las Bandas 850 MHz y 2100 MHz. Universidad nacional de ingeniería (UNI).
- [4] Kevin, H. & Victor, A. (2016). Análisis de una red de acceso para el despliegue de la red LTE (4G) con la técnica FDD (Frequency División Dúplex) en el municipio de Masaya, departamento de Masaya. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN).
- [5] pablo, D & Paula, U. (2012). Análisis de capacidad y cobertura de una red móvil LTE para la ciudad de Popayán. Universidad del Cauca.
- [6] Manuel, S & María J. (2020). Día Mundial de Internet: La brecha digital en tiempos de COVID-19 (y más allá). Recuperado de: <https://theconversation.com/dia-mundial-de-internet-la-brecha-digital-en-tiempos-de-covid-19-y-mas-alla-138761> [Accedido 02- Jun- 2021].
- [7] Ericsson Consumer & IndustryLab. (2020). Communication needs in times of crisis. Recuperado de: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/articles/communication-needs-in-times-of-crisis> [Accedido 07- Jun- 2021].
- [8] Danilo, B., Darwin, P & Iván, T. (2016): "Evolución de la tecnología móvil. Camino a 5G" Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales. Recuperado de: https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Evoluci%C3%B3

[n+de+la+tecnolog%C3%ADa+m%C3%B3vil.+Camino+a+5G&btnG](#) [Accedido 16- Jun- 2021].

[9] Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2009). LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. Chichester: Wiley.

[10] Cristina, G. (2012). Planificación de una red LTE con la herramienta ATOLL y análisis del impacto de las estrategias de packet scheduling. Universidad Politécnica de Catalunya.

[11] Jose, M. (2012). Diseño de una red LTE para el distrito del Callao. Pontificia universidad católica del Perú.

[12] Aws Z, Mayada F & Mohammad F. (2012). LTE-FDD and LTE-TDD for cellular communications. Universidad de Tun Hussein Onn Malaysia. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267827298_LTE-FDD_and_LTE-TDD_for_cellular_communications [Accedido 03- Jul- 2021].

[13] Carlos, S. & FranciscO, M. (2013). Arquitectura general del sistema LTE. Revista telemática. Recuperado de: <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/106/105> [Accedido 03- Jul- 2021].

[14] Miguel, J. (2015). Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE. Escuela superior politécnica del Litoral.

[15] Camilo, C. (2013). Estudio y análisis técnico comparativo entre las tecnologías 4G Long Term Evolution (LTE) y LTE ADVANCED. Escuela Politécnica Nacional.

[16] Camilo, C. & María S. (2014). Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE Advanced. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17148/1/2014AJIEE-29.pdf> [Accedido 24- Jul- 2021].

[17] forsk. Atoll Radio Planning Software Overview (RF Planning and Optimisation) | Forsch. Recuperado de: <https://www.forsk.com/atoll-overview> [Accedido 04- Sept- 2021].

[18] Issue 05- Date 2013-08-15, APM30H (Ver.D) Product Description, HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. Huawei Industrial Base Bantian, Longgang Shenzhen 518129 People's Republic of China. Recuperado de: <https://fccid.io/ANATEL/03515-13-03257/Manual/51E9F29C-1DCE-4A94-8275-1A7E1FF7533A/PDF> [Accedido 06- Sept- 2021].

[19] GA-DS-1580-05, Data sheet Brocade 6910 Ethernet Access Switch, Corporate Headquarters, San José, CA USA. Recuperado de: <https://www.dataswitchworks.com/datasheets/switches/6910-ds.pdf> [Accedido 22- Sept- 2021].

[20] (Rel_01), ISCOM RAX711, Raisecom Technology Co, Beijing, P.R.China. Recuperado de: <https://fccid.io/ANATEL/00623-16-08352/Manual-RAX711.pdf/9A008D21-12D8-4246-9ABE-699B45A14466/PDF> [Accedido 02- Oct- 2021].

[21] 51120-1, Código UPC: 078477827642- Surge Protective Devices (SPDs)- Leviton Corp. México. Recuperado de: <https://www.leviton.com/es/products/51120-1> [Accedido 08- Oct- 2021].

[22] AS-TD-12TD100F4-002- HUAWEI-Septiembre de 2010 Enersys Bateria Solar AGM. Recuperado de: <https://www.amazon.es/Bateria-Solar-Enersys-12TD100F4-Battery/dp/B075H29V7C> [Accedido 08- Oct- 2021].

[23] LTE700F Estación base del sistema celular fijo LTE Manual de usuario Guía de instalación de Air4G Redes Airspan. Recuperado de: <https://fccid.io/PIDLTE700F/User-Manual/User-manual-2023062.html> [Accedido 12- Nov- 2021].

[24] Catalog No 4. T0-F, Antena Common Name- 4 Port, 1.1M, B38, 40 & 41 - 90°, Global Headquarters Ashgrove Business Centre, Ballybrittas, Portlaoise, R32 DT0A, IRELAND. Recuperado de:

<https://alphawireless.com/ds/AW3008.pdf> [Accedido 17- Nov- 2021].

[25] wireless broadband products, Gemtek Technology Co., Ltd. Recuperado de: <https://www.gemteks.com/en/products/wireless-broadband/outdoor-cpe> [Accedido 20- Nov- 2021].

[26] Router Tenda F3, Tenda Technology Co. Ltd. de Shenzhen México / mx Lancaster 15 Piso 3 Col. Juárez Del. Cuauhtémoc, CDMX. Recuperado de: <https://www.tendacn.com/mx/product/specification/F3.html> [Accedido 30- Nov- 2021].

[27] Enrutador inalámbrico Linksys E900, Linksys Holdings, Inc. 2022. Recuperado de: <https://www.linksys.com/ar/wireless-routers/linksys-e900-n300-wifi-router/p/p-e900/> [Accedido – 13 Dic- 2021].

[28] Power over Ethernet. Recuperado de: <https://www.tecnoseguro.com/faqs/electronica/que-es-poe> [Accedido - 08 Feb 2022].

[29] ANDINA LINK VIRTUAL EXPO OCTUBRE 30, 2017. Recuperado de: <https://andinalink.com/el-uso-y-el-abuso-del-reuso/> [Accedido – 16 Feb 2022].

[30] LTE CENTRO DE RECURSOS. Recuperado de: <https://www.winncom.com/es/lte/glossary/157/pci-.html> [Accedido – 24 Feb 2022].

[31] JEED, RFE, JA, Direccionamiento automático de antenas en estaciones terrenas de seguimiento a picosatélites, Tecnura vol.17 no.35 Bogotá Ene./Mar.2013. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2013000100003 [Accedido – 9 Mar 2022].

[32] eUtranCell, IBM Corporación. Recuperado de:
<https://www.ibm.com/docs/en/networkmanager/4.2.0?topic=tables-eutrancell>
[Accedido – 6 Jun 2022].

[33] Understand signal strength. Recuperado de:
<https://www.signalbooster.com/blogs/news/acronyms-rsrp-rssi-rsrq-sinr>
[Accedido – 15 Jun 2022].

[34] LTE signal quality parameters update 06/04/2022. Recuperado de:
<https://help.keenetic.com/hc/en-us/articles/360000403359-LTE-signal-quality-parameters> [Accedido – 02 Jul 2022].

[35] Leonardo Scricca, Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación (Junio 2013). Recuperado de:
https://oa.upm.es/22008/1/TFG_LEONARDO_SCRICCA_YANES.pdf
[Accedido – 18 Jul 2022].

[36] Blog RD Station Ventas. Recuperado de:
<https://www.rdstation.com/es/blog/roi/> [Accedido – 01 Sep 2022].

[37] Productos Inalámbricos LTE-Evolución a largo plazo
<https://www.pulsesupply.com/> [Accedido – 01 Sep 2022].