

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA**  
**Y MECÁNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**INFORME TÉCNICO**

**SERVICIO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS  
DE RADIO FRECUENCIA Y MICROONDAS PARA TELEFONÍA  
CELULAR DEL OPERADOR ENTEL PERU S.A.**

**PRESENTADO POR:**

**Br. Luis Henry Díaz Morales**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO  
EN LA MODALIDAD POR SERVICIOS A NIVEL  
PROFESIONAL**

**CONSEJERO:**

**Mgt. Jorge Luis Arizaca Cusicuna**

**CUSCO – PERU**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Servicio de operación y Mantenimiento de sistemas de radiofrecuencia y Microondas para telefonía Celular del operador SATEL PERU SA

presentado por: Luis Henry Díaz Morales con DNI Nro.: 40033981 presentado por: ..... con DNI Nro.: ..... para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Electronico

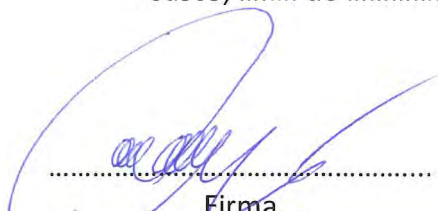
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 30 de Julio de 2024

  
Firma  
Post firma Jorge Luis Arizaca Cusicoma

Nro. de DNI 42348906

ORCID del Asesor <https://orcid.org/0000-0003-2658-5492>

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** <https://unsaac.turnitin.com/viewer/oid:27259:370796291>

NOMBRE DEL TRABAJO

**Informe Técnico O&M ENTEL Luis Díaz\_F  
inal.docx**

AUTOR

**Luis Diaz Morales**

RECUENTO DE PALABRAS

**37098 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**207019 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**194 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**58.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 30, 2024 10:42 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 30, 2024 10:45 AM GMT-5****● 10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado al espíritu de lucha, búsqueda e insatisfacción de las personas que forjaron los retazos que complementan mi ser, esperando alcanzar la utilidad en principio y la trascendencia como fin.

Luis.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la vida, a la naturaleza, al ser humano en su complejidad y el poder tener la capacidad de empezar de cero cada día, causa y consecuencia de nuestra búsqueda de conocernos a nosotros mismos.

Agradezco a las personas que se encuentran en mi vida, a los que me brindan un poco de sí mismos, a los incondicionales, a los de siempre y a los que fugazmente iluminan mi camino.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE .....	iv
RESUMEN.....	14
ACRONIMOS.....	16
Capítulo I: Aspectos Generales .....	21
1.1 Datos de la empresa.....	21
1.2 Organigrama Telrad.....	22
1.3 Descripción del problema .....	22
1.4 Formulación del problema .....	24
1.5 Objetivos.....	24
1.5.1 Objetivo general .....	<b>24</b>
1.5.2 Objetivos específicos.....	<b>24</b>
1.6 Alcance .....	24
1.7 Justificación y relevancia .....	25
1.8 Limitaciones del trabajo .....	25
Capítulo II: Marco Teórico de los Sistemas De Radio Frecuencia y Microondas.....	26
2.1 Antecedentes.....	26
2.2 Enlaces Microondas.....	30
2.2.1 Desarrollo Histórico de los Enlaces Microondas .....	<b>30</b>
2.2.2 Enlaces con polarización ortogonal.....	<b>32</b>
2.2.3 Enlaces de microondas con polarización circular (lh) .....	<b>40</b>
2.2.4 Implementación de XPIC, CCDP y MIMO en enlaces Ortogonales y Circulares .....	<b>46</b>
2.3 Tecnologías celulares.....	48
2.3.1 Tecnología GSM.....	<b>48</b>

2.3.2	Tecnología UMTS 3G.....	<b>58</b>
2.3.3	Tecnología 4G LTE .....	<b>71</b>
2.3.4	Tecnología 5G NR.....	<b>78</b>
Capítulo III: Implementación de la Red Transporte Microondas y los Sistemas de Comunicaciones GSM, UMTS, LTE Y NR.....		<b>88</b>
3.1	Implementación de los gabinetes TP48200 Y TBC300A para equipos de comunicación en la red Entel.....	<b>88</b>
3.1.1	Arquitectura del Gabinete.....	<b>88</b>
3.1.2	Sistema de rectificación del gabinete .....	<b>89</b>
3.1.3	Módulos rectificadores.....	<b>90</b>
3.1.4	Módulo controlador SMU02B .....	<b>91</b>
3.1.5	Disposición de componentes de radio frecuencia y microondas en gabinete.....	<b>93</b>
3.2	Sistema de microondas Huawei en la red Entel Perú.....	<b>94</b>
3.2.1	Enlaces RTN 980 Y RTN 950 de Huawei arquitectura física .....	<b>94</b>
3.2.2	Indoor units (IDUs) .....	<b>94</b>
3.2.3	Modelos y tipos de tarjetas en la IDU RTN 980 Y RTN 950.....	<b>96</b>
3.2.4	Implementación RTN950/980 en nodo Jajallacta.....	<b>99</b>
3.2.5	Outdoor units (odus).....	<b>102</b>
3.2.6	Antenas utilizadas en los enlaces RTN 980 .....	<b>106</b>
3.2.7	Accesorios y componentes complementarios .....	<b>107</b>
3.2.8	Implementación de odus y antenas en repetidor Jajallacta.....	<b>108</b>
3.3	Implementación del sistema radio frecuencia (GSM, UMTS, LTE, 5G).....	<b>112</b>
3.3.1	Tarjeta GSM - UBRI (Universal Baseband Resource Interface).....	<b>113</b>
3.3.2	Tarjeta WCDMA - WBBP (wideband baseband processing unit).....	<b>114</b>
3.3.3	Tarjeta LTE - LBBP (LTE baseband processing unit) .....	<b>115</b>
3.3.4	Tarjeta UBBP (universal baseband processing unit).....	<b>116</b>
3.3.5	Tarjeta UMPT (universal main processing and transmission unit) ....	<b>119</b>

3.3.6	Frecuencias de trabajo y anchos de banda BBU 5900 .....	<b>121</b>
3.3.7	Estándar de soluciones de sistemas radio frecuencia .....	<b>122</b>
3.3.8	Implementación de soluciones de unidades de radio remotas RRUs y antenas integradas .....	<b>123</b>
3.3.9	Solución ATD4516r8 + RRU5258.....	<b>128</b>
3.3.10	Esquematzación global de la solución.....	<b>130</b>
3.3.11	Estándar de instalación de antenas y RRUs para soluciones 5G.....	<b>132</b>
Capítulo IV: Procedimiento de Mantenimiento en Microondas y Radio Frecuencia, Análisis de Alarmas Comunes.....		<b>137</b>
4.1	Comisionamiento y configuración de servicios IDU.....	<b>137</b>
4.2	Proceso de comisionamiento de un nodo GULN.....	<b>147</b>
4.3	Mantenimiento de equipos microondas Huawei .....	<b>149</b>
4.3.1	Mantenimiento preventivo .....	<b>149</b>
4.3.2	Mantenimiento correctivo .....	<b>156</b>
4.3.3	Mantenimiento predictivo.....	<b>162</b>
4.3.4	Mejores prácticas y consideraciones técnicas .....	<b>164</b>
4.4	Alarmas más frecuentes en el sistema de Microondas .....	<b>167</b>
4.4.1	Pérdida de señal (loss of signal los).....	<b>167</b>
4.4.2	Deterioro de la calidad de la señal (signal quality degradation) .....	<b>168</b>
4.4.3	Interferencias (interference alarm) .....	<b>169</b>
4.4.4	Fallo de potencia (power failure) .....	<b>170</b>
4.4.5	Sobrecalentamiento (overtemperature).....	<b>170</b>
4.4.6	Fallo de hardware (hardware failure).....	<b>171</b>
4.4.7	Pérdida de sincronización (loss of sync) .....	<b>171</b>
4.4.8	Bajo nivel de señal (low signal level).....	<b>171</b>
4.5	Alarmas mas frecuentes de radio frecuencia.....	<b>172</b>
4.5.1	Rf unit maintenance link failure .....	<b>172</b>



4.5.2	Unit hardware fault .....	<b>172</b>
4.5.3	Bbu board maintenance link failure .....	<b>173</b>
4.5.4	Board hardware fault .....	<b>175</b>
4.5.5	Unit clock problem .....	<b>175</b>
4.5.6	Rf unit rx channel rtwp/rssi unbalanced.....	<b>176</b>
4.5.7	Rf unit rx channel rtwp/rssi too low.....	<b>177</b>
Capitulo V: Office Track y Procedimientos de Gestión en Operaciones .....		<b>180</b>
5.1	Office track en el operador Entel Perú.....	<b>180</b>
5.1.1	Descripción de officetrack .....	<b>180</b>
5.1.2	Implementación de officetrack en Entel Perú .....	<b>182</b>
5.1.3	Conectividad y monitoreo en campo: .....	<b>183</b>
5.1.4	Gestión y asignación de tareas: .....	<b>184</b>
5.1.5	Documentación y seguimiento: .....	<b>184</b>
5.1.6	Notificaciones y comunicación: .....	<b>184</b>
5.1.7	Integración con sistemas empresariales: .....	<b>185</b>
5.1.8	Beneficios de la implementación de officetrack en Entel Perú .....	<b>185</b>
5.1.9	Mejoras en operación y mantenimiento.....	<b>186</b>
5.2	Histórico de Atenciones por sistema.....	<b>186</b>
5.3	Análisis de la evolución en la eficiencia de las atenciones de alarmas en Microondas y Radiofrecuencia.....	<b>187</b>
5.4	Análisis de los promedios de Atenciones en Mtto preventivo .....	<b>188</b>
Conclusiones .....		<b>191</b>
Recomendaciones .....		<b>193</b>
Referencias Bibliográficas.....		<b>194</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Acuerdo de Nivel de Servicio</i> .....	156
Tabla 2 <i>Cantidad de atenciones por cuadrilla zona Sur</i> .....	188
Tabla 3 <i>Eficiencia por cuadrilla</i> .....	188
Tabla 4 <i>Programación MP de sitios 2024 por prioridades</i> .....	190

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Organigrama Telrad</i> .....	22
Figura 2 <i>Polarización Ortogonal</i> .....	32
Figura 3 <i>Valor de performance del enlace</i> .....	38
Figura 4 <i>Forma de onda polarización Circular</i> .....	40
Figura 5 <i>Comparación de parámetros en polarizaciones</i> .....	47
Figura 6 <i>Interacción uplink y downlink</i> .....	49
Figura 7 <i>Reuso de frecuencia en GSM</i> .....	50
Figura 8 <i>Combinación de multiplexación FDMA y TDMA en GSM</i> .....	53
Figura 9 <i>Arquitectura red GSM</i> .....	58
Figura 10 <i>Interacciones entre celdas</i> .....	62
Figura 11 <i>Interacción entre sectores</i> .....	63
Figura 12 <i>La interacción entre sectores es crucial para optimizar la cobertura</i> .....	71
Figura 13 <i>Eficiencia del espectro en UL/DL</i> .....	73
Figura 14 <i>Esquema de interacción cliente Nodo en modulación</i> .....	75
Figura 15 <i>Evolución del empaquetamiento de datos</i> .....	75
Figura 16 <i>Arquitectura red 4G LTE</i> .....	78
Figura 17 <i>Massive MIMO y Beamforming</i> .....	80
Figura 18 <i>Slicing y Edge computing</i> .....	80
Figura 19 <i>Eficiencia del espectro en UL/DL para 5G</i> .....	81
Figura 20 <i>Arquitectura red 5G</i> .....	87
Figura 21 <i>Gabinete TP48200A</i> .....	89
Figura 22 <i>Módulo de energía Gabinete TP48200A</i> .....	90
Figura 23 <i>Módulo rectificador Huawei</i> .....	91
Figura 24 <i>Controlador de rectificador</i> .....	92
Figura 25 <i>Conexión de SMU a BBU</i> .....	92

Figura 26 <i>Módulo UIM02C para gestión de alarmas</i> .....	93
Figura 27 <i>Alarmas gestionadas por el módulo UIM02C</i> .....	93
Figura 28 <i>Instalación de RF y MW en Gabinete</i> .....	94
Figura 29 <i>Esquema de una IDU RTN980LH</i> .....	95
Figura 30 <i>Imagen de una IDU RTN980LH</i> .....	95
Figura 31 <i>Esquema de una IDU RTN950A</i> .....	95
Figura 32 <i>Imagen física de una IDU RTN950A</i> .....	96
Figura 33 <i>Tarjeta ISV3</i> .....	97
Figura 34 <i>Tarjeta ISM8</i> .....	98
Figura 35 <i>Tarjeta controladora CSHO</i> .....	99
Figura 36 <i>Tarjeta Controladora CSHLU</i> .....	99
Figura 37 <i>Gabinete indoor de microondas Jajallacta</i> .....	102
Figura 38 <i>Disposición de ODUS en enlace LH</i> .....	103
Figura 39 <i>Esquema de disposición de ODUS en enlace LH</i> .....	104
Figura 40 <i>Enlace 8 + SD xpic mimo</i> .....	110
Figura 41 <i>Enlace 8 + SD xpic mimo</i> .....	111
Figura 42 <i>Enlace 2 + 0 xpic</i> .....	112
Figura 43 <i>BBU3900</i> .....	113
Figura 44 <i>BBU5900</i> .....	113
Figura 45 <i>Tarjeta UBRI</i> .....	114
Figura 46 <i>Tarjeta WBBP</i> .....	115
Figura 47 <i>Tarjeta LBBP</i> .....	116
Figura 48 <i>Tarjeta UBBP</i> .....	118
Figura 49 <i>Tarjeta UMPT</i> .....	121
Figura 50 <i>Compatibilidad de tarjetería BBU 5900</i> .....	121
Figura 51 <i>Modos de soluciones GUL + NR y GULNR</i> .....	122

Figura 52 <i>Soluciones RF</i> .....	123
Figura 53 Esquema de Forma y función de una AAU en site Wanchaq.....	127
Figura 54 Forma y función de una AAU en site Wanchaq.....	127
Figura 55 <i>Solución para antena ADT4516R8 8T8R + GPS</i> .....	128
Figura 56 <i>Solución para antena ADT4516R8 64T64R + GPS</i> .....	129
Figura 57 <i>Integración de tecnologías en una sola antena</i> .....	131
Figura 58 <i>Integración de tecnologías en nodo Plaza Cusco</i> .....	132
Figura 59 <i>Estándar de instalación de antena AOC4518r4v06+ RRUs en solución 5...</i>	134
Figura 60 <i>Solución con Antena APE4518R37v06</i> .....	136
Figura 61 <i>Conexión con puerto NMS</i> .....	138
Figura 62 Logueo de ingreso a Software.....	138
Figura 63 <i>Ventana de diálogo para búsqueda de enlaces</i> .....	139
Figura 64 <i>Ventana de diálogo para búsqueda de enlaces</i> .....	139
Figura 65 <i>Ventana de diálogo para conexión a los enlaces</i> .....	140
Figura 66 <i>Logueo del enlace escogido</i> .....	140
Figura 67 <i>Logueo a enlace para ver parámetros de este</i> .....	140
Figura 68 <i>Ventana de muestra el ID del enlace</i> .....	141
Figura 69 <i>Ventana de diálogo donde muestra detalles del enlace</i> .....	142
Figura 70 <i>Ventana Slot Layout</i> .....	143
Figura 71 <i>Ventana de configuración de Atributos</i> .....	143
Figura 72 <i>Ventana de Configuración de IPs</i> .....	144
Figura 73 <i>Ventana Slot Layout con las tarjetas activas</i> .....	145
Figura 74 <i>Ventana Link configuration</i> .....	146
Figura 75 <i>Codificación de antenas en preventivo</i> .....	150
Figura 76 <i>Verificación de sujeción de antenas</i> .....	150
Figura 77 <i>Verificación de conectores y vulcanizado</i> .....	151

Figura 78 <i>Aterramiento de equipamiento Microondas</i> .....	151
Figura 79 <i>Verificación de la carcasa de la antena</i> .....	152
Figura 80 <i>Verificación de tarjetas y limpieza de equipos</i> .....	153
Figura 81 <i>Verificación y limpieza de ventiladores internos</i> .....	153
Figura 82 <i>Verificación de sistema de ventilación en Shelter</i> .....	154
Figura 83 <i>Verificación de los parámetros de señal</i> .....	154
Figura 84 <i>Verificación de los niveles de potencia</i> .....	155
Figura 85 <i>Escaneo del enlace establecido</i> .....	155
Figura 86 <i>Proceso de atención incidencias</i> .....	157
Figura 87 <i>Equipos de diagnóstico de redes</i> .....	158
Figura 88 <i>Revisión de conectores</i> .....	159
Figura 89 <i>Ajuste de parámetros de antenas</i> .....	160
Figura 90 <i>Cambio de tarjeta ISV3</i> .....	161
Figura 91 <i>Reparación interina de Sistema de energía</i> .....	161
Figura 92 <i>Verificación de parámetros post reparación</i> .....	162
Figura 93 <i>Sistema de gestión en Office Track</i> .....	163
Figura 94 <i>Informes de tareas en Office Track</i> .....	164
Figura 95 <i>Evaluación de conocimientos anual</i> .....	165
Figura 96 <i>Monitoreo en tiempo real de atenciones de alarmas</i> .....	166
Figura 97 <i>Evolución de la eficiencia en atenciones 2020</i> .....	167
Figura 98 <i>Escaneo de frecuencias por ODU</i> .....	169
Figura 99 <i>Página de inicio del Office track</i> .....	180
Figura 100 <i>Seguimiento en tiempo real de tareas en ejecución</i> .....	181
Figura 101 <i>Seguimiento de tareas por estados en tiempo real</i> .....	181
Figura 102 <i>Generación de reportes en tiempo real</i> .....	182
Figura 103 <i>Tareas Notificadas en estado Solicitado</i> .....	182

Figura 104 <i>Capacitación en los estados del Office track</i> .....	183
Figura 105 <i>Histórico de atenciones de alarma MW y RF Región Sur</i> .....	187

## RESUMEN

Telrad tiene como Cliente al operador Entel, uno de los operadores de telecomunicaciones más importantes de la región, por el cual depende de una robusta infraestructura de sistemas de microondas y radiofrecuencia para garantizar un servicio continuo y de alta calidad a sus usuarios. Este informe detalla las prácticas de operación y mantenimiento adoptadas para asegurar la confiabilidad y eficiencia de estos sistemas. El objetivo principal es mantener la integridad de la red, optimizar su desempeño y prevenir fallos que podrían afectar la calidad del servicio. Los sistemas de microondas y radiofrecuencia operan en frecuencias elevadas que permiten la transmisión de datos a altas velocidades que se basan en tecnologías avanzadas de modulación (como QAM y OFDM) y requieren una línea de vista clara entre las antenas transmisoras y receptoras para un funcionamiento óptimo que, con la modulación adaptativa se puede ajustar dinámicamente al esquema de modulación según las condiciones externas variantes del enlace, mejorando la robustez y la eficiencia espectral. La arquitectura de la red de microondas de Entel está diseñada en una configuración de malla con nodos de conmutación redundantes y rutas de respaldo, lo que garantiza la disponibilidad y robustez del servicio, teniendo enlaces punto a punto y punto a multipunto, empleando antenas direccionales y parabólicas de alta ganancia para maximizar la eficiencia de transmisión. Los nodos principales están interconectados mediante enlaces radio backhaul para soportar la alta capacidad de tráfico de datos. El mantenimiento preventivo es una parte esencial de la operación de la red teniendo procedimientos que incluyen inspecciones regulares de los equipos, calibración de antenas, limpieza de conectores, verificación de niveles de señal y análisis de la integridad estructural de las torres de transmisión, utilizando herramientas de software para monitorear el rendimiento de la red en tiempo real, permitiendo identificar y corregir desviaciones antes de que se conviertan en problemas graves; la operación y mantenimiento efectivos de los sistemas de microondas y radiofrecuencia son fundamentales para la continuidad y calidad del servicio de Entel. A través de un mantenimiento preventivo riguroso, una arquitectura de red robusta y la gestión proactiva



de alarmas, Telrad garantiza una alta disponibilidad de la red y una experiencia óptima para los clientes finales en las regiones que opera la red Entel. Las conclusiones del informe subrayan la importancia de la capacitación continua del personal técnico y la adopción de nuevas tecnologías para enfrentarse a los desafíos crecientes de la industria de telecomunicaciones.

En la zona sur Cusco, Apurímac y Madre de Dios desde el 2015 se tiene una administración de red optimizada con recursos limitados, lo cual exige que la eficacia en las atenciones sea alta por parte de cada una de las cuadrillas y en el capítulo 5 de este informe se evidencia la evolución mostrada a partir del 2020 donde se inicia una política de mejora continua con el fin de alcanzar indicadores de calidad que superen el 60% de eficacia en las atenciones.

### **PALABRAS CLAVE**

“Operación”, “Mantenimiento”, “Microondas”, “Radio Frecuencia”

## ACRONIMOS

**LOS** - Line Of Sight (Línea de Visión)

**NLOS** - Non-Line Of Sight (No Línea de Visión)

**RF** - Radio Frequency (Frecuencia de Radio)

**MIMO** - Multiple Input Multiple Output (Entradas y Salidas Múltiples)

**SNR** - Signal-to-Noise Ratio (Relación Señal/Ruido)

**BER** - Bit Error Rate (Tasa de Error de Bits)

**FDD** - Frequency Division Duplex (Dúplex por División de Frecuencia)

**TDD** - Time Division Duplex (Dúplex por División de Tiempo)

**QAM** - Quadrature Amplitude Modulation (Modulación por Amplitud en Cuadratura)

**FSK** - Frequency Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia)

**PSK** - Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase)

**SISO** - Single Input Single Output (Entrada Única, Salida Única)

**PIM** - Passive Intermodulation (Intermodulación Pasiva)

**NMS** - Network Management System (Sistema de Gestión de Red)

**RSSI** - Received Signal Strength Indicator (Indicador de la Intensidad de Señal Recibida)

**PAPR** - Peak-to-Average Power Ratio (Relación de Potencia Pico a Media)

**GSM** - Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)

**CDMA** - Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código)

**EDGE** - Enhanced Data rates for GSM Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM)

**GPRS** - General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes Vía Radio)

**SIM** - Subscriber Identity Module (Módulo de Identidad del Suscriptor)

**IMEI** - International Mobile Equipment Identity (Identidad Internacional de Equipo Móvil)

**IMSI** - International Mobile Subscriber Identity (Identidad Internacional de Suscriptor Móvil)

**BTS** - Base Transceiver Station (Estación Transmisora Base)

**MSC** - Mobile Switching Center (Centro de Conmutación Móvil)

**HLR** - Home Location Register (Registro de Ubicación Doméstico)

**VLR** - Visitor Location Register (Registro de Ubicación de Visitantes)

**AUC** - Authentication Center (Centro de Autenticación)

**EIR** - Equipment Identity Register (Registro de Identidad del Equipo)

**TMSI** - Temporary Mobile Subscriber Identity (Identidad Temporal del Suscriptor Móvil)

**UMTS** - Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)

**WCDMA** - Wideband Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha)

**HSPA** - High-Speed Packet Access (Acceso de Paquetes a Alta Velocidad)

**HSDPA** - High-Speed Downlink Packet Access (Acceso de Paquetes en Enlace Descendente de Alta Velocidad)

**HSUPA** - High-Speed Uplink Packet Access (Acceso de Paquetes en Enlace Ascendente de Alta Velocidad)

**EV-DO** - Evolution-Data Optimized (Evolución-Datos Optimizados)

**RNC** - Radio Network Controller (Controlador de Red de Radio)

**Node B** - Nodo B (Estación Base en UMTS)

**SGSN** - Serving GPRS Support Node (Nodo de Soporte GPRS de Servicio)

**GGSN** - Gateway GPRS Support Node (Nodo de Soporte GPRS de Pasarela)

**PDP** - Packet Data Protocol (Protocolo de Datos de Paquetes)

**RAB** - Radio Access Bearer (Soporte de Acceso Radioeléctrico)

**QoS** - Quality of Service (Calidad de Servicio)

**PSTN** - Public Switched Telephone Network (Red de Telefonía Pública Conmutada)

**LTE** - Long-Term Evolution (Evolución a Largo Plazo)

**OFDMA** - Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal)

**SC-FDMA** - Single Carrier Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Única Portadora)

**IMS** - IP Multimedia Subsystem (Subsistema de Multimedia IP)

**VoLTE** - Voice over LTE (Voz sobre LTE)

**eNodeB** - Evolved Node B (Nodo B Evolucionado)

**EPC** - Evolved Packet Core (Núcleo de Paquetes Evolucionado)

**SGW** - Serving Gateway (Pasarela de Servicio)

**PGW** - Packet Data Network Gateway (Pasarela de Red de Datos de Paquetes)

**MME** - Mobility Management Entity (Entidad de Gestión de Movilidad)

**PCRF** - Policy and Charging Rules Function (Función de Reglas de Políticas y Cargos)

**PDN** - Packet Data Network (Red de Datos de Paquetes)

**PCEF** - Policy and Charging Enforcement Function (Función de Aplicación de Políticas y Cargos)

**PDSCH** - Physical Downlink Shared Channel (Canal Físico Compartido de Enlace Descendente)

**PUSCH** - Physical Uplink Shared Channel (Canal Físico Compartido de Enlace Ascendente)

**PRACH** - Physical Random Access Channel (Canal Físico de Acceso Aleatorio)

**PUCCH** - Physical Uplink Control Channel (Canal Físico de Control de Enlace Ascendente)

**PDCCH** - Physical Downlink Control Channel (Canal Físico de Control de Enlace Descendente)

**HARQ** - Hybrid Automatic Repeat Request (Solicitud de Repetición Automática Híbrida)

**NR** - New Radio (Nueva Radio)

**mmWave** - Millimeter Wave (Onda Milimétrica)

**MASSIVE MIMO** - Massive Multiple Input Multiple Output (Entradas y Salidas Múltiples Masivas)

**NSA** - Non-Standalone (No Autónomo)

**SA** - Standalone (Autónomo)

**C-RAN** - Cloud Radio Access Network (Red de Acceso Radioeléctrico en Nube)

**MEC** - Multi-access Edge Computing (Computación en el Borde de Acceso Múltiple)

**URLLC** - Ultra-Reliable Low-Latency Communications (Comunicaciones Ultra Confiables y de Baja Latencia)

**eMBB** - Enhanced Mobile Broadband (Banda Ancha Móvil Mejorada)

**mMTC** - Massive Machine Type Communications (Comunicaciones Masivas de Tipo Máquina)

**5GC** - 5G Core (Núcleo 5G)

**gNB** - Next Generation Node B (Nodo B de Nueva Generación)

**BWP** - Bandwidth Part (Parte del Ancho de Banda)

**SDN** - Software-Defined Networking (Redes Definidas por Software)

**NFV** - Network Functions Virtualization (Virtualización de Funciones de Red)

**IEEE** - Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

**ITU** - International Telecommunication Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

**3GPP** - 3rd Generation Partnership Project (Proyecto de Asociación de 3ra Generación)

**NG-RAN** - Next Generation Radio Access Network (Red de Acceso Radioeléctrico de Nueva Generación)

**UPF** - User Plane Function (Función del Plano de Usuario)

**SBA** - Service-Based Architecture (Arquitectura Basada en Servicios)

**AMF** - Access and Mobility Management Function (Función de Gestión de Acceso y Movilidad)

**NSSF** - Network Slice Selection Function (Función de Selección de Cortes de Red)

**UDM** - Unified Data Management (Gestión de Datos Unificada)

**PCF** - Policy Control Function (Función de Control de Políticas)

**NEF** - Network Exposure Function (Función de Exposición de Red)

## **Capítulo I:**

### **Aspectos Generales**

#### **1.1 Datos de la empresa**

Telrad Networks, fundada en 1951, es una empresa global de telecomunicaciones con sede en Israel. La compañía ha evolucionado significativamente a lo largo de los años, adaptándose a los cambios tecnológicos y las demandas del mercado. Telrad se ha destacado por su capacidad de innovación y su compromiso con la calidad, lo que le ha permitido expandir su presencia a nivel internacional, incluyendo mercados emergentes como el de Perú.

Telrad inició operaciones en Perú como parte de su estrategia de expansión en América Latina, identificando una oportunidad significativa en el mercado peruano debido al creciente interés en mejorar la infraestructura de telecomunicaciones y la creciente demanda de servicios de banda ancha. La entrada de Telrad ha contribuido al desarrollo de redes de telecomunicaciones más robustas y confiables en el país.

Telrad ofrece una amplia gama de productos y servicios diseñados para cumplir con las necesidades de los operadores de telecomunicaciones, proveedores de servicios de internet (ISP) y empresas en Perú.

Telrad viene operando la red de Entel desde el 2015 jugando un papel crucial en la expansión y modernización de la infraestructura de telecomunicaciones en Perú. Su tecnología ha permitido a los operadores locales mejorar la calidad de sus servicios y aumentar la cobertura, especialmente en regiones donde tradicionalmente había deficiencias en la conectividad.

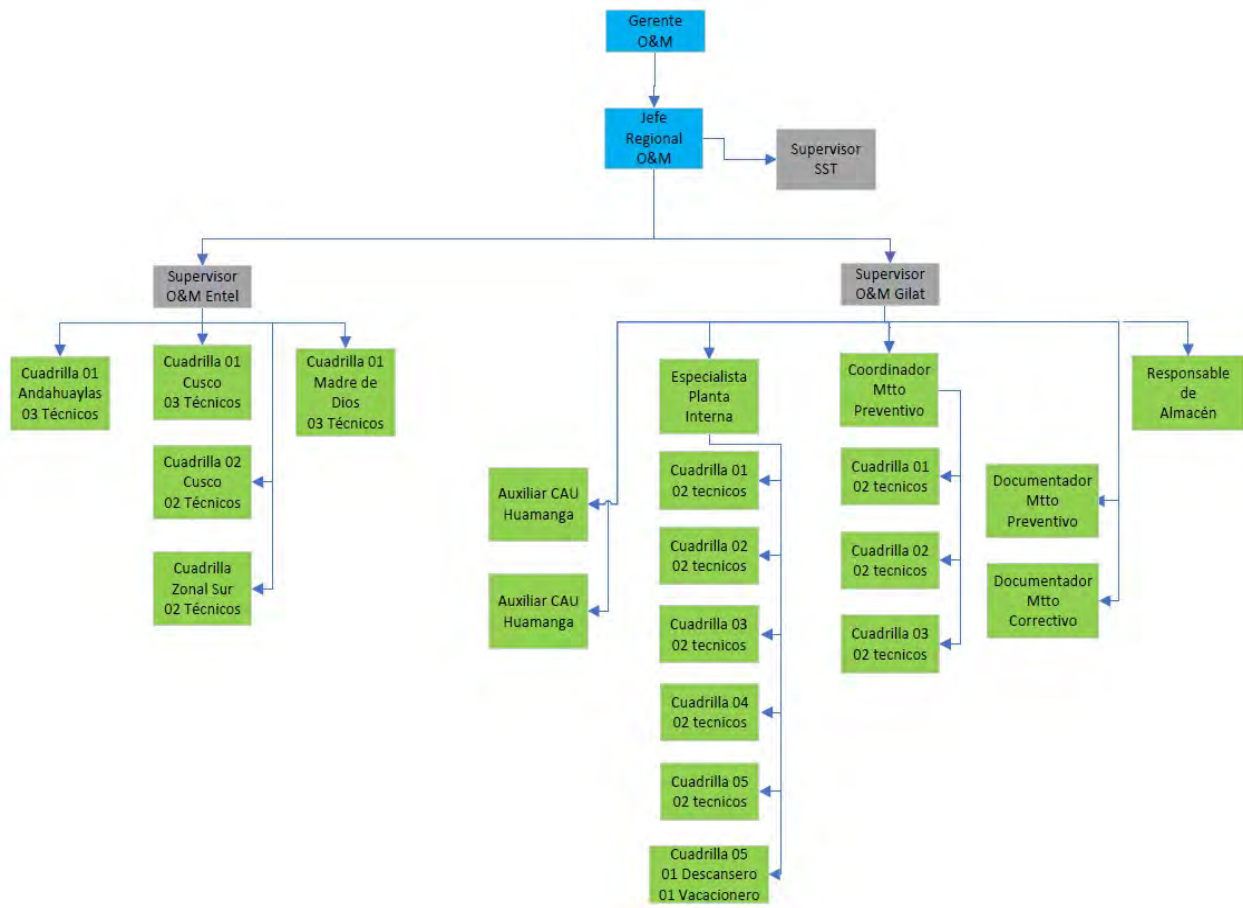
Una de las contribuciones más significativas de Telrad ha sido el impulso a la conectividad en zonas rurales y remotas. Mediante el despliegue de soluciones de acceso fijo inalámbrico y LTE, Telrad ha ayudado a reducir la brecha digital, proporcionando a comunidades rurales acceso a internet de banda ancha por primera vez. Esta conectividad ha tenido un impacto positivo en la educación, la economía y la calidad de vida de los residentes en estas áreas.

Fortalecimiento de Proveedores de Servicios

Telrad ha colaborado estrechamente con los proveedores de servicios de telecomunicaciones locales, ofreciendo soluciones personalizadas que atienden a las necesidades específicas del mercado peruano. Su tecnología ha permitido a estos proveedores expandir sus ofertas de servicios, mejorar la calidad y reducir costos operativos.

## 1.2 Organigrama Telrad

**Figura 1**  
*Organigrama Telrad*



*Nota:* Orden jerárquico de Telrad

## 1.3 Descripción del problema

Entel, como uno de los proveedores de telecomunicaciones más prominentes contrataron a Telrad para operar una extensa red de sistemas de microondas y radiofrecuencia que son fundamentales para la transmisión de datos y para garantizar la conectividad entre diversas regiones, tanto urbanas como rurales. Estos sistemas son críticos para proporcionar servicios de



voz, datos y video de alta calidad a millones de usuarios. Sin embargo, la operación y el mantenimiento de esta infraestructura enfrentan múltiples desafíos que pueden impactar la fiabilidad y eficacia de la red.

Las interferencias de los enlaces de microondas pueden ser causadas por otros sistemas de comunicación operando en frecuencias cercanas, lo que degrada la calidad de señal y aumenta la tasa de errores en la transmisión de datos.

Factores como lluvia intensa, neblina, nieve y tormentas eléctricas pueden causar atenuación de señal, desvanecimiento por multipath y otras formas de degradación de la calidad.

Interrupciones temporales en el servicio, disminución de la velocidad de transmisión y aumento en los tiempos de latencia, lo cual afecta negativamente la experiencia del usuario.

El incremento en el tráfico de datos debido a un aumento en el número de usuarios o aplicaciones de alta demanda puede sobrecargar los enlaces de microondas y radiofrecuencia.

La falta de inspecciones y mantenimiento regulares puede llevar a la degradación gradual de los equipos, como transceptores y antenas.

Con el tiempo, los factores ambientales y físicos pueden causar una desalineación de las antenas y degradación en los empalmes de los conectores, lo que reduce la eficiencia de transmisión y recepción.

La demora en la identificación y resolución de alarmas puede hacer que los problemas menores se conviertan en fallos críticos.

El personal técnico puede no recibir capacitación suficiente o actualizaciones sobre las últimas tecnologías y procedimientos de mantenimiento.

La operación y el mantenimiento de los sistemas de microondas y radiofrecuencia de Entel se enfrentan a una serie de desafíos cruciales que requieren atención continua y estrategias efectivas para mitigarlos. Telrad adopta las mejores prácticas de mantenimiento, realizar inversiones continuas en tecnología y equipamiento asegurando un desarrollo constante del personal técnico.

## **1.4 Formulación del problema**

En las red de microondas y radiofrecuencia del operador Entel en la región sur del Perú presentan diversos problemas que afectan a la operatividad del equipamiento de telefonía pudiendo abarcar escenarios de energía, conectorizado y demás descritos en este informe.

Los escenarios para la realización de un diagnóstico eficaz tienen como principal fundamento poder entender el histórico previo del nodo que se atiende, la experiencia de la cuadrilla y tener un soporte de operaciones en línea, el funcionamiento coordinado de estos factores determina la eficacia de las atenciones en los mantenimientos correctivos.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Dar a conocer los procesos de mantenimiento correctivo y preventivo de la infraestructura de los sistemas de Microondas y Radiofrecuencia de la Empresa Entel Perú.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

. Mostrar de manera detallada los principios teóricos de funcionamiento de los equipos de microondas y radiofrecuencia con tecnología desarrollada por Huawei presentes en la red Entel Perú.

Examinar la arquitectura de los equipos de microondas y radiofrecuencia instalados en las estaciones base de la red Entel Perú.

. Identificar las principales causas de averías en el proceso de operación y mantenimiento de los equipos de microondas y radiofrecuencia instalados en la red Entel Perú.

. Detallar un procedimiento estándar para la operación y mantenimiento de los equipos de microondas y radiofrecuencia de la red Entel Perú.

## **1.6 Alcance**

Este informe técnico de operación y mantenimiento de los sistemas de microondas y radiofrecuencia detalla esboza lineamientos generales para el proceso de atenciones preventivas y correctivas en las estaciones base de la red Entel Perú en la zona Sur del Perú, enfocado en

la tecnología desarrollada por la marca Huawei, tomando en cuenta la eficiencia y la eficacia de las atenciones para garantizar el servicio de voz y datos que Entel Perú brinda a sus clientes.

### **1.7 Justificación y relevancia**

La importancia de mantener en óptimas condiciones los sistemas de microondas y radiofrecuencia radica en la necesidad de ofrecer un servicio de comunicación confiable y de alta calidad a los usuarios de Entel Perú. Un mantenimiento adecuado contribuirá a prevenir interrupciones en la red, mejorar la experiencia del usuario y garantizar la competitividad de Telrad como empresa en el mercado de las telecomunicaciones.

### **1.8 Limitaciones del trabajo**

Las limitaciones que se pueden identificar en este informe las detallo a continuación:

1.- Este proceso de operación y mantenimiento estará sujeto a los recursos disponibles, tanto humanos como materiales.

2.- La implementación de mejoras y actualizaciones dependerá de la compatibilidad de los equipos existentes y de la disponibilidad de presupuesto para inversiones adicionales.

3.- Limitaciones en el acceso geográfico y en los recursos logísticos podrían afectar la rapidez de respuesta y solución ante incidencias.

4.- Problemas de accesibilidad de las estaciones base, por gestión de llaves, coordinación con propietarios y lejanía, podrían afectar la rapidez de respuesta y solución ante incidencias.

## Capítulo II:

### Marco Teórico de los Sistemas De Radio Frecuencia y Microondas

#### 2.1 Antecedentes

Fernando Camacho Godoy & William Sánchez Acosta (2012) “Modelo para la operación y mantenimiento de redes de acceso inalámbrico para servicios móviles” En esta investigación se desarrolla un modelo de referencia que recoge las mejores prácticas de trabajo como eTOM, ITIL y COBIT, permitiendo identificar los elementos relevantes que deben considerarse en la operación y mantenimiento dentro del entorno del negocio.

**Qué ha solucionado:** La investigación ha desarrollado un modelo de referencia para la operación y mantenimiento de redes de acceso inalámbrico para servicios móviles. Este modelo aborda la necesidad de gestionar de manera eficiente y efectiva la operación y mantenimiento de dichas redes, mejorando la calidad del servicio y reduciendo interrupciones y fallos. Fernando Camacho Godoy & William Sánchez Acosta (2012)

**Cómo lo ha realizado:** El modelo se ha construido recopilando las mejores prácticas de trabajo de marcos reconocidos como eTOM (Enhanced Telecom Operations Map), ITIL (Information Technology Infrastructure Library) y COBIT (Control Objectives for Information and Related Technology). Estas prácticas fueron integradas para identificar y considerar los elementos relevantes necesarios en la operación y mantenimiento de redes inalámbricas en el entorno del negocio. Fernando Camacho Godoy & William Sánchez Acosta (2012)

**Qué resultados ha tenido:** La implementación del modelo ha permitido una gestión más estructurada y eficiente de las redes de acceso inalámbrico. Los operadores pueden identificar y mitigar problemas más rápidamente, mejorar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios finales, y mantener la infraestructura de red de manera más proactiva y menos reactiva. Se ha observado una reducción en el número de interrupciones y fallos, así como una mejora en la satisfacción del cliente. Fernando Camacho Godoy & William Sánchez Acosta (2012)

**Conclusiones:** La investigación concluye que la adopción de un modelo de referencia basado en las mejores prácticas de eTOM, ITIL y COBIT es altamente beneficiosa para la operación y mantenimiento de redes de acceso inalámbrico. Este enfoque no solo mejora la calidad y fiabilidad del servicio, sino que, también optimiza los procesos operativos y reduce costos. El estudio subraya la importancia de una gestión integral y proactiva de la red para enfrentar los desafíos tecnológicos y de mercado en la industria de telecomunicaciones.

Giovani León Trujillo Guarderas & Wilbert Chávez Irazábal & Darío Utrilla Salazar (2022) "Implementación de un plan estratégico de mantenimiento del sistema de telecomunicaciones y su relación con la operatividad de un hospital regional" En este estudio se determina la relación entre la implementación de un plan estratégico de mantenimiento y la operatividad del sistema de telecomunicaciones del hospital Docente Clínico Quirúrgico Daniel Alcides Carrión de Huancayo.

**Qué ha solucionado:** El estudio ha abordado la mejora de la operatividad del sistema de telecomunicaciones del hospital Docente Clínico Quirúrgico Daniel Alcides Carrión de Huancayo. La implementación de un plan estratégico de mantenimiento ha solucionado problemas de interrupciones, fallos y baja eficiencia en las comunicaciones del hospital, que son cruciales para su funcionamiento diario. Giovani León Trujillo Guarderas & Wilbert Chávez Irazábal & Darío Utrilla Salazar (2022).

**Cómo lo ha realizado:** La investigación ha desarrollado y aplicado un plan estratégico de mantenimiento específicamente diseñado para el sistema de telecomunicaciones del hospital. Este plan incluye la identificación de componentes críticos, establecimiento de rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo, capacitación del personal técnico, y la implementación de procedimientos estandarizados para la gestión de incidencias y resolución de problemas. Giovani León Trujillo Guarderas & Wilbert Chávez Irazábal & Darío Utrilla Salazar (2022).

**Qué resultados ha tenido:** La implementación del plan estratégico de mantenimiento ha mejorado significativamente la operatividad del sistema de telecomunicaciones del hospital. Se

ha observado una disminución en el número de interrupciones y fallos del sistema, lo que ha incrementado la eficiencia y confiabilidad de las comunicaciones. Esto ha permitido una mejor coordinación y respuesta en las actividades clínicas y quirúrgicas, contribuyendo a una mayor calidad en la atención a los pacientes. Giovani León Trujillo Guarderas & Wilbert Chávez Irazábal & Darío Utrilla Salazar (2022)

**Conclusiones:** El estudio concluye que la implementación de un plan estratégico de mantenimiento tiene una relación positiva y significativa con la operatividad del sistema de telecomunicaciones en el hospital. La gestión proactiva y estructurada del mantenimiento no solo mejora la fiabilidad y eficiencia del sistema, sino que también impacta positivamente en la calidad del servicio de salud proporcionado. Los autores destacan la importancia de mantener planes de mantenimiento actualizados y bien ejecutados para asegurar la continuidad y efectividad de las operaciones hospitalarias. Giovani León Trujillo Guarderas & Wilbert Chávez Irazábal & Darío Utrilla Salazar (2022).

Daniel Draco (2019) “Mantenimiento Preventivo Telecomunicaciones” El Documento describe los procedimientos de mantenimiento preventivo para los tres tipos de equipos de telecomunicaciones: DSLAM, BTS y BBU, el mantenimiento incluye limpiar filtros, ventiladores y estructuras externas para garantizar su buen funcionamiento.

**Qué ha solucionado:** El trabajo ha solucionado problemas relacionados con el funcionamiento ineficiente y fallos en los equipos de telecomunicaciones DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), BTS (Base Transceiver Station) y BBU (Baseband Unit) mediante la implementación de procedimientos de mantenimiento preventivo. Daniel Draco (2019).

**Cómo lo ha realizado:** El documento describe procedimientos específicos de mantenimiento preventivo para cada tipo de equipo. Las acciones incluyen la limpieza de filtros, ventiladores y estructuras externas para asegurar el buen funcionamiento de los equipos y prevenir fallos. Estos procedimientos son detallados y adaptados a las necesidades de cada tipo

de equipo, asegurando que todos los componentes críticos reciban la atención adecuada. Daniel Draco (2019).

**Qué resultados ha tenido:** La implementación de estos procedimientos de mantenimiento preventivo ha resultado en una mejora significativa en el rendimiento y la fiabilidad de los equipos de telecomunicaciones. Se ha observado una reducción en la frecuencia de fallos y en el tiempo de inactividad de los equipos, lo que ha llevado a una mayor estabilidad y eficiencia operativa en las redes de telecomunicaciones. Daniel Draco (2019).

**Conclusiones:** El estudio concluye que el mantenimiento preventivo es crucial para garantizar el buen funcionamiento de los equipos de telecomunicaciones. La limpieza regular de filtros, ventiladores y estructuras externas previene problemas que pueden afectar el rendimiento y la longevidad de los equipos DSLAM, BTS y BBU. La adopción de estos procedimientos ha demostrado ser efectiva en mejorar la fiabilidad y eficiencia de las redes de telecomunicaciones, destacando la importancia de las prácticas de mantenimiento preventivo en la industria. Daniel Draco (2019).

Juan Camilo Restrepo Marín (2022) “Manual de Mantenimiento preventivo de redes de planta externa GPON para técnicos de la empresa Velonet”. Este trabajo desarrolla un manual con el fin de delegar tareas y que estas puedan ser ejecutadas de manera eficiente y precisa, además de mostrar un plan de mantenimiento.

**Qué ha solucionado:** El trabajo ha solucionado problemas relacionados con la falta de organización y eficiencia en la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo en redes de planta externa GPON (Gigabit Passive Optical Network) para técnicos de la empresa Velonet.

**Cómo lo ha realizado:** El autor ha desarrollado un manual detallado que delega tareas específicas de mantenimiento a los técnicos, asegurando que estas se realicen de manera eficiente y precisa. Además, el manual incluye un plan de mantenimiento estructurado, que abarca todos los aspectos necesarios para el mantenimiento preventivo de las redes GPON, proporcionando directrices claras y procedimientos estandarizados.

**Qué resultados ha tenido:** La implementación del manual ha mejorado significativamente la organización y la eficiencia en la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo. Los técnicos ahora pueden realizar sus tareas de manera más eficiente y con menos errores, lo que ha llevado a una mayor fiabilidad y rendimiento de las redes GPON. La claridad y precisión del manual han reducido el tiempo de inactividad y han mejorado la calidad del servicio proporcionado por Velonet.

**Conclusiones:** El estudio concluye que la creación de un manual de mantenimiento preventivo específico para redes de planta externa GPON es esencial para mejorar la eficiencia y precisión en la ejecución de tareas por parte de los técnicos. La implementación de un plan de mantenimiento bien estructurado y la delegación clara de tareas han demostrado ser efectivos para aumentar la fiabilidad y el rendimiento de las redes GPON. El trabajo destaca la importancia de tener directrices claras y procedimientos estandarizados para el mantenimiento preventivo en la industria de telecomunicaciones. marcelo --- 989845107

## **2.2 Enlaces Microondas**

### **2.2.1 Desarrollo Histórico de los Enlaces Microondas**

Desde sus inicios en los años 1930 y 1940 durante la Segunda Guerra Mundial, los sistemas de enlace de microondas, especialmente los enlaces punto a punto, han experimentado una evolución notable en el equipamiento y tecnología utilizada. Estos primeros sistemas eran voluminosos y costosos, y requerían líneas de vista claras entre antenas para funcionar. Su principal aplicación era militar, proporcionando comunicaciones inalámbricas seguras y rápidas.

En las décadas de 1950 y 1960, la tecnología comenzó a avanzar significativamente. La introducción de transistores en lugar de válvulas de vacío permitió una reducción significativa en el tamaño y el consumo de energía de los equipos, mejorando la eficiencia y haciéndolos más accesibles para el uso comercial. Los enlaces punto a punto comenzaron a ser utilizados por operadores de telecomunicaciones y redes de televisión para transmitir señales de voz y datos.



La revolución digital de los años 1980 marcó un hito significativo en la evolución de los sistemas de enlace de microondas. La transición de comunicaciones analógicas a digitales permitió una mayor eficiencia espectral y una mejora de la calidad de la señal. Equipos más compactos y eficientes comenzaron a incorporar tecnologías de modulación avanzada, como QAM (Modulación por Amplitud en Cuadratura), lo que incrementó la capacidad de transmisión. Los enlaces punto a punto digitales se convirtieron en la columna vertebral de muchas redes de telecomunicaciones, proporcionando conexiones de alta capacidad y baja latencia.

Durante los años 1990 y 2000, la demanda de datos aumentó exponencialmente con la proliferación de internet. Los sistemas de microondas evolucionaron para ofrecer mayores capacidades y mejor rendimiento. La tecnología MIMO (multiple-input, multiple-output) emergió, permitiendo la transmisión de múltiples señales simultáneamente en la misma banda de frecuencia, aumentando significativamente la capacidad de los enlaces punto a punto. Los equipos también se hicieron más robustos y capaces de operar en condiciones ambientales adversas.

En los últimos años, la convergencia tecnológica ha jugado un papel clave en la evolución de los sistemas de microondas. Equipos modernos no solo manejan transmisiones de datos, sino que también integran funcionalidades como la gestión de redes, la supervisión en tiempo real y la adaptación automática de las rutas de señal. La incorporación de tecnologías de backhaul en los sistemas de microondas ha sido fundamental para soportar la expansión de las redes móviles y el despliegue de 4G y 5G. Los enlaces punto a punto se utilizan ampliamente para conectar antenas base y proporcionar capacidad de red redundante y de alta disponibilidad.

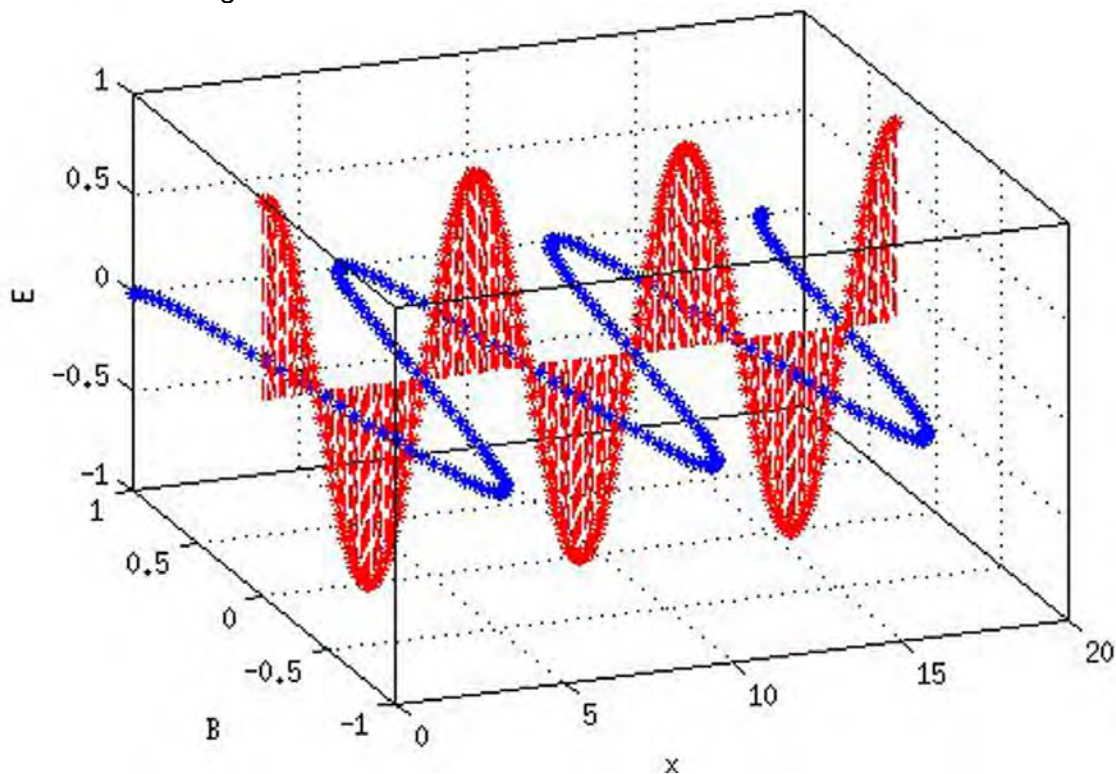
La implementación de la tecnología 5G está impulsando aún más los sistemas de microondas hacia nuevas fronteras. Las frecuencias de microondas y ondas milimétricas se utilizan para soportar las altas demandas de ancho de banda y la baja latencia requeridas por 5G. Los enlaces punto a punto en frecuencias de 80 GHz a más, permiten capacidades de

transmisión previamente inimaginables, necesarias para aplicaciones futuras como vehículos autónomos, IoT masivo y servicios de realidad aumentada.

## 2.2.2 Enlaces con polarización ortogonal

En el continuo esfuerzo por mejorar la capacidad y eficiencia de las redes de telecomunicaciones, la polarización ortogonal ha emergido como una técnica vital. Al aprovechar la polarización ortogonal, los enlaces de microondas pueden transmitir múltiples señales en el mismo canal de frecuencia, duplicando efectivamente la capacidad del enlace. Este informe explora en profundidad el uso de polarización ortogonal en enlaces de microondas y examina las tecnologías complementarias como MIMO, CCDP, y XPIC, en la figura 02 se aprecia la forma de onda que se presenta en el canal utilizado.

**Figura 2**  
*Polarización Ortogonal*



*Nota:* La polarización en las ondas electromagnéticas

La polarización en las ondas electromagnéticas se refiere a la orientación del campo eléctrico de la onda. La polarización ortogonal implica la transmisión de dos ondas

electromagnéticas con orientaciones de polarización perpendiculares entre sí, comúnmente polarizaciones horizontal y vertical, en la misma frecuencia. Esto permite la coexistencia de dos canales de datos independientes en un único enlace de microondas, duplicando la capacidad sin requerir espectro adicional (Carrasco & Roddy, 2015).

Implementar sistemas con polarización ortogonal tiene componentes de complejidad alta, ya que, requiere un diseño muy preciso de antenas y equipos para garantizar un alto aislamiento de polarización y minimizar la interferencia entre señales. Este tipo de enlaces tienden a ser vulnerables a factores ambientales como la lluvia intensa, que pueden afectar su eficacia al inducir despolarización y obstrucciones de la línea de vista. La alineación es un factor fundamental de las antenas receptoras y transmisoras también es crucial para garantizar la separación efectiva de los canales utilizados con diferentes polarizaciones. Cualquier desviación puede resultar en una disminución de la calidad del enlace, afectando la fiabilidad y el rendimiento del sistema. Además, la gestión del crosstalk se vuelve especialmente crítica en entornos con múltiples enlaces cercanos, donde la capacidad de mantener alta integridad en las señales es vital para evitar interferencias.

**Transmisión Dual:** En un sistema con polarización ortogonal, una antena de microondas puede emitir dos señales independientes con polarizaciones ortogonales, por ejemplo, una horizontal y otra vertical. Esto efectivamente duplica la capacidad de datos del enlace al utilizar las mismas frecuencias para ambas polarizaciones (Skolnik, 2013).

**Componentes de Polarización:** Los sistemas de microondas que emplean polarización ortogonal requieren de equipos especializados como diplexores y discriminadores de polarización que son capaces de separar las señales con diferentes polarizaciones en los extremos receptor y transmisor del enlace. Estos componentes aseguran que las señales se mantengan independientes y se minimice cualquier posible interferencia (Rappaport, 2016).

**Crosstalk y Aislamiento de Polarización:** Uno de los principales desafíos es minimizar el crosstalk, es decir, la interferencia entre señales de polarizaciones ortogonales. El aislamiento

de polarización, que mide la separación entre las dos señales perpendiculares, es crucial para mantener la integridad de la transmisión de datos (Goldsmith, 2005).

### **2.2.2.1.        *Aplicaciones de polarización ortogonal en enlaces de microondas.***

Los enlaces de microondas con polarización ortogonal se utilizan en una variedad de aplicaciones que demandan alta capacidad y fiabilidad, tales como:

**Backhaul de Red Entel:** En la red de telecomunicaciones Entel, donde la capacidad de datos y la eficiencia del espectro son cruciales, la polarización ortogonal ha sido utilizado en gran medida para el escalamiento de la red de transporte, permitiendo un uso más eficiente del espectro disponible, incrementando la capacidad del backhaul sin necesidad de espectro adicional. Esto es esencial para satisfacer la creciente demanda de datos debido a la expansión de servicios de alta velocidad y la implementación de 4G y 5G.

**Redundancia y Fiabilidad:** En la red Entel se ha masificado la técnica de polarización 2+0, la cual ofrece redundancia y duplica el ancho de banda. Si una de las polarizaciones falla o se degrada, la otra puede continuar proporcionando el enlace, mejorando la fiabilidad y la robustez de la comunicación. En Entel esta característica es vital para todas las aplicaciones ya que la continuidad del servicio es crítica

**Bandas Sub-6 GHz:** Preferidas para enlaces de larga distancia debido a su menor atenuación atmosférica, llegando a distancias de 45 Km, en Cusco se aprecia el enlace Chiarage - Tintaya.

**Bandas de Microondas (6-40 GHz):** Ofrecen un buen balance entre capacidad y alcance, comúnmente usadas en entornos urbanos y suburbanos.

**Bandas de Ondas Milimétricas (30-300 GHz):** Utilizadas para enlaces de corta distancia con altas tasas de datos, esenciales para backhaul 5G y aplicaciones de alta densidad.

### **2.2.2.2.        *CCDP (co-channel dual polarization)***

La tecnología de Doble Polarización en el Mismo Canal (Co-Channel Dual Polarization, CCDP) ha revolucionado las comunicaciones inalámbricas, extendiendo la capacidad del

espectro y mejorando la eficiencia en el uso de los recursos disponibles. El CCDP es un método en el que dos señales que utilizan la misma frecuencia, pero con polarizaciones ortogonales, se transmiten simultáneamente. Esto permite maximizar la eficiencia espectral sin requerir frecuencias adicionales, duplicando efectivamente la capacidad de transmisión.

El concepto fundamental detrás de CCDP radica en la propiedad física de la polarización electromagnética. Las señales de radio frecuencia pueden polarizarse de diferentes maneras: horizontal y vertical son las formas más comunes. Cuando se utilizan estas dos polarizaciones de manera ortogonal en el mismo canal, las señales no interfieren entre sí debido a su orientación diferente. Este paradigma de transmisión permite que se envíen dos flujos de datos independientes simultáneamente sobre la misma banda de frecuencia (Rappaport, 2016)

Para llevar a cabo esta operación, los enlaces de comunicación deben estar equipados con antenas especializadas que soporten múltiple polarización y receptoras capaces de discernir y separar las señales polarizadas. Esto usualmente se logra mediante el uso de diplexores y discriminadores de polarización, que aseguran el correcto aislamiento y minimizan la interferencia entre los flujos de datos.

Para implementar CCDP efectivamente, se requieren diversos componentes y tecnologías:

**Antenas de Polarización Doble:** Las antenas que soportan múltiples polarizaciones son esenciales para transmitir y recibir señales con polarización ortogonal. Deben ser diseñadas con precisión para mantener un elevado nivel de aislamiento entre las señales de diferentes polarizaciones (Skolnik, 2013).

**Diplexores y Discriminadores de Polarización:** Estos equipos se utilizan para separar las señales con polarización ortogonal en los extremos del transmisor y receptor. Su función es crucial en la reducción de crosstalk y en la mejora de la calidad de las señales transmitidas (Anderson, 2018).

**Procesamiento de Señal Digital:** El procesamiento digital avanzado es fundamental para manejar la combinación y la separación de las señales polarizadas. Algoritmos específicos se encargan de medir y cancelar eficazmente la interferencia entre canales, lo cual es indispensable para minimizar el impacto del crosstalk (Rappaport, 2016; Peterson, 2018).

### **2.2.2.3. XPIC (cross polarization interference cancellation)**

La Cancelación de Interferencia de Polarización Cruzada (XPIC, por sus siglas en inglés) es una tecnología avanzada utilizada en sistemas de comunicaciones para aumentar la capacidad y eficiencia del espectro electromagnético. XPIC es esencial en entornos de alta densidad donde la interferencia entre canales de polarización ortogonal puede afectar significativamente la calidad y la fiabilidad de la transmisión. Esta tecnología ha sido fundamental en mejorar el rendimiento de las comunicaciones inalámbricas, especialmente en enlaces punto a punto de microondas y en la infraestructura de telecomunicaciones moderna.

La polarización en las ondas electromagnéticas se refiere a la orientación del campo eléctrico. Las señales pueden polarizarse horizontal o verticalmente, y dos señales con polarizaciones ortogonales pueden coexistir en la misma frecuencia sin interferirse significativamente bajo condiciones ideales. Sin embargo, en la práctica, varios factores como las imperfecciones en las antenas, la despolarización debida a las condiciones atmosféricas, y el multitrayecto pueden causar interferencia entre estas señales ortogonales. XPIC es una técnica diseñada para mitigar esta interferencia, cancelando eficientemente el crosstalk (interferencia electromagnética) entre las señales con polarización cruzada (Goldsmith, 2005).

XPIC opera utilizando algoritmos avanzados y procesamiento de señal digital para identificar y cancelar la interferencia entre las señales polarizadas ortogonalmente. Este proceso implica varios pasos:

**Recepción de Señales:** Las señales polarizadas ortogonalmente se reciben simultáneamente y pueden contener componentes interferentes debido a crosstalk. En este

punto, la señal horizontal puede contener elementos de la señal vertical y viceversa (Goldsmith, 2005).

**Cancelación de Interferencia:** Utilizando el procesamiento de señal digital, los componentes interferentes son substraídos de las señales originales, resultando en la atenuación de la interferencia cruzada y la recuperación de las señales limpias. Esta operación se realiza típicamente en tiempo real, permitiendo una mejora continua en la calidad de la señal (Peterson, 2018).

La evolución continua de los sistemas de procesamiento de señal y la incorporación de las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático están abriendo nuevas fronteras para XPIC. Estas tecnologías pueden mejorar aún más la capacidad de XPIC para adaptarse dinámicamente a las condiciones de interferencia cambiantes y optimizar el rendimiento de la cancelación de interferencia en tiempo real.

Con el despliegue continuo de redes 5G y la futura llegada de 6G, la demanda de técnicas avanzadas de manejo del espectro crecerá exponencialmente. XPIC se mantendrá como una tecnología crucial en la infraestructura de telecomunicaciones, asegurando que las redes sean capaces de manejar el tráfico de datos en constante aumento y proporcionar servicios confiables y de alta calidad (Peterson, 2018).

XPIC (Cross Polarization Interference Cancellation) es una tecnología avanzada que ha mejorado significativamente la eficiencia y la capacidad de los sistemas de comunicaciones. Mediante la cancelación de la interferencia entre señales polarizadas ortogonalmente, XPIC permite un uso optimizado del espectro electromagnético, duplicando efectivamente la capacidad de los canales sin requerir espectro adicional. Aunque presenta desafíos técnicos y requiere de una implementación precisa, los beneficios en términos de aumento de capacidad, optimización del espectro y reducción de costos operativos son invaluable. Con el avance continuo de las tecnologías y la integración de IA y aprendizaje automático, XPIC continuará siendo fundamental para la evolución de las redes de comunicación del futuro, En la red Entel el valor del XPIC debe

no ser menor de 28 el cual es un parámetro del rendimiento que tiene el enlace, en la figura 03 se puede apreciar un valor de 30.2 para un enlace de Jajallacta -Ocongate.

**Figura 3**  
*Valor de performance del enlace*

Function Tree	Monitored Object	Performance Event	Monitor Period	Start Time	Performance Value	
Configuration	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1FE	BDTEMP(CUR(C)	15-Minute	2024-06-13 01:15:00	40.5	Valid
Digital Interface	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_F BER(1,0E-10)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	0	Valid
IF Interface	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_FEC_BEF_COD_ER		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	0	Valid
ATPC Adjustment Reco	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_GAMMS128G)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	423	Valid
Radio Interface Encrypt	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_XPD_MAX(dB)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	31.0	Valid
Interface Management	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_XPD_MIN(dB)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	29.5	Valid
Performance Graph An	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_XPD_VAL(dB)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	30.2	Valid
RSL Performance Value	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_F_SNR_AVG(dB)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	45.9	Valid
AM Mode Adjustment	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_F_MSE_CUR(dB)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	-45.8	Valid
PSBS Test	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_F_MSE_AVG(dB)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	-45.9	Valid
Overhead Managemen	0102728 CS Jajayacta to Ocongate-Shelf0-1-ISMB-1(0101319 CS_Qui_TX_BVUTLIL_EKCS(S)		15-Minute	2024-06-13 01:15:00	0	Valid
Environment Monitorin						
Alarm						
Performance						

Nota: Varios parámetros y métricas que miden la calidad y el rendimiento

### 2.2.2.4. Ventajas y desventajas de los enlaces de microondas con polarización ortogonal

#### Ventajas

**Optimización del Espectro:** La capacidad de transmitir dos canales de datos simultáneamente en la misma frecuencia permite una utilización más eficiente del espectro electromagnético. Esto es particularmente beneficioso en bandas de frecuencia congestionadas, ya que maximiza la cantidad de información que se puede transmitir en un ancho de banda determinado (Goldsmith, 2005).

**Reducción de Costes Operativos:** Al permitir una utilización más eficiente del espectro y una mayor capacidad de datos sin necesidad de frecuencias adicionales, los enlaces de microondas con polarización ortogonal pueden contribuir a la reducción de costes operativos. Esto se debe a que se optimiza el uso de los recursos existentes, disminuyendo la necesidad de infraestructura adicional (Collins, 2019).

**Mayor Flexibilidad y Escalabilidad:** Los sistemas de microondas con polarización ortogonal ofrecen una notable flexibilidad y escalabilidad. Esto permite que las redes de



telecomunicaciones se adapten fácilmente a las fluctuaciones en la demanda de ancho de banda y al crecimiento continuo del volumen de datos que deben manejar (Peterson, 2018).

**Redundancia y Fiabilidad:** La polarización ortogonal ofrece redundancia en los sistemas críticos. Si una polarización falla o se degrada, la otra puede continuar proporcionando el enlace, mejorando la fiabilidad y la resiliencia de la comunicación, lo que es vital para aplicaciones que dependen de la continuidad del servicio (Knapp, 2012).

### **Desventajas**

**Crosstalk y Aislamiento de Polarización:** Uno de los principales desafíos de los enlaces de microondas con polarización ortogonal es la gestión del crosstalk, o la interferencia entre señales de polarizaciones perpendiculares. Mantener un alto nivel de aislamiento de polarización es crucial para asegurar que las señales permanezcan independientes y se minimice la interferencia cruzada (Rappaport, 2016).

**Complejidad en el Diseño de Equipos:** Los sistemas que implementan polarización ortogonal requieren un diseño muy preciso de las antenas y otros equipos, asegurando que puedan soportar y separar las distintas polarizaciones. Los errores en el diseño o en la fabricación pueden resultar en una pérdida significativa de rendimiento y en una mayor interferencia entre los canales (Skolnik, 2013).

**Sensibilidad a las Condiciones Ambientales:** Las señales polarizadas son susceptibles a factores ambientales como la lluvia intensa, la niebla y la vegetación, que pueden inducir despolarización y atenuación de las señales, afectando la calidad de la comunicación (Knapp, 2012). Estas condiciones deben ser cuidadosamente gestionadas para asegurar que los enlaces funcionen de manera óptima.

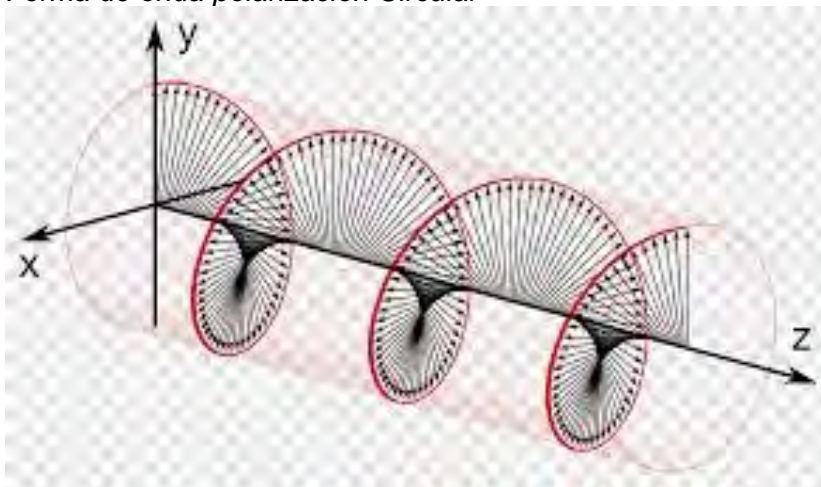
**Requerimientos de Precisión de Alineación:** Para que la polarización ortogonal sea efectiva, es esencial una alineación muy precisa de las antenas transmisoras y receptoras. Cualquier desviación en esta alineación puede resultar en una disminución en la eficacia de la cancelación de interferencias y en la calidad global del enlace (Goldsmith, 2005).

Costo Inicial Alto: La implementación de sistemas con polarización ortogonal puede incurrir en un costo inicial sustancial debido a la necesidad de equipos especializados y tecnologías avanzadas para manejar la complejidad de la polarización y la interferencia. Esto puede ser una barrera significativa para la adopción, especialmente en áreas con limitaciones presupuestarias (Collins, 2019).

### 2.2.3 Enlaces de microondas con polarización circular (lh)

Los enlaces de microondas han jugado un papel fundamental en las telecomunicaciones modernas, proporcionando un medio eficiente y fiable para la transmisión de datos a través de largas distancias. La creciente demanda de capacidad y la evolución de las tecnologías de telecomunicaciones han llevado al desarrollo de técnicas avanzadas para mejorar la eficiencia y la capacidad de estos enlaces. Entre estas técnicas, la polarización circular, especialmente la polarización circular izquierda (LHCP - Left-Hand Circular Polarization), ha demostrado ser una herramienta crucial. En Entel a partir del ingreso de la tecnología 5G se está generalizando el uso de LHCP en enlaces de microondas, las cuales integra tecnologías complementarias como MIMO, CCDP y XPIC, en la figura 04 se muestra la forma de onda de estos enlaces.

**Figura 4**  
*Forma de onda polarización Circular*



*Nota:* Enlace de microondas con polarización circular

Un enlace de microondas con polarización circular se caracteriza por la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas cuya polarización varía de manera continua en un plano perpendicular a la dirección de propagación. En contraste con la polarización lineal, donde el campo eléctrico oscila en una única dirección, en la polarización circular el campo eléctrico rota, describiendo un movimiento helicoidal. Este tipo de polarización puede ser circular derecha (Right-Hand Circular Polarization, RCP) o circular izquierda (Left-Hand Circular Polarization, LCP), dependiendo de la dirección de rotación del campo eléctrico. Las antenas diseñadas para transmisiones de polarización circular, como las antenas helicoidales, son fundamentales para la correcta implementación de estos enlaces (Balanis, 2016).

La polarización circular presenta una serie de ventajas en comparación con la polarización lineal, especialmente en entornos donde la señal puede sufrir despolarización debido a la interacción con la atmósfera o reflexiones en superficies. Las ondas con polarización circular mantienen su estado de polarización mejor que las ondas lineales, lo que las hace más robustas en condiciones atmosféricas adversas y en entornos con alta interferencia multipath. Esta característica es particularmente valiosa en aplicaciones de comunicación satelital y en sistemas móviles, donde las variaciones en la orientación de las antenas y las condiciones de propagación pueden afectar significativamente la calidad de la señal (Knapp, 2012; Rappaport, 2016).

### **2.2.3.1. Fundamentos de la polarización circular y su relevancia**

La polarización de una onda electromagnética se refiere a la orientación del campo eléctrico. En polarización circular, el campo eléctrico rota de manera cíclica en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Existen dos tipos principales de polarización circular:

**LHCP (Left-Hand Circular Polarization):** El funcionamiento de la Polarización Circular Izquierda (Left-Hand Circular Polarization, LHCP), el vector del campo eléctrico rota en sentido antihorario cuando se observa desde el transmisor hacia el receptor. Este movimiento helicoidal permite que la onda mantenga su estado de polarización a través de múltiples reflexiones y

cambios en la trayectoria de propagación, lo que aumenta la resistencia a la despolarización y la interferencia multipath. En aplicaciones prácticas, las antenas de transmisión y recepción diseñadas para LHCP deben estar alineadas y sintonizadas correctamente para asegurar que la rotación del campo eléctrico siga siendo coherente a lo largo de la trayectoria de la señal. Los sistemas que emplean LHCP, como las comunicaciones satelitales y los enlaces terrestres en entornos complejos, se benefician de una mayor estabilidad y fiabilidad en la transmisión (Balanis, 2016).

**RHCP (Right-Hand Circular Polarization):** El funcionamiento de la Polarización Circular Derecha (Right-Hand Circular Polarization, RHCP) implica la rotación del vector del campo eléctrico en sentido horario cuando se observa desde el transmisor hacia el receptor. Este movimiento helicoidal hacia la derecha permite que la onda electromagnética mantenga su estado de polarización, ofreciendo resistencia a la despolarización y a las reflexiones que pueden alterar su trayectoria de propagación. Al igual que con LHCP, las antenas diseñadas para RHCP deben estar específicamente alineadas y ajustadas para mantener la coherencia de la rotación del campo eléctrico. Las aplicaciones comunes de RHCP incluyen las comunicaciones satelitales y móviles, donde la capacidad de la señal para mantenerse estable a pesar de las variaciones en la orientación de las antenas y las condiciones ambientales es crucial para garantizar una transmisión de alta calidad (Knapp, 2012).

**Relevancia:** El uso de polarización circular en sistemas de microondas continuará creciendo con la evolución de las telecomunicaciones y la demanda de mayor eficiencia espectral. La integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático en el procesamiento de señales puede mejorar aún más la capacidad de los sistemas de polarización circular para adaptarse dinámicamente a las condiciones de propagación y optimizar el rendimiento. Además, con el despliegue de redes 5G y la futura llegada de 6G, la necesidad de técnicas avanzadas de manejo de interferencia y optimización espectral se incrementará, consolidando la relevancia de la polarización circular (Peterson, 2018; Rappaport, 2016).

La polarización circular en enlaces de microondas ofrece varias ventajas significativas, como la resistencia a la despolarización, la reducción de interferencias multipath y la flexibilidad en la orientación de las antenas. Sin embargo, también presenta desafíos como la complejidad y el costo de implementación, y la eficiencia limitada en ciertos entornos. A pesar de estos desafíos, la polarización circular sigue siendo una opción valiosa para aplicaciones específicas como la comunicación satelital y los sistemas móviles. Con los continuos avances tecnológicos, las ventajas de los enlaces de microondas con polarización circular pueden ser plenamente aprovechadas, asegurando su relevancia en el futuro de las telecomunicaciones.

### **2.2.3.2.        *Aplicaciones de la polarización circular en enlaces de microondas***

Los enlaces de microondas con polarización circular, particularmente LHCP, se utilizan en diversas aplicaciones que requieren alta capacidad y fiabilidad. Estas aplicaciones incluyen infraestructuras backhaul, que Entel utiliza para los enlaces troncales, conexiones punto a punto en áreas urbanas y rurales, y enlaces críticos en entornos industriales.

**Aplicaciones en Comunicaciones Satelitales:** Una de las aplicaciones más significativas de la polarización circular es en las comunicaciones satelitales. Los sistemas satelitales requieren la capacidad de transmitir y recibir señales de forma confiable a través de largas distancias y a través de diversas condiciones atmosféricas y trayectorias. La polarización circular proporciona una mayor robustez frente a la despolarización causada por las variaciones en la atmósfera y las reflexiones en superficies satelitales. Además, la capacidad de la polarización circular para mantener la integridad de la señal a pesar de la rotación del satélite y las variaciones en la trayectoria de las ondas mejora significativamente la fiabilidad de la comunicación satelital (Knapp, 2012).

**Aplicaciones en Sistemas Móviles:** En los sistemas de comunicación móvil, la polarización circular presenta varias ventajas clave. La movilidad de estos sistemas implica que las antenas cambian constantemente de orientación y ángulo, lo que puede afectar la estabilidad de la señal en sistemas de polarización lineal. La polarización circular mitiga este problema,

ofreciendo una señal que no depende de una orientación específica de las antenas. Como resultado, se logra una transmisión de señal más estable, mejorando la calidad de la comunicación en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y otros equipos portátiles. Además, reduce la necesidad de alineación precisa de las antenas, simplificando la instalación y el mantenimiento (Goldsmith, 2005).

**Aplicación en Redes de Banda Ancha Inalámbrica:** Las redes de banda ancha inalámbrica, especialmente en entornos urbanos densamente poblados, se benefician significativamente de la polarización circular. Tales entornos suelen estar llenos de problemas de interferencia multipath, en los cuales las señales reflejadas interfieren con las directas. La polarización circular ayuda a reducir esta interferencia al permitir que las señales reflejadas y directas tengan diferentes polarizaciones, minimizando así el impacto del multipath en la calidad de la señal. Como resultado, las redes de banda ancha inalámbrica pueden ofrecer una transmisión de datos más rápida y confiable a los usuarios finales (Peterson, 2018).

**Aplicaciones en Comunicaciones Marinas y Aeronáuticas:** La polarización circular también es altamente efectiva en las comunicaciones marinas y aeronáuticas. En estos sectores, las ondas electromagnéticas deben atravesar diferentes capas atmosféricas y frecuentemente se encuentran con superficies reflectantes, como el agua y el metal de las embarcaciones o aeronaves. La polarización circular permite que las señales mantengan su integridad al atravesar estas superficies y capas, mejorando la fiabilidad y claridad de las comunicaciones. En las aplicaciones aeronáuticas, la polarización circular es especialmente útil debido a la constante rotación y movimiento de las aeronaves, que normalmente causarían problemas significativos en sistemas con polarización lineal (Knapp, 2012).

**Implementación en Sistemas de Rastreo y Seguimiento:** Otra aplicación relevante de la polarización circular es en los sistemas de rastreo y seguimiento. En estos sistemas, asegurar una señal continua y sin interrupciones es crucial, especialmente cuando el objeto o sujeto a rastrear se encuentra en movimiento constante y en diversas orientaciones. Los sistemas de

radar y GPS suelen utilizar polarización circular para mitigar los efectos negativos de la variación de la señal debida a la rotación del objeto y las reflexiones del entorno. La capacidad de mantener una señal polarizada circularmente intacta frente a estos desafíos mejora notablemente la precisión y fiabilidad de los sistemas de rastreo y seguimiento (Balanis, 2016).

Enlaces de microondas de Entel operan en diversas bandas de frecuencia, siendo más comunes:

**Bandas Sub-6 GHz:** Utilizadas principalmente para largas distancias debido a su menor atenuación y mejor penetración.

**Bandas de microondas (6-30 GHz):** Proporcionan un equilibrio entre capacidad y alcance, ideal para enlaces urbanos y suburbanos.

**Bandas de ondas milimétricas (30-300 GHz):** Utilizadas para enlaces de corta distancia con alta capacidad, especialmente en entornos densos.

### **2.2.3.3. *Beneficios de la polarización circular***

**Resistencia a la despolarización:** Las ondas con polarización circular son menos susceptibles a la despolarización causada por la atmósfera y las reflexiones en superficies, lo que les permite mantener su estado de polarización incluso en condiciones adversas. Esto es especialmente valioso en aplicaciones satelitales y en entornos con muchas obstrucciones (Balanis, 2016).

**Reducción de Interferencias Multipath:** La polarización circular ayuda a minimizar la interferencia causada por el multipath. En entornos urbanos densamente poblados y en aplicaciones marinas y aeronáuticas, esto mejora la calidad de la señal al reducir las interferencias provenientes de reflejos y rebotes (Goldsmith, 2005).

**Flexibilidad de Orientación de Antenas:** Las antenas con polarización circular no requieren una orientación precisa en términos de su rotación alrededor del eje de transmisión. Esto simplifica la instalación y alineación, especialmente valioso en aplicaciones móviles y

satelitales donde las antenas pueden estar en movimiento constante o ser difíciles de alinear perfectamente (Rappaport, 2016).

**Mejora de la Calidad de la Comunicación Satelital:** La robustez de la polarización circular frente a la rotación del satélite y las variaciones en la trayectoria de las ondas mejora significativamente la calidad y fiabilidad de las comunicaciones satelitales. Esto es crucial para servicios de televisión, internet satelital y comunicaciones de emergencia (Knapp, 2012).

**Estabilidad en Sistemas Móviles:** En sistemas de comunicación móvil, donde las antenas cambian constantemente de orientación y ángulo, la polarización circular proporciona una señal que no depende de una orientación específica de las antenas, resultando en una transmisión de señal más estable y mejorando la calidad de la comunicación en dispositivos móviles (Goldsmith, 2005).

#### **2.2.4 Implementación de XPIC, CCDP y MIMO en enlaces Ortogonales y Circulares**

Las técnicas avanzadas de comunicación inalámbrica, como XPIC (Interferencia de Polarización Cruzada), CCDP (Precodificación de Diversidad de Retardo Cíclico) y MIMO (Entrada Múltiple Salida Múltiple), han transformado la eficiencia y calidad de las comunicaciones inalámbricas. Estas técnicas se implementan tanto en enlaces de polarización ortogonal como circular y han demostrado ser fundamentales en la optimización de la eficiencia espectral y la mejora de las comunicaciones inalámbricas.

En los enlaces de **polarización ortogonal**, el uso de XPIC sirve para mitigar la interferencia entre las polarizaciones horizontal y vertical. Al transmitir y recibir dos señales independientes con polarizaciones perpendiculares, se maximiza la capacidad de transmisión en un solo canal de frecuencia. Por otro lado, CCDP se emplea para introducir diversidad temporal en la señal transmitida, introduciendo retardos cíclicos para mejorar la fiabilidad de la comunicación en entornos propensos al fading selectivo (Collins, 2019). Además, la implementación de MIMO en enlaces ortogonales permite utilizar múltiples antenas para



transmitir varios flujos de datos simultáneamente, mejorando la resistencia a la interferencia y aumentando la velocidad de transmisión (Goldsmith, 2005).

En los enlaces de **polarización circular**, el uso de XPIC se centra en cancelar la interferencia entre las polarizaciones circulares derecha e izquierda. Al transmitir señales con polarizaciones opuestas simultáneamente, se mejora la calidad de la señal y la fiabilidad de la comunicación en entornos desafiantes. La implementación de CCDP introduce diversidad temporal en las señales circulares, mitigando la dispersión temporal y el efecto de fading temporal. Por último, MIMO se utiliza para explotar la diversidad espacial en enlaces circulares, permitiendo la transmisión simultánea de múltiples flujos de datos desde múltiples antenas y mejorando la cobertura y la calidad de la señal (Balanis, 2016).

Estas técnicas avanzadas siguen desempeñando un papel crucial en la mejora continua de los sistemas de comunicación inalámbrica, tanto en entornos de polarización ortogonal como circular. La combinación de XPIC, CCDP y MIMO ha demostrado ser esencial para optimizar la eficiencia espectral, mejorar la calidad de la señal y aumentar la fiabilidad de las comunicaciones inalámbricas en diversos escenarios operativos.

**Figura 5**  
*Comparación de parámetros en polarizaciones*

Parámetro	Enlaces Ortogonales	Enlaces Circulares
<b>Polarización</b>	Horizontal y Vertical (perpendiculares)	Circular Derecha e Izquierda
<b>Capacidad de Datos</b>	Capacidad de duplicar la transmisión de datos	No duplica capacidad de datos, pero más robustez
<b>Eficiencia Espectral</b>	Alta eficiencia espectral, optimiza el espectro	Menos eficiencia espectral, ideal para obstáculos
<b>Interferencia</b>	Minimiza interferencias entre polarizaciones	Menos susceptible a depolarización y multipath
<b>Robustez</b>	Menor robustez, más sensible a interferencias	Robusto en condiciones adversas y urbanas

*Nota:* Las transmisiones en diversas aplicaciones tecnológicas

## **2.3 Tecnologías celulares**

### **2.3.1 Tecnología GSM**

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) ha sido una tecnología fundamental en la evolución de las comunicaciones móviles. Introducido en la década de 1990, el GSM estableció un estándar digital que permitió una mayor calidad de voz, una mejor eficiencia espectral y una mayor capacidad de datos en comparación con las tecnologías analógicas anteriores. Además, el GSM allanó el camino para servicios innovadores como los mensajes de texto (SMS) y la itinerancia internacional, cambiando la forma en que las personas se comunican a través de dispositivos móviles. Su impacto se extendió más allá de la tecnología subyacente, sentando las bases para el desarrollo de generaciones posteriores de redes móviles hasta la actualidad. (Eberspächer, J., Vogel, H., Bettstetter, C., & Hartmann, C. 2006)

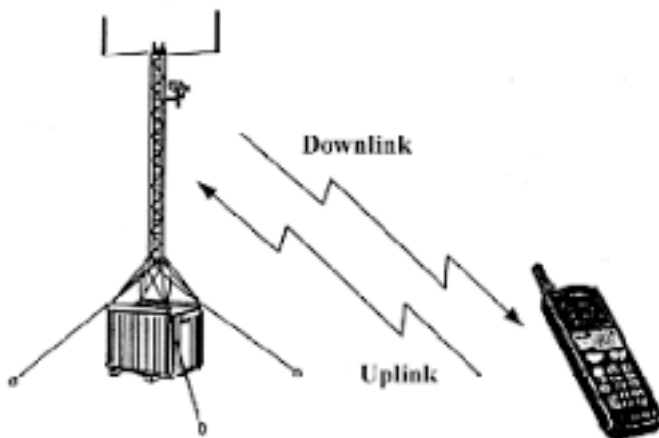
#### **2.3.1.1. Portadoras y canales de uplink y downlink en GSM**

En el sistema Global System for Mobile Communications (GSM), la organización de las comunicaciones se estructura en dos direcciones fundamentales: Uplink (UL) y Downlink (DL). En el Uplink, las señales son transmitidas desde los dispositivos móviles hacia la estación base, mientras que, en el Downlink, las señales van en sentido opuesto, desde la estación base hacia los dispositivos móviles. Dentro de estas direcciones, se emplean diversas portadoras y canales para facilitar la transmisión de voz y datos de manera eficiente y confiable. En el Uplink, se utilizan portadoras de acceso aleatorio común y asignaciones de portadoras dedicadas según las necesidades de tráfico. Además, canales como el RACH (Random Access Channel) son empleados para permitir el acceso aleatorio de dispositivos móviles a la red GSM y el establecimiento de conexiones iniciales. Por otro lado, el Canal de Uplink Común (UL SCH) transporta información de control y señales de sincronización desde los dispositivos móviles hacia la estación base. En cuanto al Downlink, las señales procedentes de la estación base hacia los dispositivos móviles se transmiten a través de múltiples portadoras. En esta dirección, canales

como el FCCH (Frequency Correction Channel) proporcionan información de corrección de frecuencia para la sincronización precisa de los dispositivos móviles, mientras que el Canal de Downlink Común (DL SCH) transmite información de control y sincronización desde la estación base a los dispositivos móviles. (Eberspächer, J., Vogel, H., Bettstetter, C., & Hartmann, C. 2006).

En Entel para GSM opera en dos bandas de frecuencia, siendo 900 MHz y 1900 MHz en Perú. Cada una de estas bandas se divide en 124 portadoras espaciadas por 200 kHz. Para cada portadora, son dos frecuencias separadas para las comunicaciones de uplink y downlink. Por ejemplo, en la banda de 900 MHz, el uplink frecuencia utiliza de 880 a 915 MHz, y el downlink de 925 a 960 MHz.

**Figura 6**  
*Interacción uplink y downlink*



*Nota: Direcciones de transmisión de datos entre dos puntos*

### **2.3.1.2. Reuso de frecuencia en GSM**

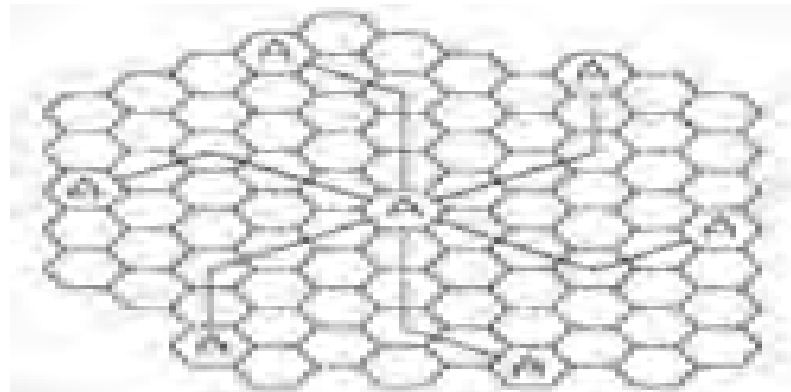
La reutilización de frecuencias es una estrategia fundamental en las redes de comunicación móvil, como la tecnología GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), para maximizar la capacidad del sistema y garantizar una transmisión eficiente de datos y voz. En el contexto del GSM, el reuso de frecuencia se refiere a la práctica de dividir un área de cobertura en células y reutilizar las mismas frecuencias en células separadas. Este enfoque permite aumentar la capacidad del sistema al reducir la interferencia entre células adyacentes y

mejorar el rendimiento general de la red; en el GSM, la técnica de reutilización de frecuencias se implementa mediante un patrón de reuso que asigna un conjunto de frecuencias a grupos de células adyacentes, asegurando que las mismas frecuencias se utilicen en células lo suficientemente alejadas entre sí para minimizar la interferencia co-canal. Este enfoque de reuso de frecuencia se ha demostrado como una estrategia efectiva para optimizar el espectro de radiofrecuencia disponible y mejorar la eficiencia espectral de las redes GSM; el reuso de frecuencia en el GSM proporciona una distribución equilibrada de las frecuencias disponibles, lo que permite una mejor gestión de la capacidad de la red y una mayor calidad de servicio para los usuarios. Esta técnica ha sido fundamental para garantizar un rendimiento óptimo de las comunicaciones en los sistemas GSM y ha sentado las bases para el diseño de redes móviles eficientes y escalables (Rappaport, T. S. 2002).

En ENTEL. El esquema de reuso de frecuencia se basa en el concepto de clúster de celdas. Un clúster es una agrupación de celdas donde cada una utiliza una portadora diferente para evitar interferencias, el tamaño del clúster se determina por el factor de reuso, que es el de las celdas diferentes que no componen clúster antes de que las frecuencias se solapen. Por ejemplo, un factor de reuso de 4 (4 células diferentes) es un esquema común en GSM. Esto significa que las frecuencias en una celda específica no se reutilizan en celdas adyacentes, lo que ayuda a la interferencia a la interferencia co-canal. Como se aprecia en la figura 07

### **Figura 7**

*Reuso de frecuencia en GSM*



*Nota: Espectro de frecuencias disponibles y aumentar la capacidad del sistema.*



### **2.3.1.3. Modulación en GSM**

La modulación desempeña un papel crucial en la transmisión de datos y voz en el sistema GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), permitiendo una comunicación eficiente y confiable a través de las redes móviles. En GSM, se emplean varios esquemas de modulación, entre los cuales se destacan el GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), el AMR (Adaptive Multi-Rate) y el 8-PSK (Phase Shift Keying).

**GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying):** El GMSK es ampliamente utilizado en GSM debido a su eficiencia espectral y robustez contra el ruido. Esta modulación combina la modulación digital de desplazamiento de fase con un filtro gaussiano para garantizar una transmisión de señales más resistente a las interferencias. El GMSK en GSM ha demostrado ser efectivo para proporcionar una comunicación de voz y datos de alta calidad en entornos móviles complejos (Mouly & Pautet, 1992).

**AMR (Adaptive Multi-Rate):** El AMR es un esquema de modulación adaptativa que se utiliza en GSM para ajustar dinámicamente la tasa de bits de codificación según las condiciones de la señal y los requisitos de calidad de voz. Esta técnica permite optimizar la eficiencia del espectro y la calidad de audio al adaptar la tasa de bits según la complejidad de la señal, proporcionando una transmisión eficiente y una experiencia de usuario mejorada. (Mouly & Pautet, 1992).

**8-PSK (Phase Shift Keying):** La modulación 8-PSK es otra técnica utilizada en GSM que involucra ocho fases de desplazamiento de fase. Esta forma de modulación permite una mayor eficiencia espectral al transmitir tres bits por símbolo, lo que resulta en una mayor capacidad de transmisión de datos. El 8-PSK se utiliza para la transmisión de datos a alta velocidad y en situaciones donde se necesita un rendimiento óptimo en términos de eficiencia espectral y velocidad de transmisión. (Mouly & Pautet, 1992).

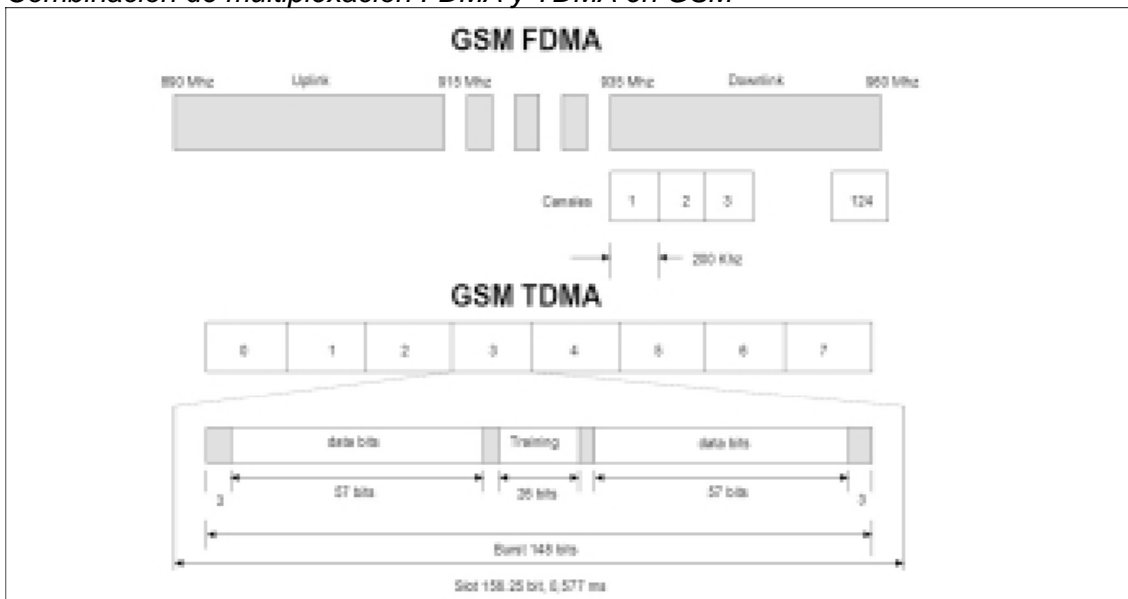
Estos esquemas de modulación, como el GMSK, AMR y 8-PSK (EDGE), son fundamentales en el sistema GSM para garantizar una transmisión eficiente y confiable de voz y datos. La combinación de estas técnicas de modulación ha sido crucial para mejorar la capacidad y la calidad de las comunicaciones en los sistemas GSM, sentando las bases para el funcionamiento eficaz de las redes móviles actuales.

**2.3.1.4. Multiplexación en GSM**

La multiplexación en GSM se logra a través de una combinación de TDMA (Time Division Multiple Access) y FDMA (Frequency Division Multiple Access). FDMA divide el espectro de frecuencia disponible en múltiples portadoras, aún que TDMA divide cada portadora en ocho ranuras temporales, cada una de las que puede ser asignada a un usuario diferente.

Este esquema de multiplexación permite que GSM soporte múltiples usuarios en el mismo canal de frecuencia, optimizando el uso del espectro y mejorando la eficiencia de la red, como se aprecia en la figura 08.

**Figura 8**  
*Combinación de multiplexación FDMA y TDMA en GSM*



*Nota: Acceso Múltiple por División de Frecuencia*

**Multiplexación por División en el Tiempo (TDM):** La multiplexación por división en el tiempo es una técnica utilizada en GSM para asignar intervalos de tiempo a diferentes señales de voz o datos en un mismo canal de comunicación. Cada usuario dispone de un intervalo de tiempo único para transmitir su información, lo que permite la transmisión secuencial de múltiples señales a través de un solo canal. Esta técnica de multiplexación en GSM asegura la transmisión ordenada y eficiente de datos y voz entre los dispositivos móviles y la red de comunicaciones. (Farren, J., & Dunmore, C. 2002)

**Multiplexación por División en Frecuencia (FDM):** Por otro lado, la multiplexación por división en frecuencia se utiliza en GSM para asignar diferentes rangos de frecuencias a distintas señales simultáneas en un mismo canal de comunicación. Cada usuario o canal de comunicación tiene asignada una banda de frecuencias específica para evitar interferencias. Mediante la multiplexación por división en frecuencia, se logra una transmisión paralela de múltiples señales a través de un único canal de frecuencia, mejorando la eficiencia espectral y la capacidad de la red GSM. (Farren, J., & Dunmore, C. 2002)

#### **2.3.1.5. Limitaciones de la tecnología GSM**

**Capacidad Limitada de Transmisión de Datos:** GSM fue diseñado originalmente para transmisiones de voz y mensajes cortos, lo que resulta en una capacidad limitada para el tráfico de datos. Esta limitación se convirtió en un desafío a medida que la demanda de datos y el uso de aplicaciones intensivas en datos aumentaron significativamente, sobrecargando las capacidades de transmisión de GSM (Farren, J., & Dunmore, C. 2002).

**Baja Velocidad de Transmisión:** La tecnología GSM ofrece velocidades de transmisión limitadas en comparación con tecnologías más avanzadas como el 4G y 5G. Esto resulta en una menor eficiencia en la transmisión de datos, lo que afecta la experiencia del usuario al acceder a contenidos multimedia, video en línea y aplicaciones que requieren una alta velocidad de datos. (Farren, J., & Dunmore, C. 2002)



**Disponibilidad de Bandas de Frecuencia:** La tecnología GSM opera en un rango de frecuencias limitado, lo que puede generar congestión en la red, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. Esta limitación de espectro puede restringir la capacidad y la calidad de la red en situaciones de alta demanda de tráfico, lo que puede afectar la velocidad de conexión y la calidad de servicio para los usuarios. (Farren, J., & Dunmore, C. 2002)

**Seguridad:** Originalmente, GSM utilizaba cifrado relativamente débil que ha sido vulnerado con el tiempo. Aunque las actualizaciones y las mejores prácticas han mejorado la seguridad, las redes aún GSM son más susceptibles a ciertas formas de ataques en comparación con tecnologías más recientes. (Rappaport, T. S. 2002).

### **2.3.1.6. Ventajas y desventajas de GSM**

#### **Ventajas**

**Cobertura Global y Estandarización Internacional:** Una de las ventajas sobresalientes del GSM es su alcance mundial y estandarización internacional, lo que permite a los usuarios disfrutar de conectividad consistente y estándar en diferentes regiones y países (Farren & Dunmore, 2002).

**Eficiencia Espectral y Capacidad Mejorada:** La eficiencia espectral del GSM es un punto fuerte que permite una gestión óptima del espectro de frecuencias, lo que se traduce en una mayor capacidad de red y un rendimiento mejorado en términos de transmisión de datos y voz (Eberspächer et al., 2002).

**Calidad de Voz y Fiabilidad Garantizadas:** La tecnología GSM ha sido elogiada por su calidad de voz excepcional y su fiabilidad en la transmisión de llamadas, incluso en condiciones variables de la red, proporcionando una experiencia de comunicación confiable para los usuarios (Mouly & Pautet, 1992).

#### **Desventajas**

**Velocidad Limitada de Transmisión:** Una de las principales desventajas de GSM es su velocidad de transmisión relativamente baja en comparación con las generaciones más

recientes, lo que puede provocar retrasos y limitaciones en la transmisión de datos, especialmente para aplicaciones demandantes (Farren & Dunmore, 2002).

**Limitaciones en Ancho de Banda y Capacidad de Datos:** GSM presenta restricciones en el ancho de banda, lo que puede limitar la cantidad de datos que pueden transmitirse simultáneamente y afectar la calidad y capacidad para soportar servicios de datos intensivos (Eberspächer et al., 2002).

**Cobertura Limitada en Áreas Remotas:** En algunas regiones, particularmente en áreas remotas o rurales, la cobertura de GSM puede ser limitada, lo que puede resultar en problemas de conectividad y caídas de señal, afectando la experiencia del usuario en tales entornos (Mouly & Pautet, 1992).

#### **2.3.1.7.        *Arquitectura GSM***

##### **Estación Móvil (ME - Mobile Station)**

**Teléfono Móvil (Mobile Equipment, ME):** Este es el dispositivo que los usuarios finales llevan consigo para realizar y recibir llamadas, enviar y recibir mensajes de texto, y acceder a servicios de datos. (De Panizza, A., & de Falco, F. 2003)

**SIM Card (Subscriber Identity Module):** Una tarjeta inteligente que se inserta en el teléfono móvil y contiene la identidad del suscriptor (IMSI), claves de autenticación, y otra información relevante. Permite que el usuario opere su suscripción en diferentes dispositivos al mover la tarjeta SIM de un teléfono a otro. (De Panizza, A., & de Falco, F. 2003)

##### **Subsistema de Estación Base (BSS - Base Station Subsystem)**

**Estación Base (BTS - Base Transceiver Station):** Consta de equipos de radio que transmiten y reciben señales de los dispositivos móviles. Básicamente, estas son las torres de celulares con transceptores.

**Controlador de Estación Base (BSC - Base Station Controller):** Coordina y controla múltiples BTSs. Administra recursos de radio, gestiona la asignación de canales, las transferencias (handover), y la calidad de las llamadas. (De Panizza, A., & de Falco, F. 2003)

### **Subsistema de Red y Conmutación (NSS - Network and Switching Subsystem)**

**Centro de Conmutación Móvil (MSC - Mobile Switching Center):** El núcleo de conmutación de la red que maneja la señalización entre los teléfonos móviles y otros sistemas conectados (como la red telefónica pública conmutada, PSTN). Gestiona llamadas, mensajes de texto, y movilidad.

**Registro de Ubicación del Visitante (VLR - Visitor Location Register):** Una base de datos que almacena información temporal sobre los suscriptores que se encuentran actualmente en el área cubierta por el MSC.

**Registro de Ubicación del Suscriptor (HLR - Home Location Register):** Una base de datos central que almacena información permanente sobre los suscriptores, incluyendo su perfil de servicio, información de facturación, y ubicación actual.

**Centro de Autenticación (AuC - Authentication Center):** Almacena claves necesarias para autenticar y cifrar las comunicaciones de los suscriptores.

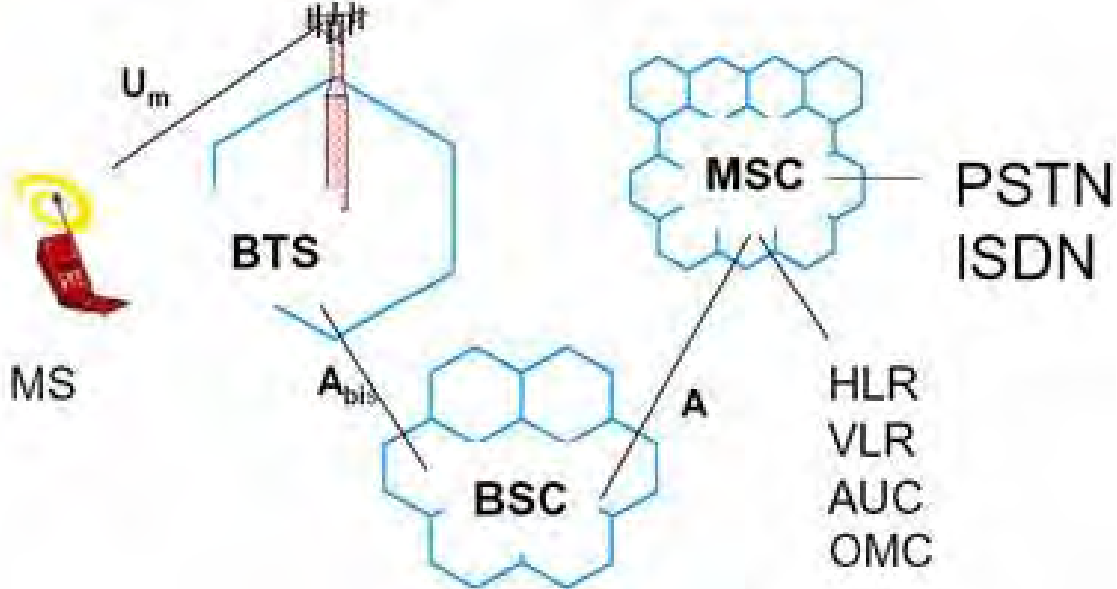
**Centro de Servicios de Mensajería (MSC/VLR):** En algunas implementaciones, el VLR está combinado con el MSC para facilitar la gestión de la ubicación temporal y las llamadas del móvil. (De Panizza, A., & de Falco, F. 2003)

### **Subsistema de Operación y Soporte (OSS - Operation and Support Subsystem)**

**Centro de Operación y Mantenimiento (OMC - Operation and Maintenance Center):** Monitorea y controla todos los aspectos operativos de la red GSM, desde la administración de energía hasta la gestión de alarmas y el mantenimiento de registros de rendimiento.

**Subsistema de Gestión de Red (NMS - Network Management System):** Proporciona una interfaz para la gestión completa de la red. Facilita la administración del rendimiento, configuración, fallo y seguridad de la red. (De Panizza, A., & de Falco, F. 2003)

**Figura 9**  
Arquitectura red GSM



*Nota: Sistema Global para Comunicaciones Móviles.*

### 2.3.2 Tecnología UMTS 3G

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) representa un avance significativo en las tecnologías de comunicación móvil, marcando la transición de las redes de segunda generación (2G) a las de tercera generación (3G). Implementada por Entel a continuación del 2014, UMTS ha permitido velocidades de datos significativamente superiores y mejor calidad de servicio para el manejo de aplicaciones multimedia y acceso a internet móvil. Este ensayo explora los fundamentos de UMTS, su arquitectura técnica, y sus impactos en el mundo de las telecomunicaciones.

UMTS es parte de la familia de estándares desarrollados por el proyecto 3GPP (3rd Generation Partnership Project), destinado a reemplazar y mejorar las redes GSM y GPRS existentes. La ITU (International Telecommunication Union) adoptó UMTS como uno de los estándares de la iniciativa IMT-2000 para comunicaciones móviles globales. Desde su inicio, UMTS ha permitido un acceso móvil más rápido y eficiente, con mejor gestión del espectro radioeléctrico y soporte para una gama más amplia de servicios. (Tsoukala V., Karetos G. 2000)

### **2.3.2.1. Fundamentos técnicos de UMTS**

UMTS utiliza WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) como su tecnología base en multiplexación, un salto tecnológico respecto al TDMA y FDMA usados en GSM. WCDMA utiliza un ancho de banda universal de 5 MHz por portadora, para ofrecer velocidades de datos de hasta 2 Mbps inicialmente, y con HSPA (High Speed Packet Access) y sus evoluciones, las tasas pueden llegar hasta 42 Mbps en modo de descarga (Downlink). (Tsoukala V., Karetsos G. 2000)

### **2.3.2.2. Portadoras y canales de uplink y downlink en UMTS**

UMTS divide su comunicación en canales dedicados y comunes, tanto para uplink (UL) como para downlink (DL):

#### **Bandas y Portadoras**

UMTS opera en varias bandas de frecuencia, incluyendo 1900 MHz para Perú. Cada banda se divide en varias portadoras, con un ancho de banda de 5 MHz cada una.

La organización de bandas y portadoras en Entel Perú se realiza de manera estratégica para maximizar la cobertura, la capacidad, la velocidad y la eficiencia del costo. La empresa evalúa continuamente sus necesidades y ajusta su configuración según sea necesario. (Entel Perú.2023)

#### **Canales Físicos Uplink**

En el enlace ascendente (uplink), los canales físicos son aquellos a través de los cuales la estación móvil (UE) transmite información hacia la estación base (Node B). Los principales canales físicos de uplink en UMTS son:

**Dedicated Physical Data Channel (DPDCH):** Transporta los datos de usuario desde la UE hacia el Node B. El DPDCH puede operar en diferentes transmisiones, ofreciendo diversidad espacial. Es un canal dedicado que se asigna específicamente a un usuario para la transferencia continua de datos (3GPP, 2015).

**Dedicated Physical Control Channel (DPCCH):** Proporciona información de control necesaria para la comunicación, como el control de potencia de enlace ascendente (TPC), comandos de control de sincronización y señales de pilotaje. Al igual que el DPDCH, este es un canal dedicado, pero transporta información de control en lugar de datos del usuario (Dahlman et al., 2008).

**Physical Random Access Channel (PRACH):** Utilizado por la UE para acceder inicialmente a la red cuando no se le ha asignado un canal dedicado. El PRACH es un canal compartido que permite a múltiples usuarios acceder a la red en momentos diferentes para solicitar recursos (Holma & Toskala, 2000).

### **Canales Físicos uplink**

En el enlace descendente (downlink), los canales físicos son utilizados por la estación base (Node B) para transmitir información hacia la estación móvil (UE). Los principales canales físicos de downlink en UMTS incluyen:

**Primary Common Pilot Channel (P-CPICH):** Ofrece una señal de referencia constante utilizada por las UEs para la sintonización y estimación del canal. El P-CPICH emite una señal piloto constante y es esencial para la adquisición inicial del canal y la coherencia de fase requerida en las comunicaciones (Holma & Toskala, 2000).

**Secondary Common Pilot Channel (S-CPICH):** Proporciona señales de referencia adicionales cuando el P-CPICH no es suficiente. Empleado en situaciones donde se necesita mayor densidad de señales piloto para mejorar la estimación del canal (Holma & Toskala, 2000).

**Primary Common Control Physical Channel (P-CCPCH):** Integra el canal de sincronización (SCH) y el canal de difusión de información del sistema (BCH). Es fundamental para la adquisición inicial de la celda y la recepción de información de sistema crítica (Holma & Toskala, 2000).

**Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH):** Transporta canales comunes como el Forward Access Channel (FACH) y el Paging Channel (PCH). Dirigido a la

transmisión de información de control y señales de paginación hacia múltiples UEs (Holma & Toskala, 2000).

**Dedicated Physical Channel (DPCH):** Es una combinación del DPDCH y DPCCH para el downlink. Similar a sus contrapartes en uplink, el DPCH lleva tanto datos del usuario como información de control dedicados (Holma & Toskala, 2000).

**Synchronization Channel (SCH):** Contiene información para la sincronización de las UEs con la red. Se subdivide en el Primary SCH (P-SCH) y el Secondary SCH (S-SCH), facilitando la búsqueda de celdas y la sincronización de tiempo y código necesarios para el establecimiento de la comunicación (Holma & Toskala, 2000).

### **2.3.2.3      *Proceso de interacción entre celdas y sectores***

Es el proceso de handover a nivel de usuario en una red WCDMA implica la transferencia de una conexión activa de un dispositivo móvil (como un teléfono inteligente) de una celda a otra, ya sea dentro de la misma Estación Base (softer handover) o entre Estaciones Base diferentes (soft handover). Aquí tienes una descripción del proceso a nivel de usuario:

#### **Soft handover**

**Inicio del Handover:** Cuando el dispositivo móvil se encuentra en el límite de cobertura de una celda y se acerca a otra celda que ofrece una mejor señal, el proceso de entrega se inicia. (Dahlman et al., 2008)

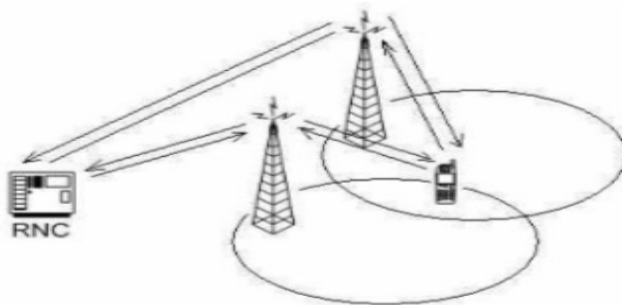
**Conexión a Múltiples Celdas:** Durante el soft handover, el dispositivo móvil establece conexiones simultáneas con más de una Estación Base (Node B) que cubren áreas superpuestas. Esto significa que el dispositivo móvil está recibiendo y transmitiendo señales a través de múltiples celdas. (Dahlman et al., 2008)

**Selección de la Mejor Señal:** La Red de Acceso por Radio (RAN) y la Radio Network Controller (RNC) trabajan juntas para seleccionar la mejor señal entre las celdas conectadas y asegurarse de que la transferencia de la conexión al nuevo sector o celda garantice una calidad de señal óptima. (Dahlman et al., 2008)

**Transición Suave:** Durante el handover, el dispositivo móvil transfiere gradualmente la conexión de una celda a otra, asegurándose de que no se produzcan interrupciones notables en la llamada o en la conexión de datos.

**Finalización del Handover:** Una vez que la transición se ha completado y el dispositivo móvil está conectado satisfactoriamente a la nueva celda, el handover se da por finalizado. El dispositivo móvil continúa su comunicación sin interrupciones en la nueva celda. (Dahlman et al., 2008)

**Figura 10**  
*Interacciones entre celdas*



*Nota: Las interacciones entre celdas en redes móviles como GSM*

### **Softer handover**

**Inicio del Handover:** En el caso de un traspaso más suave, la ocurre entre diferentes sectores de la misma Estación Base.

**Conexión a Múltiples Sectores:** El dispositivo móvil establece conexiones con varios sectores de la misma Estación Base, lo que proporciona diversidad espacial y mejora la calidad de la señal.

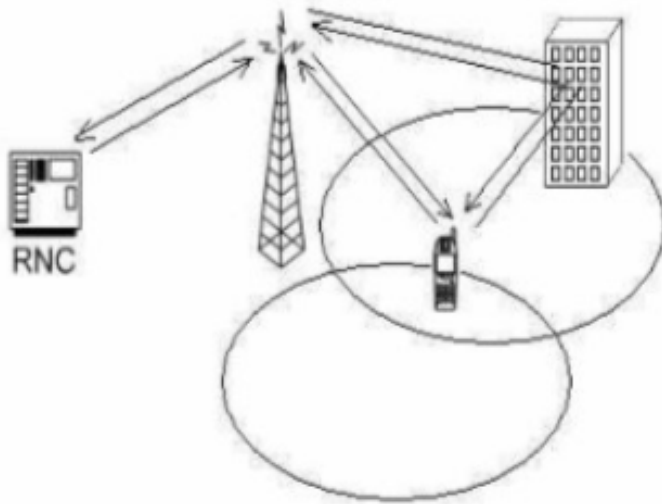
**Selección de la Mejor Señal:** Al igual que en el soft handover, la RAN y la RNC determinan cuál de los sectores ofrece la mejor señal y permiten que el dispositivo móvil se conecte a él de manera óptima.

**Transición Suave:** La transferencia entre sectores ocurre de forma gradual y suave para garantizar una conexión estable y de calidad durante el handover.



**Finalización del Handover:** Una vez completada la transferencia de un sector a otro dentro de la misma Estación Base, el dispositivo móvil sigue comunicándose sin interrupciones, beneficiándose de la mayor calidad de señal proporcionada por la diversidad entre sectores.

**Figura 11**  
*Interacción entre sectores*



*Nota: la interacción entre sectores es crucial para optimizar la cobertura*

#### **2.3.2.4. Reúso de frecuencia en UMTS**

Gracias a WCDMA, UMTS se beneficia de un reúso de frecuencia universal, lo cual implica que la misma frecuencia puede ser utilizada en todas las celdas de la red, incrementando así la capacidad y reduciendo la interferencia en comparación con GSM. Sin embargo, gestionar la interferencia sigue siendo crucial en el diseño de redes UMTS.

Al permitir el reúso de frecuencias en celdas adyacentes, UMTS puede soportar un mayor número de usuarios simultáneamente dentro de la misma banda de espectro, aumentando así la capacidad de la red. La técnica de WCDMA reduce la interferencia utilizando códigos de expansión únicos para cada usuario. Esto permite que las señales se superpongan en el dominio de frecuencia, pero se distingan en el dominio de código (3GPP, 2015).

WCDMA utiliza un esquema de espectro ensanchado donde las señales de los usuarios se expanden a través de una banda de frecuencia más amplia con la ayuda de códigos de expansión. Esto no solo soporta el reúso de frecuencia, sino que también mejora la resistencia a la interferencia y al desvanecimiento (Holma & Toskala, 2000).

UMTS emplea un control de potencia dinámico para minimizar la interferencia entre celdas reutilizando la misma frecuencia. El control de potencia ajusta la fuerza de la señal transmitida, garantizando que sea lo suficientemente fuerte para alcanzar el receptor, pero no tan fuerte como para causar interferencia significativa en otras celdas (Dahlman et al., 2008).

#### **2.3.2.5. Modulación y multiplexación en UMTS**

##### **Modulación**

QPSK es una técnica de modulación que utiliza cuatro diferentes fases de la señal portadora, permitiendo representar dos bits de información por símbolo. Esto resulta en una mejor eficiencia espectral comparada con la modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying) que usa solo dos fases. QPSK se utiliza en el enlace descendente (downlink) de UMTS, donde las

altas tasas de datos y la eficiencia espectral son especialmente críticas (Holma & Toskala, 2000). Mediante QPSK, se logra un equilibrio entre complejidad del equipo y eficiencia espectral, proporcionando una robusta resistencia a la distorsión de fase y ruido.

16-QAM combina la amplitud y la fase de la señal portadora para representar 16 diferentes símbolos, permitiendo transmitir cuatro bits por símbolo. Esta técnica ofrece una mayor densidad de bits por símbolo que QPSK, a costa de una mayor sensibilidad al ruido y la interferencia (Dahlman et al., 2008).

16-QAM se emplea tanto en el enlace ascendente (uplink) como en el enlace descendente bajo condiciones de canal favorables que requieren tasas de datos más elevadas. Es particularmente útil en el canal de alta capacidad de datos, conocido como High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA), parte de la evolución de UMTS (3GPP, 2015).

### **Multiplexación en UMTS**

La multiplexación es el proceso de combinar múltiples señales de diferentes usuarios en una sola señal compuesta para su transmisión a través de un canal común. En UMTS, la técnica utilizada es WCDMA, que permite a varios usuarios compartir el mismo espectro de frecuencias simultáneamente mediante el uso de códigos de expansión únicos.

WCDMA es una técnica de acceso múltiple en la cual cada usuario se le asigna un código de expansión único que modula su señal de datos. Este proceso de expansión ensancha la señal sobre un amplio espectro de frecuencias, permitiendo que múltiples señales compartan el mismo canal de frecuencia sin interferirse debido a la ortogonalidad de los códigos (Holma & Toskala, 2000).

Proporciona una alta capacidad, robustez contra interferencias y flexibilidad en la asignación de ancho de banda. La ortogonalidad de los códigos permite que múltiples usuarios coexistan en el mismo canal sin interferencia significativa.

DS-CDMA es una forma de CDMA donde la señal de datos se multiplica directamente por una secuencia de código de alta frecuencia antes de la transmisión. Esto ensancha el espectro de la señal y la hace más resistente a interferencias y desvanecimientos.

DS-CDMA es la base del WCDMA, utilizado en el proceso de expansión de señal. Cada usuario tiene un código único que es usado para la expansión y la posterior recuperación de la señal en el receptor mediante la correlación con el código correspondiente (Dahlman et al., 2008).

**Enlace Descendente (Downlink):** Las señales de datos de múltiples usuarios se combinan con señales de control y pilotos.

Los datos de cada usuario se expanden utilizando códigos de expansión únicos proporcionados por el Node B. Cada señal de usuario expandida se combina en una sola señal compuesta antes de ser transmitida. Este proceso ocurre a nivel de estación base (Node B), utilizando técnicas de espectro ensanchado para asegurar que las señales individuales sean diferenciables en el receptor (Holma & Toskala, 2000).

La señal combinada se transmite a través del espectro compartido. En el receptor (UE), las señales se separan utilizando los códigos de expansión correspondientes, permitiendo la recuperación de datos de usuario individuales sin interferencia (3GPP, 2015).

### **Enlace Ascendente (Uplink)**

Similar al downlink, las señales de datos en el uplink se combinan con señales de control y pilotos antes de ser transmitidas por la UE. Las señales de usuario se expanden utilizando códigos únicos. Este proceso asegura que múltiples señales de diferentes usuarios puedan ser transmitidas simultáneamente y sean recuperables en el receptor (Node B) mediante la correlación con los códigos asignados. Las señales de usuario expandida se combinan y transmiten sobre un canal común. En el Node B, estas señales se desensanchan y se separan por los códigos únicos, permitiendo la recuperación precisa de datos de cada usuario (Dahlman et al., 2008).

### **2.3.2.6. Limitaciones, ventajas, y desventajas de UMTS**

#### **Ventajas**

**Alta Capacidad de Datos:** Una de las principales ventajas de UMTS es su capacidad para manejar altas tasas de transferencia de datos. Utiliza WCDMA, que permite velocidades de datos de hasta 2 Mbps en condiciones ideales y en las primeras versiones, mientras que las evoluciones posteriores como HSDPA pueden alcanzar velocidades de hasta 14.4 Mbps en el downlink esta capacidad de datos es esencial para soportar aplicaciones multimedia y servicios de internet móvil avanzado (Holma & Toskala, 2000).

**Mejor Calidad de Servicio (QoS):** UMTS ofrece una mejor calidad de servicio (QoS) en comparación con las tecnologías anteriores como GSM y GPRS. Esta tecnología introduce métodos avanzados de control de potencia, handover suave, y gestión de interferencias, lo que mejora la estabilidad y la calidad de las comunicaciones. Los usuarios pueden disfrutar de llamadas más claras y una experiencia de navegación por internet más fluida (Dahlman et al., 2008).

**Capacidad Multimedial:** Otra ventaja significativa de UMTS es su capacidad para soportar una amplia variedad de servicios multimedia, incluyendo videollamadas, transmisión de video en tiempo real y servicios de televisión móvil. Esta capacidad multimedial no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también abre nuevas oportunidades para los proveedores de servicios (3GPP, 2015).

**Roaming Internacional:** UMTS facilita el roaming internacional gracias a la estandarización global por parte del 3GPP y su adopción por múltiples operadores en diversos países. Los usuarios de UMTS pueden moverse entre diferentes regiones y continentes manteniendo la misma calidad de servicio, lo cual es una ventaja considerable para los viajeros frecuentes y las empresas con operaciones globales (Holma & Toskala, 2000).

#### **Limitaciones**

**Requerimientos de Ancho de Banda:** Una de las principales limitaciones de UMTS es su requerimiento de ancho de banda. WCDMA, la tecnología de acceso múltiple utilizada, requiere un ancho de banda de 5 MHz por canal, lo cual es considerablemente mayor que las tecnologías 2G como GSM que empleaban 200 kHz. Esto puede ser problemático en áreas donde el espectro disponible es limitado o está congestionado (Holma & Toskala, 2000).

**Costo de Implementación:** La implementación de una red UMTS es costosa debido a la necesidad de nuevas infraestructuras, equipo compatible y licencias de espectro. Los operadores deben realizar una inversión significativa para actualizar o establecer redes UMTS, incluyendo la instalación de nuevos Node B, Radio Network Controllers (RNC), y otros componentes esenciales de la red. Este costo elevado puede ser una barrera para la adopción en mercados emergentes o regiones con recursos financieros limitados (Dahlman et al., 2008).

**Consumo de Energía:** Otra limitación notable es el alto consumo de energía asociado con UMTS, tanto en los dispositivos móviles como en la infraestructura de red. Las técnicas avanzadas empleadas para mejorar la calidad de señal y las altas tasas de transferencia de datos requieren más energía (Holma & Toskala, 2000). Esto puede resultar en menores duraciones de batería para los usuarios y mayores costos operativos para los operadores de red.

### **Desventajas**

**Interferencia y Gestión Espectral:** Aunque UMTS utiliza técnicas avanzadas para gestionar la interferencia, la naturaleza del reuso de frecuencia de WCDMA puede llevar a desafíos en la gestión de interferencia, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas (Dahlman et al., 2008). La interferencia entre celdas es una preocupación constante que requiere un manejo sofisticado para mantener la calidad del servicio.

**Latencia:** La latencia en UMTS puede ser mayor en comparación con las tecnologías de generaciones más recientes como LTE (Long Term Evolution). Aunque UMTS admite aplicaciones en tiempo real, la latencia inherente en la red puede no ser lo suficientemente baja para aplicaciones exigentes como los juegos en línea y las transmisiones de video en vivo de

alta calidad, esta desventaja puede limitar la adopción de UMTS en ciertas aplicaciones que requieren baja latencia (3GPP, 2015).

**Complejidad de Gestión:** La gestión de redes UMTS es más compleja en comparación con las redes 2G debido a la introducción de nuevas tecnologías y técnicas avanzadas de control de red. Esto requiere personal altamente capacitado y sistemas de gestión de red avanzados, lo cual puede aumentar los costos operativos y complejizar la operación diaria de la red (Holma & Toskala, 2000).

### **2.3.2.7.        *Arquitectura de la red 3G UMTS***

La arquitectura de la red UMTS está diseñada para soportar una alta capacidad de tráfico y servicios de datos de alta velocidad, implementando una infraestructura más compleja y avanzada que su predecesora GSM. Esta arquitectura se desglosa principalmente en tres subsistemas: el Subsistema de Red de Acceso Radio (RAN), el Subsistema de Red Central (Core Network, CN) y el Subsistema de Soporte y Gestión (Management and Support Subsystem) (Holma & Toskala, 2000).

#### **Subsistema de Red de Acceso Radio (UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network)**

**Node B:** Son las estaciones base en UMTS, equivalentes a las BTS en GSM, gestiona la comunicación de radio con los dispositivos móviles. Cada Node B puede manejar múltiples celdas, simplificando la infraestructura en comparación con el despliegue en GSM. **RNC (Radio Network Controller):** El controlador de red de radio es el equivalente al BSC en GSM. Administra múltiples Nodos B, maneja handovers (transferencias), control de potencia, cifrado y servicios de calidad de servicio (QoS) (Holma & Toskala, 2000).

#### **Subsistema de Red Central (Core Network)**

**MSC/VLR (Mobile Switching Center/Visitor Location Register):** Maneja las funciones de conmutación de circuitos, similares a su función en GSM. Administra las llamadas de voz, mensajes de texto y la itinerancia. **GMSC (Gateway MSC):** Actúa como punto de interfase entre

la red UMTS y otras redes de comunicación como la PSTN (Public Switched Telephone Network) y otras redes móviles. **HLR (Home Location Register)**: Almacena información de suscriptores permanente similar al HLR en GSM, incluyendo perfiles de servicios y datos de validación. **SGSN (Serving GPRS Support Node)**: Maneja las funciones de conmutación de paquetes dentro de la red UMTS, controlando la entrega de servicios de datos. **GGSN (Gateway GPRS Support Node)**: Interfaz entre la red UMTS y otros proveedores de servicios de datos, permitiendo acceso a Internet y otras redes de datos. **EIR (Equipment Identity Register)**: Base de datos que registra los IMEI de los dispositivos móviles, ayudando en la gestión de seguridad y controlando dispositivos robados o no autorizados. **AuC (Authentication Center)**: Similar al AuC en GSM, proporciona claves de autenticación y cifrado (Holma & Toskala, 2000).

#### **Subsistema de Operación y Soporte (OSS - Operation and Support Subsystem)**

**OMC (Operation and Maintenance Center)**: Monitorea y controla las operaciones diarias y la administración de la red UMTS, similar a su función en GSM. **NMS (Network Management System)**: Facilita la gestión de la red a nivel central, supervisando el rendimiento, la configuración, el fallo y la seguridad (Holma & Toskala, 2000).

#### **2.3.2.8. FUNCIONAMIENTO DE LA ARQUITECTURA UMTS**

Para entender cómo interactúan estos componentes, se puede seguir el flujo de una típica conexión de datos en una red UMTS:

**Inicio de Sesión de Datos**: El dispositivo móvil (UE - User Equipment) se comunica con el Node B más cercano a través de un canal físico. La solicitud es manejada por el RNC, que coordina con SGSN para la autenticación y establecimiento de la sesión.

**Asignación de Canal**: El SGSN asigna un PDP (Packet Data Protocol) Context, que establece una ruta de comunicación dedicada para el tráfico de datos.

**Establecimiento de Conexión**: La conexión de datos se enruta a través del GGSN para facilitar la conectividad a Internet. El GGSN actúa como una puerta de enlace, asignándole una dirección IP al dispositivo móvil.



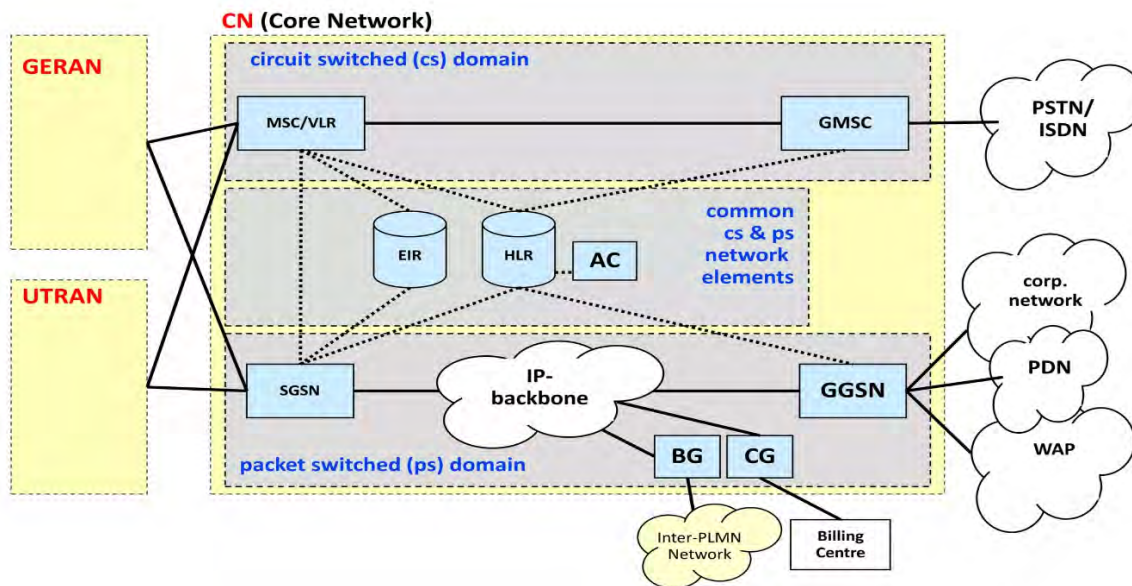
**Transmisión de Datos:** Los datos se transmiten a través del Node B y el RNC, que gestionan los aspectos de calidad de servicio (QoS), codificación, cifrado, y otros parámetros de gestión de recursos.

**Transferencia (Handover):** Durante el movimiento del usuario, el RNC gestiona transferencias entre Node Bs, garantizando una sesión de datos sin interrupciones.

**Terminación de Sesión:** Al finalizar la sesión de datos, los recursos dedicados se liberan y la ruta de comunicación se desmantela, actualizando la información de facturación y utilización.

**Figura 12**

*La interacción entre sectores es crucial para optimizar la cobertura*



*Nota:* Gestión eficiente de recursos y una experiencia de usuario optimizada

### 2.3.3 Tecnología 4G LTE

Long Term Evolution (LTE) ha redefinido el panorama de las comunicaciones móviles, proporcionando velocidades de datos significativamente más altas y un rendimiento más eficiente en comparación con sus predecesoras, UMTS y GSM. LTE es la evolución de tercera a cuarta generación (4G) de tecnologías móviles bajo el auspicio de la 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Este informe explora los fundamentos de LTE, su arquitectura técnica, y su impacto en las telecomunicaciones.

LTE ha mejorado significativamente la accesibilidad a los servicios de comunicación móvil de alta velocidad en comparación con las generaciones anteriores. Con su capacidad para ofrecer velocidades de descarga de hasta 100 Mbps y velocidades de subida de hasta 50 Mbps en las primeras implementaciones, y con mayores tasas en las versiones avanzadas, LTE ha permitido el acceso a aplicaciones y servicios que anteriormente eran impracticables en redes móviles. La amplia adopción de LTE en todo el mundo ha sido facilitada por una estandarización global impulsada por el 3GPP (3rd Generation Partnership Project), lo cual ha permitido la interoperabilidad entre múltiples fabricantes y proveedores de servicios. Además, LTE es compatible con dispositivos económicos, lo que ha democratizado el acceso a internet móvil rápido, particularmente en mercados emergentes (Parkvall, E., Astely, D., & Dahlman, E., 2011).

### **2.3.3.1 Fundamentos técnicos de LTE**

La evolución de la tecnología de comunicaciones móviles ha sido un factor determinante en la forma en que las personas se conectan y acceden a la información en la actualidad. El despliegue de la tecnología 4G LTE (Long Term Evolution) ha marcado un hito significativo en este proceso, al ofrecer velocidades de datos más rápidas, una mayor capacidad y una experiencia de usuario mejorada. En este ensayo, exploraremos los fundamentos técnicos que sustentan la tecnología 4G LTE y su impacto en las comunicaciones inalámbricas.

LTE utiliza técnicas avanzadas de acceso múltiple como Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) y Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) para la transmisión de datos en el enlace descendente y ascendente, respectivamente. OFDMA permite la asignación eficiente de recursos de espectro al dividirlo en subportadoras ortogonales, mientras que SC-FDMA reduce la potencia pico en el enlace ascendente, lo que resulta en un mejor rendimiento y eficiencia energética de los dispositivos móviles (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2013).

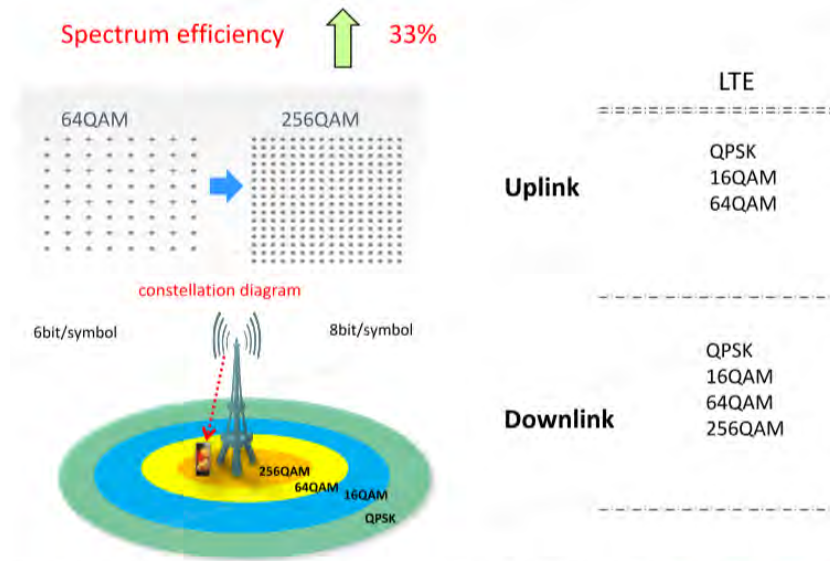
### 2.3.3.2. Portadoras y canales de uplink y downlink en LTE

Entel LTE opera en diferentes bandas de frecuencia, de B4 (1700/2100 MHz AWS1), B28a (700 MHz), B40 (TDD 2300) lo que le permite flexibilidad y adaptabilidad a diferentes regiones y necesidades de espectro. Cada portadora LTE puede tener un ancho de banda variable de 1.4 MHz a 20 MHz, proporcionando flexibilidad en la asignación de recursos de radio.

**Canales Físicos UL/DL:** Los canales físicos en LTE incluyen el PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) para la transmisión de datos en el DL y el PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) para el UL. También existen canales de control como el PDCCH (Physical Downlink Control Channel) y el PUCCH (Physical Uplink Control Channel) que gestionan la señalización.

En la figura 13 se puede apreciar cómo es la densidad de uso frecuencia con respecto a la dispersión por distancia al nodo, y las modulaciones que se usa para el UL y DL (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

**Figura 13**  
Eficiencia del espectro en UL/DL



*Nota:* Radioeléctrico disponible para maximizar la capacidad y la calidad

### **2.3.3.3. REUSO DE FRECUENCIA EN LTE**

El reúso de frecuencia es una técnica fundamental en la ingeniería de redes móviles que busca maximizar la eficiencia espectral al permitir la reutilización de las mismas frecuencias en diferentes áreas geográficas. En el marco de la tecnología LTE (Long Term Evolution), el reúso de frecuencia desempeña un papel crucial para garantizar un rendimiento óptimo de la red y satisfacer la creciente demanda de conectividad inalámbrica de alta velocidad en todo el mundo.

La tecnología LTE emplea un enfoque sofisticado para el reúso de frecuencia, donde se asignan diferentes recursos de frecuencia a celdas adyacentes de manera que puedan coexistir sin causar interferencias perjudiciales. Esto se logra mediante la asignación cuidadosa de las subportadoras en el dominio de la frecuencia y el uso eficiente de técnicas de cancelación de interferencias, como el filtrado en la capa física de transmisión (Rappaport, T. S. 2019)

Además, LTE aprovecha el concepto de sectorización de antenas para reducir las interferencias intra e intercelulares, lo que permite mejorar la capacidad de la red y la calidad de servicio ofrecida a los usuarios finales. La aplicación efectiva del reúso de frecuencia en LTE ha contribuido significativamente a la expansión y mejora de las redes móviles, facilitando la transmisión de grandes volúmenes de datos a alta velocidad en entornos urbanos densos y áreas con alta demanda de servicios de comunicaciones inalámbricas (Ghosh, A., Muhamed, R., & Olsson, M. 2012)

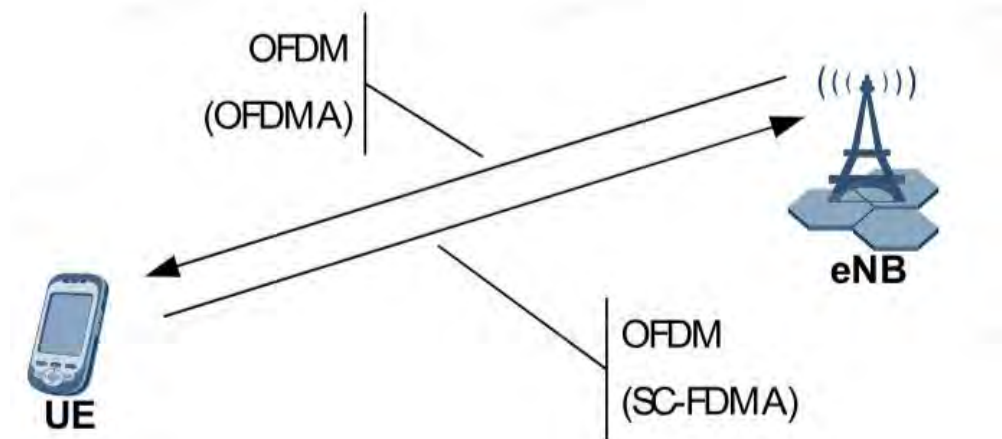
En conclusión, LTE utiliza un reúso de frecuencia de 1, lo que significa que la misma frecuencia puede ser reutilizada en todas las celdas, mejorando la capacidad y la cobertura. La gestión de interferencia se maneja a través de técnicas avanzadas como el ICIC (Inter-Cell Interference Coordination), que asegura una asignación eficiente de recursos y minimiza la interferencia entre celdas adyacentes (Ghosh, A., Muhamed, R., & Olsson, M. 2012)

### **2.3.3.4. Modulación y multiplexación**

LTE emplea esquemas de modulación adaptativa como QPSK, 16-QAM y 64-QAM para optimizar la eficiencia espectral y proporcionar diferentes tasas de datos según la calidad del

enlace. La multiplexación en LTE se basa en OFDMA y SC-FDMA, que permiten una asignación flexible y eficiente de los recursos del espectro.

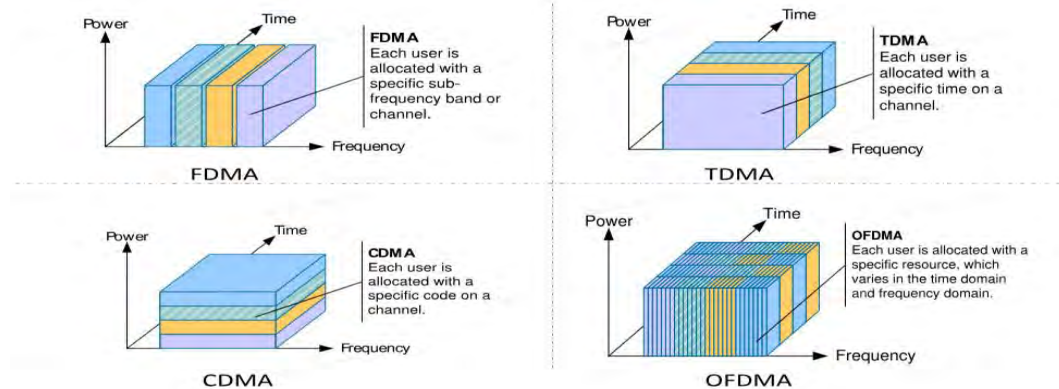
**Figura 14**  
Esquema de interacción cliente Nodo en modulación



*Nota:* teléfonos móviles, computadoras u otros dispositivos de usuario final.

La evolución de las comunicaciones ha ido mejorando las técnicas de empaquetamiento de datos y una buena forma de observar esta es en el siguiente gráfico figura 15.

**Figura 15**  
Evolución del empaquetamiento de datos



*Nota:* La evolución del empaquetamiento de datos

### 2.3.3.5 Limitaciones, ventajas y desventajas de LTE

#### Limitaciones

**Costos de Implementación:** Al igual que UMTS, la implementación de una red LTE requiere significativas inversiones en infraestructuras y equipos.

**Compatibilidad:** No es retrocompatible con las infraestructuras 2G y 3G, lo que puede requerir coexistencia de redes múltiples y gestión compleja durante la transición.

**Consumo de Energía:** A pesar de SC-FDMA en UL, las redes de alta velocidad y capacidad tienden a un mayor consumo de energía.

### **Ventajas**

**Altas Velocidades de Datos:** LTE ofrece velocidades de datos máximas de hasta 300 Mbps en DL y 75 Mbps en UL, lo que permite una excelente experiencia de usuario para aplicaciones de alta demanda.

**Baja Latencia:** La latencia en LTE es significativamente menor que en 3G, estando entre 80 y 100 milisegundos facilitando aplicaciones como videollamadas, juegos en línea y servicios críticos en tiempo real.

**Eficiencia Espectral:** OFDMA y otros avances técnicos permiten un uso muy eficiente del espectro disponible.

### **Desventajas**

**Transición Compleja:** La transición de redes 2G/3G a LTE puede ser compleja y costosa para los operadores y usuarios.

**Interferencia:** Aunque mejora con técnicas avanzadas como ICIC, la reutilización de frecuencia de 1 implica una gestión precisa para mitigar la interferencia intercelular y en entornos de alta densidad de tráfico, las comunicaciones pueden degradarse.

**Dispositivos Compatibles:** Requiere dispositivos compatibles con LTE, lo que puede ser una barrera inicial para usuarios y operadores.

#### **2.3.3.6 *Arquitectura de red 4g LTE***

La arquitectura de la red LTE está diseñada para proporcionar alta velocidad de datos y baja latencia, operando en un entorno de red moderno y eficiente. La simplificación y eficiencia

son claves en el diseño de esta red, abarcando el Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) y el Evolved Packet Core (EPC).

### **Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)**

**eNodeB (Evolved Node B):** A diferencia de los sistemas anteriores, las funciones del Node B y el RNC en UMTS están combinadas en una sola entidad llamada eNodeB. Ésta gestiona directamente la comunicación de radio, la asignación de recursos, el control de calidad de servicio (QoS), y las transferencias. Los eNodeBs están conectados entre sí mediante el interfaz X2 (Ghosh, A., Muhamed, R., & Olsson, M. 2012).

### **Evolved Packet Core (EPC)**

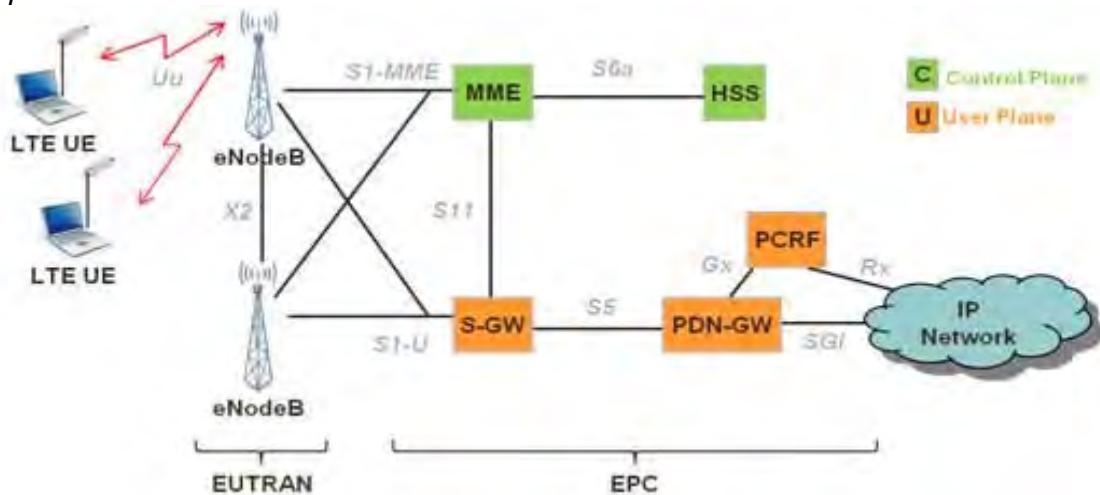
**MME (Mobility Management Entity):** El MME se encarga de las funciones de señalización y control, como la gestión de movilidad (handover), autenticación de usuarios, y la configuración del contexto de red. **SGW (Serving Gateway):** El SGW maneja el encaminamiento del tráfico de datos entre el eNodeB y el PGW. Gestiona la movilidad del UE dentro de la red de acceso y entre tecnologías de acceso heterogéneas. **PGW (Packet Data Network Gateway):** El PGW actúa como interfaz entre la red LTE y otras redes de datos externas, como Internet. Administra servicios de políticas y carga, y es responsable de la asignación de direcciones IP a los dispositivos móviles. **HSS (Home Subscriber Server):** Equivalente al HLR/AuC en UMTS y GSM, contiene la información de suscriptores permanente, incluyendo autenticación, perfiles de usuario y servicios suscritos. **PCRF (Policy and Charging Rules Function):** Gestiona las políticas de QoS y las reglas de tarificación para los servicios de datos, asegurando una asignación adecuada de recursos y la facturación correcta (Ghosh, A., Muhamed, R., & Olsson, M. 2012).

Para ilustrar cómo interactúan estos componentes, considera el flujo de una sesión de datos en una red LTE:

**Inicio de la Sesión:** El dispositivo móvil (User Equipment, UE) inicia una solicitud de conexión que es recibida por el eNodeB. El UE se identifica utilizando su tarjeta SIM y las

credenciales almacenadas en el HSS. **Asignación de Recursos:** El MME verifica la autenticación y establece el contexto de movilidad para el UE, coordinando con el SGW y el PGW para la asignación de direcciones IP y recursos de red. **Establecimiento de Conexión:** El eNodeB gestiona la asignación de recursos de radio para el UE, utilizando OFDMA para el downlink y SC-FDMA para el uplink. Los datos se transmiten a través del eNodeB, SGW y PGW hacia Internet u otras redes de datos. **Control de Calidad y Movilidad:** El MME y el eNodeB aseguran que las políticas de QoS sean aplicadas correctamente, proporcionando priorización de tráfico y gestión de interferencias mediante ICIC. Handover se realiza transparentemente entre los eNodeBs para mantener la continuidad de la sesión. **Terminación de la Sesión:** Al terminar la sesión de datos, los recursos asignados se liberan y la conexión se desmantela, actualizando la información de uso y facturación en el HSS y el PCRF (huang, x., & venkatesan, s. 2016)

**Figura 16**  
Arquitectura red 4G LTE



Nota: Arquitectura red 4G LTE

### 2.3.4 Tecnología 5G NR

La quinta generación de tecnología móvil, conocida como 5G, ha emergido como una revolucionaria fuerza transformadora en el mundo de las comunicaciones. Prometiendo



velocidades de datos ultrarrápidas, latencia extremadamente baja y una conectividad masiva, 5G está destinada a redefinir la forma en que interactuamos con la tecnología en nuestras vidas cotidianas. Este ensayo explora los fundamentos de 5G, su arquitectura técnica, y su impacto en el ecosistema de las telecomunicaciones.

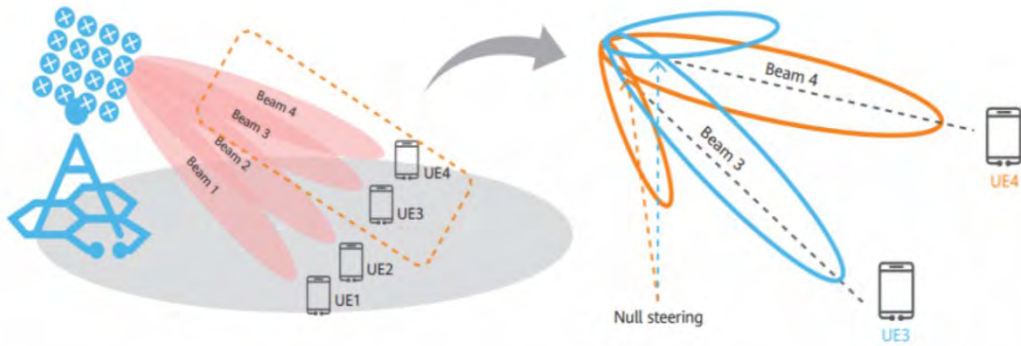
5G se originó a partir de la necesidad de responder a las crecientes demandas de ancho de banda, baja latencia y capacidad de dispositivos conectados que las tecnologías existentes no podían satisfacer plenamente. La 3rd Generation Partnership Project (3GPP) y otros organismos internacionales de telecomunicaciones han liderado el desarrollo de los estándares 5G. Los primeros despliegues comerciales de 5G comenzaron alrededor de 2019, siguiendo años de extensos desarrollos tecnológicos y pruebas (Chen, S., y Qian, H. 2020)

#### **2.3.4.1. Fundamentos técnicos**

5G utiliza una variedad de tecnologías avanzadas para alcanzar sus objetivos de rendimiento, entre las cuales destacan:

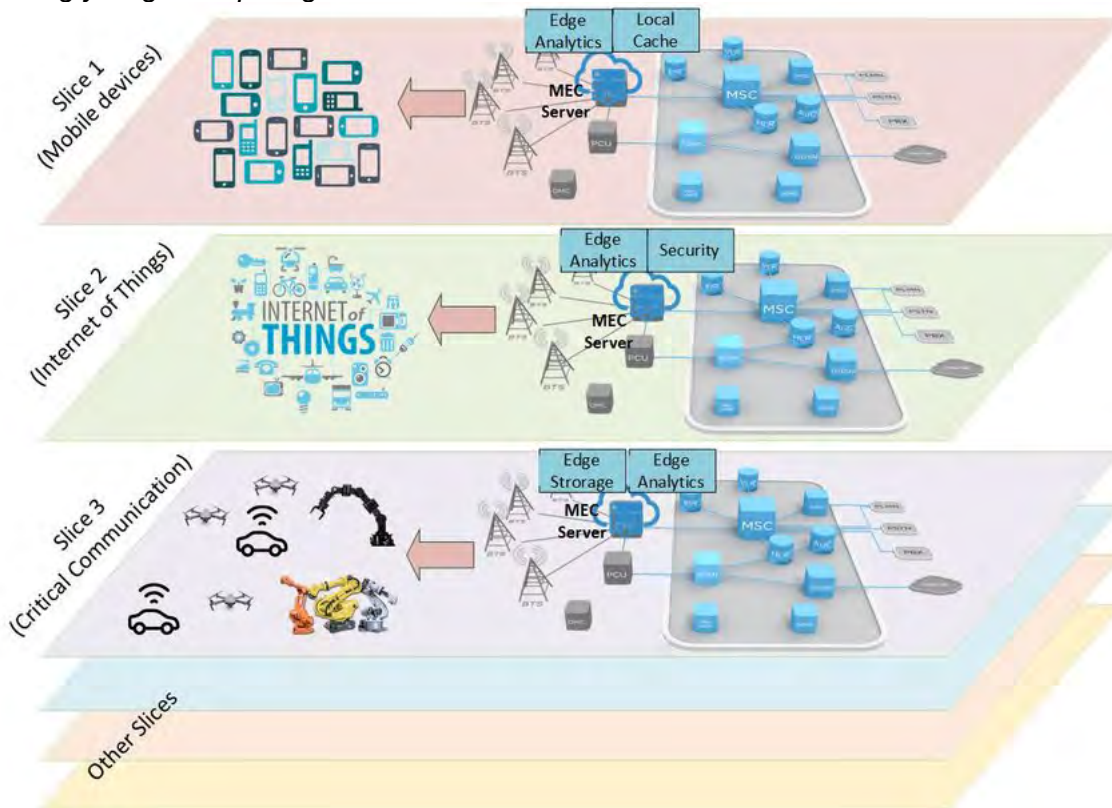
**Millimeter Wave (mmWave):** Los rangos de frecuencia extremadamente altos (24 GHz - 100 GHz), conocidos como ondas milimétricas, proporcionan capacidades de ancho de banda sin precedentes. **Massive MIMO:** Emplea una gran cantidad de antenas en estaciones base para mejorar significativamente la capacidad y el rendimiento de la red, figura 17. **Beamforming:** Técnica que dirige las señales de radio directamente hacia los dispositivos de uso, reduciendo interferencias y mejorando la eficiencia del espectro, ver figura 17. **Network Slicing:** Capacidad de segmentar la red en múltiples "rebanadas" virtuales, cada una optimizada para diferentes tipos de servicios y aplicaciones ver figura 18. **Edge Computing:** Permite el procesamiento de datos más cercano al dispositivo final, reduciendo la latencia y mejorando el rendimiento de aplicaciones sensibles al tiempo ver figura 18. (Chen, S., y Qian, H. 2020)

**Figura 17**  
*Massive MIMO y Beamforming*



*Nota: Tecnologías clave en redes móviles modernas*

**Figura 18**  
*Slicing y Edge computing*



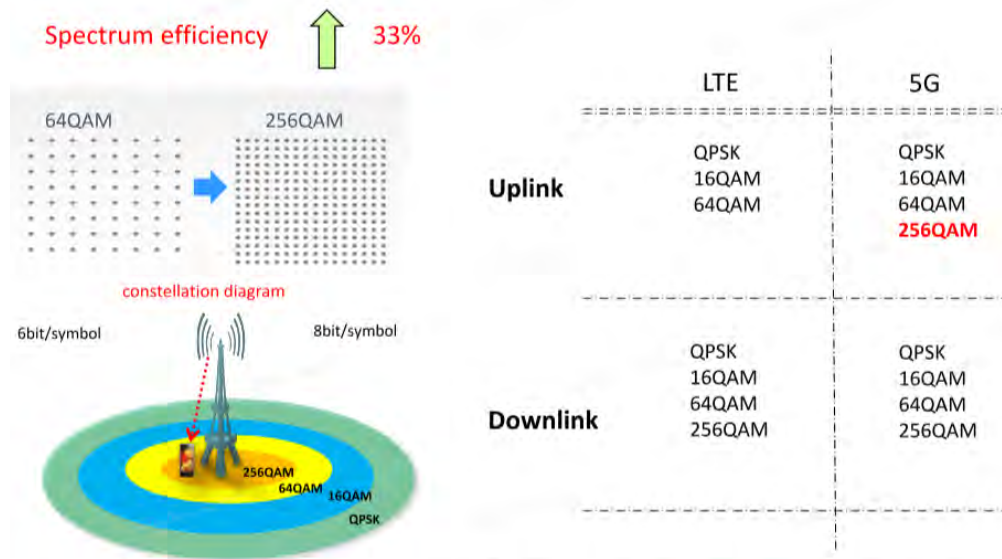
*Nota Comunicaciones y la computación distribuida.*

### 2.3.4.2. Portadoras y canales de uplink y downlink

5G opera en varias bandas de frecuencia, categorizadas como Sub-6 GHz y mmWave. Las bandas Sub-6 GHz ofrecen una mayor cobertura y penetración en los edificios, mientras que las mmWave proporcionan altas velocidades de datos en áreas de alta densidad como ciudades.

**Canales Físicos:** Los canales de uplink (UL) y downlink (DL) en 5G incluyen el PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) para la transmisión de datos en DL y el PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) para UL. También existen canales de control como el PDCCH (Physical Downlink Control Channel) y el PUCCH (Physical Uplink Control Channel) para gestionar la señalización. En este sentido la eficiencia de uso del espectro se ve muy definida con respecto a la distancia que el usuario puede tener al nodo como se aprecia en la figura 19 (Chen, S., y Qian, H. 2020)

**Figura 19**  
Eficiencia del espectro en UL/DL para 5G



*Nota:* velocidades más altas, menor latencia y soportar una mayor cantidad

### 2.3.4.3. Re uso de frecuencia en 5G

5G aprovecha el re uso de frecuencia universal, similar a LTE, pero con avanzadas técnicas de reducción de interferencia y uso eficiente del espectro, como el beamforming y

massive MIMO. Estas tecnologías permiten reutilizar las mismas frecuencias en múltiples celdas mientras minimizan la interferencia.

La densificación de la red a través de la implementación de celdas pequeñas en áreas de alta demanda permite una reutilización más efectiva de las frecuencias. Esto da como resultado una mayor capacidad de red y una experiencia de usuario mejorada en términos de velocidad y fiabilidad de la conexión ([López-Pérez et al., 2019]

La coordinación de interferencias entre celdas (ICIC) es una técnica crítica para minimizar la interferencia co-canal y permitir un re uso de frecuencia más agresivo. Las técnicas avanzadas como la coordinación de interferencias mejorada (eICIC) y la interferencia intercelular coordinada en tiempo real (CoMP) ayudan a gestionar las interferencias y mejorar el rendimiento de la red (Boudreau et al., 2009)

El beamforming es una técnica que permite enfocar las señales de radio hacia dispositivos específicos en lugar de dispersarlas en todas las direcciones. Esta técnica no sólo mejora la calidad de la señal, sino que también reduce la interferencia, permitiendo un re uso de frecuencia más eficiente. destacan la importancia del beamforming adaptativo para mejorar la cobertura y la capacidad en entornos densamente poblados (Guo y Ouyang, 2016 ).

#### **2.3.4.4      *Modulación y multiplexación***

El código de acceso de modulación dispersa (SCMA) es una técnica de acceso múltiple no ortogonal que permite una mayor eficiencia espectral y una mayor conectividad de dispositivos. SCMA asigna códigos únicos a diferentes usuarios, lo que permite la superposición de señales y mejora la capacidad total del sistema (Nikopour et al., 2014)

Las variantes avanzadas de OFDM, como la OFDM entrelazada (I-OFDM) y la OFDM basada en filtro (FBMC), prometen mejorar aún más la eficiencia espectral y la robustez contra la interferencia. Estas técnicas avanzadas están diseñadas para abordar las limitaciones de la OFDM tradicional y proporcionar un rendimiento superior en los entornos cambiantes de 5G (Farhang-Boroujeny, 2011)

La modulación orbital angular (OAM) es una técnica emergente que explota una nueva dimensión del espectro, permitiendo la transmisión de múltiples flujos de datos mediante diferentes modos de OAM. Esto podría revolucionar la capacidad del espectro y proporcionar tasas de datos significativamente más altas en redes 5G (Zhang et al., 2017)

5G emplea esquemas de modulación avanzada como QAM, 256-QAM para maximizar la eficiencia espectral. La multiplexación en 5G se basa en OFDMA tanto para el downlink como para el uplink, proporcionando una flexible y eficiente asignación de recursos espectrales.

#### **2.3.4.5. *limitaciones, ventajas y desventajas de 5g***

##### **Limitaciones**

**Elevados Costos de Implementación:** El despliegue de 5G requiere una inversión significativa en infraestructura. La instalación de una red densa de pequeñas celdas, necesarias para lograr la cobertura y capacidad requeridas, es costosa y desafiante. Además, la actualización de la infraestructura existente para soportar 5G implica costos adicionales (Chih-Lin et al., 2017)

La infraestructura 5G requiere inversiones significativas en nuevas estaciones base, hardware y backhaul mejorado.

**Rango de Cobertura Limitado:** Las frecuencias más altas utilizadas en 5G, como las ondas milimétricas (mmWave), tienen problemas de penetración y alcance. Aunque estas frecuencias ofrecen altas velocidades, su capacidad para atravesar obstáculos como paredes y edificios es limitada, lo que puede resultar en una cobertura inconsistente, especialmente en áreas interiores (Rappaport et al., 2013)

Las frecuencias mmWave tienen una cobertura más limitada y menor penetración en los edificios, lo que requiere el despliegue de muchas micro y macro celdas adicionales.

**Interoperabilidad y Compatibilidad:** A medida que se despliega 5G, es necesario garantizar la compatibilidad con los dispositivos 4G existentes. La transición a 5G no será

inmediata para todos, y se requerirá una coexistencia y retrocompatibilidad efectiva durante el período de transición (Parkvall et al., 2017)

La coexistencia con redes preexistentes (2G, 3G, 4G) presenta desafíos de compatibilidad y gestión de redes heterogéneas.

### **Ventajas**

**Altas Velocidades de Datos:** Una de las ventajas más notables de 5G es su capacidad para proporcionar velocidades de datos extremadamente altas. La tecnología 5G puede alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps, lo que es hasta 100 veces más rápido que las redes 4G LTE. Esto permite la descarga y transmisión de contenidos de alta definición, realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) de manera fluida (Ericsson, 2020)

5G puede alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps, superando significativamente las velocidades de 4G LTE.

**Baja Latencia:** 5G reduce considerablemente la latencia, el tiempo que tarda un paquete de datos en ir desde el transmisor hasta el receptor y volver. La latencia en 5G puede ser tan baja como 1 ms, lo que es crucial para aplicaciones que requieren respuestas en tiempo real, como la conducción autónoma y las cirugías remotas (Qualcomm, 2020)

Latencia promedio de 1 ms, ideal para aplicaciones críticas en tiempo real como vehículos autónomos y cirugía remota.

**Conectividad Masiva:** 5G puede soportar una densidad mucho mayor de dispositivos conectados simultáneamente. Esto es esencial para la Internet de las Cosas (IoT), donde miles de dispositivos pueden estar conectados en una pequeña área geográfica. Esto abre el camino para las ciudades inteligentes, fábricas automatizadas y otros entornos altamente conectados (Ghosh et al., 2018)

Soporta hasta un millón de dispositivos por kilómetro cuadrado, habilitando el Internet de las Cosas (IoT) en una escala sin precedentes.

**Eficiencia Espectral Mejorada:** La eficiencia espectral de 5G, que es la cantidad de datos que puede transmitirse en una unidad específica de espectro, es significativamente mayor en comparación con las generaciones anteriores. Esto se logra mediante el uso de técnicas avanzadas como MIMO masivo y beamforming (Andrews et al., 2014)

### **Desventajas**

**Infraestructura Costosa:** El despliegue de 5G requiere una inversión significativa en infraestructura. La instalación de una red densa de pequeñas celdas, necesarias para lograr la cobertura y capacidad requeridas, es costosa y desafiante. Además, la actualización de la infraestructura existente para soportar 5G implica costos adicionales (Chih-Lin et al., 2017)

**Limitación de la cobertura:** Las frecuencias más altas utilizadas en 5G, como las ondas milimétricas (mmWave), tienen problemas de penetración y alcance. Aunque estas frecuencias ofrecen altas velocidades, su capacidad para atravesar obstáculos como paredes y edificios es limitada, lo que puede resultar en una cobertura inconsistente, especialmente en áreas interiores (Rappaport et al., 2013)

**Consumo de energía:** Las estaciones base 5G y los dispositivos asociados tienden a consumir más energía que las tecnologías anteriores. Mantener una red densa de pequeñas celdas y operar múltiples antenas en configuraciones MIMO puede aumentar el consumo de energía, lo cual es una preocupación tanto económica como ambiental (Wu et al., 2020)

**Preocupaciones de seguridad y privacidad:** La amplitud y la naturaleza penetrante de 5G pueden aumentar los riesgos de seguridad y privacidad. Más dispositivos conectados significan más puntos de entrada potenciales para ciberataques. Además, la recopilación y transmisión masiva de datos plantea preocupaciones sobre la privacidad del usuario (Li et al., 2018)

### **2.3.4.6 Arquitectura de red 5G NR**

La arquitectura de la red 5G está diseñada para soportar una impresionante capacidad de tráfico, bajas latencias llegando a los 10 milisegundos y la conectividad masiva necesaria para

el Internet de las Cosas (IoT) y otras aplicaciones avanzadas. La arquitectura de 5G se divide principalmente en dos partes: la Nueva Radio (NR - New Radio) y la arquitectura de núcleo de la red, 5G Core (5GC).

### **Nueva Radio (NR)**

**gNodeB (gNB):** Equivalente del eNodeB en LTE, las gNBs son las estaciones base en 5G, responsables de la comunicación de radio, la formación de haces (beamforming), gestión de interferencias y transferencias. **mMIMO (massive MIMO):** Incorporado en gNBs, permite una alta capacidad y eficiencia, utilizando múltiples antenas para transmitir y recibir varias señales simultáneamente.

### **5G Core (5GC)**

**Access and Mobility Management Function (AMF):** Se encarga de los procesos de registro, autenticación y la gestión de movilidad y conexión de los usuarios. **Session Management Function (SMF):** Gestiona los contextos de sesiones de datos y la asignación de direcciones IP a los dispositivos. **User Plane Function (UPF):** Encargado del procesamiento del dato del usuario, enruta los paquetes de datos entre la red de acceso y las redes externas como Internet. **Network Slice Selection Function (NSSF):** Selecciona la rebanada de red correcta basada en los requerimientos específicos del servicio, soportando Network Slicing. **Policy Control Function (PCF):** Administra las políticas de QoS y control de carga. **Unified Data Management (UDM):** Equivale al HSS en LTE, almacena información de suscriptores y gestiona la autenticación y autorización.

#### **2.3.4.7. Funcionamiento de la arquitectura 5G**

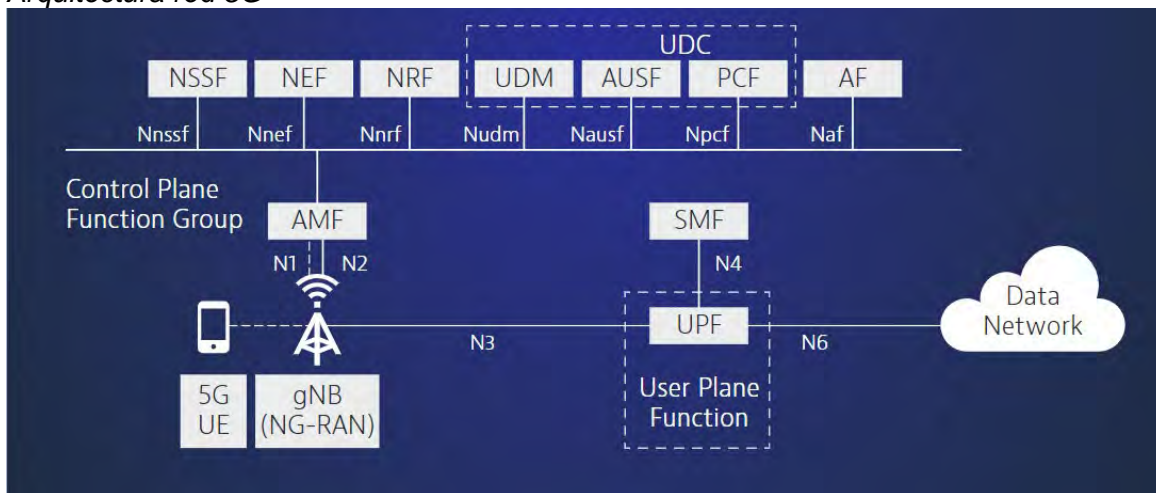
Para entender cómo interactúan estos componentes, podemos seguir el flujo de una sesión de datos en una red 5G:

**Inicio de la Sesión:** El dispositivo (5G UE) inicia una solicitud de conexión que es recibida por la gNodeB. Utiliza beamforming para dirigir la señal hacia el UE y maximizar la



eficiencia. La solicitud de conexión se envía al AMF para la autenticación y registro. **Asignación de Recursos:** El AMF coordina con el SMF para establecer el contexto de sesión y asignar una dirección IP al dispositivo. El SMF se comunica con el UPF para enrutar el tráfico de datos. **Establecimiento de Conexión:** La gNodeB gestiona la asignación de recursos de radio para el UE, utilizando corredores mmWave u otros espectros disponibles, y técnicas como massive MIMO para optimizar la capacidad y cobertura. **Control de Calidad y Movilidad:** El PCF gestiona las políticas de QoS, mientras que el AMF realiza handovers (transferencias) transparentemente entre gNodeBs para mantener la continuidad de la sesión con la menor latencia posible. **Terminación de la Sesión:** Al finalizar la sesión de datos, los recursos se liberan y la sesión se desmantela, con actualizaciones pertinentes en el UDM y las otras funciones de red para información de uso y facturación (Guo, L., & Ouyang, Y. 2016)

**Figura 20**  
Arquitectura red 5G



*Nota:* Evolución significativa respecto a las generaciones anteriores

## Capítulo III:

### Implementación de la Red Transporte Microondas y los Sistemas de Comunicaciones

#### GSM, UMTS, LTE Y NR

#### 3.1 Implementación de los gabinetes TP48200 Y TBC300A para equipos de comunicación en la red Entel

La implementación exitosa de los gabinetes Huawei **TP48200** y **TBC300A** en la infraestructura de telecomunicaciones de la red Entel requiere una cuidadosa planificación y ejecución de los pasos de instalación. Estos gabinetes ofrecen soluciones robustas y eficientes para la distribución y suministro de energía, con un sistema de alarmas y monitoreo que asegura la operación continua y fiable de los equipos conectados. Al seguir los detalles de instalación y configuración mencionados, se puede garantizar un rendimiento óptimo y la longevidad de la infraestructura de telecomunicaciones.

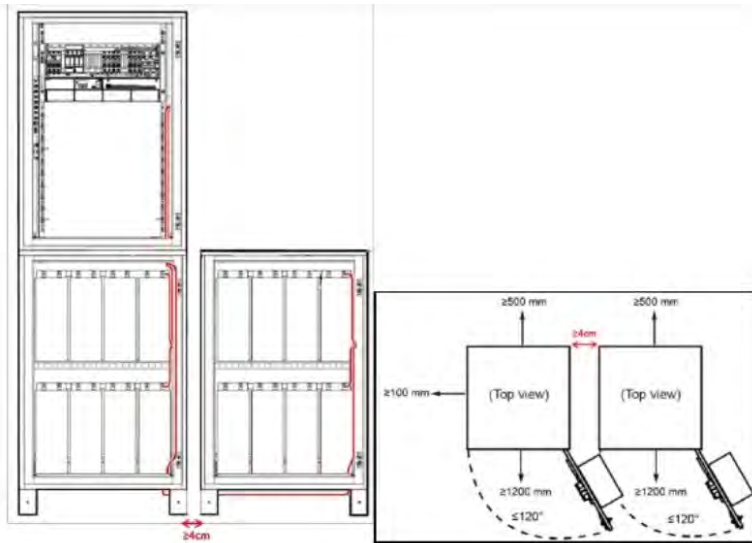
Los gabinetes en mención tienen una configuración muy similar por lo cual se hará una vista genérica sin entrar en detalles de funcionamiento específico por cada modelo,

##### 3.1.1 Arquitectura del Gabinete

El gabinete **TP48200A** de Huawei es un sistema de distribución de energía diseñado para proporcionar un suministro de energía confiable y eficiente a los equipos de telecomunicaciones. La arquitectura modular del TP48200A permite una configuración flexible y escalable, adecuada para diversos entornos de implementación. A continuación, se describe en detalle la arquitectura del gabinete TP48200A, incluyendo sus componentes principales, funciones y el flujo de energía.

El **TP48200A** está diseñado para convertir la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC) y distribuir esta energía a los equipos de telecomunicaciones. Ofrece capacidad de escalabilidad y redundancia para asegurar la continuidad del servicio y la protección de los equipos conectados.

**Figura 21**  
*Gabinete TP48200A*



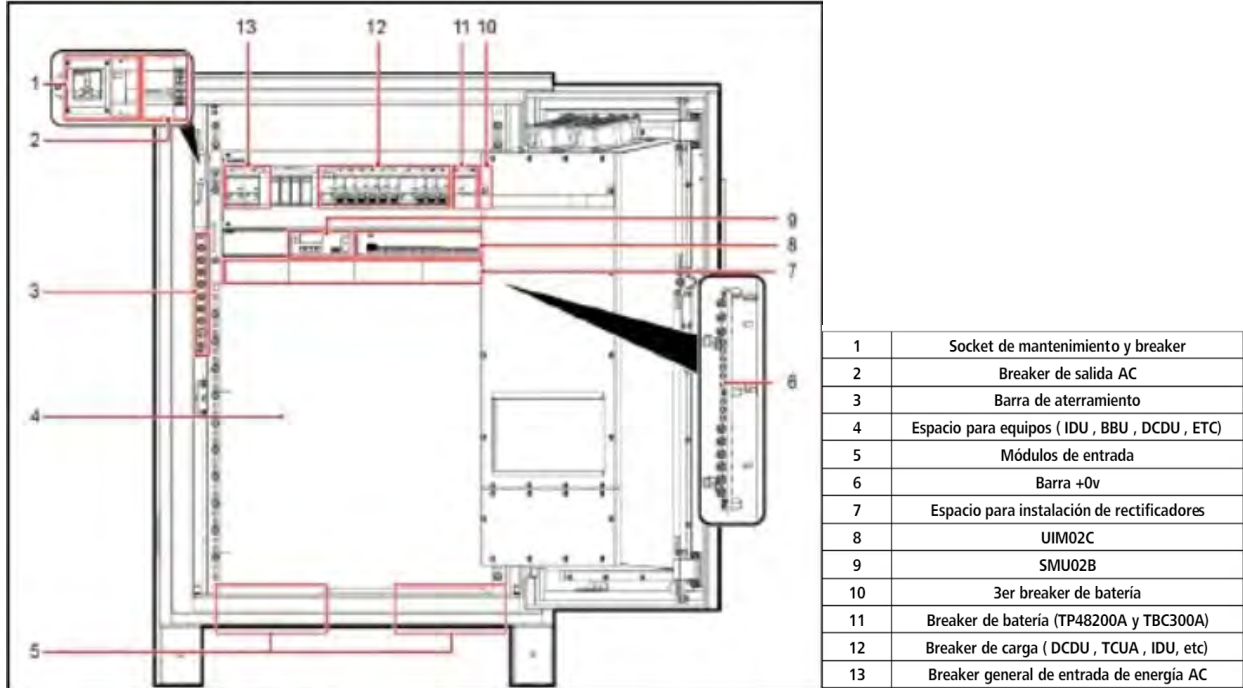
*Nota: la infraestructura de redes y telecomunicaciones*

### **3.1.2 Sistema de rectificación del gabinete**

El sistema de rectificación del TP48200A convierte la entrada de corriente alterna (220V AC) en una salida de corriente continua (48V DC) utilizando módulos rectificadores. Este proceso incluye varias etapas críticas, cada una de las cuales asegura que la salida de energía DC sea estable y eficiente:

La corriente alterna de entrada (220V AC) es suministrada al gabinete TP48200A, la entrada AC es filtrada para eliminar cualquier ruido eléctrico, los módulos rectificadores convierten la corriente alterna en corriente continua mediante el uso de diodos de rectificación y transistores de potencia, este proceso de rectificación incluye la eliminación de la componente alterna de la señal y la transformación en una señal de corriente continua, la señal DC resultante se regula a un voltaje fijo de 48V, la regulación se realiza utilizando convertidores de modo conmutado (SMPS), que ajustan dinámicamente los parámetros de operación para mantener un voltaje de salida constante independientemente de las variaciones en la entrada o en la carga.

**Figura 22**  
Módulo de energía Gabinete TP48200A



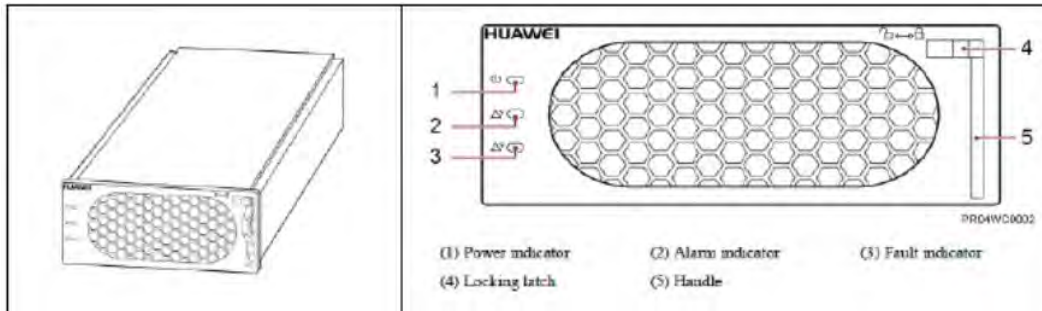
*Nota: Ccomponentes electrónicos dentro del gabinete que gestionan la distribución y suministro*

### 3.1.3 Módulos rectificadores

El módulo rectificador R4850G2 es un componente clave en sistemas de energía modelo TP48200A y otros gabinetes de distribución de energía para telecomunicaciones. Está diseñado para convertir la entrada de corriente alterna (AC) en una salida de corriente continua (DC), específicamente 48V, suministrando energía fiable y regulada a los equipos de telecomunicaciones. A continuación, se detalla el funcionamiento del módulo rectificador R4850G2 junto con sus componentes y especificaciones.

El modelo usado por ENTEL tiene una potencia de salida de 3000w o 62 A a plena carga, por normativa del operador un solo rectificador debe estar en la capacidad de abastecer a los equipos instalados en el gabinete, la disposición en cada gabinete es de 4 rectificadores con un controlador de rectificador SMU.

**Figura 23**  
*Módulo rectificador Huawei*



*Nota: Componente específico utilizado en sistemas de telecomunicaciones*

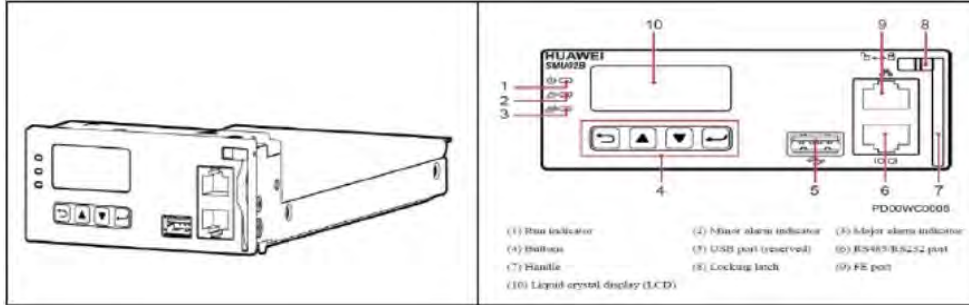
### 3.1.4 Módulo controlador SMU02B

El **SMU02B** es una unidad de gestión inteligente que ofrece capacidades avanzadas para monitorear y controlar los sistemas de suministro de energía en gabinetes de telecomunicaciones, asegurando una operación eficiente y fiable.

Monitorea en tiempo real parámetros críticos como el voltaje, la corriente, la temperatura y el estado de los módulos de energía, utiliza sensores de corriente y voltaje para obtener datos precisos y fiables, analiza los datos recopilados utilizando algoritmos de control avanzados para mantener la estabilidad del sistema, ejecuta funciones de control para ajustar los parámetros operativos y optimizar el rendimiento del sistema de energía, gestiona la distribución de energía y supervisa las condiciones operativas para evitar situaciones de sobrecarga y sobrecalentamiento, genera alarmas en tiempo real en caso de detección de anomalías como sobrecargas, sobre temperatura y fallos en los módulos, los indicadores LED y alarmas sonoras alertan al personal técnico sobre eventos críticos que requieren atención inmediata, utiliza múltiples interfaces como Ethernet, RS232, RS485, y CAN para comunicar con otros dispositivos y sistemas de gestión de red (NMS), facilita la transferencia de datos al sistema de gestión centralizado, permitiendo una monitorización y control remotos.

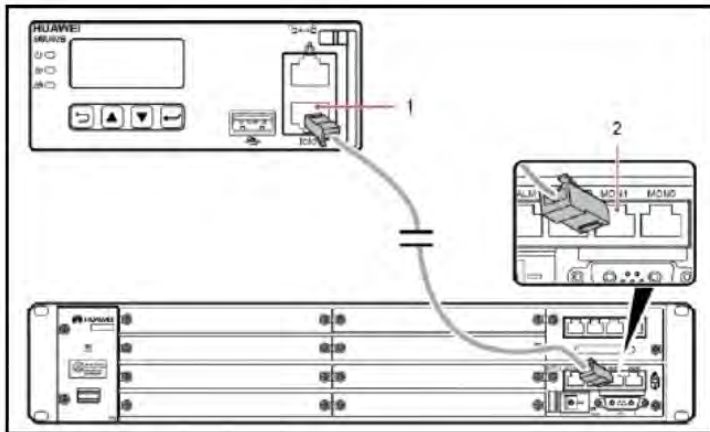
El SMU02B puede conectar y reportar su estado a un Sistema de Gestión de Red (NMS), proporcionando visibilidad y control centralizados de la infraestructura de energía.

**Figura 24**  
Controlador de rectificador



*Nota: Controlador de rectificador*

**Figura 25**  
Conexión de SMU a BBU



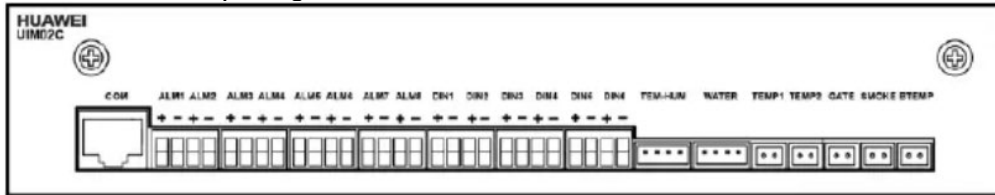
*Nota: Conexión de SMU a BBU*

El UIM02C actúa como un intermediario de comunicación, asegurando que los datos y comandos fluyan sin interrupciones entre los dispositivos conectados. Aquí se describe su funcionamiento en detalle, los sensores y dispositivos conectados envían datos al UIM02C a través de las interfaces RS232, RS485, CAN o Ethernet.

El microcontrolador del UIM02C analiza y procesa estos datos en tiempo real, ejecuta algoritmos de control y optimización según las necesidades del sistema, utiliza sus interfaces para enviar los datos procesados al sistema de gestión centralizado (NMS) o a otros dispositivos interconectados, permite el flujo de datos en ambas direcciones, asegurando que los comandos del NMS lleguen a los dispositivos adecuados y que los datos de estado fluyan hacia el NMS, el módulo puede manejar diferentes protocolos y formatos de datos, transformándolos según sea

necesario para asegurar una comunicación fluida, los LEDs del UIM02C proporcionan información sobre la actividad de datos, el estado de las conexiones y cualquier error detectado, los indicadores parpadean o cambian de color para alertar sobre problemas de conectividad o fallos en la comunicación.

**Figura 26**  
Módulo UIM02C para gestión de alarmas



*Nota:* Módulo UIM02C para gestión de alarmas

**Figura 27**  
Alarmas gestionadas por el módulo UIM02C

Port Type	Silk Screen	Description
Sensor ports	TEM-HUM	Ambient temperature and humidity sensor
	WATER	Water sensor
	TEMP1	Ambient temperature sensor 1
	TEMP2	Ambient temperature sensor 2
	GATE	Door status sensor
	SMOKE	Smoke sensor
	BTEMP	Battery temperature sensor 1
Communications port	COM	RS485 port

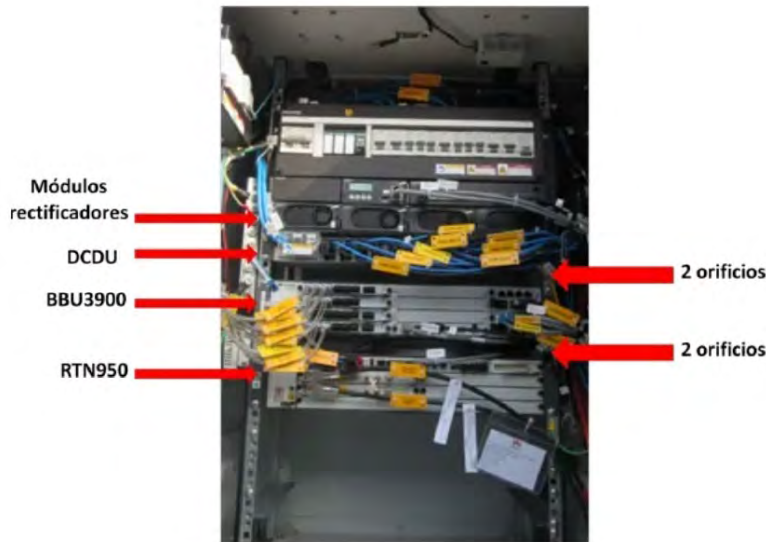
*Nota:* Alarmas gestionadas por el módulo UIM02C

### 3.1.5 Disposición de componentes de radio frecuencia y microondas en gabinete

El **TP48200A** es un gabinete de distribución de energía diseñado para proporcionar un suministro de energía fiable y eficiente a los equipos de telecomunicaciones. Su arquitectura modular y capacidad de integración lo convierten en una solución ideal para soportar una variedad de equipos como el **RTN 950**, **RTN 980**, **BBU 3900**, y **BBU 5900**. A continuación, se describe la distribución interna y cómo se integran estos equipos dentro del gabinete TP48200A.

El gabinete TP48200A se instala en un rack estándar de 19 pulgadas y generalmente ocupa 30 de altura. Es crucial planificar la distribución interna de los equipos para optimizar el espacio, la eficiencia del suministro de energía y la facilidad de acceso para mantenimiento.

**Figura 28**  
*Instalación de RF y MW en Gabinete*



*Nota:* Instalación de RF y MW en Gabinete

### **3.2 Sistema de microondas Huawei en la red Entel Perú**

#### **3.2.1 Enlaces RTN 980 Y RTN 950 de Huawei arquitectura física**

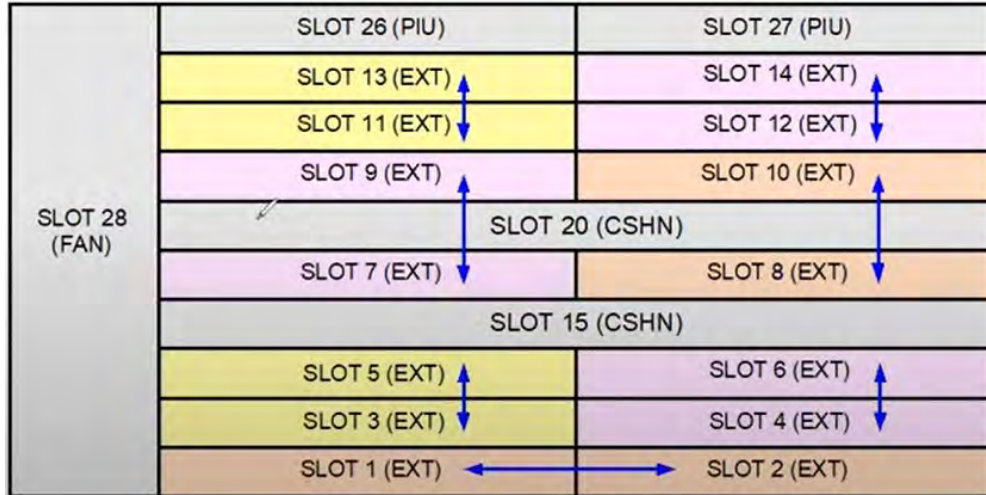
Los enlaces de microondas Huawei RTN 980 y RTN 950 son sistemas complejos y avanzados diseñados para proporcionar conectividad de alta capacidad y fiabilidad. Aquí se presentan los detalles pormenorizados de la arquitectura física de estos enlaces, incluyendo los modelos de tarjetas en la IDU, los tipos o modelos de ODUs, y las antenas que se utilizan.

#### **3.2.2 Indoor units (IDUs)**

Las Unidades de Interior (IDUs) son componentes clave que se instalan en un lugar protegido, dentro de un edificio o gabinete de comunicaciones. Las IDUs en el sistema RTN 980 y RTN 950 manejan el procesamiento de señales, la conmutación y enrutamiento, y la gestión y control de los enlaces de microondas.



**Figura 29**  
Esquema de una IDU RTN980LH



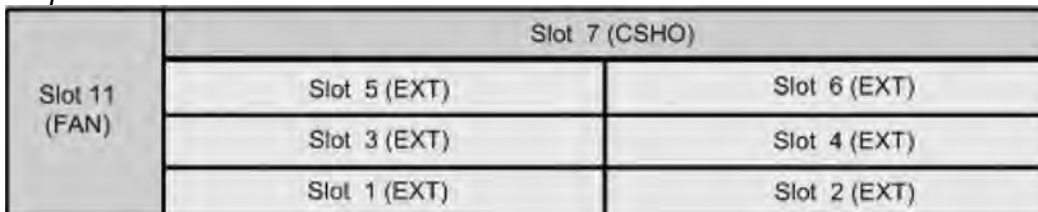
Nota: Imagen de una IDU RTN980LH

**Figura 30**  
Imagen de una IDU RTN980LH



Nota: Imagen de una IDU RTN980LH

**Figura 31**  
Esquema de una IDU RTN950A



Nota: Representación esquemática de una IDU RTN950A

## Figura 32

Imagen física de una IDU RTN950A



Nota: Imagen de una IDU RTN950A

### 3.2.3 Modelos y tipos de tarjetas en la IDU RTN 980 Y RTN 950

En ENTEL, las tarjetas de procesamiento y gestión son esenciales para garantizar la operatividad eficiente y la alta capacidad de los sistemas. Las tarjetas ISV3, ISM8, PIU, EM6D, CSHO y CSHLU desempeñan roles cruciales en la infraestructura de las redes de telecomunicaciones, especialmente en equipos de microondas, estaciones base y otras soluciones de red. Este informe profundiza en el funcionamiento de estas tarjetas, centrándose en las frecuencias, anchos de banda, y la capacidad de manejar portadoras, entre otros aspectos técnicos.

#### 3.2.3.1. Tarjeta ISV3 (integrated service board version 3)

La tarjeta ISV3 es una tarjeta integrada de servicios utilizada para la gestión eficiente de múltiples tipos de tráfico en sistemas de microondas y estaciones base. Es crucial en la distribución y agregación de servicios en una red de telecomunicaciones.

**Multiservicio:** Capaz de gestionar tráfico de voz, video y datos.

**Modo de Operación:** 1+0 (H/V), 1+1 (H/V), 2+0 XPIC,

**Ancho de canal:** Hasta 56Mhz

**Capacidad de Agregación:** Alta capacidad, gestionando tráfico agregado de varios Gbps.

**Interfaces:** Ethernet, STM-1/STM-4 y PTN.

**Figura 33**  
*Tarjeta ISV3*



*Nota:* Tarjeta ISV3

### **3.2.3.2. Tarjeta ISM8 (interface service module 8)**

La tarjeta ISM8 es un módulo de servicio que proporciona soporte de alta capacidad y flexibilidad en la conexión y gestión de múltiples servicios y protocolos en una red de telecomunicaciones.

**Gestión de Multiservicios:** Capacidad de gestionar Voz, video y Datos

Facilita la integración de diferentes redes dentro de una infraestructura.

**Modos de Operación:** 2+0 XPIC, 4+0 XPIC MIMO, 8+0 XPIC MIMO

**Ancho de Canal:** Hasta 224 mhz multicanal mimo

**Interfaces y Conectividad:** STM-1, STM-4, STM-16, STM-64

Soporte para puertos de alta velocidad y capacidad.

**Procesamiento y Transmisión de Datos:**

Conmutación y enrutamiento de paquetes para una transmisión eficiente.

**Figura 34**  
*Tarjeta ISM8*



*Nota: Tarjeta ISM8*

### **3.2.3.3. Tarjeta PIU (power interface unit)**

La tarjeta PIU es una unidad de interfaz de alimentación esencial para proporcionar energía estable y confiable a los equipos de telecomunicaciones.

**Regulación de Energía:** Proporciona voltajes regulados a los diferentes componentes del sistema, Protección contra sobrecargas y fluctuaciones de voltaje.

**Monitorización de Energía:** Supervisión continua del consumo y del estado de la alimentación, gestión eficiente del consumo de energía.

**Redundancia y Fiabilidad:** Soporta redundancia para asegurar la continuidad del suministro de energía, cambio automático en caso de fallo de una unidad de alimentación.

### **3.2.3.4. Tarjeta CSHO (cross-connect and head office)**

La tarjeta CSHO es esencial en la conmutación y gestión cruzada de tráfico en redes de telecomunicaciones, facilitando la interconexión y el enrutamiento de flujos de tráfico.

**Modo de Operación:** Operación a nivel de conmutación de tráfico, no directamente vinculado a frecuencias RF específicas.

**Capacidad de Conmutación:** Alta capacidad, soportando grandes volúmenes de tráfico.

**Interfaces:** Compatible con STM-1/STM-4 y GbE (Gigabit Ethernet).

**Manejo de Portadoras:** Capaz de gestionar eficientemente múltiples flujos de tráfico y portadoras en redes de telecomunicaciones.

**Figura 35**  
*Tarjeta controladora CSHO*



*Nota:* Tarjeta controladora CSHO

### **3.2.3.5 Tarjeta CSHLU (cross-connect and service handling unit)**

La tarjeta CSHLU integra funciones de conmutación y manejo de servicios, crucial para la gestión eficiente del tráfico de red y la provisión de servicios.

**Modo de Operación:** Similar a CSHO, centrado en la gestión de tráfico y servicios a nivel de conmutación, no en frecuencias RF específicas.

**Capacidad de Conmutación:** Alta capacidad para soportar tráfico y portadoras a gran escala.

**Interfaces:** Compatibilidad con STM-1/STM-4/STM-16, y GbE.

**Manejo de Portadoras:** Capaz de manejar numerosos flujos de tráfico y portadoras en redes de telecomunicaciones.

**Figura 36**  
*Tarjeta Controladora CSHLU*



*Nota:* Tarjeta Controladora CSHLU

### **3.2.4 Implementación RTN950/980 en nodo Jajallacta**

En el Nodo de principal de Jajallacta Podemos apreciar varias disposiciones de algunos enlaces existentes en sitio y sus diferentes configuraciones para cada necesidad presente en la red.

En el mismo gabinete Indoor exclusivo para enlaces podemos apreciar diferentes configuraciones. En la figura 35 haremos una descripción detallada de los componentes

instalados en este gabinete del Repetidor Jajallacta, iniciando en la parte superior y culminando en la inferior

1.- Enlace Jajallacta – Quiquijana sin xplic con la configuración 1+1 con dos tarjetas ISV3 en los slots 3 y 5 para cada polaridad, con ancho de canal de 56 mhz, una tarjeta controladora CSH0 y en un chasis RTN950; es un enlace auxiliar que tiene la polaridad vertical activa y la polaridad horizontal en espera, se estableció este enlace por las condiciones climáticas y geográficas de la zona, se encuentra de respaldo para no perder conectividad cuando el enlace principal falla. Puede contener un tráfico de hasta 155Mbps (STM-1) en banda base, se configuró de esa forma para que el enlace tenga robustez y pueda mantenerse a pesar de condiciones climáticas adversas. Corresponde a una solución de redundancia específica para época de lluvias, en la figura podemos observarla en el recuadro A.

2.- Enlace Jajallacta – Virgen Purificada con xplic de configuración 2+0 con dos tarjetas ISV3 en los slots 4 y 6 con polaridad ortogonal, con un ancho de canal de 56 mhz, una tarjeta controladora CSH0 y en un chasis RTN950A; corresponde a un enlace a un nodo intermedio, lleva el tráfico principalmente de la localidad de Huaro y parte de Urcos. Puede contener un tráfico de 2.5 gbps (STM-16) en banda base, este enlace corresponde en Prioridad a un P3 (media), en la figura se encuentra en el recuadro B.

3.- Enlace Jajallacta – Urcos con xplic de configuración 2+0 con dos tarjetas ISV3 en los slots 1 y 2 con polaridad ortogonal, con un ancho de canal de 56mhz, compartiendo la tarjeta controladora CSH0 y en un chasis RTN950A; al igual que el anterior corresponde a un nodo terminal, lleva el tráfico de la localidad de Urcos. Puede contener un tráfico de 2.5 gbps (STM-16) en banda base, este enlace también corresponde en prioridad a un P4 (baja), en la figura se encuentra en el recuadro B.

4.- Enlace Jajallacta – Quiquijana con xplic en configuración 2+0 con dos tarjetas ISV3 en los slots 3 y 5 con polaridad ortogonal, con tarjeta controladora CSH0 y en un chasis RTN950A; corresponde a un enlace a un nodo principal, lleva el tráfico de los distritos de Pomacanchi,

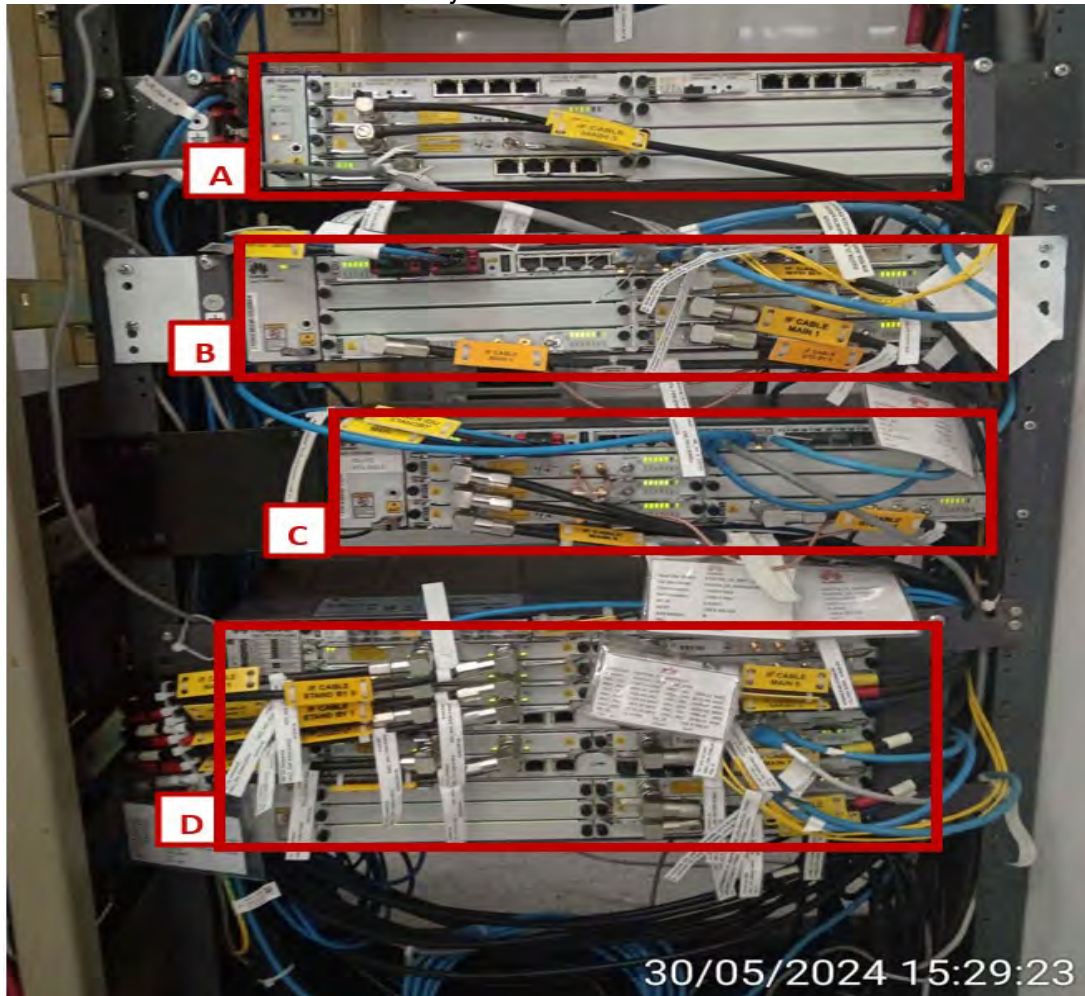
Marcaconga y Acomayo, también puede contener un tráfico de 2.5 gbps (STM-16) en banda base, corresponde a un enlace con prioridad P2 (alta), en la figura se encuentra en el recuadro C. Este enlace en el tiempo mostró bastante susceptibilidad a factores ambientales llegando en algunos momentos caer por condiciones ambientales, requiriendo tener una redundancia que posibilite el tráfico de voz, mas no de datos.

5.- Enlace Jajallacta – Huancarani con Xpic en configuración 2+0 con dos tarjetas ISV3 en los slots 1 y 2 con polaridad ortogonal, con tarjeta controladora CSH0 y en un chasis RTN950A; corresponde a un enlace principal, lleva el tráfico de los distritos de Huancarani, Kucya y Paucartambo, también puede contener un tráfico de 2.5 gbps (STM-16) en banda base, corresponde a un enlace con prioridad P2 (alta), en la figura se encuentra en el recuadro C.

6.- Enlace Jajallacta – Sol de Oro con xpic y mimo en configuración 8 + SD, con un ancho de canal de 224 mhz con 4 tarjetas ISM8 en los slots 7,9,11,13, con polaridad ortogonal , con 2 tarjetas controladoras CSHLU en redundancia en los slots 15, 20 y en un chasis RTN980; corresponde a un enlace crítico que lleva el tráfico de las provincias de Canchis, Quispicanchis, Acomayo, Espinar y Chumbivilcas; puede contener un tráfico de 10 gbps (4 x STM-16) en banda base, corresponde a un enlace con prioridad P1 (crítico), en la figura se encuentra en el recuadro D.

7.- Enlace Jajallacta – Chiarage con xpic y mimo en configuración 8 + SD, con un ancho de canal de 224 mhz, con 4 tarjetas ISM8 en los slots 2,4,6,8, con polaridad ortogonal, con dos tarjetas controladoras CSHLU en redundancia en los slots 15, 20 y en un chasis RTN980; corresponde a un enlace crítico que lleva el tráfico de las provincias de Canchis, Espinar y Chumbivilcas; puede contener un tráfico de 10gbps (4 x STM-16) en banda base, corresponde a un enlace con prioridad P1 (crítico), en la figura se encuentra en el recuadro D.

**Figura 37**  
*Gabinete indoor de microondas Jajallacta*



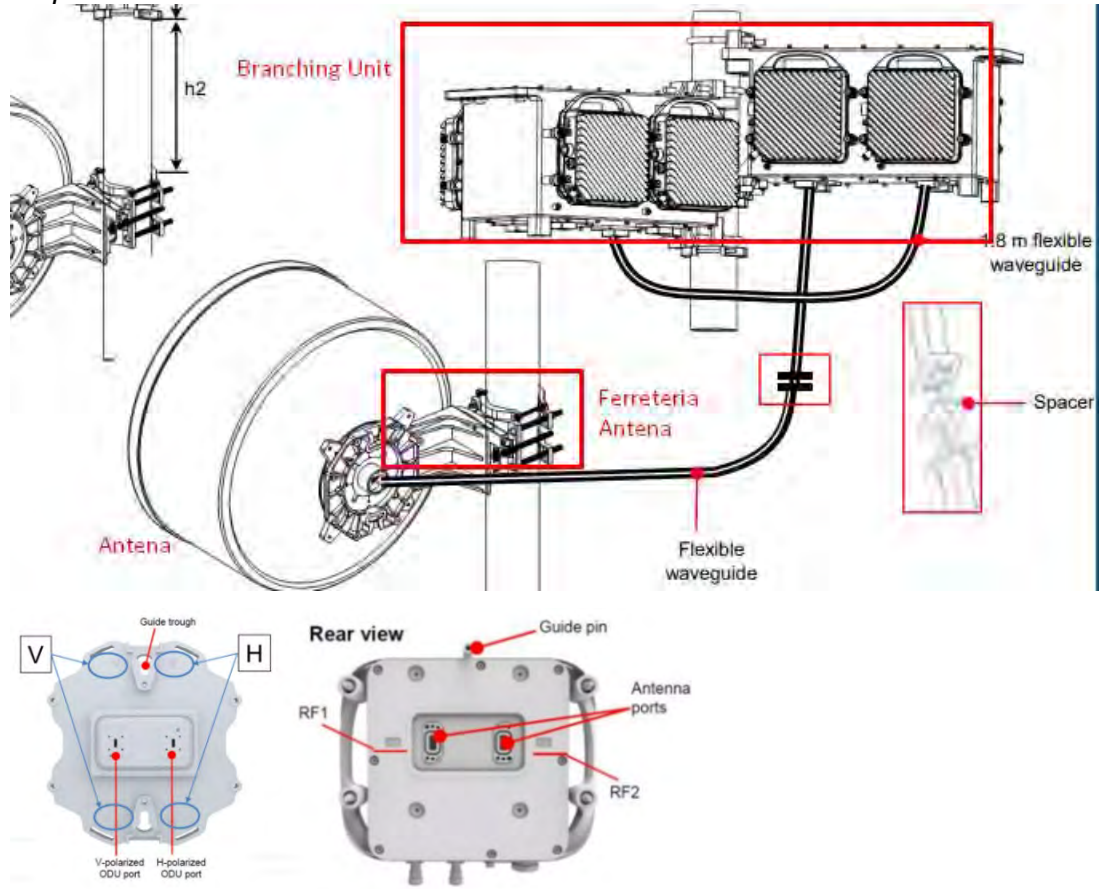
Nota: Gabinete indoor de microondas Jajallacta

### 3.2.5 Outdoor units (ODUs)

Las Unidades de Exterior (ODUs) son instaladas en torres o mástiles de antena y son responsables de la transmisión y recepción de señales de microondas. Las ODUs operan en diferentes bandas de frecuencia y están equipadas para resistir condiciones climáticas adversas, en los enlaces LH la disposición de las ODUS puede aglomerar hasta 8 ODUS por enlace como se aprecia en la figura



**Figura 38**  
*Disposición de ODUS en enlace LH*

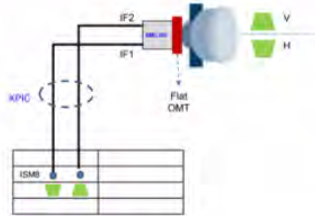


*Nota: Disposición de ODUS en enlace LH*

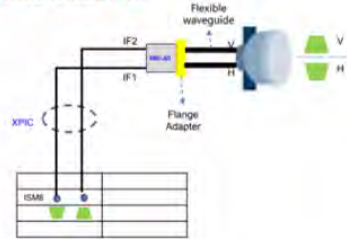
**Figura 39**  
*Esquema de disposición de ODUS en enlace LH*

*Solución 2+0 (XPIC)*

**Antenna ≤ 1.8m**

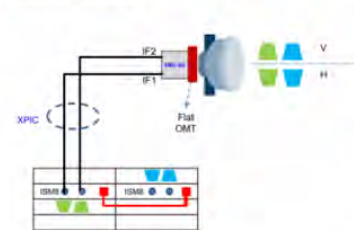


**Antenna ≥ 2.4m**

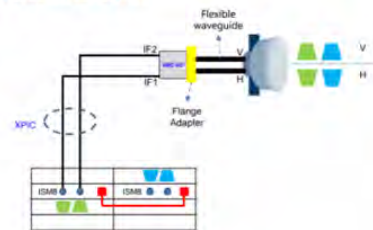


*Solución 4+0 (XPIC)*

**Antenna ≤ 1.8m**

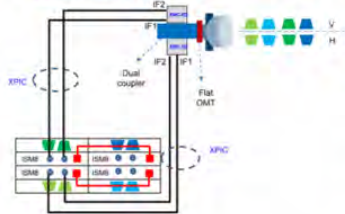


**Antenna ≥ 2.4m**

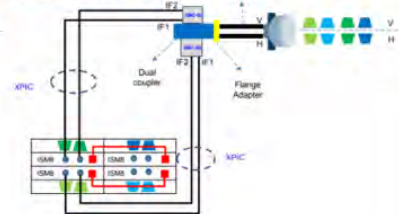


*Solución 8+0 (XPIC)*

**Antenna ≤ 1.8m**



**Antenna ≥ 2.4m**



*Nota: representación esquemática de disposición de ODUS en enlace LH*

### **3.2.5.1. Modelos de ODUS en el RTN 950/980**

#### **ODU 300 (RTN 950/980):**

Frecuencia: 6 GHz, 7 GHz, 8 GHz.

Potencia de Transmisión: 20-30 dBm.

Ancho de Canal: Hasta 56 MHz.

Capacidad de Datos: Hasta 500 Mbps por canal.

Modulación: Adaptación del esquema de modulación desde QPSK hasta 1024 QAM.

Sensibilidad del Receptor: -90 dBm para 6 GHz a 256 QAM.

Consumo de Energía: Aproximadamente 20W.

**ODU 600 (RTN 950/980):**

Frecuencia: 11 GHz, 13 GHz.

Potencia de Transmisión: 20-27 dBm.

Ancho de Canal: Hasta 56 MHz.

Capacidad de Datos: Hasta 1 Gbps por canal.

Modulación: Adaptación del esquema de modulación desde QPSK hasta 1024 QAM.

Sensibilidad del Receptor: -88 dBm para 11 GHz a 256 QAM.

Consumo de Energía: Aproximadamente 25W.

**ODU 1200 (RTN 950/980):**

Frecuencia: 15 GHz, 18 GHz.

Potencia de Transmisión: 20-25 dBm.

Ancho de Canal: Hasta 56 MHz.

Capacidad de Datos: Hasta 2 Gbps por canal.

Modulación: Adaptación del esquema de modulación desde QPSK hasta 1024 QAM.

Sensibilidad del Receptor: -86 dBm para 18 GHz a 256 QAM.

Consumo de Energía: Aproximadamente 30W.

**ODU 2400 (RTN 950/980):**

Frecuencia: 23 GHz, 26 GHz.

Potencia de Transmisión: 18-23 dBm.

Ancho de Canal: 28 MHz, 56 MHz.

Capacidad de Datos: Hasta 4 Gbps por canal.

Modulación: Adaptación del esquema de modulación desde QPSK hasta 2048 QAM.

Sensibilidad del Receptor: -84 dBm para 23 GHz a 512 QAM.

Consumo de Energía: Aproximadamente 35W.

**ODU XMC (RTN 950/980):**

Frecuencia: 7 GHz.

Potencia de Transmisión: 15-30 dBm.

Ancho de Canal: 28 MHz, 56 MHz.

Capacidad de Datos: Hasta 1.25 Gbps por canal.

Modulación: Adaptación del esquema de modulación desde QPSK hasta 1024 QAM.

Sensibilidad del Receptor: -86 dBm para GHz a 1024 QAM.

Consumo de Energía: Aproximadamente 40W.

**ODU XMC-5D (RTN 980): alta densidad**

Frecuencia: 13 GHz, 15 GHz, 18GHz.

Potencia de Transmisión: 20-25 dBm.

Ancho de Canal: 28 MHz, 56 MHz.

Capacidad de Datos: Hasta 4 Gbps por canal.

Modulación: Adaptación del esquema de modulación desde QPSK hasta 2048 QAM.

Sensibilidad del Receptor: -86 dBm para 18 GHz a 2048 QAM.

Consumo de Energía: Aproximadamente 40W.

**3.2.6 Antenas utilizadas en los enlaces RTN 980**

Las antenas direccionales Parabólicas generalmente se utilizan para enlaces punto a punto debido a su alta ganancia y capacidad para enfocarse en un haz estrecho, lo que reduce la interferencia y maximiza la eficiencia de la comunicación. A continuación, se detallan algunos tipos de antenas direccionales y sus parámetros de funcionamiento:

**Tamaños Comunes:**

0.3m, 0.6m, 0.9m, 1.2m, 1.8m, 2.4m,

**Frecuencias:**

6 GHz (Banda baja para enlaces de larga distancia)

7 GHz, 8 GHz (Usualmente bandas intermedias)

11 GHz, 13 GHz (Media distancia con buena capacidad)

15 GHz, 18 GHz (Alta capacidad para media distancia)

23 GHz, 26 GHz (Alta capacidad para corta a media distancia)

38 GHz (Muy alta capacidad para corta distancia)

**Ganancia:**

0.3m: aproximadamente 25-28 dBi

0.6m: aproximadamente 33-36 dBi

0.9m: aproximadamente 38-40 dBi

1.2m: aproximadamente 43-45 dBi

1.8m: aproximadamente 47-50 dBi

2.4m: aproximadamente 50-53 dBi

**Polarización:**

Simple (Vertical/Horizontal) o Dual (Simultáneamente Vertical y Horizontal)

**Ancho de Haz:**

0.3m: aproximadamente 8-10°

0.6m: aproximadamente 4-6°

0.9m: aproximadamente 2-3°

1.2m: aproximadamente 1-2°

1.8m: estrecho, generalmente < 1°

2.4m: muy estrecho, << 1°

**3.2.7 Accesorios y componentes complementarios**

Además de las IDUs, ODUs y antenas, los enlaces RTN 980 utilizan diversos accesorios y componentes complementarios para garantizar su funcionamiento eficiente y fiable.

**Cables de Interfaz**

**Cables RF/Coaxiales:**

Conectan las ODUs con las antenas, llevan señales de microondas y deben ser de alta calidad para minimizar las pérdidas.

**Cables de Red (Ethernet):**

Conectan las IDUs a los sistemas de gestión y redes de datos, esenciales para una integración eficaz.

**Protectores contra Sobretensiones (Surge Protectors)**

**Protección contra Rayos:**

Dispositivos que protegen los equipos de microondas de picos transitorios de voltaje debidos a descargas atmosféricas.

**Sistemas de Alimentación (Power Supply Systems)**

**Inyectores PoE (Power over Ethernet):**

Utilizados para alimentar las ODUs a través de cables Ethernet, reduciendo la necesidad de cables de alimentación separados.

**Unidades de Alimentación Redundante:**

Proveídas para asegurar que las ODUs e IDUs mantengan la operación continua en caso de fallos de energía.

**Montajes y Soportes**

**Soportes de Montaje y Fijaciones:**

Kits especializados que aseguran la instalación robusta y segura de ODUs y antenas en torres o estructuras.

**Abrazaderas y Cojinetes:**

Aseguran que las antenas mantengan su orientación correcta y resistan condiciones climáticas adversas.

**3.2.8 Implementación de ODUs y antenas en repetidor Jajallacta**

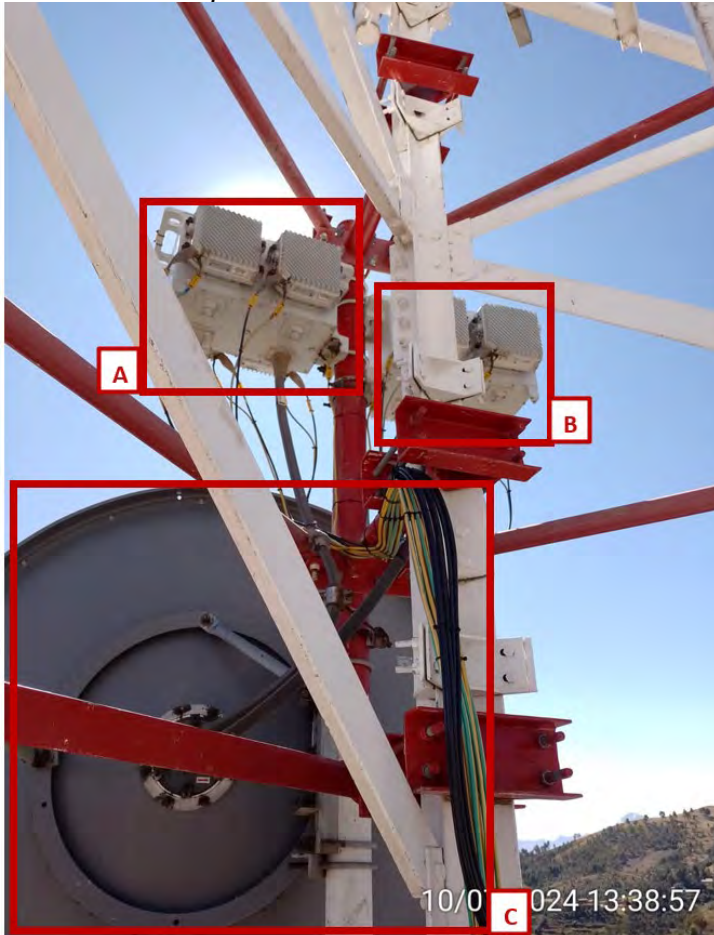
En el nodo principal de Jajallacta podemos encontrar varias disposiciones de ODUs y antenas de acuerdo a la disposición de tarjetas y el modo de configuración.

1.- Enlace Jajallacta – Sol de Oro, podemos apreciar un arreglo de 4 ODUs por acoplador para la polaridad ortogonal (recuadro A figura 37) y 4 ODUs por acoplador en la polaridad ortogonal (recuadro B figura 37), en configuración 8+SD xpic mimo, el modelo usado de ODUs es el XMC, con una modulación de 512 QAM, sensibilidad de recepción de -88db, a 1.25 gbps por canal, frecuencia de trabajo a 7ghz, potencia de transmisión de 30 dbm. Para el caso de la antena es de 2.4m mimo, con una ganancia de 52 dbi, ancho de haz < 1°, cubre una distancia de 44.5 km. Son enlaces críticos con cancelación por interferencia de polaridad (xpic) es realizada en la tarjeta ISM8, es de sumo cuidado la implementación correcta de los conectores en los cables IF y también el vulcanizado para asegurar que no ingrese agua ya que causa degradación,

Este tipo de enlaces es implementado a partir del upgrade realizado para la tecnología 4G (LTE), por la cantidad de datos que se trafican en la red, podemos encontrar esta disposición en los enlaces de Jajallacta – Sol de Oro, Jajallacta- Chiarage, Jajallacta – Wanchaq, Wanchaq – Huaynacorcor. Como se puede apreciar se ha creado un anillo redundante que asegura que ante una caída de un enlace crítico pueda ser respaldado por otro y no tener afectación de servicio.

Para el upgrade de la tecnología 5G se proyecta el uso de las ODUs XMC-5D que tienen doble polaridad en un solo componente y se podrá de acuerdo a la configuración usada llegar a los 500gbps sobre la plataforma del idus RTN980

**Figura 40**  
*Enlace 8 + SD xpic mimo*



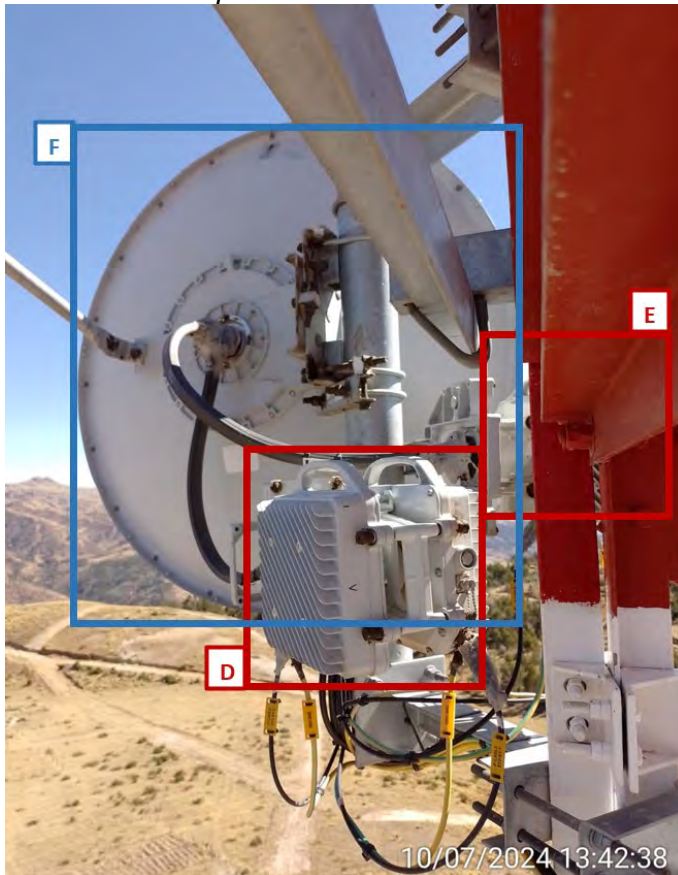
*Nota: Enlace 8 + SD xpic mimo*

2.- Enlace Jajallacta – Wanchaq, podemos apreciar un arreglo de 2 ODUs por acoplador con polaridad ortogonal en cada acoplador (figura 38 recuadros D y E), en configuración 4+0 mimo, el modelo de las ODUs es el XMC con una modulación 1024 QAM, sensibilidad de recepción -88 db a 2.5gbs por canal, frecuencia de trabajo 7ghz, potencia de transmisión 30dbm. Está instalada en una antena de 2.4m mimo (figura 38 recuadro F), con una ganancia de 52dbi, ancho de haz < 1° cubre una distancia de 46 km, la cancelación por interferencia de polaridad también se realiza de forma interna en la tarjeta ISM8,

Este enlace fue implementado por necesidad de redundancia y ampliar la capacidad de transporte de datos, esta cantidad de enlaces críticos confiere al repetidor Jajallacta en una de las principales en la red Entel Cusco.



**Figura 41**  
*Enlace 8 + SD xpic mimo*



*Nota: Enlace 4 + 0 xpic mimo*

2.- Enlace Jajallacta – Quiquijana, podemos apreciar un arreglo de de 2 ODUs, en configuración 2+0 xpic, con polaridad ortogonal (figura 39 recuadros G y H), el modelo de las ODUs es de la serie 300 con una modulación 1024 QAM, sensibilidad de recepción -88 db a 622mbps por canal, frecuencia de trabajo 7ghz, potencia de transmisión 22dbm. Está instalada en una antena de 1.2m (figura 39 recuadro i), con una ganancia de 42dbi, ancho de haz <math>2^\circ</math> cubre una distancia de 15 km, la cancelación por interferencia de polaridad se realiza de forma mecánica, cada polaridad está gobernada por una tarjeta ISV3, el valor mínimo de xpic es de 28.

Este tipo de enlace es el entandar más extendido en la red Entel, puede desarrollar velocidades de transmisión de 1.25 gbps y soporta la expansión para nodos terminales que tienen tecnologías 2G, 3G y 4G, por la necesidad creciente de datos Entel Perú está próximo a

realizar el upgrade para que el nuevo estándar de los enlaces terminales pueda tener velocidades de 10gbps.

**Figura 42**  
*Enlace 2 + 0 xpic*



*Nota: Enlace 2 + 0 xpic*

### **3.3 Implementación del sistema radio frecuencia (GSM, UMTS, LTE, 5G)**

La BBU en sus series 3900 y 5900 de Huawei son componentes centrales en las estaciones base, que gestiona la conectividad y operación de múltiples tecnologías de acceso radio (GSM, UMTS, LTE y 5G). Esta expansión del presente trabajo proporciona detalles sobre anchos de banda, frecuencias de trabajo, tipos de conexión y otros aspectos técnicos clave de los equipos, tarjetas y accesorios utilizados en la BBU 5900 y 3900,

Para el caso de la serie de la BBU3900 esta puede soportar tecnologías (GSM, UMTS y LTE) siendo un equipo robusto capaz de manejar hasta 6 sectores o ampliaciones de ancho de banda en las tecnologías requeridas por Entel, de acuerdo a la densidad de tráfico en la siguiente figura podemos apreciar la forma física de este componente.

**Figura 43**  
*BBU3900*



Nota: BBU3900

**Figura 44**  
*BBU5900*



Nota: BBU5900

A continuación, se describirán detalladamente algunas de las tarjetas específicas para GSM, WCDMA, LTE y NE incluyendo sus parámetros de funcionamiento como anchos de banda, frecuencias, cantidad de portadoras, y forma de procesamiento de datos.

### 3.3.1 Tarjeta GSM - UBRI (Universal Baseband Resource Interface)

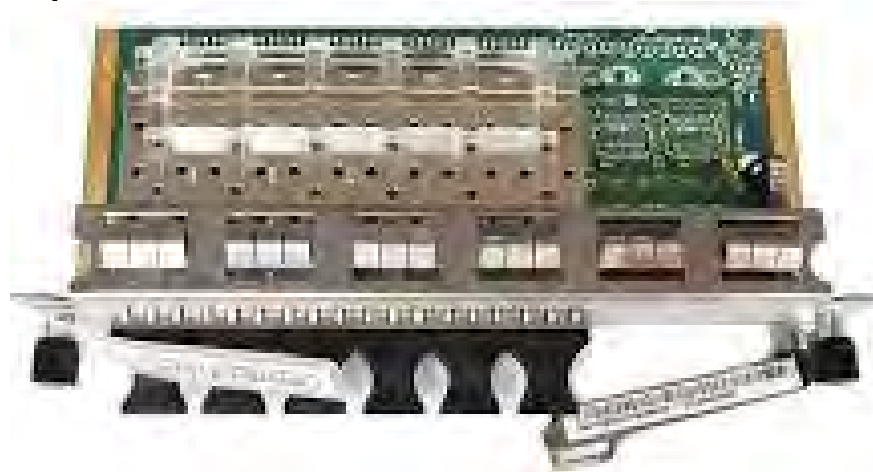
**Función:** Tiene como principal objetivo proveer las funciones de procesamiento de banda base para el sistema GSM.

**Frecuencia:** PCS 1900

**Capacidad de Portadoras:** Soporta múltiples portadoras GSM, dependiendo de la configuración específica y la carga de la red.

**Procesamiento de Datos:** Maneja la codificación y decodificación de señales GSM, Realiza control de llamadas y handovers, Implementa los procesos de autenticación y cifrado.

**Figura 45**  
*Tarjeta UBRI*



*Nota:* Tarjeta UBRI

### **3.3.2 Tarjeta WCDMA - WBBP (wideband baseband processing unit)**

**Función:** Procesamiento de banda base para las comunicaciones WCDMA en UMTS,

**Ancho de Banda:** Hasta 20 MHz,

**Frecuencias:** Compatible con bandas UMTS estándar (Banda II: 1900 MHz), **Capacidad de Celdas y Usuarios:** Soporta múltiples celdas y una alta densidad de usuarios, la cantidad exacta puede variar según configuración y carga de red.

**Procesamiento de Datos:** Realiza funciones RNC (Radio Network Controller) como la gestión de recursos de radio y control de enlace de radio, Soporta manejo de RLC (Radio Link Control) y RRM (Radio Resource Management), Decodificación y codificación de señales de banda ancha WCDMA, gestión de tráfico de datos y voz.

**Figura 46**  
*Tarjeta WBBP*



*Nota: Tarjeta WBBP*

### **3.3.3 Tarjeta LTE - LBBP (LTE baseband processing unit)**

**Función:** Procesador de banda base para LTE.

**Ancho de Banda:** Soporta anchos de banda variables desde 1.4 MHz a 20 MHz.

**Frecuencias:** Compatible con bandas de frecuencia LTE (Banda 1: 2100 MHz).

**Capacidad de Portadoras:** Implementa agregación de portadoras (Carrier Aggregation) para mejorar la eficiencia espectral.

**MIMO:** Soporta configuraciones MIMO (Multiple Input Multiple Output) 2x2, 4x4, mejorando la capacidad y la cobertura.

**Procesamiento de Datos:** Realiza modulación y demodulación OFDMA para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente. Maneja el control de calidad de servicio (QoS). Integra funciones avanzadas de gestión de tráfico IP y recursos, además de soporte para VoLTE (Voice over LTE).

**Figura 47**  
*Tarjeta LBBP*



*Nota: Tarjeta LBBP*

### **3.3.4 Tarjeta UBBP (universal baseband processing unit)**

La UBBP es una tarjeta de procesamiento de banda base que se encuentra en la Unidad de Banda Base (BBU) de una estación base. Su función principal es procesar las señales digitales que se transmiten y reciben a través de las unidades de radio (RRU/RRH) conectadas.

**Procesamiento Multitecnología:** Soporta múltiples tecnologías de acceso inalámbrico, incluyendo GSM, UMTS, LTE y 5G NR.

Permite la interoperabilidad y la coexistencia de diferentes tecnologías en una misma plataforma.

**Capacidad de Ancho de Banda:** Soporta anchos de banda variables, desde 1.4 MHz hasta 100 MHz, dependiendo de la tecnología y la configuración.

Facilita la agregación de portadoras (Carrier Aggregation) para mejorar el rendimiento del espectro.

**Frecuencias de Operación:** La UBBP puede trabajar con una amplia gama de bandas de frecuencia, que varían según la tecnología y la región. Por ejemplo:

GSM: 1900 MHz ENTEL

UMTS: 1900 MHz (Banda 2), ENTEL

LTE: 700 MHz (Banda 12), 2600 MHz (Banda 7), ENTEL

5G NR: Sub-6 GHz (como n78, 3.5 GHz) ENTEL

**Capacidad de Usuarios:** Soporta un gran número de usuarios simultáneos, con capacidad ajustable según la configuración de la red y los recursos asignados.

Escalabilidad para cumplir con los requerimientos de tráfico de grandes áreas metropolitanas y entornos densamente poblados.

**Interfaces de Conexión:** Interconexión con RRUs/RRHs a través de interfaces de fibra óptica (fronthaul), Conexiones hacia el núcleo de la red (backhaul) mediante interfaces de alta velocidad como Ethernet y CPRI (Common Public Radio Interface).

**MIMO (Multiple Input Multiple Output):** La UBBP soporta configuraciones avanzadas de MIMO, incluyendo, 2x2 MIMO y 4x4 MIMO para tecnologías como LTE, de 8x8 MIMO, 16x16 MIMO y 32x32 MIMO tecnologías avanzadas 5G NR.

**Beamforming:** La tarjeta soporta beamforming, una técnica que enfoca la señal de transmisión hacia direcciones específicas, mejorando la cobertura y la capacidad, Beamforming es crucial para la tecnología 5G, especialmente en entornos de alta densidad y despliegues de mmWave.

**Procesamiento de Datos:** La UBBP realiza tareas de modulación y demodulación, codificación y decodificación de señales, implementa algoritmos avanzados de procesamiento digital de señales (DSP) para mejorar la calidad de la señal, soporte para técnicas de codificación y modulación avanzadas como 256-QAM, usados en LTE-Advanced y 5G para maximizar la eficiencia espectral.

**Capacidad de Portadoras:** En LTE, la UBBP puede manejar múltiples portadoras (Carrier Aggregation), combinando hasta 5 portadoras de 20 MHz cada una, sumando hasta un ancho de banda total de 100 MHz., en 5G, la capacidad de portadoras se expande aún más, soportando agregación de portadoras en bandas sub-6 GHz y mmWave para ofrecer anchos de banda aún mayores.

**Gestión de Recursos de Radio (RRM):** La UBBP implementa funciones de RRM para optimizar la asignación de recursos de radio, gestión de handover (transferencia) y movilidad para asegurar la continuidad del servicio.

**Calidad de Servicio (QoS):** Políticas de QoS para priorizar tipos de tráfico, garantizando una experiencia de usuario óptima.

Gestión de la transmisión de datos críticos y aplicaciones sensibles a la latencia.

**Seguridad:** Funciones de cifrado y autenticación para asegurar la integridad y confidencialidad de las comunicaciones, compatible con algoritmos de encriptación avanzados como AES (Advanced Encryption Standard).

**Capacidad de Actualización y Mantenimiento:** La tarjeta facilita la actualización de software y firmware de forma remota, sin interrupciones mayores en el servicio, Soporte para herramientas de diagnóstico y monitoreo para la gestión proactiva de la salud del hardware y el rendimiento de la red.

**Entornos Rurales y Remotos:** Facilita la expansión de la cobertura en áreas rurales y remotas, donde la infraestructura de cableado es limitada, Configurable para ajustar la capacidad y el rendimiento según las necesidades específicas del entorno.

**Figura 48**  
*Tarjeta UBBP*



*Nota: Tarjeta UBBP*



### **3.3.5 Tarjeta UMPT (universal main processing and transmission unit)**

La UMPT es una unidad de procesamiento y transmisión múltiple que se encuentra en la BBU de una estación base. Su función principal es manejar el flujo y procesamiento de datos entre la BBU y el núcleo de la red, así como garantizar la correcta comunicación con las Unidades de Radio Remotas (RRU/RRH).

#### **Procesamiento Multitecnología:**

Soporta GSM, WCDMA, LTE y 5G, permitiendo una arquitectura de red convergente.

Facilitación de la compatibilidad y la transición entre diferentes generaciones tecnológicas.

#### **Modularidad:**

La UMPT es modular, lo que permite la adición o reemplazo de módulos para mejorar o actualizar las funcionalidades sin interrumpir el servicio.

#### **Interconectividad:**

Maneja la comunicación entre la BBU y las RRUs/RRHs a través de interfaces de fibra óptica (fronthaul).

Conexión al núcleo de la red mediante interfaces de alta velocidad como Ethernet, OBSAI, y CPRI.

#### **Frecuencias de Operación:**

Es capaz de trabajar con una amplia gama de frecuencias, dependiendo de la tecnología soportada.

Ejemplos incluyen GSM (850/900/1800/1900 MHz), WCDMA (2100 MHz, Banda 1; 1900 MHz, Banda 2), LTE (700 MHz a 2600 MHz) y 5G NR (Sub-6 GHz y mmWave).

#### **Ancho de Banda y MIMO:**

Soporta anchos de canal variables, desde 1.4 MHz hasta 100 MHz.

Capaz de manejar configuraciones de MIMO (Multiple Input Multiple Output) avanzadas, como 2x2, 4x4 y hasta 8x8 MIMO para LTE y 5G.

**Gestión de Recursos:**

Implementa funciones de RRM (Radio Resource Management) para optimizar la asignación de recursos de radio.

Realiza balance de carga, handovers y gestión de movilidad para asegurar una experiencia de usuario continua y de alta calidad.

**Procesamiento de Datos:**

Modulación/demodulación, codificación/decodificación de señales de acuerdo con los estándares de cada tecnología soportada.

Algoritmos avanzados de DSP (Digital Signal Processing) para mejorar la eficiencia y calidad de la señal.

**Transmisión y Recepción:**

Gestiona la transmisión y recepción de datos entre la BBU y las RRUs/RRHs.

Asegura la integridad de los datos durante el proceso de transmisión.

**Calidad de Servicio (QoS):**

Soporta políticas de QoS que permiten priorizar el tráfico, garantizando un rendimiento óptimo para aplicaciones sensibles a la latencia y el ancho de banda.

**Interfaz de Fronthaul:**

Utiliza interfaces ópticas y eléctricas para conectarse con las RRUs.

Interfaces comunes incluyen CPRI (Common Public Radio Interface), OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative), y eCPRI para bajas latencias y alta capacidad de datos.

**Interfaz de Backhaul:**

Conexión al núcleo de la red a través de interfaces de alta velocidad, normalmente Ethernet.

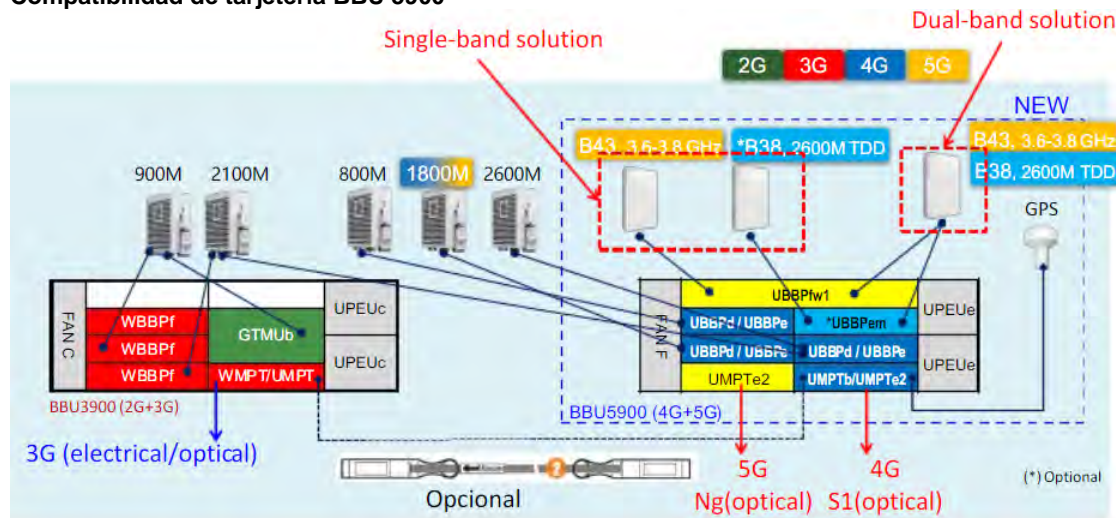
Soporta MPLS (Multiprotocol Label Switching) y otras tecnologías de capa de transporte para garantizar la eficiencia y confiabilidad.

**Figura 49**  
Tarjeta UMPT



Nota: tarjeta UMPT

**Figura 50**  
Compatibilidad de tarjetería BBU 5900



Nota: Compatibilidad de tarjetería BBU 5900

### 3.3.6 Frecuencias de trabajo y anchos de banda BBU 5900

Las BBU 5900 son compatibles con una amplia gama de frecuencias y anchos de banda, lo que les permite operar

en varias tecnologías de acceso radio y adaptarse a distintas necesidades de red. Aquí se describen algunas de las frecuencias y anchos de banda típicos soportados:

#### **GSM/EDGE:**

**Frecuencias de Trabajo:** 1900 MHz.

**Anchos de canal:** Hasta 200 kHz por portadora.

**UMTS/WCDMA:**

**Frecuencias de Trabajo:** 1900 MHz (Banda II), 850 MHz (Banda V)

**Anchos de canal:** Hasta 5 MHz por portadora.

**LTE:**

**Frecuencias de Trabajo:** 2600 MHz (Banda 7), entre otras.

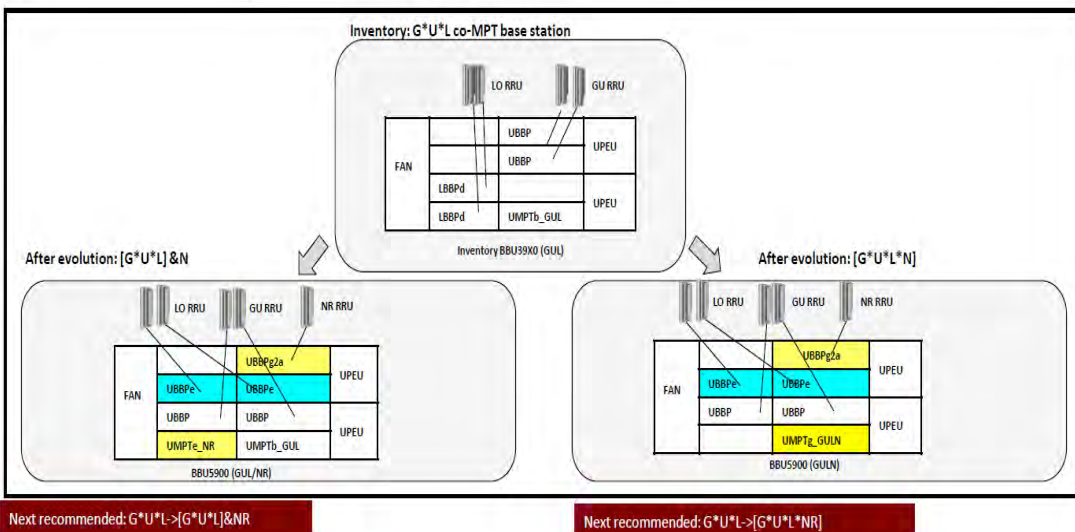
**Anchos de Canal:** Hasta 20 MHz por portadora.

**5G NR:**

**Frecuencias de Trabajo:** Sub-6 GHz (3.5 GHz, Banda n78/n79), mmWave (28 GHz, Banda n257, n258).

**Anchos de Canal:** Hasta 100 MHz en sub-6 GHz y 400 MHz en mmWave.

**Figura 51**  
*Modos de soluciones GUL + NR y GULNR*



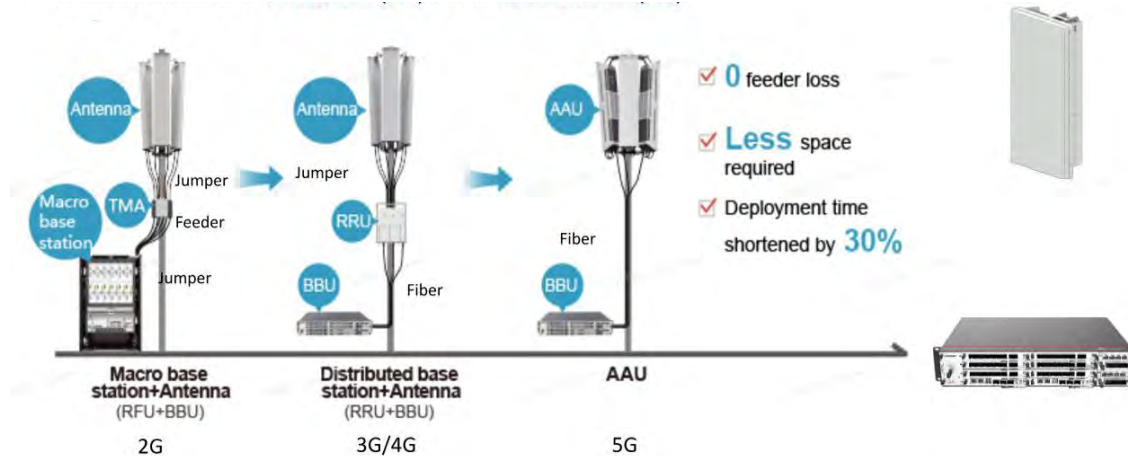
*Nota: modos de soluciones GUL + NR y GULNR*

**3.3.7 Estándar de soluciones de sistemas radio frecuencia**

La instalación de sistemas de radiofrecuencia (RF) es una tarea esencial en el despliegue de redes móviles, y requiere seguir estándares específicos para garantizar una operación óptima y sostenible de la red. En este informe, describiremos la instalación de varios componentes clave,

incluyendo las Unidades de Antena Activa (AAU) y las RRUs, Concluiremos con una esquematización global de la solución.

**Figura 52**  
Soluciones RF



Nota: Soluciones RF

### 3.3.8 Implementación de soluciones de unidades de radio remotas RRUs y antenas integradas

Las RRUs de Huawei (RRU3942, RRU3832, RRU5304 y RRU5301) están diseñadas para diferentes escenarios y necesidades de despliegue, proporcionando soluciones flexibles y de alto rendimiento. Cada modelo ofrece características específicas que mejoran la cobertura, capacidad y eficiencia de las redes móviles. La elección de la RRU adecuada dependerá de las necesidades específicas del operador, el entorno de despliegue y los objetivos de la red.

Realizaremos una aproximación a las características de cada equipamiento, su funcionalidad y la aplicación en las soluciones integradas en la red ENTEL

La RRU3942 es una Radio Remote Unit (RRU) de alta capacidad que proporciona funciones de radio para redes móviles. Está diseñada para soportar múltiples tecnologías, incluyendo GSM, UMTS, LTE y 5G, permitiendo a ENTEL optimizar el rendimiento y la cobertura de sus redes.

En ENTEL este modelo de RRU es utilizada para el despliegue de las tecnologías GSM y UMTS hasta antes de la llegada del 5G esta solución fue el estándar para el despliegue en estas dos tecnologías,

**Parámetros de Funcionamiento:**

**Bandas de Frecuencia:** Configurable para bandas específicas según las necesidades del despliegue. **Potencia de Salida:** Alta potencia de salida para ampliar la cobertura y mejorar la penetración de señal. **Tecnologías Admitidas:** GSM, UMTS, LTE. **MIMO:** Implementación de MIMO avanzado (4x4 y superiores) para aumentar la eficiencia espectral, **Beamforming:** Adopta la tecnología de beamforming para focalizar la energía de transmisión hacia los usuarios, mejorando la calidad de la señal.

**Aplicación en Soluciones:**

**Redes Urbanas y rurales:** Usado para escenarios urbanos donde la densidad de usuarios es alta, también se despliega en zonas rurales para mejorar la conectividad.

**Expansión de Cobertura:** Adecuada para expandir la cobertura en áreas de difícil acceso.

La RRU3832 es una RRU compacta y eficiente, diseñada para entornos donde el espacio físico es un factor crítico. Es adecuada para soportar LTE y 5G, con capacidades avanzadas de MIMO y beamforming.

En ENTEL esta RRU es utilizada para el despliegue de la tecnología 4G de forma exclusiva, su integración con las antenas las hizo una solución viable para el escalamiento del 3G al 4G.

**Parámetros de Funcionamiento:**

**Bandas de Frecuencia:** Adaptable a diferentes bandas según la configuración requerida. **Potencia de Salida:** Optimizada para balancear entre rendimiento y consumo de energía. **Tecnologías Admitidas:** LTE y 5G. **MIMO:** Capacidad de MIMO 2x2, 4x4. **Beamforming:** Implementación de beamforming para mejorar la eficiencia espectral.

**Aplicación en Soluciones:**

**Despliegues Densos:** Ideal para entornos densos con limitaciones de espacio.

**Small Cells:** Adecuada para despliegues de small cells en áreas urbanas.

La RRU5304 es una RRU avanzada diseñada para proporcionar capacidades mejoradas y flexible implementación en redes LTE y 5G. Ofrece una amplia cobertura y capacidad, adecuada para escenarios de alta densidad de usuarios.

En ENTEL este equipamiento se viene desplegando para soluciones 5G teniendo como parámetro su uso en áreas de alta densidad.

**Parámetros de Funcionamiento:**

**Bandas de Frecuencia:** Configurable para una amplia gama de bandas de frecuencia. **Tecnologías Admitidas:** LTE y 5G. **Potencia de Salida:** Alta potencia capaz de soportar áreas de alta densidad. **MIMO:** Soporte para MIMO masivo (8x8 y superiores). **Beamforming:** Tecnología avanzada de beamforming para mejorar el rendimiento y la cobertura.

**Aplicación en Soluciones:**

**Áreas Urbanas y Suburbanas:** Adecuada para despliegues en áreas urbanas y suburbanas de alta densidad.

**Redes de Alta Capacidad:** Perfecta para redes que requieren alta capacidad de usuarios y transmisión de datos.

La RRU5301 es una RRU versátil que soporta múltiples tecnologías de red, incluyendo GSM, UMTS, LTE y 5G. Ofrece una solución eficiente y de alto rendimiento para mejorar la cobertura y la capacidad de la red.

Por su adaptabilidad ENTEL utiliza este equipamiento para el despliegue de la tecnología 5G en gran porcentaje para entornos urbano rurales, posibilitando la modernización suave de la red existente en ENTEL.

**Parámetros de Funcionamiento:**

**Bandas de Frecuencia:** Configurable para diversas bandas de frecuencia según las necesidades. **Tecnologías Admitidas:** GSM, UMTS, LTE y 5G. **Potencia de Salida:** Equilibrada para proporcionar un buen rendimiento sin exceder los límites de consumo de energía. **MIMO:** Soporte para MIMO avanzado (4x4 y superiores). **Beamforming:** Utiliza beamforming para mejorar la calidad de la señal y la eficiencia espectral.

#### **Aplicación en Soluciones:**

**Redes Convergentes:** Ideal para operadores que necesitan soportar múltiples tecnologías en una única solución.

**Escenarios Mixtos:** Adecuada para áreas con una mezcla de tecnologías GSM, UMTS, LTE y 5G.

La **AAU (Active Antenna Unit) 5613** es una unidad autónoma que integra tanto las funciones de una antena tradicional como una RRU (Remote Radio Unit), proporcionando una solución compacta y eficiente para el despliegue de redes 5G y LTE.

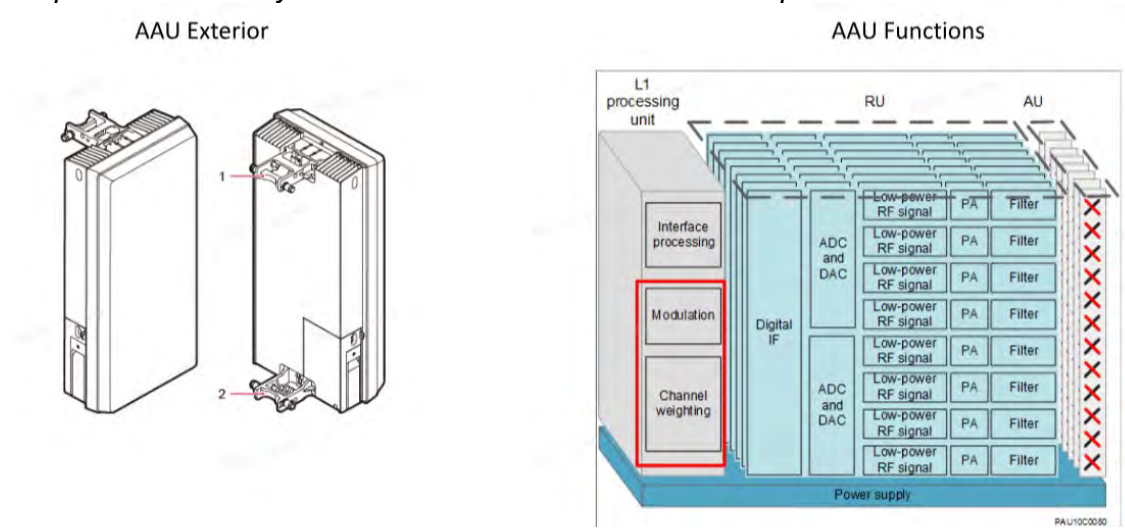
**Bandas de Frecuencia:** 2.6 GHz (B7/B38) **Tecnologías de Soporte:** 5G NR, LTE  
**MIMO:** Hasta 64T64R para 5G NR Hasta 8T8R para LTE **Modulación:** Soporta técnicas avanzadas como 256-QAM **Anchos de Banda:** Hasta 100 MHz contiguos y no contiguos en 5G NR Hasta 20 MHz para LTE

La **AAU 5639** es una unidad más avanzada que ofrece capacidades extendidas para soportar mayores bandas de frecuencias y más portadoras con una mayor eficiencia espectral.

**Bandas de Frecuencia:** 700 MHz (n28) **Tecnologías de Soporte:** 5G NR, LTE **MIMO:** Hasta 64T64R en 5G NR, Hasta 16T16R en LTE **Modulación:** 256-QAM, 1024-QAM **Anchos de Banda:** 200 MHz en 5G NR, Hasta 20 MHz para LTE



**Figura 53**  
*Esquema de Forma y función de una AAU en site Wanchaq*



*Nota: La forma y función de una AAU en site Wanchaq*

**Figura 54**  
*Forma y función de una AAU en site Wanchaq*



*Nota: La forma y función de una AAU en site Wanchaq*

### 3.3.9 Solución ATD4516r8 + RRU5258

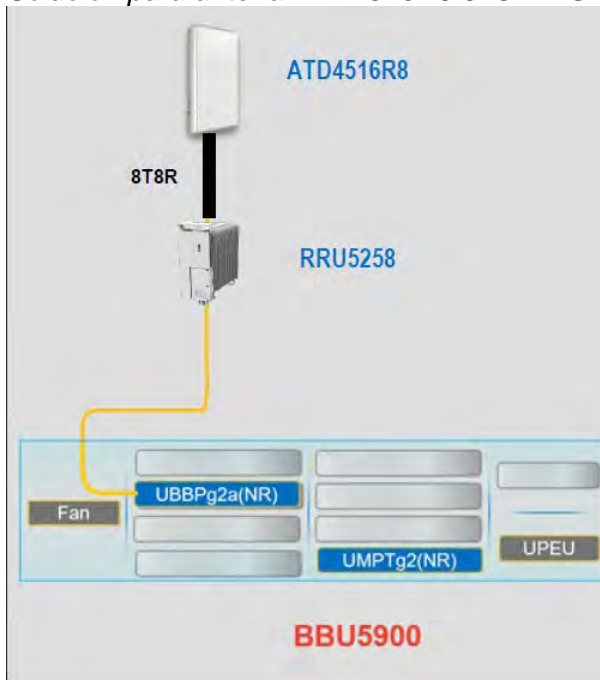
La **ATD4516R8** es una antena de panel que se utiliza en despliegues de LTE y 5G, proporcionando alta ganancia y polarización cruzada para mejorar la eficiencia espectral.

**Bandas de Frecuencia:** 698-960 MHz / 1710-2690 MHz **Ganancia:** 45 dBi en la banda alta 42 dBi en la banda baja **Dimensiones:** 2000 mm x 500 mm x 150 mm **peso:** 38 kg

**Polarización:** +45° y -45° **Tilt:** Tilt eléctrico ajustable de 0° a 10°

**Figura 55**

*Solución para antena ADT4516R8 8T8R + GPS*

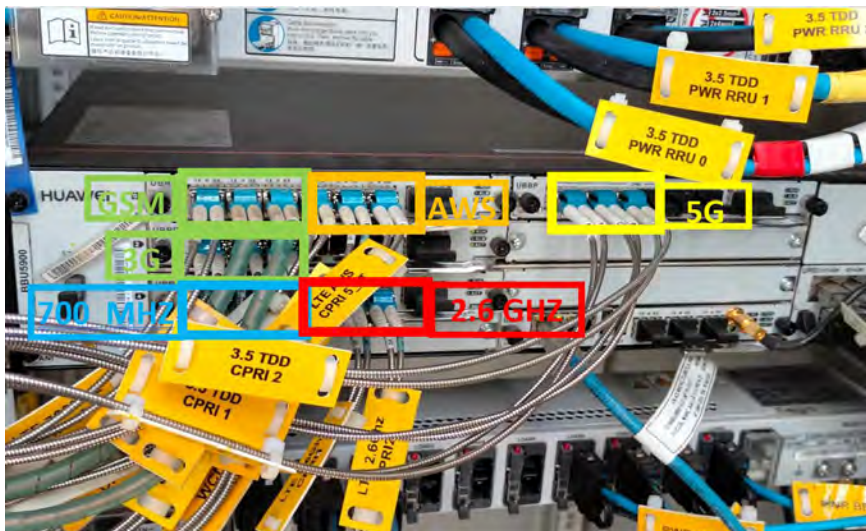
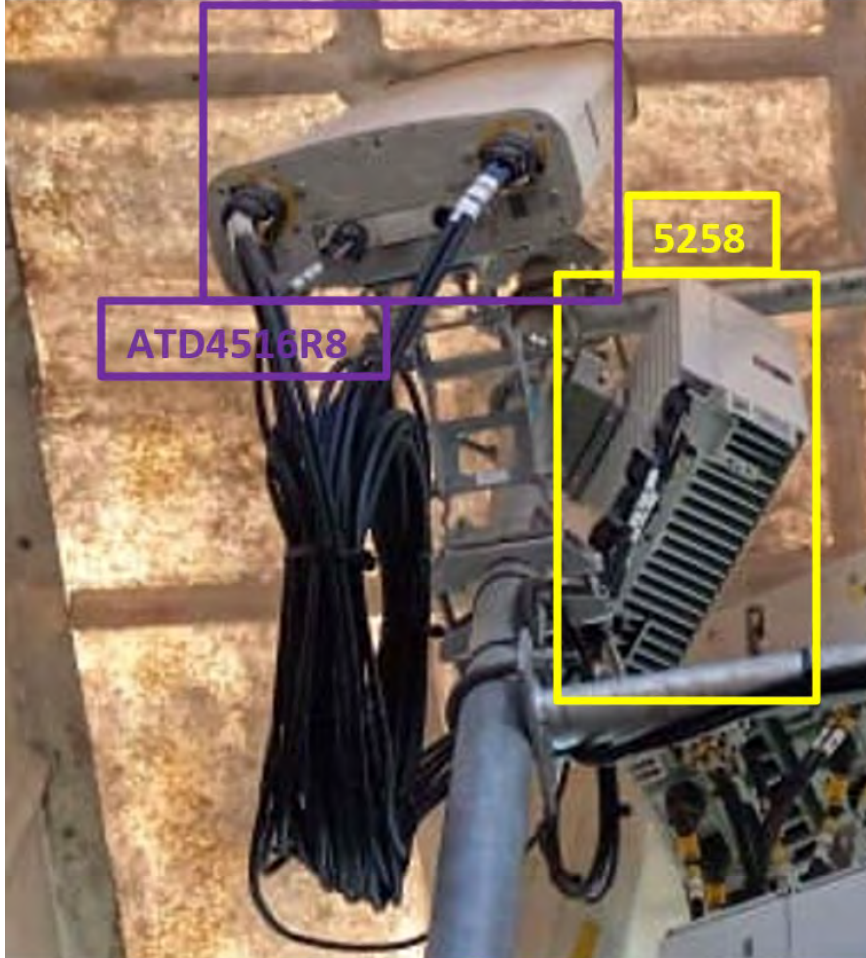


*Nota:* Solución para antena ADT4516R8 8T8R + GPS

En el site plaza Cusco podemos encontrar esta solución, esta configuración se ha instalado para dar cobertura inicial en tecnología 5G en convivencia de la tecnología anterior, podemos encontrar esta solución ahora en las capitales de cada departamento en Perú.

La RRU 5258 está configurada en 64T64R mimo, con tres sectores por nodo, está gobernada por una tarjeta UMPT que se sincroniza por GPS, los sectores están sobre una tarjeta UBBP

**Figura 56**  
Solución para antena ADT4516R8 64T64R + GPS



*Nota: Solución para antena ATD4516R8 64T64R + GPS*

La **RRU (Remote Radio Unit) 5258** amplifica y transmite las señales de radiofrecuencia desde la antena hacia la estación base y viceversa.

**Bandas de Frecuencia:** 2.6 GHz (B7/B38) **Tecnologías de Soporte:** LTE, NR.

**MIMO:** Hasta 4T4R para LTE, Hasta 16T16R para NR **Potencia de Salida:** 80W por portadora.

**Modulación:** 256-QAM.

### **3.3.10 Esquematización global de la solución**

Para comprender mejor cómo se integran estas unidades en una instalación RF, a continuación, se presenta una esquematización de la solución. En Entel la escalabilidad y la posibilidad de convivencia con equipamiento anterior permite una serie de adaptaciones posibles para soluciones en sitio, sin mayores modificaciones.

#### **Core Network (Red Central):**

Proporciona la conectividad central y maneja el tráfico de datos y señalización hacia y desde la estación base.

#### **BBU 5900 (Baseband Unit):**

Procesa las señales baseband para LTE y NR.

Gestiona la agregación de portadoras, la modulación, y el procesamiento MIMO.

Conecta al AAU5613/AAU5639 o a las antenas ATD4516R8 (+RRU5258).

#### **AAU5613 , AAU5639 y AOC4518R4v06 (Active Antenna Units):**

Integran funciones de antena y RRU en una sola unidad.

Proporcionan el enlace de aire mediante la transmisión y recepción de señales RF.

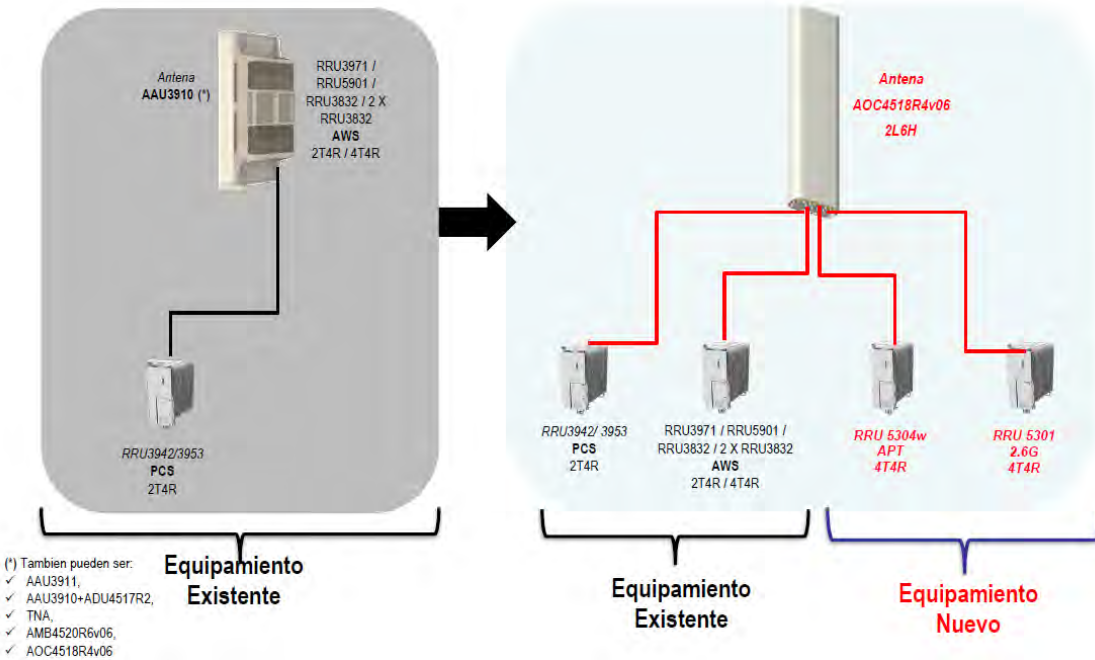
Soportan capacidades avanzadas como MIMO masivo y beamforming.

#### **ATD4516R8 + RRU5258:**

Antena ATD4516R8: Ofrece alta ganancia y polarización cruzada para mejorar la eficiencia espectral.

RRU5258: Amplifica y transmite las señales RF, manejando hasta 16T16R para NR y 4T4R para LTE.

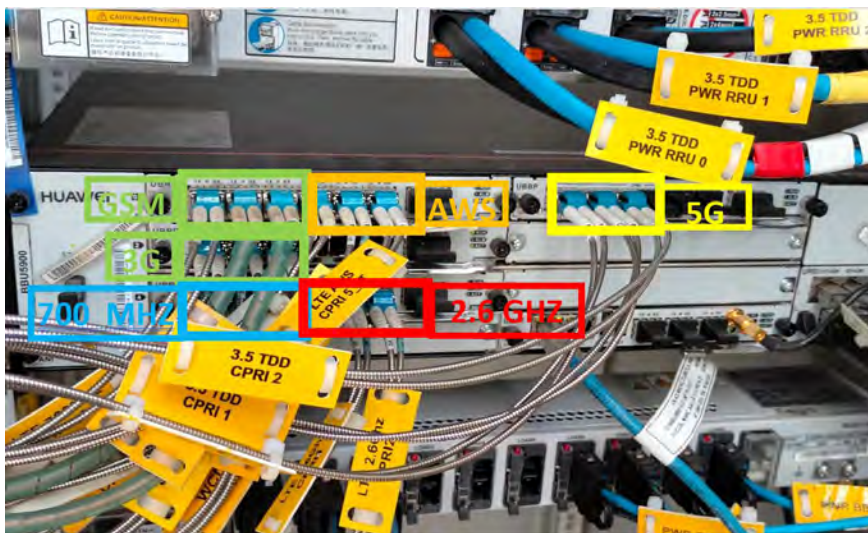
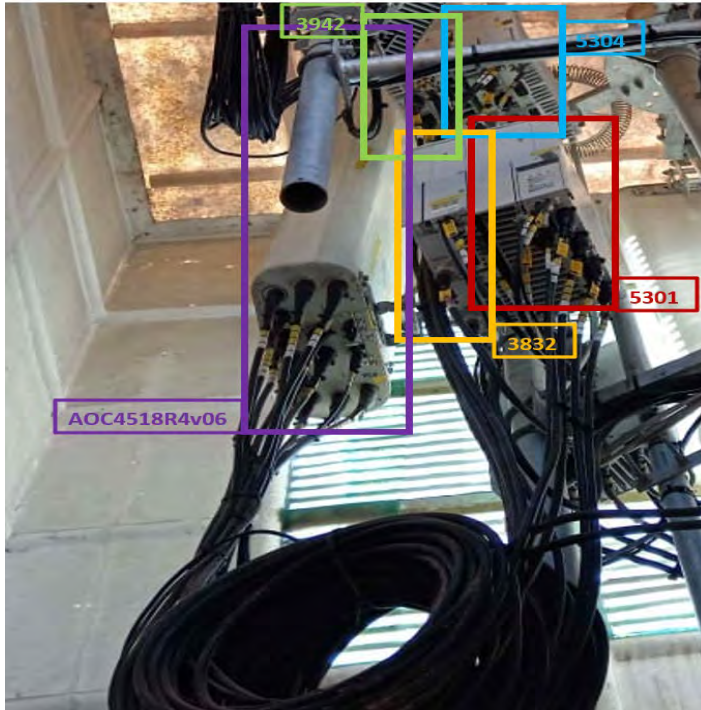
**Figura 57**  
Integración de tecnologías en una sola antena



Nota: integración de tecnologías en una sola antena

En el site Plaza Cusco se muestra esta solución, en general se puede apreciar en nodos que requieran cobertura de alta densidad para zonas urbanas.

**Figura 58**  
*Integración de tecnologías en nodo Plaza Cusco*



*Nota: Integración de tecnologías en nodo Plaza Cusco*

### **3.3.11 Estándar de instalación de antenas y RRUs para soluciones 5G**

La AOC4518R4V06 es una antena de panel multibanda diseñada para soportar múltiples frecuencias, ofreciendo una alta eficiencia y una excelente ganancia en un diseño compacto. Esta antena es adecuada para despliegues en estaciones base que gestionan múltiples tecnologías de red.

## **Parámetros de Funcionamiento:**

Rango de Frecuencia:

698 - 960 MHz

1710 - 2690 MHz

Ganancia:

698 - 806 MHz: 15.5 dBi

1710 - 2690 MHz: 18 dBi

Polarización: Dual (+45° y -45°)

Ángulo de Apertura (Horizontal):

1710 - 2690 MHz: 65°

Ángulo de Apertura (Vertical):

698 - 960 MHz: 30° a 65°

1710 - 2690 MHz: 30° a 65°

Relación Frente/Atras: > 25 dB

Capacidad de Tilt: Eléctrico con ajuste remoto (RET)

Impedancia: 50 ohms

Peso: Aproximadamente 24 kg

Dimensiones:

Altura: 2400 mm

Ancho: 500 mm

Profundidad: 145 mm

## **Aplicación en Soluciones:**

Redes Multitecnología: Adecuada para LTE, GSM y UMTS.

Despliegues Densos: Ideal para entornos urbanos y suburbanos con alta densidad de usuarios.

Estaciones Base: Estándar en la infraestructura de las estaciones base debido a su capacidad multibanda.

### Escenarios de Instalación:

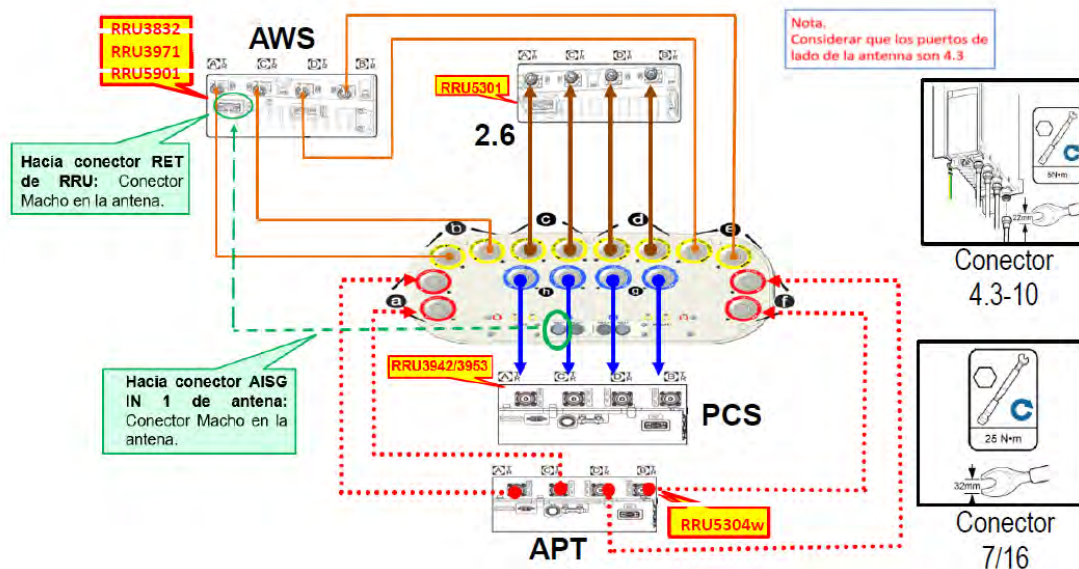
Torres de Comunicaciones: Instalaciones en torres para maximizar la cobertura.

Edificios: Despliegue en techos y laterales de edificios para mejorar la cobertura urbana.

Zonas Suburbanas: Expansión de cobertura en áreas suburbanas de alto tráfico.

Como se puede apreciar en la figura 61 se puede hacer convivir las tecnologías anteriores, esta solución permite que los servicios de 5G pueda ser adicionada en la infraestructura existente, lo cual Entel maximiza los beneficios.

**Figura 59**  
Estándar de instalación de antena AOC4518r4v06+ RRUs en solución 5



Nota: Estándar de instalación de antena AOC4518r4v06+ RRUs en solución 5G

La APE4518R37V06 es una antena avanzada de panel multibanda, diseñada para proporcionar una alta ganancia y una excelente cobertura en una amplia gama de frecuencias. Está equipada con capacidades tecnológicas avanzadas como MIMO y beamforming, siendo ideal para entornos con alta demanda de datos.

### Parámetros de Funcionamiento:



**Rango de Frecuencia:**

698 - 960 MHz

1710 - 2690 MHz

**Ganancia:**

698 - 806 MHz: 15 dBi

806 - 960 MHz: 15.5 dBi

1710 - 2690 MHz: 17.5 dBi

**Polarización:** Dual (+45° y -45°)

**Ángulo de Apertura (Horizontal):**

698 - 960 MHz: 65°

1710 - 2690 MHz: 65°

**Ángulo de Apertura (Vertical):**

- 960 MHz: 30° a 60°

1710 - 2690 MHz: 30° a 60°

**Relación Frente/ Atrás:** > 27 dB

**Capacidad de Tilt:** Ajuste remoto eléctrico (RET)

**Impedancia:** 50 ohms

**Peso:** Aproximadamente 22 kg

**Dimensiones:**

Altura: 2400 mm

Ancho: 400 mm

Profundidad: 135 mm

**Aplicación en Soluciones:**

**Redes LTE y 5G:** Optimizada para proporcionar soporte a redes de alta velocidad LTE y

5G.

**Capacidades de Rendimiento:** Ideal para despliegues en áreas con alta densidad de tráfico de datos.

**Multitecnología:** Soporta una variedad de tecnologías de red, proporcionando versatilidad a los operadores.

**Escenarios de Instalación:**

**Torres y Mástiles:** Instalación en torres y mástiles de telecomunicaciones para maximizar la eficacia de la cobertura.

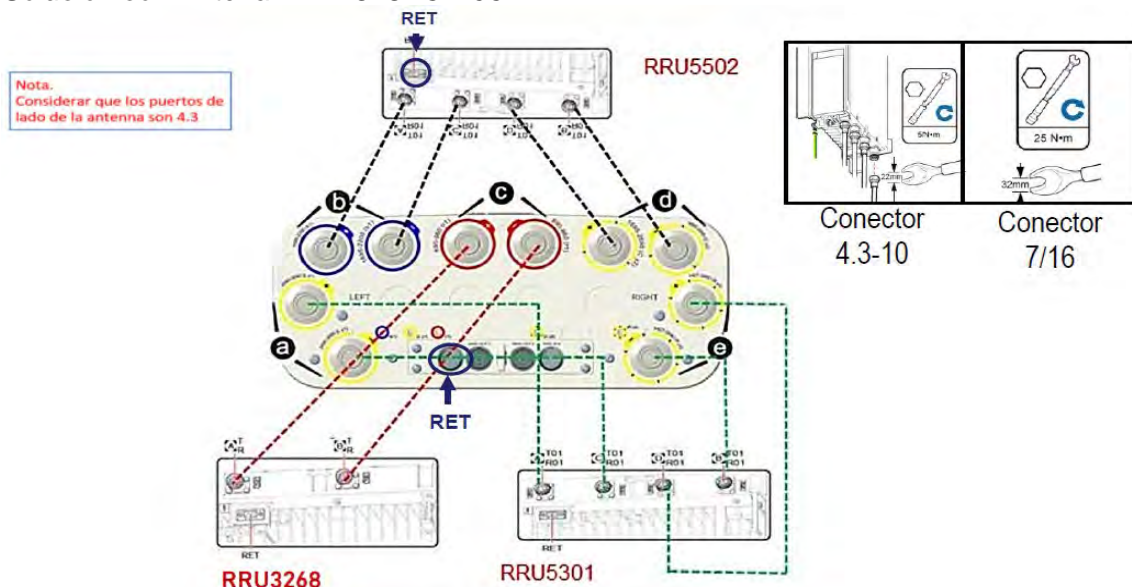
**Entornos Urbanos:** Despliegue en techos de edificios y otros lugares elevados para optimizar la cobertura en áreas urbanas densamente pobladas.

**Zonas de Alta Densidad:** Adecuada para lugares con alta demanda de tráfico de datos, como centros comerciales, estadios y áreas metropolitanas.

En ENTEL es la solución más aplicada en provincias por su adaptabilidad y bajo consumo de energía con respecto a las soluciones más robustas es la planteada en la figura 56

**Figura 60**

*Solución con Antena APE4518R37v06*



*Nota: solución con Antena APE4518R37v06*

## CAPITULO IV:

### Procedimiento de Mantenimiento en Microondas y Radio Frecuencia, Análisis de Alarmas Comunes

#### 4.1 Comisionamiento y configuración de servicios IDU

Software de Gestión de Red (Weblct)

El software Weblct es compatible con equipos de las series 900, permite configurar los servicios, los parámetros del enlace, el montaje de los equipos.

Para la conexión usar un cable de red (UTP) y conectar a puerto NMS/COM de la tarjeta controladora IDU con el puerto de red de la Laptop como se ve en la figura.

Para conectarse al equipo de forma local es necesario tener las siguientes aplicaciones y consideraciones:

U2000 Web LCT V200R015C60 o superiores.

Internet Explorer y/o Chrome aplicando la extensión "IE Tab" disponible en la Chrome Web Store.

et IP Laptop 129.9.X.X con mask 16, por ejemplo 129.9.0.20

En Laptop no se debe colocar Gateway

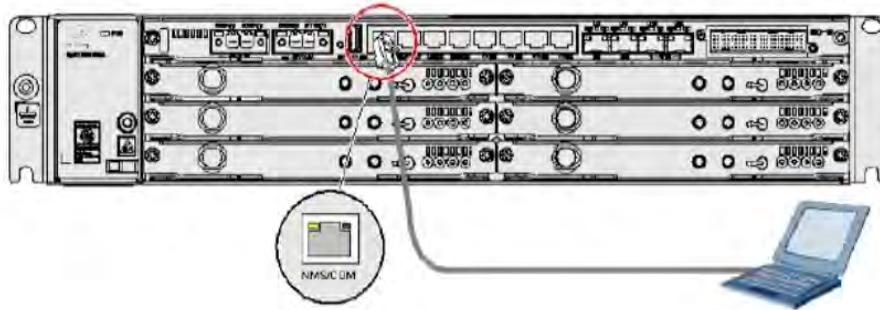
En laptop no se debe colocar DNS

Navigator 6.2 es necesario para conexiones remotas (obtener id Equipo con IP), Usuario: shzw, pass: Changeme\_123

Conexión al equipo

Conectarse al Equipo Huawei RTN950A mediante cable de red a puerta NMS/COM de la tarjeta CSHO

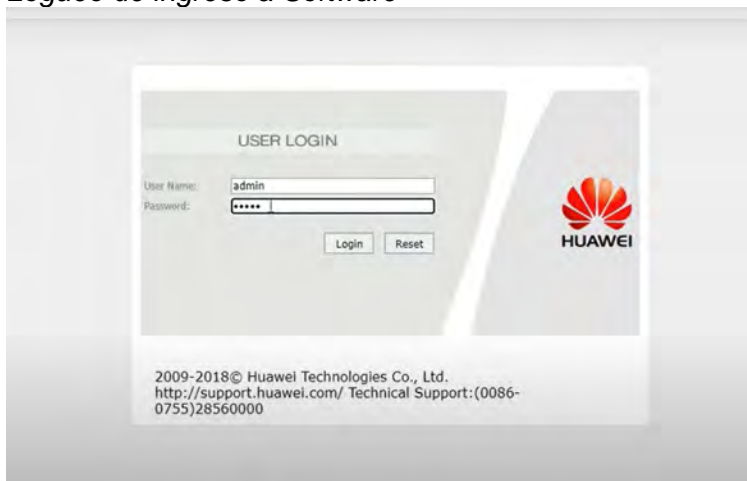
**Figura 61**  
*Conexión con puerto NMS*



Nota: conexión con puerto NMS

Iniciar el Webict, luego nos mostrara el cuadro de diálogo para colocar el usuario y el password

**Figura 62**  
*Logueo de ingreso a Software*



Nota: Logueo de ingreso a Software

Con los datos llenos en el anterior cuadro, aparecerá una ventana con el NE List

### Figura 63

Ventana de diálogo para búsqueda de enlaces



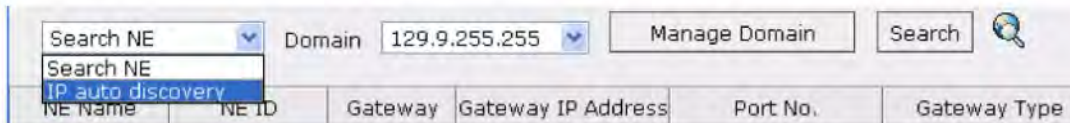
*Nota:* Ventana de diálogo para búsqueda de enlaces

En el NE List, darle Click a “NE Search >Advanced Search”

En la ventana resultante seleccionar el modo IP auto Discovery

### Figura 64

Ventana de diálogo para búsqueda de enlaces



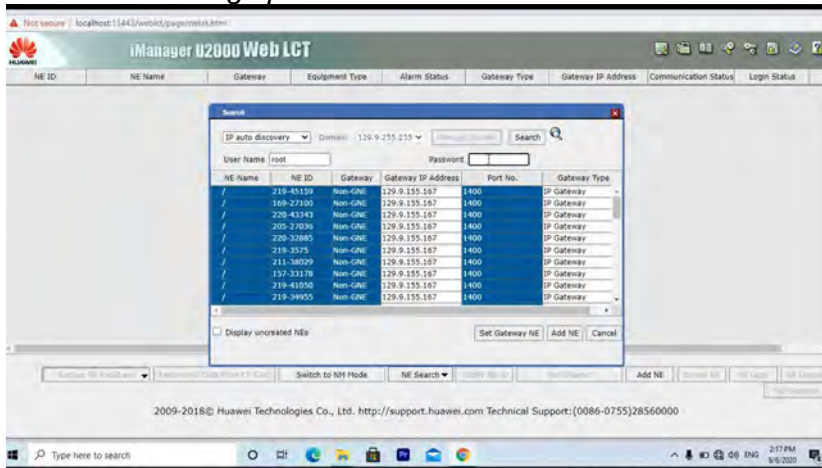
*Nota:* Ventana de diálogo para búsqueda de enlaces

En el modo IP auto Discovery, el software buscará los GNEs y Non-GNEs asociados a cada Gateway.

Durante la configuración inicial el dominio por defecto es 129.9.255.255, si la IP de la se cambia para una futura búsqueda cambiar el dominio también.

Luego en el Weblct se muestra los NEs que encuentra en la red, dar en finalizar la búsqueda.

**Figura 65**  
Ventana de diálogo para conexión a los enlaces



*Nota:* ventana de diálogo para conexión a los enlaces

Seleccionar en el equipo de la red que se desea gestionar y darle en Add NE y aparecerá un mensaje que fue agregado exitosamente.

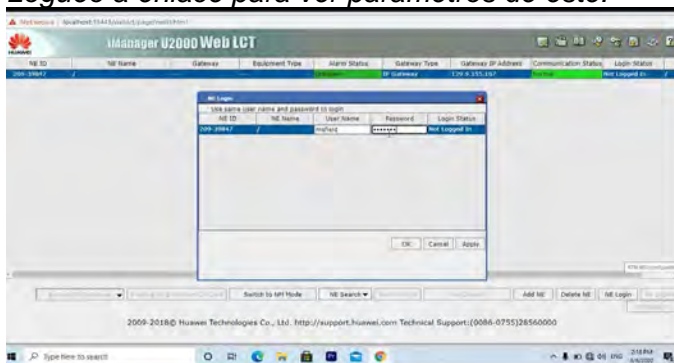
**Figura 66**  
Logeo del enlace escogido.

NE ID	NE Name	Gateway	Equipment Type	Alarm Status	Gateway Type	Gateway IP Address	Communication	Login Status	Character Set
9-223	/	Non-GNE	---	Unknown	IP Gateway	129.9.50.18	Normal	Not Logged In	/

*Nota:* Logeo del enlace escogido.

Haciendo anticlick sobre el equipo nos da una lista desplegable, luego seleccionar NE Login, luego ingresar el usuario y Password

**Figura 67**  
Logeo a enlace para ver parámetros de este.



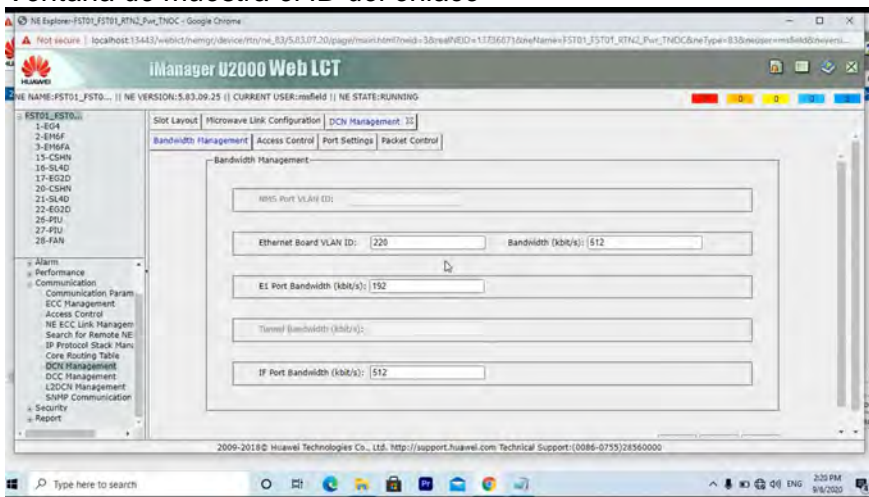
*Nota:* Logeo a enlace para ver parámetros del mismo.

En el NE List el estatus cambia a Logged In y el Alarm Status cambia a Unknown al estado actual de alarmas del equipo.

Seleccionar el NE del object tree en el NE Explorer, Escoger Configuration > NE Attribute.

Hacer click al botón Modify NE ID con lo que la caja de diálogo para cambiar el ID y el extended ID es mostrada.

**Figura 68**  
*Ventana de muestra el ID del enlace*



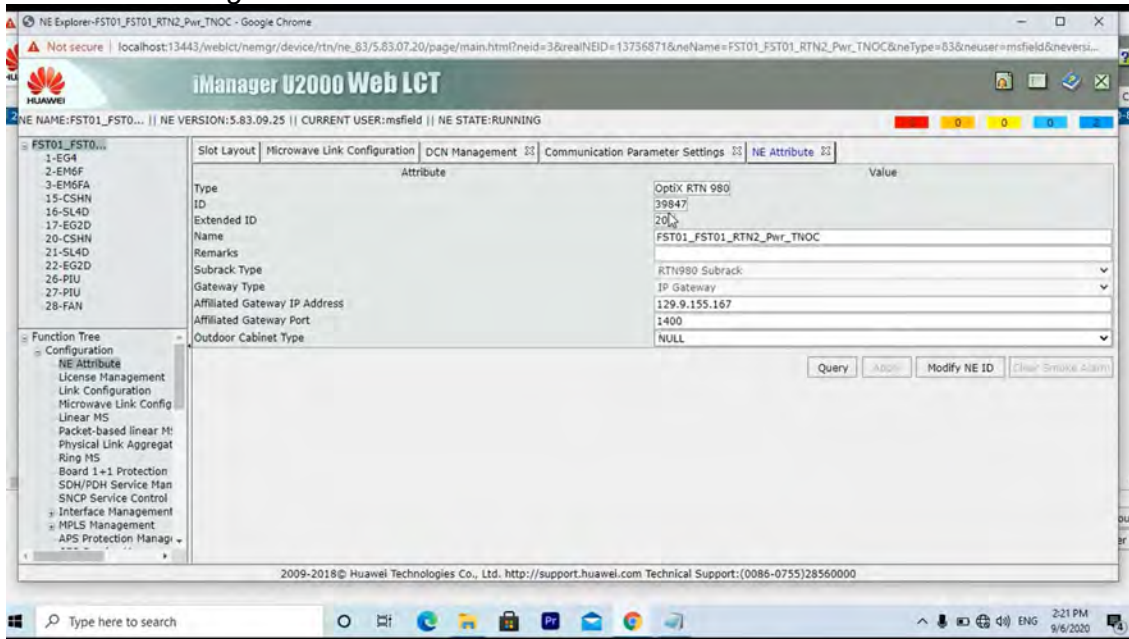
*Nota:* Ventana de muestra el ID del enlace.

Ingresar los parámetros correspondientes al plan del cliente. Tener en cuenta que los IDs deben ser únicos en toda la red.

Seleccionar el NE del Object Tree en el NE Explorer, escoger Configuration > NE Attribute.

Ingresar el nombre del equipo, de acuerdo a la nomenclatura del cliente para el sitio específico

**Figura 69**  
*Ventana de diálogo donde muestra detalles del enlace*



*Nota:* ventana de diálogo donde muestra detalles del enlace

En la pestaña Slot Layout damos click en el botón Add Physical Boards.

Se pueden agregar manualmente las tarjetas haciendo click derecho sobre la tarjeta que se desea agregar.

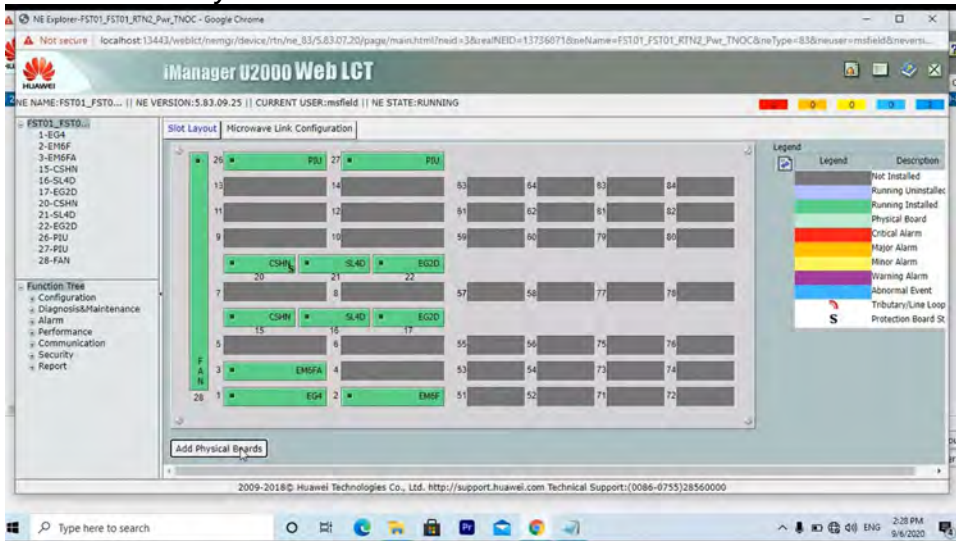
Seleccionar el NE del Object Tree en el NE Explorer, Escoger Configuration>Link configuration.

Click en la pestaña IF 1+1 Protección.

Configurar los parámetros del grupode protección IF 1+1



**Figura 70**  
*Ventana Slot Layout*

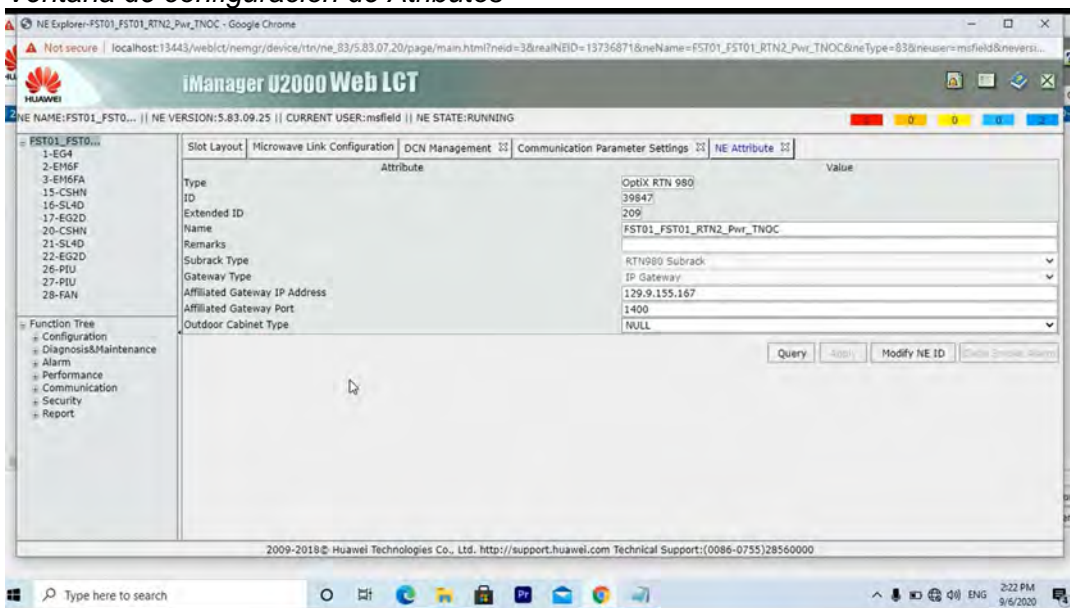


*Nota: Ventana Slot Layout*

Para configurar atributos del NE (IP, Name, ID, Ext ID, Time NE)

Para configurar los atributos entramos a Configuración>NeAttribute, hacer click en Modifi NE ID y modificar, Modificar Name según la nomenclatura de ENTEL, Modificar IP y para finalizar hacer click en Query.

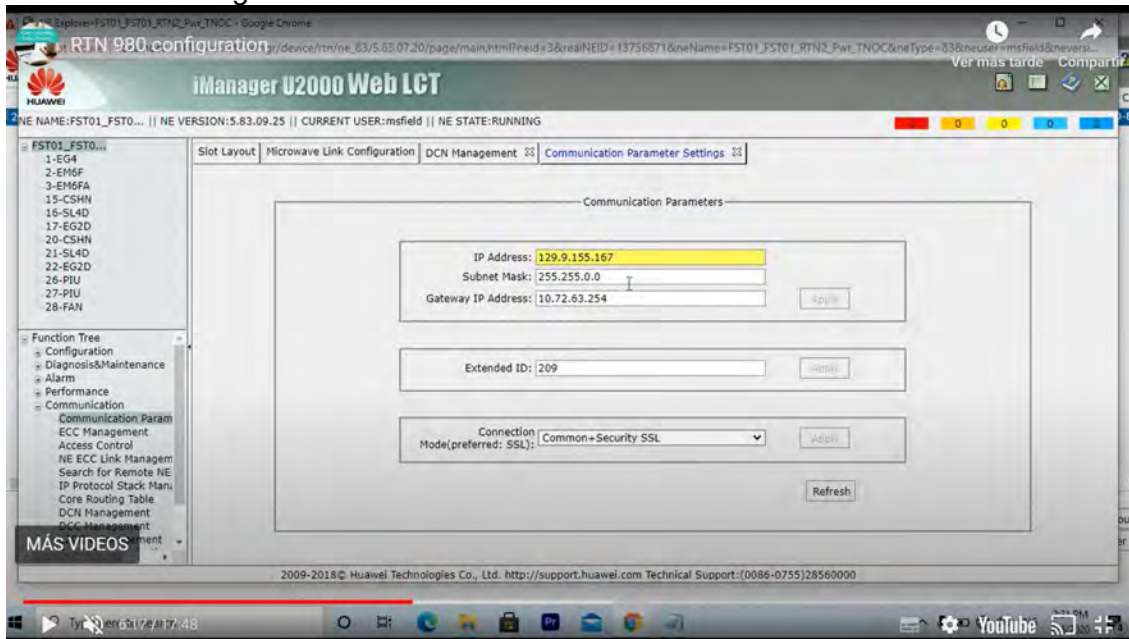
**Figura 71**  
*Ventana de configuración de Atributos*



*Nota: Ventana de configuración de Atributos*

Para modificar las IPs, se debe acceder a Communication>Communication Parámetros

**Figura 72**  
*Ventana de Configuración de IPs*



*Nota: Ventana de Configuración de IPs*

La pantalla principal del NE Explorer nos muestra un estado general del equipo y la condición de las tarjetas instaladas, haciendo una separación lógica de las subtarjetas para el caso de RTN950/RTN980

PIU: Energía 2 fuentes

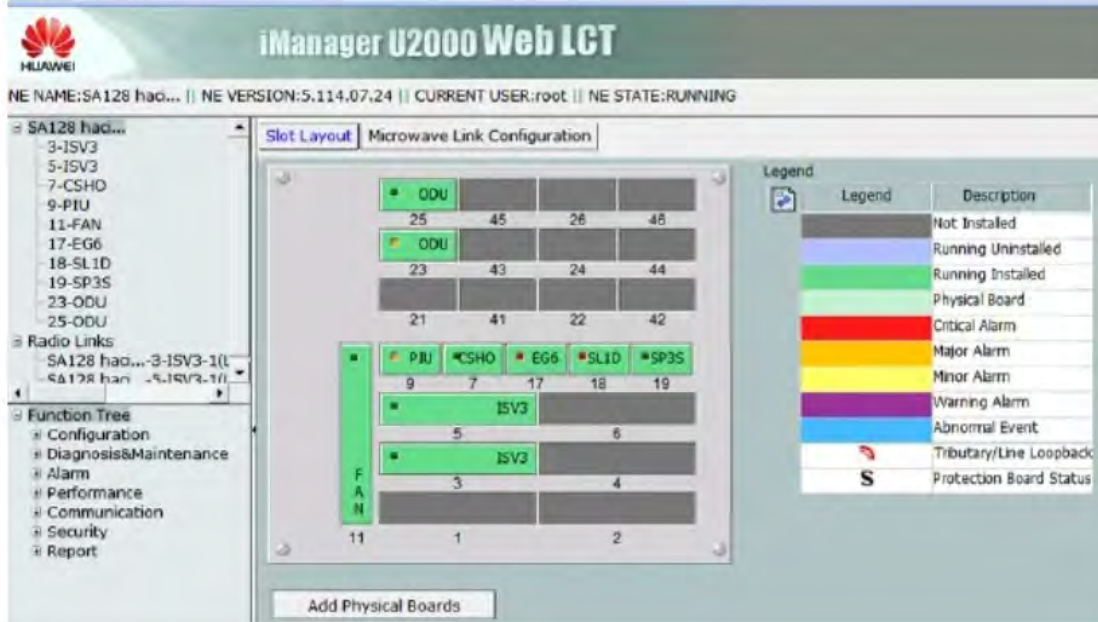
CSHO: tarjeta de control y Switching

EG6: Tarjeta Ethernet 4GE + 2xSEP

SL1D: Tarjeta SDH 2xSFP

SP3S: Tarjeta PDH 16xE1

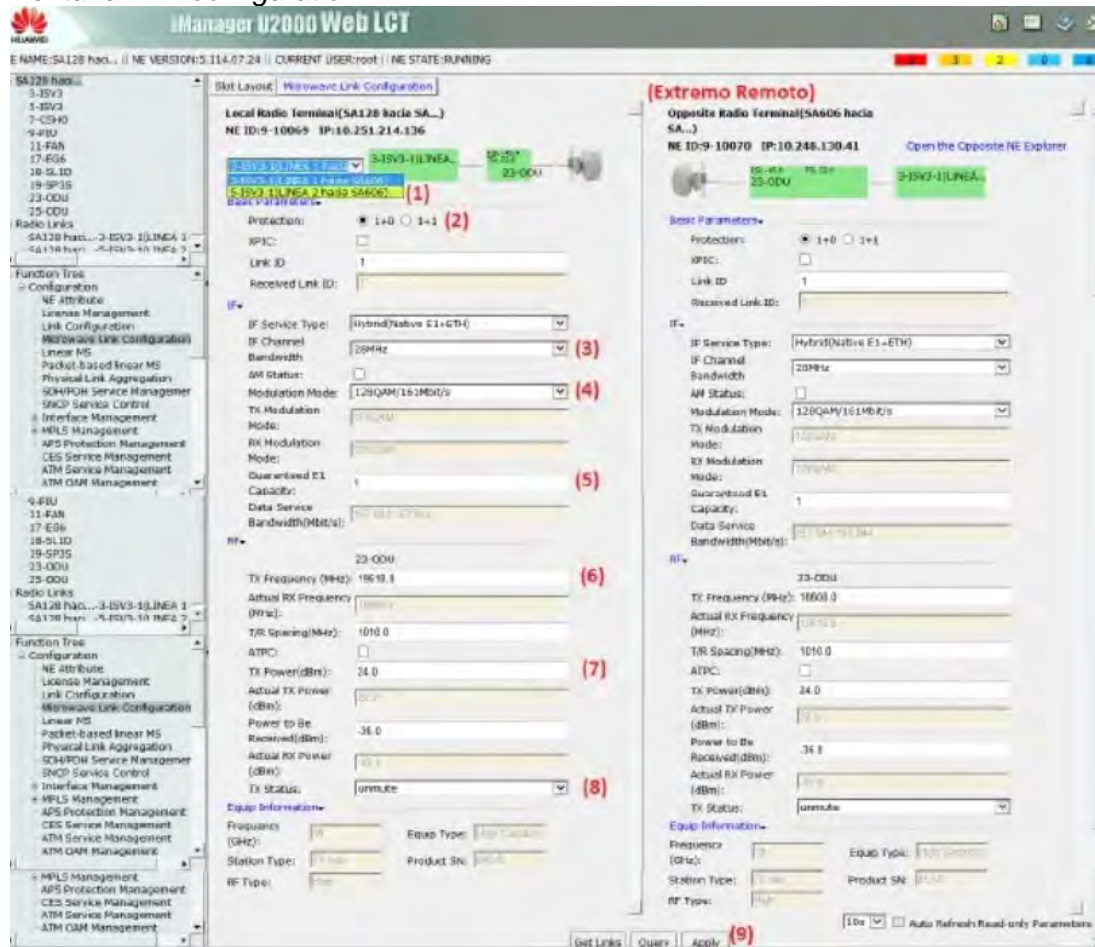
**Figura 73**  
 Ventana Slot Layout con las tarjetas activas



Nota: Ventana Slot Layout con las tarjetas activas

Para configurar los atributos de las líneas de radio se Accede a Configuración>Microwave Link Configurations, ahí se muestran las diferentes opciones de configuración del radio.

**Figura 74**  
Ventana Link configuration



*Nota: ventana Link de configuración*

- Seleccionar Tarjeta IF (ISV3)
- Seleccionar modo 1+0, 1+1
- Seleccionar espaciamiento de canales.
- Seleccionar el tipo de modulación.
- Ingresar los E1 a asegurar
- Ingresar frecuencia de TX
- Ingresar potencia de TX
- Seleccionar Unmute para habilitar la TX

- Aplicar Cambios.
- Ingresar valor teórico de la potencia del enlace (Dbm)
- Extremo remoto disponible al enlazar.

## 4.2 Proceso de comisionamiento de un nodo GULN

El comisionamiento de un nodo GULN implica varias fases críticas: preparación, configuración de hardware, configuración de software, integración, y pruebas. A continuación, se detallan estas fases y los comandos específicos utilizados durante cada una de ellas.

### Conexión al Nodo:

Utilizar un puerto de consola o conexión Ethernet para conectar el LMT al nodo.

Ejecutar el comando de inicio en el LMT para acceder a la interfaz de configuración del nodo.

### Inicialización del Sistema:

Sh modo consola

```
LMT> INIT SYS
```

Inicializa el sistema y verifica la integridad del hardware y software.

### Carga de Configuración Básica:

```
LMT> LOAD CFG
```

Carga la configuración básica basada en los scripts predefinidos.

### Configuración de Parámetros Red:

Configurar parámetros de red como direcciones IP, máscaras de subred y gateways.

Sh modo consola

```
LMT> SET IP ADDR 192.168.0.1
```

```
LMT> SET SUBNET MASK 255.255.255.0
```

```
LMT> SET GATEWAY 192.168.0.254
```

### Configuración de las Unidades de Radio (RRUs):

Encontrar y configurar las unidades de radio conectadas al nodo.

```
LMT> DISC RRU
```

```
LMT> SET RRU IDX 1 FREQ 1900
```

### Configuración de la Banda Base (BBU):

Configurar las tarjetas y módulos en la BBU.

```
LMT> SET BBU SLOT 1 TYPE LTE
```

```
LMT> SET BBU SLOT 2 TYPE UMTS
```

### Configuración de Sectores y Celdas:

Agregar sectores y configurar celdas.

```
LMT> ADD SECTOR 1 NAME "Sector A"
```

```
LMT> SET SECTOR 1 FREQ 1900
```

```
LMT> ADD CELL 1 SECTOR 1
```

```
LMT> SET CELL 1 PARAMS "TAC 1, CI 501, PCI 100"
```

#### **Sincronización y Temporización:**

Configurar los parámetros de sincronización del nodo.

```
LMT> SET SYNC GPS
```

```
LMT> SET SYNC PRIORITY 1
```

#### **Verificación de IP:**

Verificar que las configuraciones IP están correctamente aplicadas.

```
LMT> PING 192.168.0.1
```

```
LMT> TRACE ROUTE 192.168.0.254
```

#### **Conectividad Backhaul:**

Confirmar la conectividad a la red de backhaul.

```
LMT> CHECK BH LINK
```

#### **Pruebas de Servicio:**

Realizar pruebas de llamada (Call Test) y de conexión de datos.

```
LMT> TEST CALL SETUP
```

```
LMT> TEST DATA SESSION
```

#### **Monitoreo de Rendimiento:**

Monitorear el rendimiento y calidad de las señales de radio.

```
LMT> MONITOR RRU PARAMS
```

```
LMT> MONITOR BBU TRAFFIC
```

#### **Activación de la Configuración:**

Activar la configuración final y poner en marcha las celdas.

```
LMT> ACT CELL 1
```

```
LMT> ACT SECTOR 1
```

#### **Revision Final**

```
LMT> SHOW ALL PARAMS
```

#### **Monitoreo del Sistema:**

Utilizar el LMT y herramientas de gestión de red para monitorear el rendimiento del nodo.

```
LMT> MONITOR SYS STATUS
```

LMT> MONITOR TRAFFIC

una implementación exitosa y una operación estable del nodo GULN, asegurando así la calidad del servicio y satisfacción del usuario final.

### **4.3 Mantenimiento de equipos microondas Huawei**

#### **4.3.1 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo se centra en realizar inspecciones y ajustes regulares para prevenir la ocurrencia de fallos y extender la vida útil del equipo.

#### **Objetivos:**

Prevenir fallos antes de que ocurran.

Asegurar el correcto funcionamiento continuo.

Extender la vida útil del equipo.

#### **Procedimientos de Mantenimiento Preventivo:**

##### **Inspección Física:**

##### **Verificación de Antenas:**

Comprobar la alineación y sujeción de las antenas, así como la correcta codificación de las mismas.

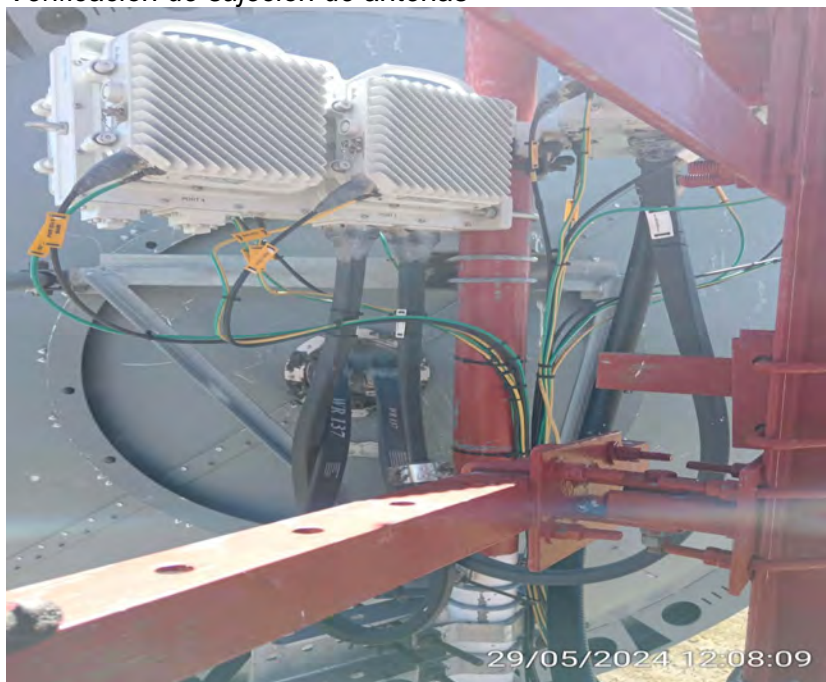
Utilizar herramientas específicas de alineación si es necesario para garantizar la orientación correcta.

**Figura 75**  
*Codificación de antenas en preventivo*



Nota: Codificación de antenas en preventivo

**Figura 76**  
*Verificación de sujeción de antenas*



Nota: Verificación de sujeción de antenas

### **Inspección de Cables y Conectores:**

Revisar la integridad de los cables coaxiales y conectores, comprobar la conexión y el vulcanizado haciendo tensión en los conectores.

Detectar y reemplazar cables desgastados o dañados.



Revisar el correcto aterramiento de los equipos y que en las barras tengan grasa conductiva.

**Figura 77**  
*Verificación de conectores y vulcanizado*



*Nota: Verificación de conectores y vulcanizado.*

**Figura 78**  
*Aterramiento de equipamiento Microondas*



*Nota. Aterramiento de equipamiento Microondas*

### **Revisión de la Carcasa del Equipamiento:**

Comprobar que la carcasa esté en buen estado, sin corrosión o daños y con la codificación correspondiente

#### **Figura 79**

*Verificación de la carcasa de la antena*



*Nota:* Verificación de la carcasa de la antena.

### **Revisión de Componentes Internos:**

#### **Verificación de Tarjetas y Módulos:**

Inspeccionar visualmente las tarjetas de circuito y módulos internos, limpiar a presión de aire.

Detectar daños físicos, como quemaduras o componentes desplazados.

**Figura 80**  
*Verificación de tarjetas y limpieza de equipos*



*Nota:* Verificación de tarjetas y limpieza de equipos

### **Limpieza de Componentes:**

Limpiar el polvo acumulado, especialmente en ventiladores y disipadores de calor, utilizar presión de aire para componentes internos y tarjetería.

**Figura 81**  
*Verificación y limpieza de ventiladores internos*



*Nota:* Verificación y limpieza de ventiladores internos

### **Revisión de Sistemas de Refrigeración:**

Asegurarse de que los ventiladores y disipadores de calor funcionan correctamente, como los sistemas son redundantes se debe extraer los componentes para su limpieza.

Limpiar las rejillas de ventilación para evitar bloqueos, en los Shelters se debe retirar las rejillas para su limpieza.

**Figura 82**  
Verificación de sistema de ventilación en Shelter



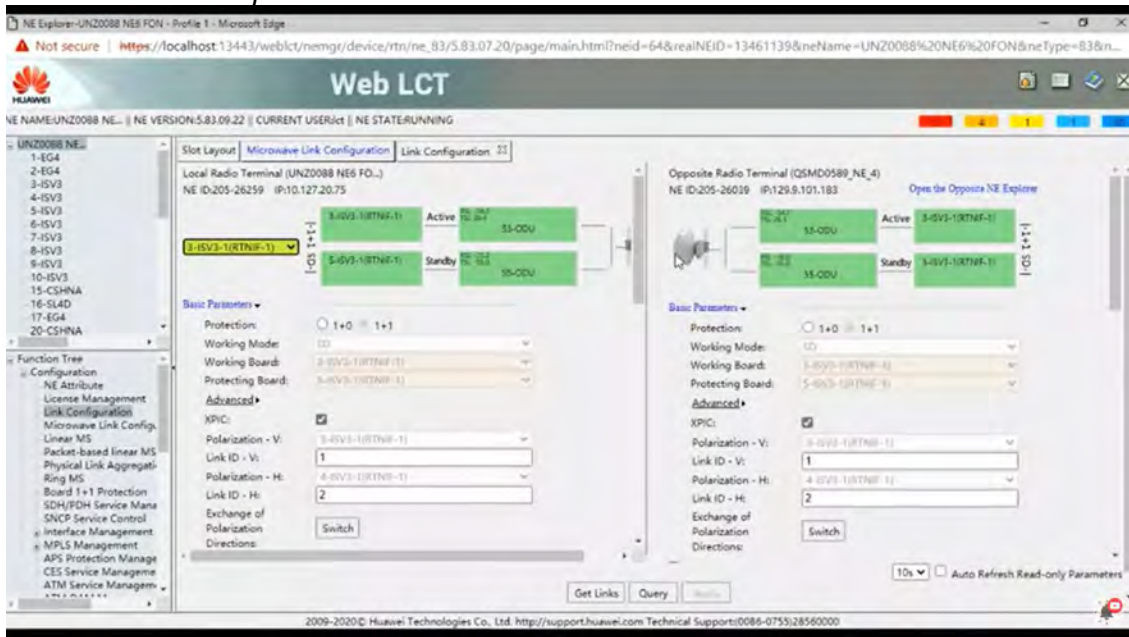
*Nota:* Verificación de sistema de ventilación en Shelter

**Pruebas de Funcionalidad:**

**Prueba de Señal:**

Utilizar herramientas de medición (Laptops, Equipos celulares con aplicativo) para evaluar la calidad de la señal.

**Figura 83**  
Verificación de los parámetros de señal

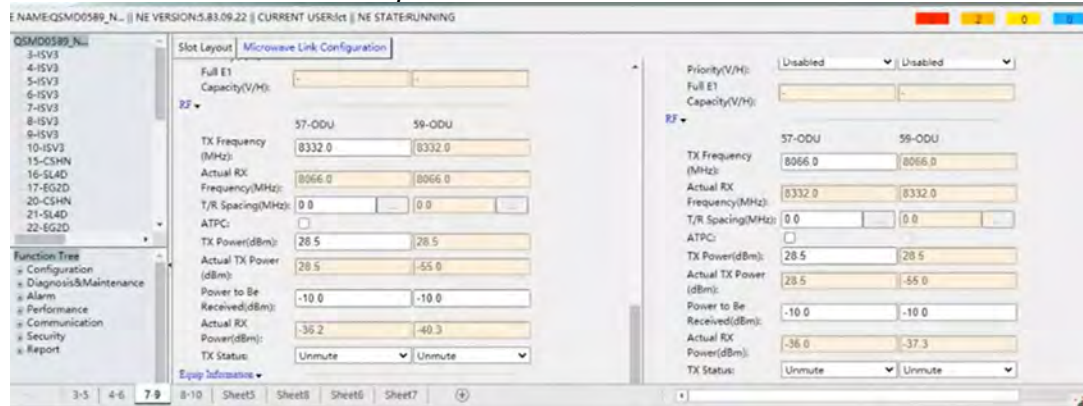


*Nota:* Verificación de los parámetros de señal

**Verificación de Niveles de Potencia:**

Medir la potencia de transmisión y recepción para asegurar que estén dentro de los parámetros especificados (Equipos celulares con aplicativo).

**Figura 84**  
Verificación de los niveles de potencia

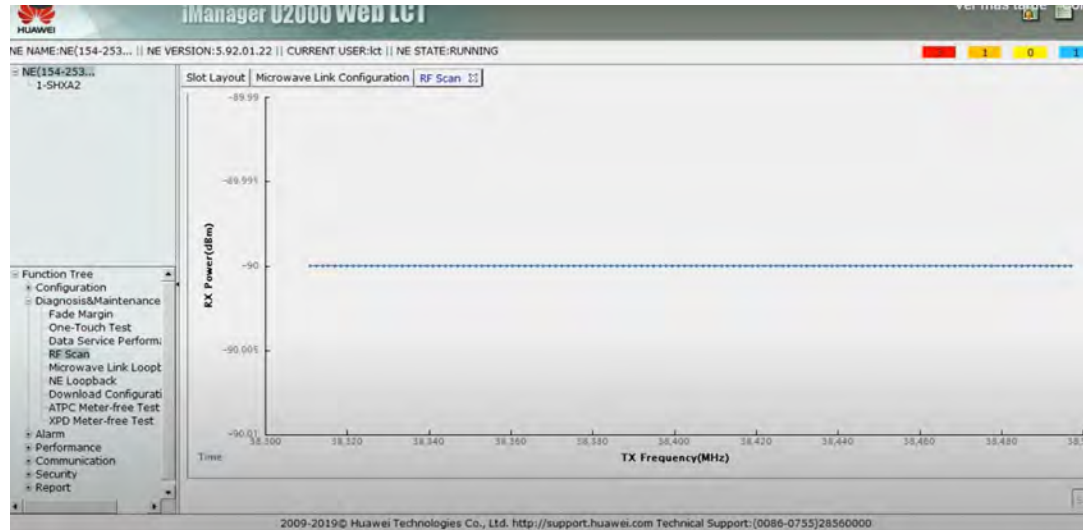


*Nota:* Verificación de los niveles de potencia

### Monitoreo de Parámetros de Rendimiento:

Supervisor regularmente la relación señal/ruido (SNR), la tasa de errores de modulación (MER), y otros indicadores clave, mediante la conexión a la IDU.

**Figura 85**  
Escaneo del enlace establecido



*Nota:* Escaneo del enlace establecido.

### Actualización de Software/Firmware:

### Instalación de Actualizaciones:

Verificar la versión actual del software/firmware y actualizar a las versiones más recientes.

#### Revisión de Configuraciones:

Asegurarse de que todos los parámetros de configuración coincidan con las especificaciones óptimas después de la actualización.

#### 4.3.2 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo aborda fallos y problemas que se han identificado, asegurando un retorno rápido a las condiciones operativas óptimas.

#### Objetivos:

Corregir fallos y problemas detectados.

Minimizar el tiempo de inactividad.

Restaurar el funcionamiento óptimo.

#### Procedimientos de Mantenimiento Correctivo:

#### SLA para atenciones en Lima y Provincias

**Tabla 1**

*Acuerdo de Nivel de Servicio*

Zona	Tiempo de Reacción Menores Casos	Tiempo de Reacción Mayores Casos	Tiempo de Reacción Críticos Casos
Provincia de Lima*	Tres horas (3horas)	Dos horas (2horas)	Una hora (1 hora)
Otras Provincias – Departamento de Lima	Cinco horas con treinta minutos (5.5horas)	Cuatro horas con treinta minutos (4.5horas)	Tres horas con treinta minutos (3.5 horas)
Otros Departamentos a nivel nacional	Cinco horas con treinta minutos (5.5horas)	Cuatro horas con treinta minutos (4.5horas)	Tres horas con treinta minutos (3.5horas)

*Nota:* Revisiones quincenales

Se llevarán a cabo reuniones quincenales para revisar el cumplimiento del Acuerdo de Nivel de Servicio, así como para tratar otros temas relevantes relacionados a la ejecución del Servicio de Mantenimiento.

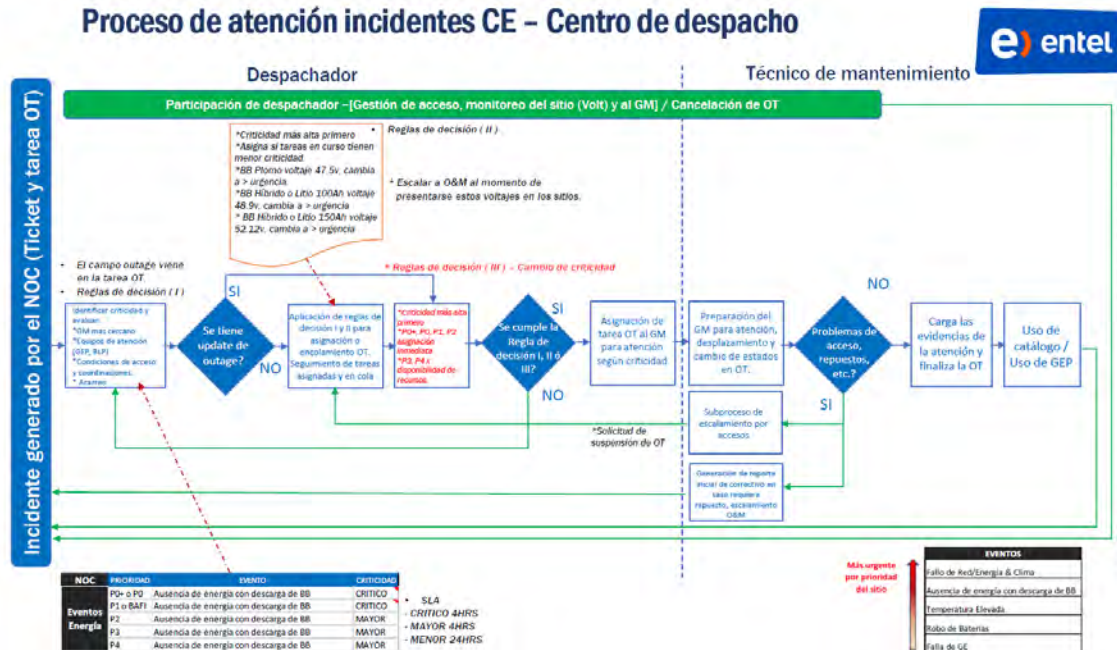
#### Diagnóstico de Fallos:

## Identificación de Alarmas:

Monitorizar el sistema para detectar alarmas, como pérdida de señal, interferencias, o fallos de potencia.

**Figura 86**

Proceso de atención incidencias



Nota: proceso de atención incidencias

## Uso de Herramientas de Diagnóstico:

Emplear analizadores de espectro, multímetros y herramientas de prueba específicas de Huawei para identificar la causa raíz del problema.

**Figura 87**  
*Equipos de diagnóstico de redes*



*Nota: Equipos de diagnóstico de redes*

### **Solución de Problemas de Conectividad:**

#### **Revisión de Cables y Conectores:**

Asegurarse de que todos los cables y conectores estén firmemente conectados y en buen estado, reemplazándolos si es necesario.



**Figura 88**  
*Revisión de conectores*



*Nota: Revisión de conectores*

## Ajuste de Antenas:

Realizar ajustes en la alineación de las antenas para restaurar la conexión óptima.

### Figura 89

*Ajuste de parámetros de antenas*



Nota: Ajuste de parámetros de antenas

## Reparación y Reemplazo de Componentes:

### Reemplazo de Componentes Defectuosos:

Identificar y reemplazar módulos defectuosos, como transmisores, receptores, y amplificadores de bajo ruido (LNA).

**Figura 90**  
*Cambio de tarjeta ISV3*



Nota: Cambio de tarjeta ISV3

### **Reparación de Componentes Internos:**

Realizar reparaciones en las tarjetas de circuito internas y otros componentes dañados.

**Figura 91**  
*Reparación interina de Sistema de energía*



Nota: Reparación interina de Sistema de energía

## Pruebas Post-Reparación:

### Verificación de Funcionamiento:

Realizar pruebas de operatividad para confirmar que el equipo funciona correctamente después de la reparación.

Monitoreo de los parámetros de rendimiento para asegurar que el problema ha sido resuelto.

### Figura 92

*Verificación de parámetros post reparación*



*Nota:* Verificación de parámetros post reparación

### 4.3.3 Mantenimiento predictivo

En Entel mantenimiento predictivo utiliza análisis de datos y la herramienta del Office track para llevar un registro histórico que permite el análisis de cuándo podrían producirse fallos futuros y proactivamente prevenirlos.

### Objetivos:

Predecir fallos antes de que ocurran.

Minimizar tiempo de inactividad mediante la planificación proactiva.

Optimizar el rendimiento mediante análisis de datos continuos.

## Procedimientos de Mantenimiento Predictivo:

### Monitoreo Continuo:

#### Recolección y Análisis de Datos:

Utilizando el Office track como sistemas de registro continuo para recolectar datos operativos, en el office track se almacenan las incidencias las cuales se pueden filtrar por tipo, site, responsable, etc.

Análisis de datos para identificar patrones y tendencias que puedan indicar un fallo inminente.

**Figura 93**  
*Sistema de gestión en OfficeTrack*

The screenshot displays the OfficeTrack web application interface. The top navigation bar includes options like 'Mapa', 'Notificaciones', 'Configuración', 'Ayuda', and 'Cerrar sesión'. Below the navigation bar, there are filters for 'Recursos', 'Estado', 'Fecha de inicio', and 'Fecha de fin'. The main content area shows a table of incidents with columns for 'Número de tarea', 'Categoría de tarea', 'Prioridad de Site', 'Nombre del cliente', 'Recurso', 'Descripción', 'Fecha inicial', 'Notas', 'Estado', 'Estado última fe.', 'Provincia', 'Distrito', 'Asignación (Dot.)', 'Asignación Out...', and 'Prioridad de incidente'. Below the incident table, there is a section for 'Entradas' (Entries) with a table showing 'Fecha', 'Celular', 'Nombre', 'Tipo de entrada', 'Fuente', 'Ubicación', and 'Información del formulario'.

Número de tarea	Categoría de tarea	Prioridad de Site	Nombre del cliente	Recurso	Descripción	Fecha inicial	Notas	Estado	Estado última fe.	Provincia	Distrito	Asignación (Dot.)	Asignación Out...	Prioridad de incidente
12430551	Atención Alarma	P4	012061_MC_Jenel_Ferrocarril	Eduard Ochoa	ENERGIA_FALL	6/13/2022 4:21 p.m.	Se presenta un in...	Resuelto	6/12/2022 16:17	TAMBOPATA	TAMBOPATA	NO		Baja
12437074	Atención Alarma	P4	013590_CA_Hemerosmas	Victor Rancas	ENERGIA_FALL	26/12/2022 12:17	Se presenta un in...	Pendiente	27/12/2022 8:24	JAJEN	JAJEN	NO		Baja
12442576	Atención Alarma	P4	013538_LM_Farmacia_De	Skyler Matos	ENERGIA_FALL	23/02/2023 12:54	Se presenta un in...	Pendiente	23/02/2023 12:56	LIMA	LURIGANCHO	NO		Baja
12443206	Atención Alarma	P3	0132798_LM_Las_Begonias	Jhon Nemecio	ENERGIA_FALL	4/04/2023 5:49 p.m.	Se presenta un in...	Pendiente	25/06/2024 2:44	LIMA	SAN ISIDRO	NO		Baja
12443759	Atención Alarma	P2	013527_LM_IL_OP_Angas	Skyler Matos	ENERGIA_FALL	15/04/2023 4:05	Se presenta un in...	Pendiente	15/04/2023 4:07	LIMA	SURQUILLO	NO		Baja
12443757	Atención Alarma	P3	013527_LM_IL_OP_Angas	Skyler Matos	ENERGIA_FALL	15/04/2023 4:05	Se presenta un in...	Pendiente	15/04/2023 4:10	LIMA	SURQUILLO	NO		Baja
12444104	Atención Alarma	P2	0132416_LA_La_Primavera	Victor Cabrera	ACC DEGRADA	22/04/2023 8:28	Se solicita la res...	Pendiente	22/04/2023 8:30	CHICLAYO	CHICLAYO	NO		Baja
12444153	Atención Alarma	P4	01325215_LM_Palmiras	Guilapiza Ramirez	ENERGIA_ROB	23/04/2023 4:52	Se presenta un in...	Pendiente	1/09/2023 1:37 p.m.	LIMA	LAMOLINA	NO		Baja

Fecha	Celular	Nombre	Tipo de entrada	Fuente	Ubicación	Información del formulario
6/12/2022 10:47 p.m.		Anderson Calari	Lista Formulario de Tarea	App		Uso de catálogo de Notificación (Versión 6)
6/12/2022 10:47 p.m.		Anderson Calari	Lista Formulario de Tarea	App		Atención Alarma NCC (Versión 31)
6/12/2022 10:48 p.m.		Anderson Calari	Lista Formulario de Tarea	App		Update Personal de Turnos (Versión 5)
6/12/2022 10:17 p.m.		Anderson Calari	Suspendido	Web		Formulario Estador (Versión 23)
6/12/2022 10:18 p.m.		Anderson Calari	Lista Formulario de Tarea	App		Update Personal de Turnos (Versión 5)
6/12/2022 10:53 p.m.		Anderson Calari	Lista Formulario de Tarea	App		Uso de catálogo de Notificación (Versión 6)
6/12/2022 10:53 p.m.		Anderson Calari	Lista Formulario de Tarea	App		Atención Alarma NCC (Versión 31)

Nota: Sistema de gestión en OfficeTrack

## Optimización de Recursos:

Planificación eficiente a través de prioridades de recursos y personal para ejecutar tareas de mantenimiento.

Es importante tener la programación de las actividades 24 horas antes del inicio de actividades.

### 4.3.4 Mejores prácticas y consideraciones técnicas

#### Documentación y Registro:

Mantener una documentación detallada de todas las actividades de mantenimiento, tanto preventivas como correctivas, a través del officetrack.

Registro de las configuraciones, actualizaciones, pruebas realizadas y piezas reemplazadas.

**Figura 94**  
*Informes de tareas en OfficeTrack*

Empleado: Todo								
Tarea Número: 123688942								
Desde la fecha 02/06/2019 12:00 a. m. hasta 05/06/2019 11:59 p. m.								
Tarea: 123688942 - Cambio de FAN de BBU								
Fecha de inicio	02/06/2019 11:12 a. m.	Fecha de vencimiento	05/06/2019 11:42 a. m.					
Nombre del cliente	0132796_CS_Lamay	Categoría de tarea	Atención Alarmas NOC					
Número del cliente	0132796	Teléfono 1						
Persona de contacto		Teléfono 2						
Estado	7.Finalizado	Recurso	Robert Cjuro					
Comentarios	Cambio de FAN de BBU							
Departamento	CUSCO	Provincia	CALCA					
Distrito	LAMAY	Responsable RAN						
Prioridad de Site	P4	Prioridad de Incidente						
Responsable NOC		Responsable O&M	Igor Cruz					
CRM	SUR	Tipo de Alarma						

Entradas							
Fecha	Empleado	Tipo de entrada	Origen	Dirección	Info adicional	Ítems del catalogo	Archivos
02/06/2019 1:43 p. m.	Robert Cjuro	3.Confirmado	App	0131309_CS_Calca		0	0
02/06/2019 1:45 p. m.	Robert Cjuro	4.En Ruta	App	0131309_CS_Calca		0	0
02/06/2019 2:41 p. m.	Robert Cjuro	5.Llegado	App	4.0 Km South East of Calca, Peru		0	0
02/06/2019 2:42 p. m.	Robert Cjuro	6.En Progreso	App	0132796_CS_Lamay		0	0
02/06/2019 2:49 p. m.	Robert Cjuro	Llenar Formulario de Tarea	App	0132796_CS_Lamay		0	2
02/06/2019 3:07 p. m.	Robert Cjuro	Llenar Formulario de Tarea	App	0132796_CS_Lamay		0	9
02/06/2019 3:07 p. m.	Robert Cjuro	7.Finalizado	App	0132796_CS_Lamay		0	0

*Nota:* Informes de tareas en OfficeTrack.

#### Capacitación Continua:

Proveer entrenamiento continuo y actualización del personal de mantenimiento en nuevas tecnologías y procedimientos específicos de Huawei.

Realizar simulaciones y cursos de capacitación para mejorar el tiempo de respuesta y la efectividad del personal.

**Figura 95**  
Evaluación de conocimientos anual

**EVALUACIÓN NIVEL AVANZADO**

Empresa: TELAD

Nombres y Apellidos: CHRISTIAN CHERIN DE LA CAZ

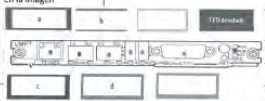
DNI: 08149643

Fecha evaluación: 14-01-2020

Ejemplo: Favor de observar cómo se desarrolló la siguiente pregunta.

Preguntas	Alternativas	Respuesta
1.- ¿Cuál es la ciudad capital del Perú?	a) Lima b) Trujillo c) Arequipa d) NA	A

Desarrollar:

BTS	Alternativas	Respuesta
Indica el conector "b" en la imagen 	a) Transmisión IP b) Conexión a la PC c) Comisionamiento d) Conector SFP	B
Indica el conector "c" en la imagen	a) Transmisión IP b) Conexión a la PC c) Comisionamiento d) Conector SFP	D
Indique lo correcto sobre el UBRIB:	a) Para la comunicación con RRU b) Se conecta mediante FO c) Opera con transceiver de 6 y 8 GB/s d) Todas son correctas e) Solo a y b	E
Indique lo correcto sobre Antena Telner y motor RET:	a) Es una antena que consta de 3 antenas bihadra b) Es una antena que trabaja a 1900 y 2000MHz c) Es un motor eléctrico que se energiza desde la RRU d) Todas son correctas	D
Equipamiento equipo IP Backhaul Router ATN 980C-Básico	Alternativas	Respuesta
¿Cuál tarjeta contiene solo puertos GE/FE eléctricos?	a) DZEMBT b) D1XEBF c) K1EXZS d) DZEMRF	A

*Nota:* Evaluación de conocimientos anual

### Inventario de Repuestos:

Mantener un inventario adecuado de repuestos críticos para asegurarse de que las reparaciones se puedan realizar rápidamente.

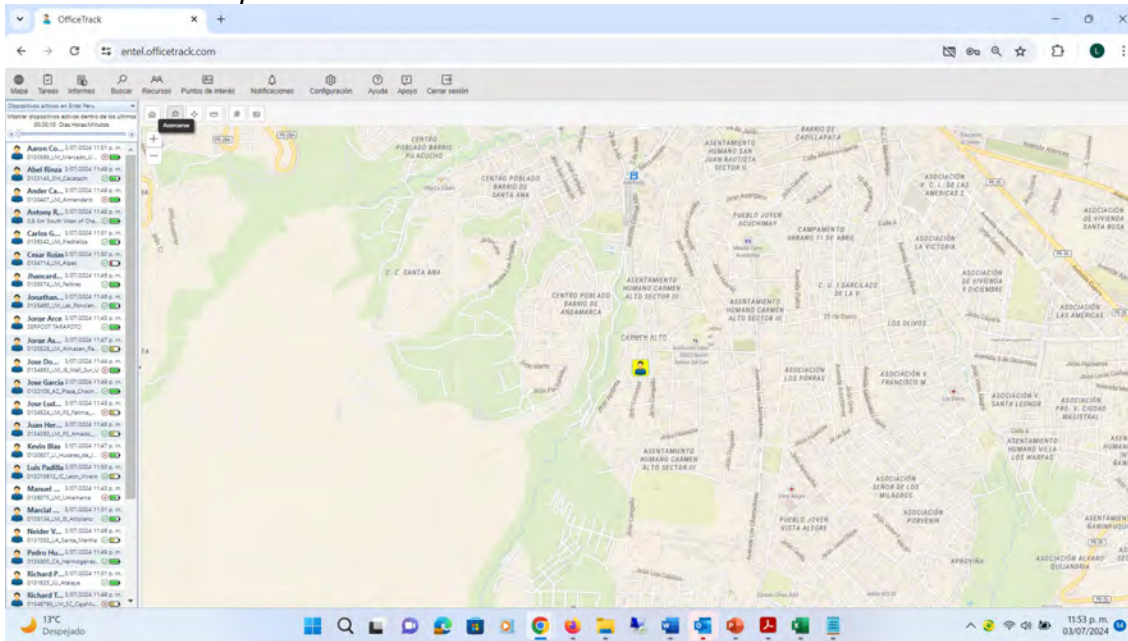
Gestionar el inventario de forma eficiente para evitar escasez y exceso de stock.

### Monitoreo Proactivo:

Implementar sistemas de monitoreo remoto para vigilar el estado del equipo en tiempo real.

Configurar notificaciones automáticas para alertar al personal de mantenimiento sobre posibles problemas antes de que afecten el servicio.

**Figura 96**  
*Monitoreo en tiempo real de atenciones de alarmas*



*Nota:* Monitoreo en tiempo real de atenciones de alarmas

### **Evaluaciones y Auditorías Regulares:**

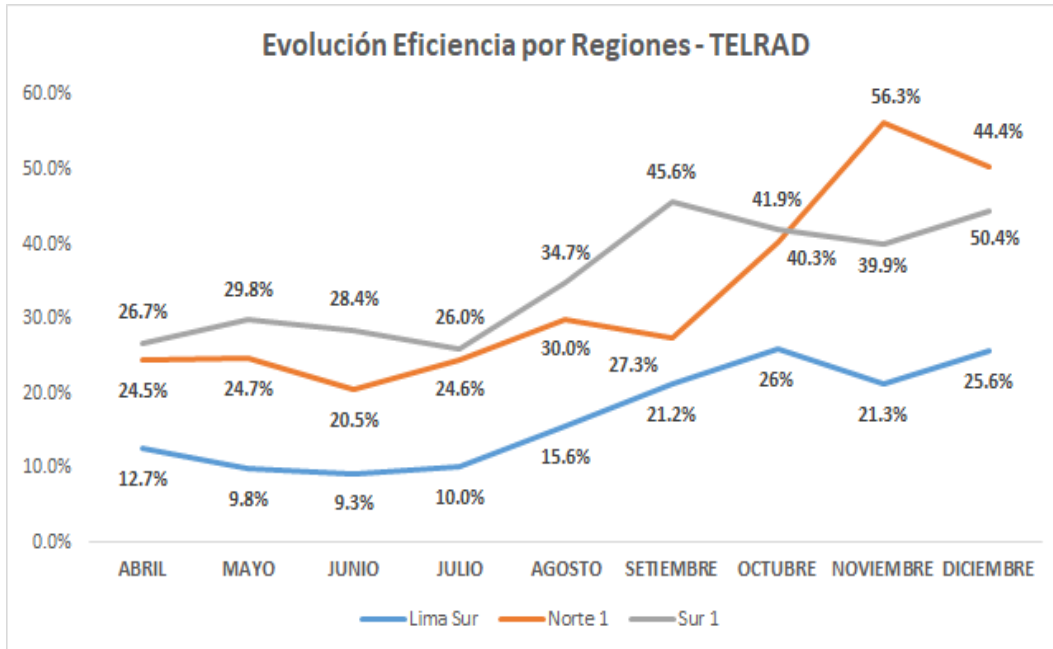
Realizar evaluaciones y auditorías regulares del proceso de mantenimiento para identificar áreas de mejora.

Integrar las mejores prácticas y recomendaciones de las auditorías en los procedimientos operativos estándar.



**Figura 97**

*Evolución de la eficiencia en atenciones 2020*



*Nota: Evolución de la eficiencia en atenciones 2020*

#### **4.4 Alarmas más frecuentes en el sistema de Microondas**

##### **4.4.1 Pérdida de señal (loss of signal los)**

La alarma de pérdida de señal indica que el enlace de comunicación entre dos puntos ha sido interrumpido por completo, las causas y soluciones se detalla a continuación:

**Desalineamiento:** Corresponde a un 2% del total de atenciones de esta alarma, para que exista perdida total debe tener un desajuste muy notorio en la antena lo cual corresponde, un realineamiento completo.

**Obstrucción:** Corresponde a un 10% del total de atenciones de esta alarma, generalmente se da por acción externa y se verifica visualmente la obstrucción. Requiere el levantamiento de la obstrucción o la migración del enlace a un punto donde haya línea de vista libre.

**Energía:** Corresponde a un 60% del total de las atenciones de esta alarma, se da debido a falsos contactos, sulfatación, acción mecánica sobre los cables, etc. Corresponde cambiar o corregir los componentes del sistema de energía.

Fallo de equipo: Corresponde a un 28% del total de las atenciones de esta alarma, corresponde la verificación de las tarjetas de banda base, la verificación de la operatividad de los acopladores y ODUS por el sistema; luego cambiar los componentes averiados.

#### **4.4.2 Deterioro de la calidad de la señal (signal quality degradation)**

Esta alarma indica una disminución en los parámetros de calidad de la señal, como el SNR (Signal-to-Noise Ratio) o el MER (Modulation Error Ratio), a continuación se detalla las causas y la solución.

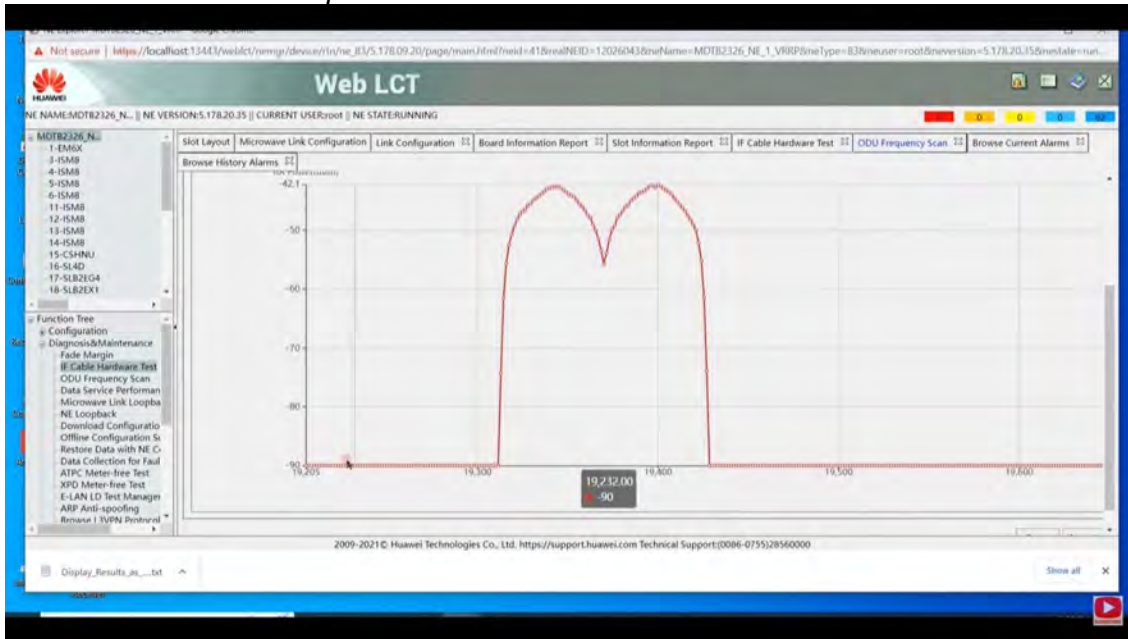
Desalineamiento: Corresponde a un 25% de las atenciones, es el primer descarte que se realiza y se da en implementaciones nuevas, corresponde realizar un nuevo alineamiento.

Interferencia electromagnética: Corresponde a un 20% de las atenciones, a medida que avanza el tiempo se vuelve más frecuente esta alarma. Conectarse al RTN con el Web Lct y hacer un barrido de espectro escaneando las frecuencias en las que trabaja la ODU que presenta la interferencia, el canal debe estar en mute, Utilizar un analizador de espectro para identificar fuentes de interferencias.

Cambiar la frecuencia de operación para evitar la interferencia.

Asegurar un aislamiento adecuado y la correcta instalación de las ODUS y acopladores si es necesario, revisar los voltajes en las ODUS.

**Figura 98**  
Escaneo de frecuencias por ODU



Nota: Escaneo de frecuencia por ODU

Falla por Condiciones Atmosféricas: corresponde a 5%, requiere monitorizar las condiciones meteorológicas y comprobar su impacto en la calidad de la señal, de ser muy recurrente se evalúa cambiar el tipo de polarización de los equipos, también se puede ajustar la potencia de transmisión temporalmente durante condiciones climáticas adversas, es recurrente en temporada de lluvias.

Falla por Equipamiento y agentes mecánicos: corresponde a un 50% de las atenciones, se da generalmente por el ingreso de agua en los conectores, realización de malos acoples.

#### 4.4.3 Interferencias (interference alarm)

Esta alarma se activa cuando se detectan señales no deseadas que interfieren con el enlace MW, se detallan las causas y soluciones.

Interferencias Co-canal: corresponde a 80% de las atenciones, generalmente por una degradación del xpic, requiere el ajuste mecánico llegando a valores mayores a 28 , enlaces con chasis RTN950 y tarjetas ISV3.

Reflejos y Multipath: corresponde a 15% de las atenciones, se da por reflexión de señales en estructuras cercanas causando interferencias, generalmente en entornos con alta densidad de estructuras o en zonas de selva, se requiere el cambio en los parámetros de frecuencia de potencia y frecuencia.

Fuentes externas: Corresponde a un 5% de las atenciones, requiere hacer un barrido de frecuencia con un analizador de espectro y localizar el agente que causa la interferencia y anularlo o cambio de canal, reorientar las antenas para alejar el lóbulo principal de transmisión de la fuente de interferencia.

#### **4.4.4 Fallo de energía (power failure)**

La alarma de fallo de potencia se activa cuando uno o más componentes del sistema experimentan un problema de suministro energético, se detallan las causas y soluciones.

Fuente de Alimentación: corresponde a un 10% de las atenciones, se da por problemas con la fuente de energía primaria o secundaria, se requiere el cambio de la tarjeta PIU en la RTN.

Conexiones Seltas: corresponde a un 80% de las atenciones, se da en conectores de alimentación mal ajustados o cables dañados, requiere el ajuste o cambio.

Sobrecargas: corresponde a un 10% de las atenciones, se da por exceso de consumo de energía que induce fallos en el sistema de alimentación, requiere cambio de componentes dañados.

#### **4.4.5 Sobrecalentamiento (overtemperature)**

Indica que la temperatura interna de un componente ha excedido los umbrales operativos seguros.

Ambiente Caluroso: Corresponde a un 50% de las atenciones, se da en Instalación en lugares con temperaturas ambientales elevadas, generalmente requiere cambios en la infraestructura para mitigar el efecto del ambiente .

Fallos en la Refrigeración: Corresponde a un 45% de las atenciones, se da en ventiladores o disipadores de calor defectuosos, requiere el cambio de los componentes detectados.

Acumulación de Polvo: Corresponde a un 5% de las atenciones por bloqueo de rejillas de ventilación o acumulación de polvo en componentes, requiere la limpieza de los componentes.

#### **4.4.6 Fallo de hardware (hardware failure)**

Detecta fallos en los componentes físicos del sistema, como transmisores, receptores o módulos de procesamiento, se detallan las causas y soluciones.

Desgaste Natural: Corresponde a un 90% de las atenciones, se da en componentes que han llegado al final de su vida útil, se requiere el cambio.

Daños Físicos: corresponde a un 3% de las atenciones se da por golpes, impactos o condiciones adversas que afectan la integridad del hardware, requiere el cambio del componente.

Problemas de Fabricación: corresponde a un 7% de las atenciones, se da por fallos de fabricación o defectos de componentes, requiere el cambio del componente.

#### **4.4.7 Pérdida de sincronización (loss of sync)**

La alarma se activa cuando hay una pérdida de sincronización entre los equipos de transmisión y recepción.

Problemas de Configuración: corresponde a un 95% de las atenciones, se da por parámetros de sincronización incorrectamente establecidos, se requiere la corrección de los parámetros .

Errores de Firmware/Software: Corresponde a un 5% de las atenciones, se da por bugs o incompatibilidades en el firmware o software del equipo, se requiere actualizar de forma local el software.

#### **4.4.8 Bajo nivel de señal (low signal level)**

Esta alarma indica que el nivel de señal recibido es inferior al umbral configurado.

Desalineación de Antenas: Corresponde a un 50% de las atenciones, se da por cambios en la orientación de las antenas, se requiere realizar un nuevo realineamiento.

Obstrucciones o Pérdidas de Fresnel Zone: Corresponde a un 30% de las atenciones, Se da por obstáculos ubicados en la zona de interés, se requiere el cambio del equipamiento por antenas más direccionales.

Mala Configuración de Potencia: Corresponde a un 20% de las atenciones, se da por niveles de potencia de transmisión inadecuados, se requiere verificar si existe un exceso o defecto en el nivel de potencia y modificar este valor como corresponda.

#### **4.5 Alarmas más frecuentes de radio frecuencia**

##### **4.5.1 Rf unit maintenance link failure**

Esta alarma indica que el enlace de mantenimiento entre la unidad RF y la Unidad de Banda Base (BBU) ha fallado.

Conexión Física Defectuosa: Corresponde al 100% de las atenciones, se da a causa de cables dañados o conexiones sueltas entre la RF y la BBU, se revisan las conexiones de FO que corresponde al sector, la alarma viene asociado a un ID.

##### **4.5.2 Unit hardware fault**

Esta alarma indica un fallo en algún componente de hardware de la unidad RF, se detalla a continuación las causas y soluciones de la misma.

Desgaste de Componentes: Corresponde al 90% de atenciones, se da por componentes electrónicos que han llegado al final de su vida útil y requiere el cambio del componente, entre los componentes que fallan son las tarjetas de interfaz en la BBU (UBRI, WBBP, LBBP, UBBP, también puede fallar la RRU.

Daños Físicos: Corresponde a un 3% de las atenciones, se da por Impactos, efectos ambientales adversos o sobrecargas eléctricas, requiere el cambio del componente.

Problemas de Fabricación: Corresponde a un 7% de las atenciones, se da por defectos de fabricación o fallos de componentes.

**Proceso de Solución:**

**Diagnóstico de Componente:**

Conectarse a la BBU con el software de gestión LMT ingresar al log de alarmas e identificar el componente específico que se encuentra alarmado.

Realizar pruebas de funcionalidad detalladas en el módulo afectado para aislar el fallo y poder cambiar el componente. Para esta alarma el NOC ENTEL realiza un diagnóstico previo para prever que los repuestos puedan estar en sitio cuando la alarma sea atendida.

**Inspección Visual:**

Inspeccionar físicamente la unidad por signos de daños visibles como quemaduras, roturas o deformaciones.

Verificar la integridad de las conexiones y asegurarse de que no haya pines doblados o conectores sueltos.

**Reemplazo de Componentes:**

Sustituir los componentes defectuosos con repuestos nuevos.

Asegurarse de que todos los componentes nuevos estén instalados correctamente y conformes con las especificaciones.

**Pruebas Post-Reparación:**

Realizar pruebas de funcionamiento para confirmar que el hardware reparado esté operando adecuadamente.

Monitorear la unidad durante un tiempo para asegurar la eliminación completa del fallo.

**4.5.3 Bbu board maintenance link failure**

Indica que el enlace de mantenimiento de la tarjeta de la Unidad de Banda Base (BBU) ha fallado, se deben conectar a la BBU con el LMT, ingresar al LOG de alarmas y determinar la tarjeta que

se encuentra averiada, las tarjetas cuentan con leds de estado y visualmente también se puede determinar la tarjeta averiada.

### **Causas Comunes:**

Fallos en el Backplane: Problemas en la conexión del backplane de la BBU.

Problemas de Configuración: Parametrización incorrecta o conflictos de direccionamiento, es una causa muy poco probable, pero se da en tarjetas con interfaces a networking, como la CSHO o la CSHLU.

Fallos de Firmware/Software: Errores en el firmware o software de control.

### **Proceso de Solución:**

Inspección de Conexiones: Verificar y asegurar todas las conexiones internas del backplane de la BBU, generalmente basta con retirar la tarjeta y volverla a conectar manualmente y esperar 2 minutos a que levanten los servicios que controla.

Asegurarse de que las tarjetas estén correctamente instaladas en el backplane.

Revisión de Configuración y Firmware: Verificar y corregir los parámetros de configuración, asegurando el direccionamiento correcto, generalmente ocurre cuando el NOC ENTEL realiza actualizaciones.

Actualizar el firmware de la BBU localmente a la última versión para corregir posibles errores y conflictos, en los casos que las actualizaciones remotas fallen.

### **Reinicio y Pruebas:**

Reiniciar la BBU y todas las tarjetas asociadas para aplicar los cambios de configuración. Ejecutar pruebas de enlace de mantenimiento para asegurar la funcionalidad correcta del enlace.

### **Monitoreo Post-Solución:**

Monitorear el estado del enlace de mantenimiento para confirmar la resolución completa del problema, revisar el log de alarmas y verificar que no haya alarmas presentes.

Registro de todos los cambios y resultados de pruebas para futuros seguimientos.



#### **4.5.4 Board hardware fault**

Esta alarma indica un fallo en algún componente de hardware de la tarjeta de la BBU o RF, revisar visualmente las tarjetas de la BBU si presentan alarmas en los leds de estado.

##### **Causas Comunes:**

Desgaste y Envejecimiento: Componentes que han alcanzado el final de su vida útil tarjetas y RRUs.

Daños Físicos: Daños causados por golpes, condiciones adversas o sobrecargas eléctricas.

Problemas de Fabricación: Defectos de fabricación en los componentes.

##### **Proceso de Solución:**

Conectarse localmente a la BBU con el LMT y revisar el log de alarmas para identificar y aislar el componente defectuoso, Ejecutar pruebas funcionales detalladas en cada módulo de la tarjeta.

Revisar visualmente la placa por signos de daño físico, como quemaduras o componentes desplazados, Verificar que todas las conexiones están aseguradas y no hay pines doblados.

Sustituir los componentes dañados con repuestos nuevos.

Asegurar la adecuada instalación y compatibilidad de los componentes nuevos.

Realizar pruebas exhaustivas después de la reparación para asegurar que el hardware está funcionando correctamente.

Monitorear el rendimiento de la tarjeta durante un periodo para confirmar la durabilidad de la solución.

#### **4.5.5 Unit clock problem**

Indica un problema relacionado con la sincronización del reloj de la unidad RF o BBU.

##### **Causas Comunes:**

Desincronización: Desincronización del GPS o entre diferentes dispositivos.

Componentes de Reloj Defectuosos: Cristales, osciladores u otros componentes de tiempo defectuosos.

Problemas de Configuración: Parámetros de sincronización incorrectos o ajustes de configuración inadecuados.

#### **Proceso de Solución:**

Revisar los ajustes de sincronización y los parámetros de configuración del GPS, Ajustar la sincronización de acuerdo con las especificaciones de la red.

Diagnosticar el estado del GPS, conectores y cables. Sustituir cualquier componente de GPS defectuoso que esté causando desincronización.

Actualizar el firmware de la unidad para resolver bugs o problemas de sincronización conocidos.

Realizar pruebas de sincronización para confirmar el correcto funcionamiento del GPS. Monitorear la unidad para asegurarse de que se mantenga la sincronización adecuada a lo largo del tiempo.

#### **4.5.6 Rf unit rx channel rtwp/rssi unbalanced**

La alarma "RF Unit RX Channel RTWP/RSSI Unbalanced" se activa cuando hay un desequilibrio en la Potencia Total Recepcionada del Canal (RTWP) o en la Intensidad de la Señal Recepcionada (RSSI) entre los diferentes canales de recepción en la unidad RF.

#### **Causas Comunes:**

Desalineación de Antenas: Problemas de instalación o movimientos que han desalineado las antenas.

Interferencias Electromagnéticas: Fuentes de interferencia cercanas que afectan de manera diferente los canales de recepción.

Problemas en los Cables: Conectores sueltos, cables dañados o conexiones defectuosas que resultan en una recepción inconsistente.

Defectos en los amplificadores de bajo ruido (LNA) el cual requiere cambio de RRU, filtros o mezcladores en los módulos de recepción.

#### **Proceso de Solución:**

Verificación de Antenas: Utilizar herramientas de alineación para asegurarse de que las antenas estén correctamente alineadas en Tilt y Azimut según DataFill. Realizar ajustes según sea necesario.

Revisión de Cables y Conectores: Inspeccionar todos los cables y conectores visualmente y mecánicamente con las manos para asegurar que no haya daños ni conexiones sueltas. Reemplazar cables dañados y asegurar todas las conexiones.

Identificación de Interferencias:

Analizador de Espectro: Utilizar un analizador de espectro para identificar y localizar fuentes de interferencia externa. Implementar soluciones como cambiar la frecuencia de operación del enlace de mantenimiento, agregar filtros RF o ajustar la orientación de las antenas.

Diagnóstico de Componentes: Evaluar el estado de los LNA, filtros y mezcladores utilizando herramientas de diagnóstico.

Pruebas de Recepción: Realizar pruebas de recepción para asegurarse de que los canales estén equilibrados. Utilizar equipos de medición de señal para verificar RTWP/RSSI.

Monitoreo a Largo Plazo: Monitorear el sistema durante un periodo para confirmar la resolución del problema. Utilizar sistemas de gestión de red (NMS) para el monitoreo continuo.

#### **4.5.7 Rf unit rx channel rtwp/rssi too low**

La alarma "RF Unit RX Channel RTWP/RSSI Too Low" se activa cuando la Potencia Total Recepcionada del Canal (RTWP) o la Intensidad de la Señal Recepcionada (RSSI) es inferior a los umbrales configurados.

#### **Causas Comunes:**

Desalineación de Antenas: resultante de cambios climáticos, movimientos mecánicos o instalación incorrecta.

Obstrucciones en la Línea de Vista: edificaciones, vegetación u otros obstáculos que bloquean la señal de RF.

Problemas de Potencia de Transmisión: Potencia de transmisión inadecuada o configuraciones erróneas de los parámetros de transmisión.

Interferencias: Interferencias electromagnéticas de dispositivos operando en la misma frecuencia o adyacentes.

Degradación de Componentes: Fallos en los componentes de la cadena de recepción, como LNAs o módulos de filtro.

### **Consecuencias:**

**Reducción de la Cobertura:** Una señal de recepción baja puede reducir significativamente la cobertura de la red.

**Interrupciones en el Servicio:** Pérdida de paquetes o baja calidad de la señal, impactando la experiencia del usuario.

### **Proceso de Solución:**

#### **Inspección Física:**

**Revisión de Alineación de Antenas:** Utilizar herramientas de alineación para ajustar correctamente las antenas. Verificar regularmente para prevenir desalineaciones futuras.

**Eliminación de Obstrucciones:** Realizar una inspección visual de la línea de vista y eliminar cualquier obstrucción que pueda estar afectando la señal.

#### **Ajuste de Potencia de Transmisión:**

**Revisión de Configuraciones:** Verificar los niveles de potencia de transmisión y ajustarlos según las especificaciones del fabricante. Asegurarse de que los parámetros de configuración sean correctos.

**Prueba de Potencia:** Utilizar equipos de medición para confirmar que la potencia de transmisión está dentro de los límites aceptables.

#### **Identificación y Mitigación de Interferencias:**

**Analizador de Espectro:** Utilizar un analizador de espectro para identificar fuentes de interferencia.

**Mitigación de Interferencias:** Cambiar frecuencias de operación para minimizar interferencias y utilizar filtros para reducir el impacto de las interferencias electromagnéticas.

#### **Mantenimiento de Componentes:**

**Diagnóstico de Componentes:** Inspeccionar los LNAs, filtros y otros componentes de recepción utilizando herramientas de diagnóstico.

**Reemplazo de Componentes Defectuosos:** Sustituir cualquier componente que falle o funcione fuera de las especificaciones recomendadas.

#### **Pruebas y Validación:**

**Pruebas de Recepción:** Realizar pruebas exhaustivas para verificar que el nivel de la señal esté dentro de los umbrales aceptables. Utilizar herramientas de medición precisa para asegurar la exactitud.

**Monitoreo Permanente:** Implementar un programa de monitoreo continuo para asegurar la estabilidad de la señal a lo largo del tiempo. Utilizar sistemas NMS para recopilar y analizar datos de rendimiento.

## Capítulo V:

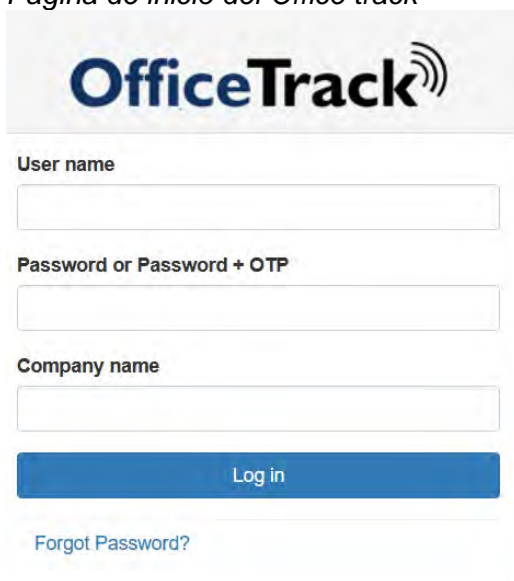
### OfficeTrack y Procedimientos de Gestión en Operaciones

#### 5.1 OfficeTrack en el operador Entel Perú

La gestión eficiente de recursos y tareas es fundamental para cualquier operador de telecomunicaciones. ENTEL Perú, una de las principales empresas de telecomunicaciones del país, ha adoptado la plataforma OfficeTrack para optimizar sus operaciones. OfficeTrack es una herramienta integral que facilita la gestión de empleados en campo, tareas de mantenimiento y logística mediante su plataforma basada en la nube. Este informe examina en detalle cómo ENTEL Perú implementa OfficeTrack para mejorar su eficiencia operativa, detallando las características, aplicaciones y beneficios obtenidos.

#### Figura 99

*Página de inicio del Office track*



The image shows the login interface for OfficeTrack. At the top, the 'OfficeTrack' logo is displayed in blue. Below the logo, there are three input fields: 'User name', 'Password or Password + OTP', and 'Company name'. Each field is a simple white box with a light gray border. Below the 'Company name' field is a prominent blue button with the text 'Log in' in white. At the bottom left of the form area, there is a blue link that says 'Forgot Password?'.

*Nota:* Página de inicio del Office track

#### 5.1.1 Descripción de Office Track

Office Track es una solución de gestión de servicios de campo que proporciona funcionalidades avanzadas para la administración de tareas, control de empleados en campo, y monitoreo en tiempo real. La plataforma ofrece una interfaz amigable y accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet.

## Características Principales:

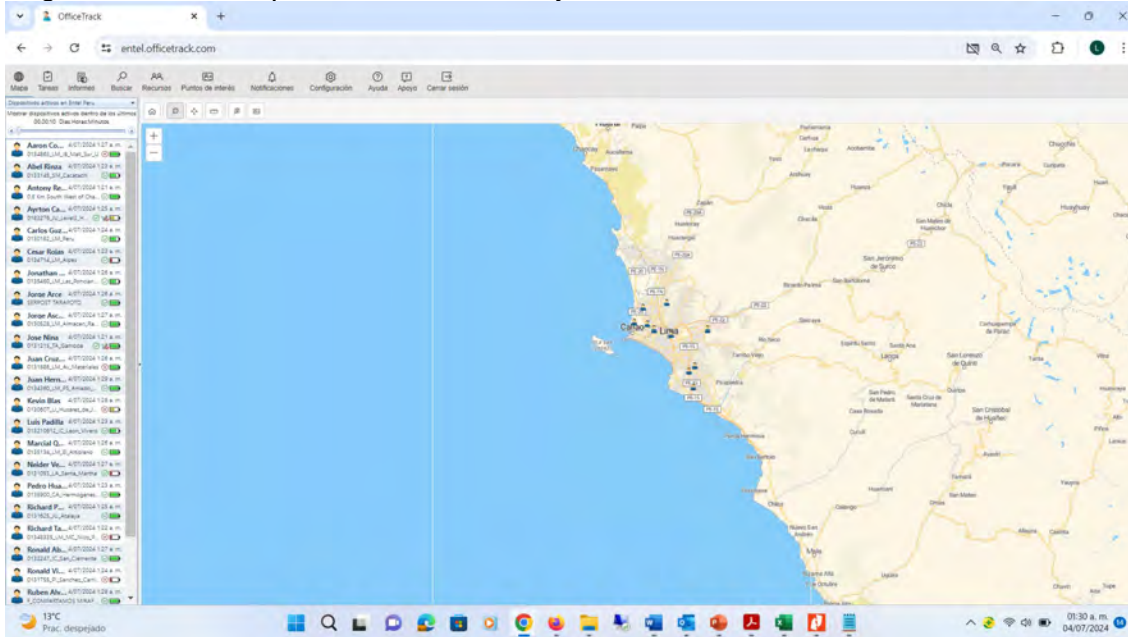
### Seguimiento en Tiempo Real:

Monitoreo de la ubicación y actividades de los empleados mediante GPS.

Registro de entradas y salidas.

**Figura 100**

*Seguimiento en tiempo real de tareas en ejecución*



Nota: Seguimiento en tiempo real de tareas en ejecución

## Gestión de Tareas y Órdenes de Trabajo:

Creación, asignación y seguimiento de órdenes de trabajo.

Priorización de tareas según urgencia y criticidad.

**Figura 101**

*Seguimiento de tareas por estados en tiempo real*

Fecha *	Celular	Nombre	Tipo de entrada	Fuente	Ubicación	Información del formulario
22/07/2022 8:11 p. m.	+512977962770	Alan Huatica	7 Finalizado	App	00791463_NATUCALUTKA	
22/07/2022 6:10 p. m.	+512977962770	Alan Huatica	Crear Formulario de Tarea	App	1.2 Km West of Quimera (Estimated Address)	ACTIVIDADES VARIAS (Versión 10)
22/07/2022 1:27 p. m.	+512977962770	Alan Huatica	6 En Progreso	App	0130396_LM_Ma_Paso	
22/07/2022 1:26 p. m.	+512977962770	Alan Huatica	5 Llegado	App	0130396_LM_Ma_Paso	
22/07/2022 1:15 p. m.	+512977962770	Alan Huatica	4 En Ruta	App	0134537_LM_Pueblo_Aña	

Nota: Seguimiento de tareas por estados en tiempo real

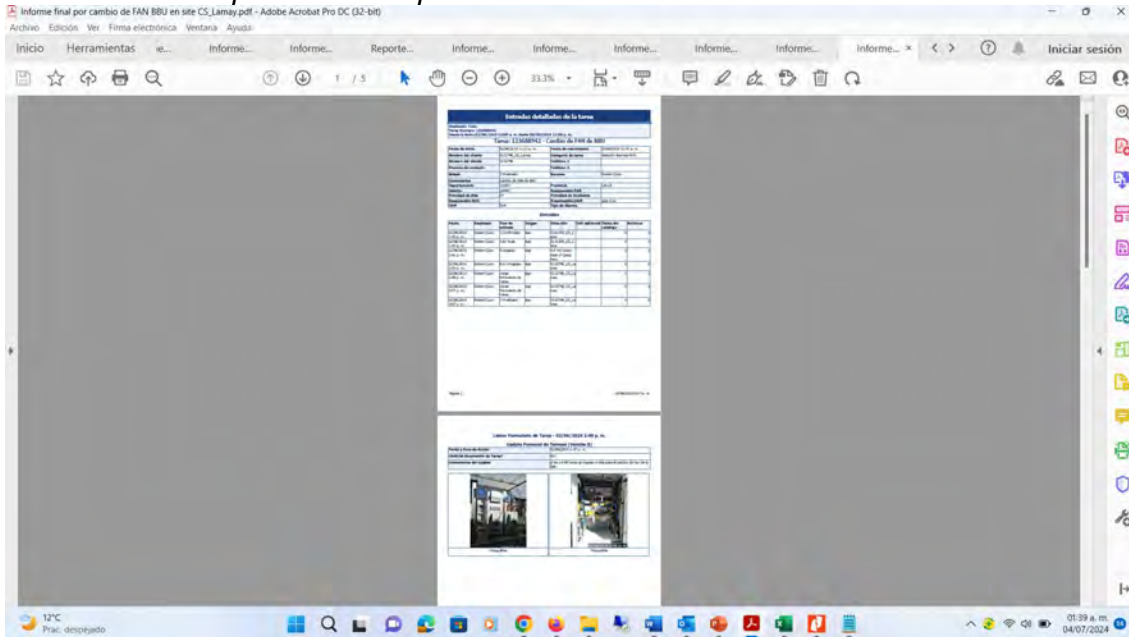
## Documentación y Reportes:

Registro digital de inspecciones, reparaciones y mantenimiento.

Generación de informes detallados para análisis y auditoría.

**Figura 102**

*Generación de reportes en tiempo real*



*Nota:* Generación de reportes en tiempo real

**Notificaciones y Avisos:**

Envío automático de notificaciones sobre nuevas tareas, actualizaciones y recordatorios.

**Figura 103**

*Tareas Notificadas en estado Solicitado*

✓	124369459	ACTIVIDADE...	P1	0130413_LM_Ramon_Rive...		CAMBIO DE ...	22/12/2022 8...		1.Solicitado	2
□	124369622	ACTIVIDADE...	P4	0131319_CS_Quiquijana	Mario Vargas	cambio del c...	22/12/2022 2...		3.Confirmado	2
□	124369866	ACTIVIDADE...	P1	0132057_CA_Rep_Cutervo	Victor Roncal	CAMBIO DE ...	23/12/2022 1...		3.Confirmado	2
□	124381152	MP GEE - 25...	P4	0135177_LM_Mamacona	Juan Hernan...	Mantenimient...	18/01/2023 8...		4.En Ruta	1
□	124381191	ACTIVIDADE...	P4	0135177_LM_Mamacona	Juan Hernan...	cambio de m...	18/01/2023 9...		6.En Progreso	1

*Nota:* Tareas Notificadas en estado Solicitado

**Integración con Otros Sistemas:**

Capacidad de integración con sistemas ERP, CRM y otros sistemas empresariales de ENTEL.

**5.1.2 Implementación de office track en Entel Perú**

**Evaluación de Necesidades:**

ENTEL Perú llevó a cabo una evaluación exhaustiva de sus necesidades operativas y desafíos antes de implementar Office Track.



Identificación de áreas clave de mejora, como la gestión de empleados en campo, la eficiencia en la asignación de tareas, y la necesidad de informes detallados.

### Capacitación del Personal:

Capacitación intensiva a los empleados para el uso efectivo de la plataforma.

Talleres y sesiones prácticas para familiarizar al personal con la interfaz de Office Track y sus funcionalidades.

**Figura 104**

*Capacitación en los estados del Office track*



*Nota: Capacitación en los estados del Office track*

### 5.1.3 Conectividad y monitoreo en campo:

#### Seguimiento de Cuadrillas:

Todos los empleados en campo equipados con dispositivos móviles compatibles con OfficeTrack.

Monitoreo en tiempo real de la ubicación y actividades mediante GPS, asegurando la transparencia y el cumplimiento de las rutas asignadas.

#### Registro de Entradas y Salidas:

Implementación de registros digitales de inicio y finalización de turnos, mejorando la precisión de la asistencia y las horas trabajadas.

#### **5.1.4 Gestión y asignación de tareas:**

##### **Creación de Órdenes de Trabajo:**

Creación de órdenes de trabajo detalladas desde la oficina central, que incluyen especificaciones, ubicación y prioridad.

Asignación automática de tareas a los empleados disponibles, basándose en su proximidad y capacidades.

##### **Priorización de Tareas:**

Tareas urgentes y críticas priorizadas automáticamente, asegurando una rápida respuesta y resolución.

Monitoreo constante del estado de las tareas asignadas para garantizar el cumplimiento y la eficiencia.

#### **5.1.5 Documentación y seguimiento:**

##### **Registro Digital de Actividades:**

Los empleados registran digitalmente todas las inspecciones, reparaciones y actividades de mantenimiento.

Adjuntar fotos, videos y notas al registro, proporcionando un historial completo y detallado de cada intervención.

##### **Generación de Informes:**

Generación automática de informes detallados que incluyen el rendimiento, el cumplimiento de tareas y la utilización de recursos.

Utilización de informes para análisis y toma de decisiones, identificando áreas de mejora y optimización.

#### **5.1.6 Notificaciones y comunicación:**

##### **Envío de Notificaciones:**

Notificaciones automáticas enviadas a las cuadrillas sobre nuevas tareas, actualizaciones y recordatorios.

Facilita una comunicación eficiente entre la oficina central y el personal en campo.

**Actualizaciones en Tiempo Real:**

Permite a los empleados actualizar el estado de las tareas en tiempo real, asegurando que la información esté siempre actualizada y accesible.

**5.1.7 Integración con sistemas empresariales:**

**Integración con ERP y CRM:**

OfficeTrack integrado con los sistemas ERP y CRM de ENTEL Perú, permitiendo una gestión holística de las operaciones.

Sincronización de datos entre sistemas, garantizando la coherencia y la disponibilidad de la información a lo largo de la organización.

**5.1.8 Beneficios de la implementación de office track en Entel Perú**

**Mejora de la Eficiencia Operativa:**

Reducción del tiempo de respuesta a incidencias y tareas de mantenimiento.

Optimización de rutas y asignación de tareas basada en la proximidad y disponibilidad del personal.

**Mayor Transparencia y Control:**

Monitoreo en tiempo real de las actividades de campo, asegurando la transparencia y el control de las operaciones.

Registro preciso de las horas trabajadas y el cumplimiento de tareas, mejorando la responsabilidad.

**Calidad del Servicio:**

Atención rápida y eficiente de las incidencias, mejorando la satisfacción del cliente.

Registro detallado de todas las actividades de mantenimiento, asegurando un historial completo y accesible.

**Toma de Decisiones Basada en Datos:**

Generación de informes detallados permite el análisis y la identificación de áreas de mejora.

Utilización de datos precisos y actualizados para tomar decisiones informadas y estratégicas.

#### **5.1.9 Mejoras en operación y mantenimiento**

- **Mejora en la Atención de Incidencias**

- Entel Perú implementó OfficeTrack para gestionar las incidencias en su red de telecomunicaciones. Gracias al monitoreo en tiempo real y la asignación eficiente de tareas, la empresa logró reducir el tiempo de respuesta a las incidencias en un 40%, mejorando significativamente la satisfacción del cliente.

- **Optimización de Rutas**

- Utilizando las funcionalidades de seguimiento y monitoreo de OfficeTrack, Entel Perú optimizó las rutas de sus empleados en campo. Esto resultó en una reducción del 20% en el consumo de combustible y una mejora del 15% en la productividad del personal.

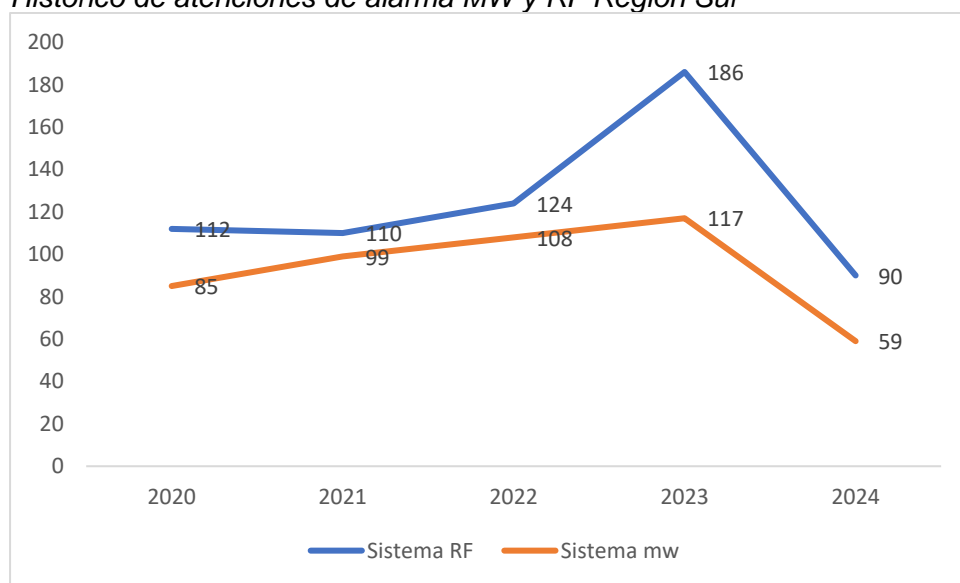
#### **5.2 Histórico de Atenciones por sistema**

Desde el 2020 hasta el 2024, Entel ha experimentado un notable incremento en la atención de alarmas relacionadas con sus sistemas de microondas y radiofrecuencia, lo que refleja tanto el crecimiento de la red como la complejidad de mantener altos niveles de servicio. Durante este período, Entel ha implementado avanzadas soluciones de monitoreo y gestión de alarmas para detectar y resolver problemas de manera eficiente, reduciendo así los tiempos de inactividad y mejorando la respuesta ante fallos de red. La incorporación de tecnologías de inteligencia artificial y machine learning ha permitido predecir fallos y optimizar el mantenimiento preventivo, lo cual ha sido crucial para gestionar el creciente volumen de datos y alarmas. Además, la capacitación continua del personal técnico y la adopción de normas y protocolos internacionales han sido fundamentales para asegurar un manejo adecuado de las alarmas,

mejorando la disponibilidad y fiabilidad de la infraestructura de comunicación. Como resultado, Entel no solo ha logrado mantener la calidad del servicio frente a un entorno tecnológico en constante evolución, sino que también ha fortalecido su capacidad para ofrecer soluciones de conectividad robustas y eficientes a sus usuarios, en la figura – se muestra la evolución de las atenciones de alarma por año desde el 2020 que se implementó el OfficeTrack

**Figura 105**

*Histórico de atenciones de alarma MW y RF Región Sur*



*Nota: Histórico de atenciones de alarma MW y RF Región Sur*

### **5.3 Análisis de la evolución en la eficiencia de las atenciones de alarmas en Microondas y Radiofrecuencia**

Desde la implementación de OfficeTrack en 2020, la eficiencia de las cuadrillas de Entel ha experimentado una notable mejora, destacándose especialmente en la resolución efectiva de alarmas en la primera visita. Esta herramienta avanzada de gestión de campo ha permitido una optimización significativa en la planificación y asignación de tareas mediante la geolocalización de alarmas y la optimización de rutas, reduciendo el tiempo de desplazamiento. Además, el acceso inmediato a información crítica, como manuales y el historial de alarmas, ha preparado mejor a los técnicos para abordar problemas in situ, eliminando la necesidad de múltiples visitas. OfficeTrack también facilita el monitoreo y análisis de rendimiento, lo que permite identificar áreas

de mejora y aplicar estrategias correctivas, reduciendo las visitas inefectivas y aumentando la resolución integral de problemas. Estas mejoras logísticas y operativas, respaldadas por datos en tiempo real y una comunicación más eficaz, han resultado en un aumento significativo de la eficiencia de las cuadrillas y una reducción de costos operativos, beneficiando tanto a la empresa como a sus usuarios finales.

**Tabla 2**

*Cantidad de atenciones por cuadrilla zona Sur*

Cuadrillas	2020		2021		2022		2023		2024	
	V = 1	V > 1	V = 1	V > 1	V = 1	V > 1	V = 1	V > 1	V = 1	V > 1
Cusco 01	41	24	58	19	67	9	85	9	43	4
Cusco 02	35	22	47	18	59	8	79	10	38	5
Zonal 01	10	6	0	0	18	7	22	11	8	5
Apurímac 01	15	12	20	12	29	2	38	4	19	2
Madre de Dios 01	16	16	25	10	31	2	39	6	20	5
Sub Total	117	80	150	59	204	28	263	40	128	21
<b>Total, atenciones</b>	<b>197</b>		<b>209</b>		<b>232</b>		<b>303</b>		<b>149</b>	

*Nota:* Cantidad de atenciones por cuadrilla zona Sur

**Tabla 3**

*Eficiencia por cuadrilla*

Cuadrillas	2020	2021	2022	2023	2024
Cusco 01	0.63	0.75	0.88	0.90	0.91
Cusco 02	0.61	0.72	0.88	0.89	0.88
Zonal 01	0.63	0.00	0.72	0.67	0.62
Apurímac 01	0.56	0.63	0.94	0.90	0.90
Madre de Dios 01	0.50	0.71	0.94	0.87	0.80

*Nota:* Eficiencia por cuadrilla

#### 5.4 Análisis de los promedios de Atenciones en Mtto preventivo

La gestión eficiente del mantenimiento preventivo de las estaciones de telecomunicaciones en Cusco, Apurímac y Madre de Dios es crucial para garantizar la continuidad y calidad del servicio, especialmente en una red con 172 sitios a visitar, priorizados según su criticidad: P0 con un promedio de 3 días para mantenimiento, P1 con 2 días, P2 con 1 día, y tanto P3 como P4 con 1 día. Con 6 sitios P0, estas estaciones críticas requieren atención inmediata para evitar interrupciones significativas en el servicio, demandando un equipo técnico especializado con acceso a todas las herramientas y piezas necesarias. Las 18 estaciones P1,

de alta importancia, ofrecen un margen breve pero viable de 2 días para resolver problemas y evitar impactos profundos, manejadas mediante rotaciones estratégicas del personal y optimización de movilidad. Los 19 sitios P2, con un tiempo de resolución de 1 día, tienen un impacto regional considerable y necesitan ser incluidos en la agenda diaria de las cuadrillas para asegurar máxima eficiencia. Con 48 sitios P3 y 83 P4, también con 1 día de tiempo de resolución, la flexibilidad en su gestión permite ser atendidos durante momentos de menor carga laboral o integrados en recorridos cercanos sin afectar las prioridades más altas. Diversos subsistemas se atienden durante el mantenimiento preventivo: equipos electrónicos (revisión y actualización de firmwares, verificación de conexiones), energía (comprobación de baterías, mantenimiento de generadores), clima (control ambiental y mantenimiento de aire acondicionado), SPAT (verificación de sistemas de distribución y protecciones contra fallas eléctricas) e infraestructura (inspección estructural y mantenimiento de cabinas y soportes). La implementación de un sistema de gestión robusto, con herramientas avanzadas de planificación y monitoreo, junto con una gestión ágil de recursos y un equipo técnico bien coordinado, garantiza el cumplimiento de los tiempos de resolución estipulados, manteniendo la calidad del servicio, reduciendo el tiempo de inactividad y optimizando los costos operativos. La eficiencia en el mantenimiento preventivo de estas estaciones depende en gran medida de la correcta priorización, la gestión estratégica de recursos y la atención específica a los subsistemas, permitiendo a Entel mantener una red eficiente y confiable que asegure la continuidad y calidad del servicio en estas regiones críticas.

En el cuadro que se aprecia se muestra las cantidades por mes por las tres zonas y los recuadros en amarillo indican los sitios que ya se realizaron.

Las estaciones P4 se visitan en MP de forma cada dos años, generalmente con un recurso adicional para esta tarea.

**Tabla 4***Programación MP de sitios 2024 por prioridades*

Prioridad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P0	1	1	1	1	1	1							6
P1	2	2	2	2	2	2	2	2	2				18
P2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2			19
P3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48
Total	9	8	9	9	9	9	8	8	8	6	4	4	91

*Nota: Programación MP de sitios 2024 por prioridades*



## Conclusiones

1.- Al dar a conocer los procesos de mantenimiento correctivo y preventivo de la infraestructura de microondas y radiofrecuencia de Entel Perú, se identificaron procedimientos como por ejemplo el diagnóstico de fallas, el análisis del histórico del nodo, el uso de los manuales de los equipos y el manejo adecuado de los equipos, así como las herramientas para la solución de averías; mostraron en los indicadores un proceso de mejora continua en las atenciones de averías. Implementar procedimientos específicos permitió optimizar la operatividad y disponibilidad de la red, haciendo que las atenciones tengan secuencias lógicas y definidas. La capacitación permanente del personal técnico es una condición fundamental para asegurar la calidad y continuidad del servicio, reduciendo el tiempo de inactividad y mejorando la eficiencia global del sistema.

2.- La comprensión detallada de los principios teóricos de funcionamiento de los equipos Huawei de microondas y radiofrecuencia es fundamental para que el personal técnico pueda identificar y resolver problemas de manera más efectiva, implementando ajustes y mejoras de acuerdo con los principios técnicos de los equipos en la red de Entel Perú, lo cual ha mostrado una mejora gradual en la eficacia de las atenciones. La capacitación técnica en estos principios es esencial para mantener una infraestructura robusta y eficiente.

3.- La arquitectura de los equipos de microondas y radiofrecuencia de Huawei en las estaciones base de Entel muestra una configuración avanzada que favorece la estabilidad y rendimiento de la red. La revisión del funcionamiento de esta arquitectura ha permitido identificar elementos críticos y redundancias necesarias como por ejemplo en el equipamiento de energía para la continuidad del servicio. Así, cualquier debilidad estructural puede ser abordada y rectificadas con precisión, fortaleciendo la operatividad de la red.

4.- La identificación de las principales causas de avería en los equipos de microondas y radiofrecuencia de Entel Perú ha revelado problemas comunes como interferencias, problemas con el suministro de energía y fallos en el hardware de los equipos. Abordar estas causas

mediante la implementación de soluciones específicas y el mantenimiento preventivo riguroso ha permitido reducir las interrupciones del servicio y mejorar la fiabilidad de la red.

5.- A pesar de tener un procedimiento estándar bien estructurado, se requiere de la experiencia, el uso de los manuales y el soporte de ingeniería para garantizar que todas las operaciones de las cuadrillas se realicen de manera consistente, facilitando la formación y evaluación del desempeño; esto mejora sustancialmente la eficiencia de la red y reduce el tiempo de respuesta ante fallos.

## **Recomendaciones**

Desarrollar y documentar procedimientos que sean actualizados ante los cambios continuos de tecnología para el mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos de microondas y radiofrecuencia, ayudará a mejorar aún más los procesos ya establecidos. Asegurar que estos procedimientos incluyan guías sencillas de entender y referencias rápidas para el personal técnico, puede mejorar los procesos orientados al seguimiento preciso de cada paso y punto crítico de una avería, garantizando una implementación constante y precisa de los procedimientos definidos, optimizando la operatividad y disponibilidad de la red.

Proporcionar capacitaciones de ingreso para nuevo personal sobre los principios teóricos de funcionamiento de los equipos Huawei de microondas y radiofrecuencia, ayudaría a tener una adaptación rápida del personal técnico. Adicionalmente implementar programas de formación continua y técnicas avanzadas para garantizar una atención de eventos eficiente, ya que las condiciones cambiantes del ambiente en las tres zonas determinan una casuística particular, mostrando diferencias apreciables entre Cusco, Apurímac y Madre de Dios. En este tiempo de administración de la red es un reto el fomentar la comunicación efectiva entre los equipos de operación, mantenimiento y gestión para asegurar que cualquier problema identificado se aborde de manera oportuna y eficaz.

Es una acción de mejora la implementación de bots adicionales automatizados en el OfficeTrack en tiempo real, para sacar reportes de incidencias repetitivas que hayan causado cortes o intermitencias de servicio, en infraestructura de microondas y radiofrecuencia; este procedimiento permitiría mayor predictibilidad de futuras averías en estos sistemas, procurando minimizar las futuras interrupciones del servicio.

Mejorar la disponibilidad de equipos de reemplazo y piezas críticas ayudará a reducir los tiempos de afectación de los nodos en Entel; lo cual requiere establecer un ciclo de evaluación en el inventario, donde se revisen regularmente los activos nuevos, usados operativos y usados averiados, esto depende de implementar maquetas de prueba en cada sede.

## Referencias Bibliográficas

- Carrasco, C., & Roddy, D. (2015). Redes de transmisión por microondas. McGraw-Hill.
- Skolnik, M. I. (2013). Introducción a los sistemas de radar. McGraw-Hill
- Goldsmith, A. (2005). Comunicaciones inalámbricas. Cambridge University Press.
- Rappaport, T. S. (2016). Comunicaciones inalámbricas, principios y práctica. Prentice Hall.
- Anderson, P. (2018). Ingeniería de transmisión digital. Wiley.
- Peterson, L. (2018). Comunicaciones Digitales. Pearson.
- Collins, J. (2019). Principios de los sistemas de radar modernos. Wiley.
- Knapp, R. (2012). Introducción a las comunicaciones por satélite. Artech House.
- Balanis, C. A. (2016). Teoría de las antenas, análisis y diseño. Wiley.
- Eberspächer, J., Vogel, H., Bettstetter, C., & Hartmann, C. (2006). GSM – arquitectura, protocolos y servicios. Springer-Verlag.
- Mouly, M., & Pautet, M. (1992). El sistema GSM para comunicaciones móviles, Publicado por los autores
- Farren, J., & Dunmore, C. (2002). Tecnología de comunicaciones inalámbricas y por microondas. Newnes.
- Eberspächer, J., Vogel, H.-J., Bettstetter, C., & Hartmann, C. (2002). GSM –Arquitectura, Protocolos y servicios. John Wiley & Sons.
- De Panizza, A., & de Falco, F. (2003). La gestión de redes de telecomunicaciones en el siglo XXI. Springer.
- Tsoukala, V., & Karetos, G. (2000). Diseño y gestión de redes de telecomunicaciones. los Press.
- Entel Perú. (2023). Informe de Operación y Mantenimiento de Redes de Telecomunicaciones.
- 3GPP. (2015). Especificaciones técnicas del grupo de servicios y aspectos del sistema; Gestión de telecomunicaciones; Redes Autoorganizadas (SON); Conceptos y requisitos (Versión 13). 3GPP TS 32.500.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2008). Evolución 3G: HSPA y LTE para Banda Ancha Móvil. Academic Press.
- Holma, H., & Toskala, A. (2000). WCDMA para UMTS: Acceso Radio para comunicaciones Móviles de tercera generación. John Wiley & Sons.

Parkvall, E., Astely, D., & Dahlman, E. (2011). 4G: LTE/LTE-Avanzado para banda ancha Móvil. Academic Press.

Ghosh, A., Muhamed, R., & Olsson, M. (2012). LTE-Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced. John Wiley & Sons

Chen, S., & Qian, H. (2020). 5G Sistemas inalámbricos. Springer.

Guo, F., & Ouyang, W. (2016). Fundamentos de planificación de redes 3G/3G/4G: Evolución al 5G. Wiley.

Chih-Lin, I., Rowell, C., Han, S., Xu, Z., Li, G. Y., & Pan, Z. (2017). "Toward green and soft: A 5G perspective." IEEE Communications Magazine

Ericsson. (2020). "La evolución del Backhaul de microondas." Ericsson Technology Review.

Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C., & Zhang, J. C. (2014). "What will 5G be?". IEEE Journal on Selected Areas in Communications,