

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**SOLUCIÓN PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE BACKHAUL  
DE LAS ESTACIONES BASE EN 3G -4G**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:  
HENRY LOAYZA GAMBOA**

**PROMOCIÓN  
2010-II**

**LIMA-PERÚ  
2014**

Al amor de mi vida Luz por estar presente, ser mi inspiración y parte muy importante en mi superación. A mi familia por su apoyo permanente para poder completar el presente informe.

**SOLUCIÓN PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE BACKHAUL  
DE LAS ESTACIONES BASE EN 3G -4G**

## SUMARIO

El presente informe se explica la solución para aumentar la capacidad de backhaul de las estaciones base en 3G -4G haciendo uso de la tecnología XPIC que permite el uso de la misma frecuencia pero en distintas polarizaciones.

La solución era necesaria por cuanto la demanda de servicios de telefonía 3G y 4G van en aumento y ello se nota especialmente en algunos balnearios de veraneo en donde acuden cientos de visitantes, lo cual aumenta el consumo habitual de los servicios de telefonía e internet.

El aumento de la capacidad del Backhaul inalámbrico es recomendable cuando el uso de fibra es costoso o dificultoso de implementar por diferentes motivos.

Existen diversas soluciones tanto para redes privadas o GSM, en los cuales se optimiza el canal, ya sea por medio de compresión o digitalización de las comunicaciones. Pero en el caso del backhaul, como un medio transparente de comunicaciones, la solución debe estar aislada de los protocolos de comunicaciones. Es ahí donde surge la opción de utilizar algunas metodologías, tal como el Radio LAG (Link Agregation) y el CCDP (Polarización Dual Co-Canal) la cual es optimizada con la tecnología XPIC y que es aplicada a la solución del caso de estudio presentado.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 Descripción del Problema .....	3
1.2 Objetivos del trabajo .....	3
1.3 Evaluación del problema .....	3
1.4 Alcance del trabajo.....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	5
2.1 Evolución de los sistemas móviles .....	5
2.1.1 Primera Generación Móvil (1G).....	5
2.1.2 Segunda Generación Móvil (2G) .....	5
2.1.3 Tercera Generación Móvil (3G).....	7
2.1.4 Cuarta Generación (4G).....	8
2.2 Soluciones tecnológicas para el backhaul IP.....	9
2.2.1 Ethernet .....	11
2.2.2 MPLS y MPLS-TP .....	12
2.2.3 Enrutamiento IP .....	13
2.3 CCDP y XPIC.....	14
2.3.1 Técnica cocanal o polarización cruzada.....	15
2.3.2 Detalle de la mejora cocanal .....	16
2.3.3 XPD (Discriminador de Polarización Cruzada) .....	18
2.3.4 XPIC (Cross Polar Interference Cancellation) .....	19
2.3.5 El sistema de reutilización de frecuencia.....	20
2.3.6 Calibración XPIC.....	21
2.3.7 Parámetros a cumplir para el correcto funcionamiento del sistema cocanal.....	22
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	24
3.1 Caso de estudio .....	24
3.2 Estudio de prospección .....	25
3.1.1 Prospección del SITE PAITA_3_1900.....	25
3.1.2 Prospección estación Paita .....	29
3.2 Desarrollo de la solución del Enlace Paita3_1900 – Paita .....	33
3.3 Descripción de equipamiento .....	38

3.4	Resumen técnico de instalación de Indoor y outdoor.....	39	
3.4.1	Alineamiento óptimo para el enlace microondas .....	40	
3.4.2	Instalación de la ODU .....	42	
<b>CAPÍTULO IV</b>			
<b>ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....</b>			<b>47</b>
4.1	Análisis descriptivo de la información relativa a las variables de estudio.....	47	
4.2	Análisis teórico de los datos y resultados obtenidos en relación con las bases de teóricas de la investigación.....	47	
4.3	Análisis de la asociación de variables y resumen de las apreciaciones relativas..	47	
4.4	Presupuesto y tiempo de ejecución.....	47	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>			<b>50</b>
<b>ANEXO A.....</b>			<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>			<b>53</b>

## INTRODUCCIÓN

El trabajo surge por la necesidad de aumentar la capacidad de transmisión de los backhaul inalámbricos en situaciones en donde es imposible utilizar fibra óptica para las comunicaciones 3G y 4G.

El desarrollo urbano o los eventos temporales de masificación de usuarios, hacen que el consumo rebase lo planificado, es por ello que las empresas de comunicaciones buscan optimizar sus enlaces para que la capacidad del canal permita un mayor tráfico. Las tecnologías Radio LAG y XPIC son utilizadas como solución. En este caso de estudio (Paita) se utiliza la última metodología mencionada, la cual tienen como principal característica el uso de una misma frecuencia pero en dos polarizaciones distintas, logrando así duplicar la capacidad del canal. XPIC corrige los problemas que podrían surgir en la tecnología CCDP (Polarización Dual Co-Canal).

El caso de estudio es simple. Se enfoca en explicar la metodología para lograr aumentar la capacidad del backhaul. El caso de estudio se sitúa en Paita con dos estaciones a las cuales se les hace el debido estudio de prospección para determinar la mejor ubicación de las nuevas antenas, ya que para la solución XPIC se requiere un nuevo equipamiento. Debe notarse que el uso de una misma frecuencia evita los problemas de licenciamiento.

Las fuentes bibliográficas son diversas, la mayoría orientada a explicar las tecnologías de comunicaciones (1, 2, 3 y 4G) , lo relacionado a los Backhaul IP y la tecnología XPIC

El informe está organizado en tres capítulos:

- Capítulo I "Plantamiento de ingeniería del problema".- En este capítulo se explica el problema de ingeniería y se precisan los objetivos. También se hace una evaluación de la problemática y se establecen los alcances del proyecto desarrollado.
- Capítulo II "Marco Teórico Conceptual".- En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe. Se desarrolla lo correspondiente a la evolución de los sistemas móviles, las soluciones tecnológicas para el backhaul IP, y finalmente la tecnología CCDP y XPIC.
- Capítulo III "Metodología para la solución del problema".- En este capítulo se presenta al caso de estudio y sus limitaciones, las cuales luego son resueltas mediante la implementación de mejoras en el backhaul. Se presenta inicialmente al caso de estudio,

realizando las prospecciones para ambas estaciones. Luego se explica la metodología de implementación de la solución XPIC, listando los equipos y materiales usados así como los costos involucrados. Finalmente se hace una descripción del equipamiento usado.

- Capítulo IV "Análisis y presentación de resultados". Se presentan los aspectos relacionados con los costos y el cronograma de trabajos

El informe se complementa con las respectivas conclusiones y recomendaciones.



## **CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA**

En este capítulo se explica el problema de ingeniería y se precisan los objetivos del proyecto. También se hace una evaluación de la problemática y se establecen los alcances del proyecto desarrollado.

### **1.1 Descripción del Problema**

Limitaciones en la capacidad de backhaul de las estaciones base en 3G -4G, en zonas metropolitanas y rurales.

### **1.2 Objetivos del trabajo**

Exponer la metodología para brindar una solución de aumento de capacidad del backhaul en el caso de estudio.

### **1.3 Evaluación del problema**

La evolución de las redes de transporte (backhaul) a una infraestructura basada en IP es impulsada por la necesidad de mayor capacidad de ancho de banda por estación base requerida para brindar aplicaciones multimedia a los usuarios móviles [1].

La evolución de la tecnología móvil ha desarrollado soluciones que brindan a los usuarios finales una interconexión no solo dedicada a la voz sino también al acceso a datos y con conexión a Internet. Tecnologías como 3G y la pronta evolución a LTE implican mayor velocidad de acceso y una dedicación exclusiva al tráfico de datos. Actualmente las redes de transporte implementadas son capaces de llevar el tráfico de voz sin ninguna dificultad, pero cuando agregamos a esto tráfico de datos se presentan nuevas dificultades.

El rápido incremento del tráfico de datos que han experimentado las redes celulares existentes, ha hecho que muchas de las redes de transporte (backhaul) sean pequeñas y el problema trascendental es que el tráfico sigue creciendo de forma acelerada y con una tendencia al alza, más aún con la existencia de las tecnologías de nueva generación (4G) [1].

De acuerdo a un estudio realizado por la Dirección General de Regulación y Asuntos Internacionales de Comunicaciones, el servicio de telefonía móvil ha tenido un crecimiento significativo. De Junio 2006 a Marzo de 2011, el número de líneas móviles en servicio aumentó en un 330.70% (+22 millones 349 mil 443 líneas), alcanzando 29

millones 107 mil 697 líneas. Así, la penetración móvil pasó de 24.6 líneas por cada 100 habitantes en Junio 2006 a 97.96 líneas por cada 100 habitantes en Marzo de 2011.

En relación a la distribución geográfica, el departamento de Lima y Callao concentra el 46.61% del total de líneas y le siguen los departamentos de La Libertad y Arequipa con 5.60% y 5.46% del total de líneas a nivel nacional, respectivamente.

Respecto a la estructura de mercado, a marzo de 2011, se encontraban operando tres compañías, entre las cuales Telefónica Móviles S.A. posee la mayor participación de mercado al concentrar el 62.1% del total de líneas móviles, seguida de América Móvil Perú S.A.C. con el 33.8% del mercado y de Nextel del Perú S.A. que posee el 4.2% del mercado [1].

Cabe señalar que, el reciente ingreso del cuarto operador Viettel Telecom, cuya operación se esperaba en el año 2012, introducirá una mayor dinámica y una nueva configuración del mercado.

Sobre las tecnologías de acceso al servicio móvil, el 93.13% tiene acceso mediante la tecnología GSM, el 2.82% mediante CDMA (incluye WCDMA) y el 4.05% a través de iDEN. A finales de marzo de 2011, los tres operadores móviles ofrecían servicios de Banda Ancha móvil por medio de la tecnología 3G HSDPA. Así, en los últimos años, el número de usuarios de telefonía móvil se ha triplicado, mientras que la cobertura alcanza actualmente un 87.7% del territorio nacional (de 1834 distritos existentes en el Perú, se cuenta con cobertura en 1609 distritos).

Con respecto a la Banda Ancha Móvil o Internet Móvil, es brindada principalmente a través de las tecnologías UMTS/HSPA. Según cifras oficiales del MTC, a marzo del 2011 se cuenta con 313 115 conexiones de Banda Ancha Móvil, cifra que representa el 24% del total de conexiones de Internet. Respecto a la estructura del mercado se observa que Claro cuenta con el 57.5% del Mercado, Movistar con el 30.5% y Nextel con el 12.1%.

#### **1.4 Alcance del trabajo**

El presente proyecto fue realizado tomando como caso de estudio dos estaciones situadas en Paita, duplicando la capacidad del canal (enlace microondas) mediante el uso de CCDP aplicando la tecnología XPIC para la utilización de una misma frecuencia pero en dos polarizaciones distintas.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe.

### **2.1 Evolución de los sistemas móviles**

Se pueden destacar cuatro generaciones [1][6]:

#### **2.1.1 Primera Generación Móvil (1G)**

El origen de la primera generación móvil se dio a comienzo de los años 80, la cual realizaba transmisión analógica y era únicamente de voz. La velocidad con la que trabajaba era de 2400 baudios que es muy baja, ocasionando que la calidad de voz no sea óptima.

La zona de cobertura estaba conformada por clústeres, los cuales a su vez contenían celdas y cada celda estaba administrada por una estación base. Los clústeres contenían agrupaciones de 4, 7, 12 o 21 celdas como racimos, las más usadas eran las de 7 celdas.

En cada clúster se realizaba un reuso de frecuencia para conseguir un mejor dimensionamiento de la red y proporcionar de esta manera el servicio a más usuarios. La primera generación usaba la técnica de acceso múltiple FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), la cual no era muy eficiente ya que cada canal de voz era ocupado por un usuario el tiempo que duraba el establecimiento de la llamada.

Los estándares más usados por la primera generación son:

- AMPS (Advanced Mobile Phone System): Es el estándar de telefonía móvil analógica más sobresaliente de esta generación. Fue creada en Estados Unidos en 1983 y trabajaba en la banda de 800 MHz y con canales de 30 KHz.
- TACS (Total Access Communication System): Fue creado en Europa, pero luego fue usada en Inglaterra y posteriormente en Asia. El sistema TACS usaba la banda de 900 MHz y con canales de 25KHz.
- ETACS (Extended Total Access Communication System): Fue una variante de TACS, fue realizado en el Reino Unido y contenía más canales de voz que en el caso de TACS.

#### **2.1.2 Segunda Generación Móvil (2G)**

Conforme fueron pasando los años el sistema analógico de telefonía celular comenzó a saturarse, por ello se empezó a ver otra manera de acceso múltiple al canal. Es aquí,

donde aparece TDMA (Time Division Multiple Access) y CDMA (Code Division Multiple Access) que son métodos de acceso múltiple que predominaron en la segunda generación móvil.

En esta generación se utiliza transmisión digital a comparación de la primera generación que era analógica, lo cual hace que la red sea más óptima y eficaz. Se pudieron agregar nuevos servicios al celular no solo voz sino de datos como mensajes SMS, identificador de llamadas, mensajes de voz, etc.; lo cual hizo que la demanda celular creciera. Por otro lado la red logró abarcar una mayor capacidad de usuarios con sus nuevos métodos de acceso, lo cual no logró la primera generación.

Con la nueva era digital celular, la calidad de servicio era mucho mejor ya que la velocidad para voz aumentó hasta los 9.6 Kbps; sin embargo, dicha velocidad para la transmisión de datos no era muy alta. Otro beneficio que trajo fue que el tamaño de los celulares, el consumo de potencia y el costo de estos se redujo.

Los estándares más usados para la segunda generación son

- GSM (Global System for Mobile Communication): Desarrollada en Europa en 1982, soluciona el problema de la incompatibilidad de interfaces aéreas analógicas con un único estándar para la telefonía móvil, logrando así una alta capacidad de roaming entre los países. Opera en la banda de 900 MHz y 1800 MHz en Europa, y en Estados Unidos en la banda de 1900 MHz, ambos con portadoras de 200KHz cada uno. GSM usa la técnica de acceso múltiple de TDMA y duplexaje FDD (Frequency Division Duplex) el cual significa que usa un rango de frecuencia diferente para el downlink y uplink.
- TDMA IS-136 (Time Division Multiple Access Interim Standard - 136): Es la transformación digital de AMPS.
- CDMA IS-95 (Time Division Multiple Access Interim Standard – 95): Es un método de acceso, el cual se basa en la tecnología del espectro extendido donde a cada usuario se le otorga un canal que vendría a ser un código digital del espectro, este código es diferente para cada usuario. Opera en la banda de 800 KHz y 1900 KHz con portadoras de 1.25 Mhz. El estándar CDMA IS-95 abarca mayor capacidad de usuarios dándoles mayor seguridad ya que trabaja con códigos.

La Generación 2.5G es la evolución de la Segunda Generación Móvil, es más rápido que 2G con respecto a la tasa de transmisión de datos y por otro lado resulta menos costoso para actualizar a 3G. La velocidad llega hasta los 384 Kbps, la cual nos permite mayores servicios como navegación por Internet, pero muy restringido por ser solo de texto. Las siguientes tecnologías vienen a formar parte de la Generación 2.5G:

- HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data): El tipo de transmisión con el que trabaja es por conmutación de circuitos. Lo máximo que se puede obtener es 57.6 Kbps. Es una

técnica económica pero no usa eficientemente el espectro.

- GPRS (General Packet Radio System): El tipo de transmisión con el que trabaja es por conmutación de paquetes. La velocidad máxima es de 115 Kbps. Es más costoso que HSCSD, ya que la red necesitaría equiparse con nuevos elementos.

- EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution): Evolución del GPRS, llamado también 2.75G. La velocidad a la que llega en la transmisión es de 384 Kbps, que es lo más cercano a 3G. Trabaja con una modulación por desplazamiento de fase octogonal (8-PSK).

### 2.1.3 Tercera Generación Móvil (3G)

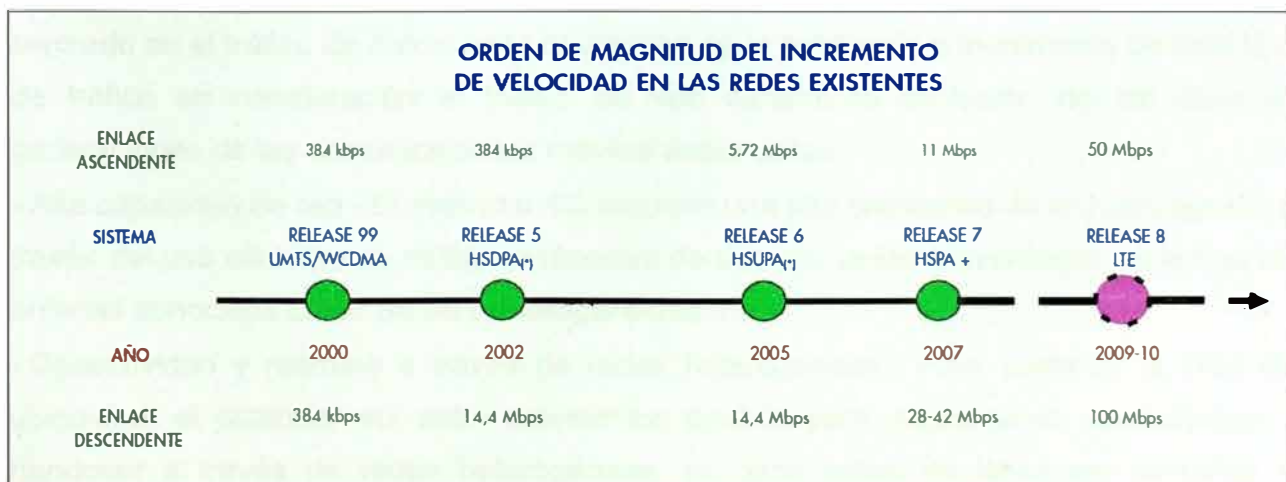
La tercera generación nace con el aumento de usuarios que requieren servicios con alta calidad. Es decir, ya no solo de voz y SMS sino de servicios multimedia con alta tasa de transferencia de datos, los cuales puedan soportar navegación por Internet con las diferentes aplicaciones que este requiera.

El espectro es limitado y, por otro lado, la capacidad de usuarios también, ya que los métodos de acceso múltiple vistos en las generaciones anteriores no satisfacen la demanda celular.

La Tercera Generación necesitó de estándares móviles que definan normas con respecto a las tecnologías; dichos estándares cuentan con sus respectivas evoluciones. Los organismos internacionales que actualmente estandarizan estas tecnologías son:

- 3GPP (GSM/GPRS/EDGE, UMTS/HSDPA, LTE)
- 3GPP2 (CDMA-IS95, CDMA2000, EV-DO)

La 3GPP dispone de las actualizaciones en los sistemas móviles basados en el estándar GSM y estas se efectúan a través de Release. En la figura 2.1 se puede apreciar la evolución desde el Release 99 hasta LTE (Release 8) con sus respectivas velocidades de subida y de bajada.



**Figura 2.1** Evolución Release (Fuente: Ref. [10])

- **Release 99:** Es la primera versión de UMTS (Universal Mobile

TelecommunicationsService). Detrás del estándar UMTS se encuentra la tecnología de acceso WCDMA (WidebandCodeDivisionMultiple Access), la cual mejora la capacidad de crecimiento del core y con ello la reducción de costos para servicios de datos y voz. Este Release incluye CS (CircuitSwitched) basado en el estándar de comunicación GSM y PS (PacketSwitched) que incluye un core de paquetes para poder acceder a Internet, permitiendo una mejor eficiencia espectral y servicios de datos a través de la introducción de una portadora de 5 MHz.

- **Release 5:** Es en este Release donde entra a tallar la tecnología HSDPA, que es una evolución de UMTS en la interfaz de radio. Las funciones de control de paquetes se desplazan al Nodo B para reducir la latencia. Soporta tasas teóricas de hasta 14.4 Mbps en bajada y, en subida, se sigue manteniendo con la velocidad de UMTS que es 384 Kbps. HSDPA tiene como objetivo lograr un alta tasa de datos en el enlace descendente BS y UE; para ello utilizará un canal de transporte HS-DSCH que permite, a los usuarios de un mismo sector, compartir los múltiples códigos de acceso y la potencia de transmisión.

#### **2.1.4 Cuarta Generación (4G)**

4G son siglas de la cuarta generación de los sistemas de comunicación móvil y está basada totalmente en IP, siendo considerada un sistema de sistemas y una red de redes. 4G se utiliza en un sentido amplio para definir varios tipos de acceso móvil de banda ancha, no sólo sistemas de telefonía celular, tanto Indoor como outdoor, con alta calidad de servicio (QoS) y óptima seguridad, permitiendo la oferta deservicios de cualquier clase en cualquier momento y en cualquier lugar, con el mínimo costo posible.[11][12]

##### **a. Requisitos para 4G**

Los estándares para 4G deben cumplir los siguientes requisitos:

- Acceso de banda ancha móvil y eficiencia de ancho de banda.- 4G esta principalmente centrado en el tráfico de datos. Esto se deduce de la tendencia e incremento de este tipo de tráfico en comparación al tráfico de voz durante la evolución de las distintas generaciones de las comunicaciones móviles antes vistas.
- Alta capacidad de red.- El estándar 4G requiere una alta capacidad de red conseguida a través del uso eficiente de múltiples técnicas de acceso, unido a avanzados sistemas de antenas conocidas como Smart orIntelligentAntennas.
- Conectividad y roaming a través de redes heterogéneas.- Para sostener la idea de ubicuidad, el estándar 4G debe proveer los medios para proporcionar conectividad y handover a través de redes heterogéneas, es decir redes de diferentes tamaños y funcionalidades. Los handover verticales y horizontales son críticos a fin de permitir una adecuada transición a 4G con el objeto de garantizar su adecuada masificación y



viabilidad comercial.

- Alta calidad de servicio.- Permitiendo un adecuado soporte para las aplicaciones multimedia (audio en tiempo real, datos de alta velocidad, HDTV, televisión móvil, etc.).

#### **b. Desarrollo y estado de las normas**

A fin de habilitar la Internet móvil, la ITU lanzó la iniciativa IMT-Advanced con el propósito que las organizaciones de normalización realizaran propuestas de comunicación en materia de tecnologías 4G. Las propuestas recibidas están basadas principalmente en dos tecnologías: WIMAX, referida a la familia de normas IEEE 802.16, y Long-TermEvolution (LTE), desarrollado por la 3GPP.

- WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).-IEEE desarrolló los estándares IEEE 802.16, que comprenden en particular IEEE 802.16-2004, la primera norma WIMAX importante para acceso fijo. Luego, esta fue sustituida por la norma IEEE 802.16e-2005, conocida como WIMAX móvil, la cual contenía disposiciones de acceso fijo y móvil. En octubre de 2009, el grupo de trabajo IEEE 802.16 presentó su propuesta basada en la norma en IEEE 802.16m, que mejora la IEEE 802.16e-2005 para satisfacer los requerimientos del IMT-Advanced. El WIMAX Forum, que cuenta con más de 300 empresas asociadas de la industria de la informática y las telecomunicaciones, certifica la interoperabilidad de productos WIMAX de diversos proveedores y ha trabaja para asegurar y garantizar el espectro de frecuencia necesario para su implementación [13].

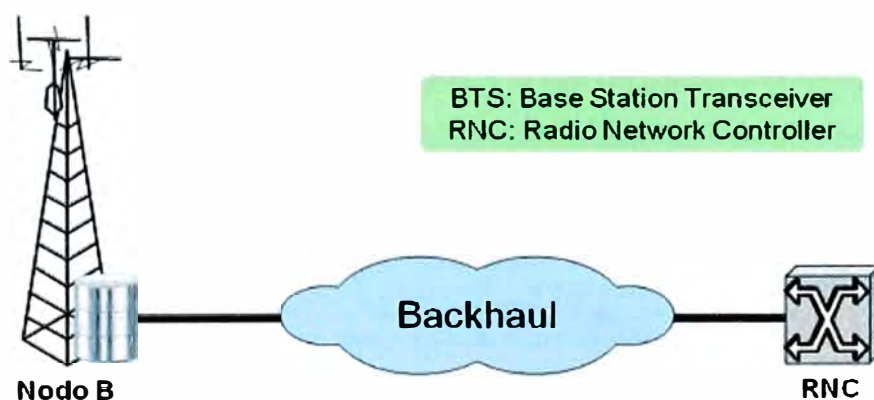
- LTE (Long TermEvolution).- La norma LTE fue desarrollada por 3GPP a partir de HSPA (High SpeedPacket Access). El desarrollo de la norma LTE comenzó en 2005 y dio lugar a las especificaciones para el EvolvedPacketCore (EPC) y una nueva forma de acceso de radio denominada Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (eUTRAN). Todo esto se conoce oficialmente como "3GPP Release 8". LTE Versión 8 casi logra la plena conformidad con los requisitos de IMT-Advanced, por lo que algunos la han denominado 3.9G. En septiembre de 2009, 3GPP presentó su propuesta LTE-Advanced para IMT-Advanced, oficialmente llamado "3GPP Release 10". En diciembre de 2009, el operador de telecomunicaciones sueco TelioSonera lanzó el primer despliegue comercial de LTE en Estocolmo, Suecia y Oslo. La red de Estocolmo fue suministrada por Ericsson, mientras que la red de Oslo fue suministrada por Huawei. Los módems fueron suministrados por Samsung [2].

#### **2.2Soluciones tecnológicas para el backhaul IP**

El backhaul de una red móvil hace referencia al enlace existente desde un nodo de nivel superior (p.ej. el BSC o el RNC) hacia un nodo de nivel inferior (p.ej. la BTS o el Nodo B).El enlace de backhaul puede ser implementado utilizando fibra óptica o enlacesde microondas, con tecnologías de transporte PDH/SDH, ATM, IP o Ethernet.

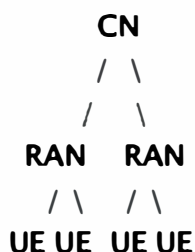
Cabe señalar que la evolución de las arquitecturas de las redes 3G/4G especifica que el backhaul deberá migrar progresivamente a enlaces que empleen tecnologías más adecuadas a los nuevos escenarios, principalmente IP/Ethernet. Para ello, es necesario que los enlaces backhaul sean de gran capacidad, siendo la fibra óptica el medio ideal para este tipo de enlace [2][3].

La capacidad máxima que ofrece una estación base puede verse limitado por la capacidad del backhaul. Por lo general, la tecnología disponible en una estación cumple con los estándares y por lo tanto está técnicamente habilitada para ofrecer las máximas velocidades y capacidades teóricas, pero si la capacidad del backhaul está por debajo de dicho valor, se tendrá como resultado una tasa de bits menor al esperado, de esta manera se corre el riesgo que el backhaul se convierta en el cuello de botella de la red, como se aprecia en la figura 2.2.[1]



**Figura 2.2** Backhaul (Fuente: Ref. [1])

RAN significa Radio Access Network, RAN es la parte de la red móvil que utiliza radio en el acceso. Se ubica entre el UE (Universal Equipment) y el CN (Core Network) según se ve en la figura 2.3. En 3G, corresponde a la UTRAN. Utiliza IP para la comunicación entre los Nodo B y RNC (BTS y BSC) en la RAN.



**Figura 2.3** Ubicación de la RAN (Fuente: Ref. [1])

Existe un aumento del uso de aplicaciones de datos y videos

- Radio Ethernet.
- LTE (4G) → 200-300 Gbps en agregación y 100-200 Mbps por celda.
- Full-IP (paquetes).

Entonces al utilizarse IP-RAN:

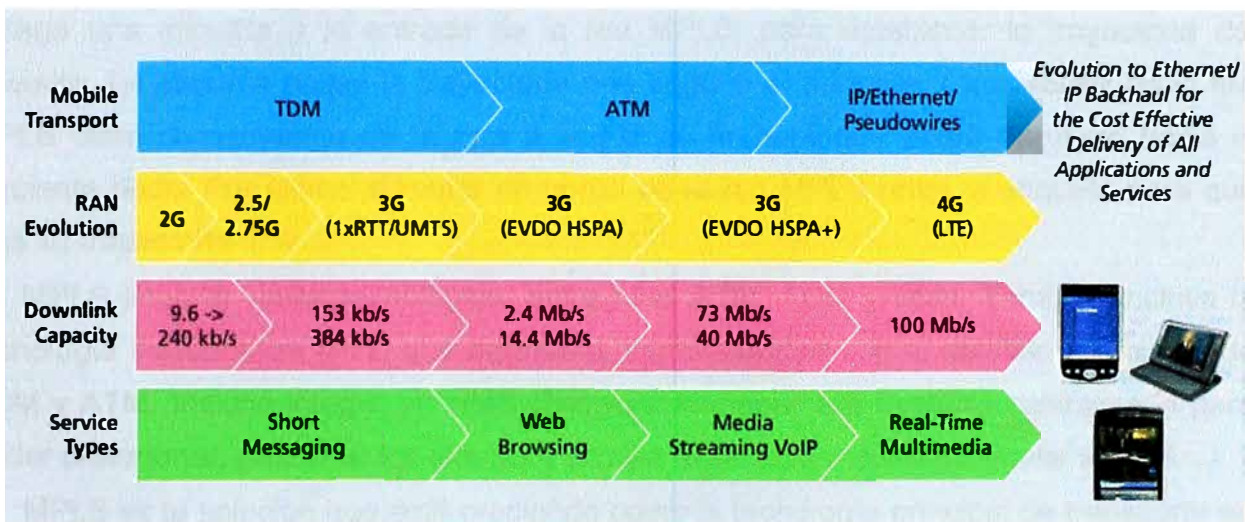


- La red de acceso deja de tener una naturaleza de circuitos.
- TDM/ATM es encapsulado en paquetes IP.
- Se transportan diferentes tecnologías de estaciones base (BTSs o Nodos B) sobre una red unificada.
- Optimización de enlaces: BW utilizado por 2G y 3G → Reducción de costos.

El IP-Backhaul provee muchas ventajas:

- Diferentes enlaces físicos: protocolos de enrutamiento (IP) o fasterroute (MPLS).
- Recursos compartidos.
- Escalabilidad.
- Independencia del protocolo de capa 2.
- Confiabilidad.
- QoS (Calidad de servicio).
- Reducción de costo en backhaul

La figura 2.4 muestra la evolución del RAN y la red de transporte móvil.



**Figura 2.4** Evolución del RAN y la red de transporte móvil (Fuente: Ref. [2])

La evolución a una backhaul IP para redes móviles tiene tres posibles soluciones tecnológicas: por medio de Ethernet (capa 2), a través de MPLS (capa 2.5), y mediante IP exclusivamente (capa 3)[6].

### 2.2.1 Ethernet

La solución en capa 2 es rentable, pero carece de fiabilidad, escalabilidad y manejabilidad. Esta red troncal de transporte reemplaza la tecnología de aprendizaje de direcciones MAC por un sistema centralizado de administración de red denominado NMS con la finalidad de para gestionar la ruta de transmisión.

Esta solución posee una estructura simple, bajo costo de Ethernet y una administración centralizada con capacidades de configuración de los actuales sistemas SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

La desventaja es que esta solución carece del soporte de las distintas empresas de la industria ya que como principal desventaja no presenta calidad de servicio para los distintos servicios que una red de nueva tecnología soporta.

### **2.2.2 MPLS y MPLS-TP**

Se explican a continuación

#### **a. MultiprotocolLabelSwitch**

La solución en capa 2.5, llamada MPLS, siglas de "MultiprotocolLabelSwitch", es una tecnología que fue creada por la IETF (Internet EngineeringTaskForce) para definir una solución de conmutación estándar con la finalidad de unificar el servicio de transporte de datos por medio del uso de etiquetas para reenviarlos a través de la red. MPLS es solución en capa 2.5 porque se ubica entre la capa 3 de Red y capa 2 de Enlace de Datos del modelo OSI [7][8].

MPLS en si ofrece una arquitectura de red orientada a conexión. Usa túneles estáticos denominados LSP (LabelSwitchPath) para establecer una conexión fija. Se agrega una etiqueta a la entrada de la red MPLS, para establecer la trayectoria del paquete. La etiqueta posee la trayectoria que seguirá el paquete. Cada router de la red MPLS tiene conocimiento de la ruta a seguir de manera que podrá enrutarlo hacia el siguiente nodo. Por último el router de borde de la red MPLS retira la etiqueta para que siga su trayectoria final.

MPLS soporta varias tecnologías, entre ellas ATM, TDM y SDH. También incluye la tecnología PseudoWire (PW) que permite la compatibilidad con el servicio tradicional de TDM y ATM. Incluso integra un NMS (Network Management System) centralizado para poder provisionar, gestionar los túneles y provee el servicio monitoreo similar a SDH.

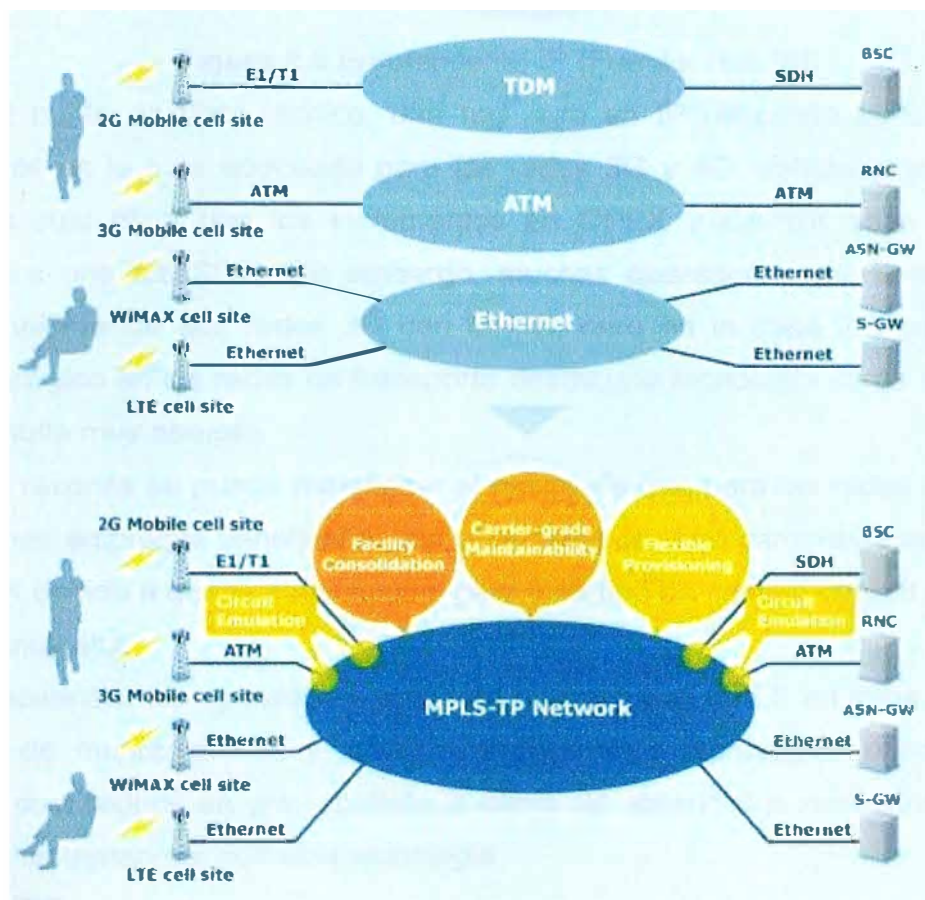
MPLS es la solución que está creciendo como la tecnología principal de transporte en un futuro cercano. Sin embargo tiene muchas extensiones que poseen dificultades para ser implementado como OAM (Operation, Administration, Management) a diferencia de SDH. Afortunadamente existe una nueva característica llamada MPLS transportprofile (MPLS-TP) que se está desarrollando para evitar estos problemas, la cual se explica en el siguiente ítem.

#### **b. MPLS-TP (MPLS Traffic Profile)**

Es una nueva tecnología creada por IETF y la ITU-T que intenta ser la red básica de transporte de datos de la siguiente generación. La principal característica de esta tecnología es de extender MPLS cuando sea necesario agregándole herramientas de OAM. MPLS-TP puede ser comparado con SDH en términos de fiabilidad y capacidad de monitoreo [8][9].

Está orientado a conexión. Provee el transporte de paquetes y servicios de TDM

sobre redes ópticas. Asegura que el tráfico sea transportado de manera fiable a través de un monitoreo end-to-end con el mejor rendimiento. Permite ingeniería de tráfico y reserva de recurso si es necesario. Es una tecnología altamente escalable. Tiene la habilidad de soportar varios clientes con diferentes tráficos. Además puede trabajar sobre otras tecnologías como Ethernet, SDH, ATM, etc. Soporta multiservicios, permite transportar cualquier tipo de tráfico de los clientes. Tiene un Costo-Eficiencia alto. En relación al CAPEX, complejidad en protocolo de capas menores Layer 2 y Layer 1. En cuanto al OPEX, la unificación del control y gestión de acceso de los paquetes y servicios TDM. La figura 2.5 ilustra la integración de servicios y tecnologías mediante el MPLS

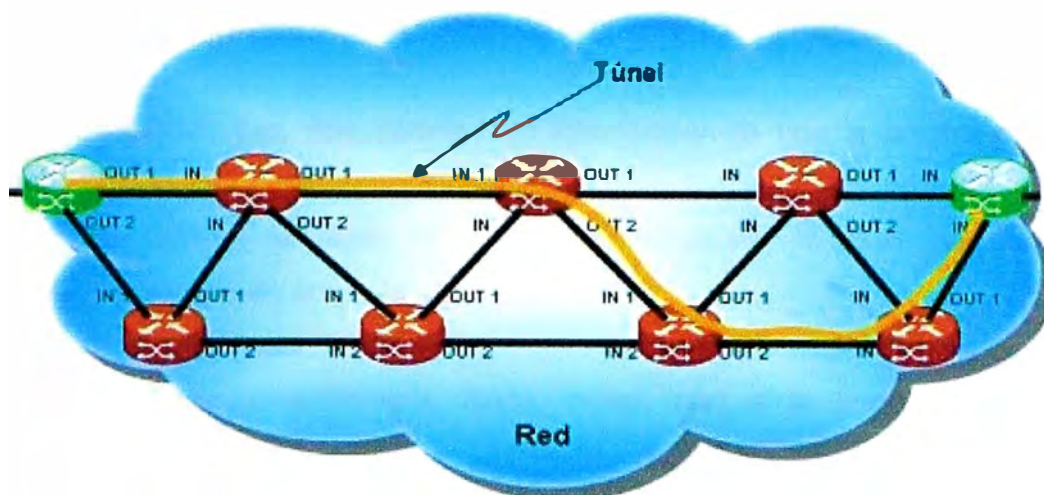


**Figura 2.5** Integración de servicios por medio de MPLS (Fuente: Ref. [4])

### 2.2.3 Enrutamiento IP

La tercera solución se encuentra por medio del uso MPLS y el enrutamiento en la capa 3. Las redes montadas con esta alternativa pueden adaptarse fácilmente a modelos de tráfico más complejos y ofrecen la posibilidad de una transmisión de servicios por una mejor ruta, debido a que al igual que MPLS en capa 2.5 usan túneles, pero en este caso, estos son dinámicos. Estos cuentan con alta flexibilidad y un elevado ancho de banda.

Sin embargo una desventaja de esta tecnología es que es difícil determinar la dirección de un flujo y comprender con exactitud el estado de la red en un momento determinado ya que el enrutamiento de la información es dinámico.



**Figura 2.6** Enrutamiento IP (Fuente: Ref. [6])

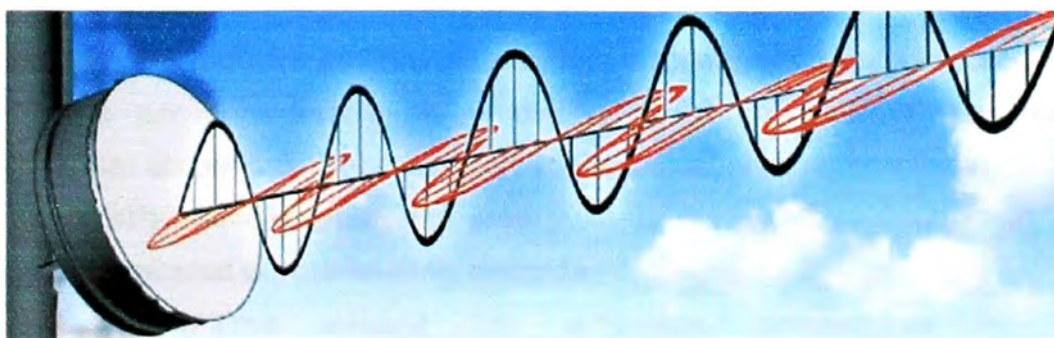
Desde el punto de vista técnico, una red pura en IP utilizando MPLS en capa 3 aparentemente es la más adecuada para las redes 3G y 4G, debido al incremento en eficiencia, lo cual hace que los incrementos en OPEX y CAPEX sean menores en comparación a una red SDH. Sin embargo, muchas operadoras que tienen redes 2G optan por implementar sus redes 3G con MPLS, pero en la capa 2.5 puesto que un cambio tecnológico en las redes de transporte desde una tecnología como SDH a MPLS en nivel 3 resulta muy abrupto.

Entre las razones se puede mencionar el hecho de que para las redes de transporte de 2G, muchas empresas tienen personal especializado y un cambio abrupto implicaría un alto OPEX debido a que la capacitación para este tipo de cambio implica una curva de aprendizaje muy alta.

En consecuencia, las operadoras prefieren migrar hacia MPLS en capa 2.5 debido a que a nivel de mantenimiento y administración ambas tecnologías pueden ser muy similares, lo cual reduce en gran medida la curva de aprendizaje necesaria para poder operar redes de transporte con esta tecnología.

### 2.3 CCDPyXPIC

El CCDP (Polarización Dual Co-Canal) es la tecnología a en la que se transmite 2 señales polarizadas ortogonalmente con la misma frecuencia en 1 canal.



**Figura 2.7** CCDP (Fuente: Ref. [10])



- Ventajas del CCDP: Optimiza el recurso de frecuencias y duplica la capacidad de transmisión.
- Desventaja del CCDP: Las dos señales se interferirían la una a la otra durante la transmisión
- Degradación del XPD: 2 señales de CCDP de dirección V y H no son 100% independientes, se interfieren una a la otra.

Causas de degradación del XPD:

- Efecto de factores externos (Neblina, lluvia, nieve, etc) a lo largo de la ruta de transmisión.
- Efecto de propagación Multitrayecto.
- Capacidad de discriminación de señales ortogonales en el sistema de transmisión.

XPIC (Cross Polarization Interference Cancellation) es usado para eliminar la interferencia y recuperar la ortogonalidad de las señales en el receptor

- Permite la asignación de la misma frecuencia tanto a la polarización vertical como horizontal de un mismo enlace. En donde la disponibilidad de frecuencias está disponible entonces es posible asignar la misma frecuencia dos veces en el mismo enlace usando ambas polarizaciones.
- Usando equipo de microondas estándar de cualquiera de los principales fabricantes, si un bloque de 8 frecuencias estuviera disponible para la banda baja de 6 GHz del enlace, entonces las 8 frecuencias podrían ser asignadas en cada dirección del enlace, cuatro por polarización
- Usando equipamiento con capacidad XPIC, 16 frecuencias podrían ser asignadas en cada ruta del mismo enlace, 8 por polarización.

La asignación de frecuencias estándar son:

- 4 Frecuencias – Horizontal.
- 4 Frecuencias – Vertical.

La asignación de frecuencias para XPIC son:

- 8 Frecuencias – Horizontal.
- 8 Frecuencias – Vertical.

El uso de XPIC requiere antenas de muy alta discriminación de polarización cruzada. XPIC debería ser considerada en el diseño inicial del sistema. Las frecuencias adyacentes de un enlace deberían ser recibidas a niveles cercanos para que el equipamiento XPIC trabaje apropiadamente.

### **2.3.1 Técnica cocanal o polarización cruzada**

Durante la última década las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones han introducido en el mercado muchos servicios de alta capacidad

de acuerdo con los requerimientos actuales, a esto se suma la demanda de potenciales usuarios a quienes se busca satisfacer.

Para lograr aumentar la capacidad de la infraestructura actual sin tener que realizar inversiones costosas y que tomarían algún tiempo implementar se ha optado por usar esquemas de modulación de alto nivel duplicando la capacidad de la red actual.

Otro esquema usado para duplicar la capacidad del enlace es la reutilización de frecuencias ya que es posible transmitir una portadora con polarización vertical y otra con polarización horizontal, a la misma frecuencia pero con propagación diferente, también es posible aplicar lo mismo con polarización circular RHCP (Polarización Circular de Mano Derecha) y LHCP (Polarización Circular de Mano Izquierda) también se puede transmitir simultáneamente dos polarizaciones diferentes.

La operación cocanal en los sistemas de radioenlaces es la respuesta a la demanda del mercado por el incremento de capacidad y una utilización más eficiente del espectro. Como la fijación de precios por la utilización del espectro se ha convertido en algo cada vez más común, el interés por los sistemas cocanal ha crecido, y en un futuro cercano es muy probable que estos sistemas aparezcan tanto en los enlaces troncales como en la red de acceso.

Con el uso de sistemas cocanal, la capacidad se puede doblar si se compara con los sistemas de radioenlace convencionales. En los sistemas cocanal se ejecuta la transmisión de dos canales con distinto tráfico en la misma frecuencia de radio pero en polarizaciones cruzadas.

Esto funciona bien, mientras la discriminación entre las dos polarizaciones llamada Discriminación por Polarización Cruzada (XPD), sea suficiente para asegurar la operación sin interferencias. El valor nominal de XPD se denomina  $XPD_0$  y viene dado por los patrones de polarización cruzada de las antenas. El valor, normalmente es del orden de 30-40 dB.

### **2.3.2 Detalle de la mejora cocanal**

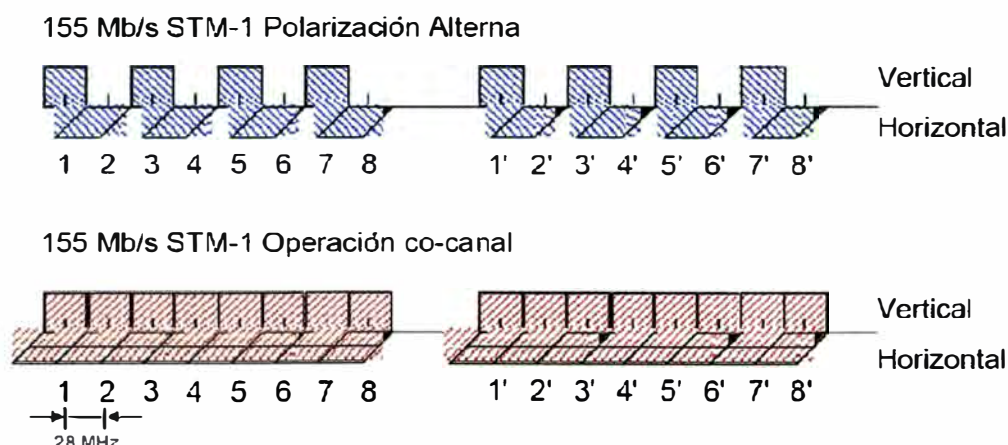
En nuestro país la explotación del recurso de frecuencias no se ha realizado de manera ordenada, ya que como se puede ver en la figura 2.8 en la misma estación se alternan frecuencias altas y bajas para transmisión, lo cual contradice la norma que sugiere que todos los enlaces de la misma banda en una estación deben tener solo frecuencias altas para transmitir. Y no transmitir en altas y bajas frecuencias, causando interferencia en los enlaces contiguos.

El objetivo de la mejora cocanal aplicada a los enlaces SDH es que se logre la transmisión de dos señales, una en polarización vertical y otra en polarización horizontal al mismo tiempo utilizando una sola frecuencia, duplicando la capacidad de transmisión en

comparación con esquemas de polarización usados hasta lapresente, como es polarización alternada, como se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2.8** Barrido espectral en la banda de 7.1 a 7.4 GHz, donde se observa el uso desordenado de espectro (Fuente: Ref. [10])

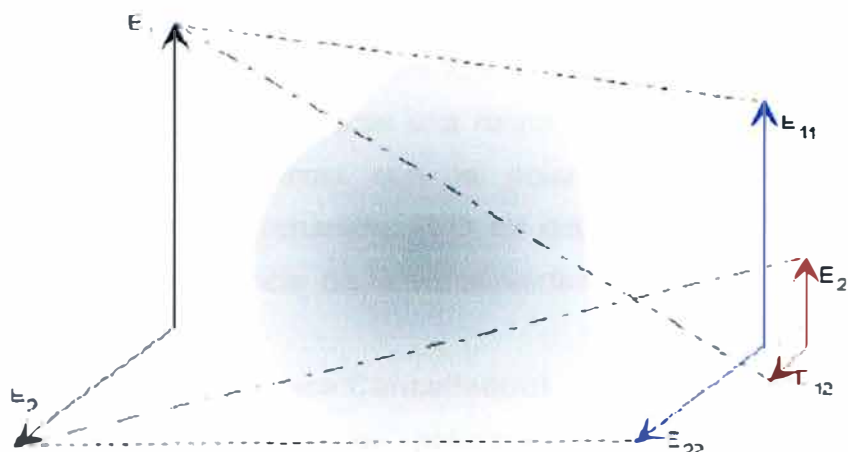


**Figura 2.9** esquemas de polarización usados (Fuente: Ref. [16])

En color azul se muestra la polarización alternada la cual consiste en transmitir señales en una polarización y alternando en otra, en color rojo se describe la mejora co-canal que es transmitir dos señales una en cada polarización.

Al transmitir dos señales en diferente polarización en la misma frecuencia, inevitablemente se genera interferencia entre las dos señales, lo que hacen necesario equipos de alta capacidad de discriminación y filtros que atenúen esta interferencia de manera que el receptor pueda discriminar entre las dos señales.

En la figura 2.10 se muestra la transmisión de dos señales, la señal vertical está polarizada según indica la dirección del vector E1, la señal horizontal está polarizada según indica el vector E2. Estos vectores muestran la señal deseada a transmitirse.



**Figura 2.10** Sistema dualmente polarizado que sufre XPI(Fuente: Ref. [16])

En la estación remota el vector  $E_{11}$  representa la señal recibida con la misma polaridad que el vector  $E_1$ , el vector  $E_{22}$  representa la señal recibida con la misma polaridad que el vector  $E_2$ . Debido a que ambos canales transmiten en la misma frecuencia, al momento de transmitir la señal vertical  $E_1$ , esta también transmite una señal con polaridad horizontal  $E_{12}$  que interfiere a la señal deseada  $E_{22}$ . Lo mismo ocurre al momento de transmitir la señal  $E_2$ , esta inevitablemente transmite una señal vertical  $E_{21}$ , la cual interfiere a la señal deseada  $E_{11}$ .

Esta interferencia se denomina interferencia de polarización cruzada XPI, de la figura 2.10 se obtiene:

$$XPI_V = 20 \log \frac{E_{11}}{E_{21}} \text{ [dB]} \quad (2.1)$$

$$XPI_H = 20 \log \frac{E_{22}}{E_{12}} \text{ [dB]} \quad (2.2)$$

Las medidas de propagación normalmente dan la discriminación por polarización cruzada (XPD) definida por:

$$XPD_V = 20 \log \frac{E_{11}}{E_{21}} \text{ [dB]} \quad (2.3)$$

$$XPD_H = 20 \log \frac{E_{22}}{E_{12}} \text{ [dB]} \quad (2.4)$$

En nuestro caso debemos garantizar un XPD en recepción mayor a 28 dB para que el sistema pueda identificar las señales correctamente, este valor es fijado por el fabricante en base a pruebas realizadas con los equipos, también depende de la distancia, también se pueden alcanzar valores entre 28 y 30 dB. En caso de tener valores menores a 28 dB se requiere realizar una alineación de los iluminadores de las antenas.

### 2.3.3 XPD (Discriminador de Polarización Cruzada)

Es un parámetro físico de la antena, este factor depende en gran medida de la construcción de la antena.



En la propagación atmosférica una parte de la energía transmitida con un estado de polarización se transfiere a otra polarización. Existe un valor limitado de aislamiento entre ambas polarizaciones, pudiendo definirse una relación entre la potencia de la señal con una polarización y la interferencia con la polarización ortogonal o cruzada. La discriminación a la polarización cruzada XPD se define como la diferencia de niveles expresados en dB y de la potencia de la señal interferente detectada en la polarización ortogonal.

### 2.3.4 XPIC (Cross Polar Interference Cancellation)

Un eliminador de interferencias de polarización cruzada es el elemento ideal y necesario para reducir los efectos de interferencia de la señal no deseada en la polarización contraria a la señal recibida.

A pesar de que las señales sean ortogonales, se introduce interferencia entre las señales inevitablemente, puede ser causada por la imperfección de la antena, por la degradación del canal, porque en la propagación parte de la señal cambia de polaridad hasta llegar al punto de recepción. Para cancelar los efectos de la interferencia, el receptor debe incluir un XPIC, este procesa y combina las señales de los dos caminos recibidos, para recuperar las señales transmitidas.

Un dispositivo adicional para disminuir estos fenómenos es la introducción en el demodulador de un filtro de supresión de interferencia debida a la polarización cruzada. Ya que los efectos de las interferencias en la señal deseada son variables en el transcurso del tiempo. A continuación en la figura 2.11 se muestra la estructura del dispositivo XPIC.

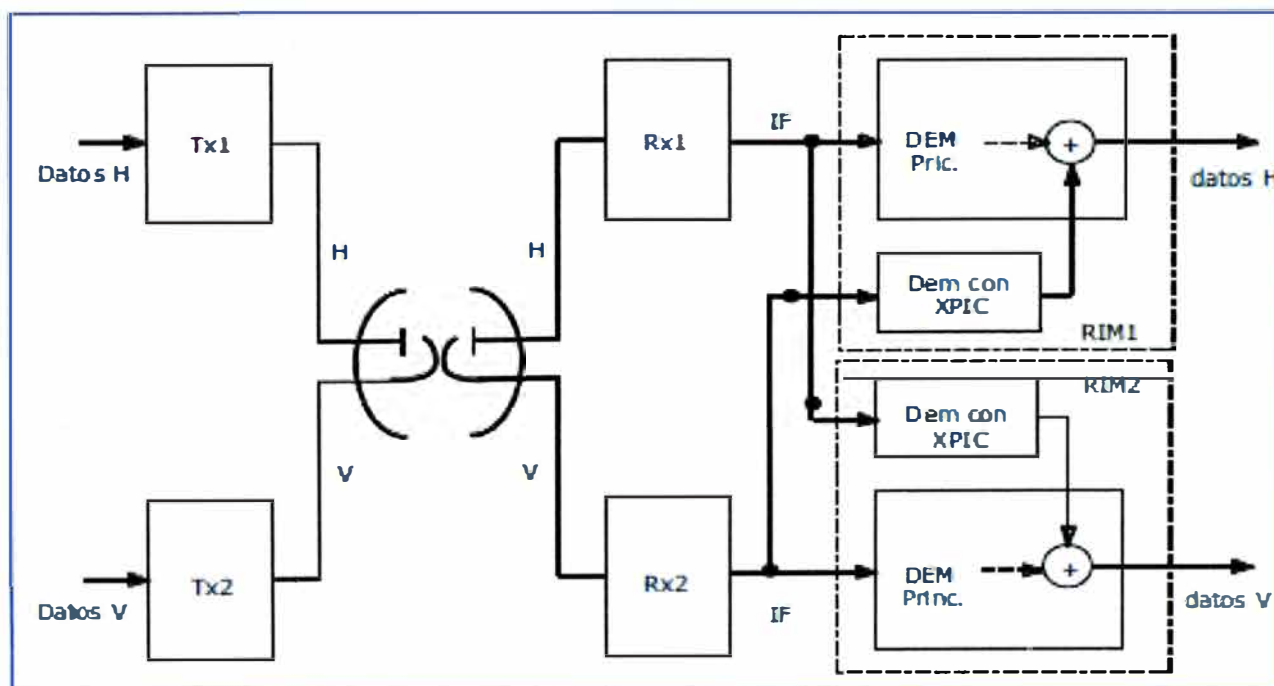


Figura 2.11 Esquema de funcionamiento del XPIC (Fuente: Ref. [16])

En la figura se muestra como la unidad incorporada en el receptor XPIC funciona, la señal que ingresa en el demodulador es la señal transmitida y la señal opuesta que causa la interferencia de polarización cruzada.

Con el fin de cancelar efectos de interferencia el receptor por medio del XPIC procesa lógicamente y combina las señales provenientes de los dos caminos horizontal y vertical, el receptor reconstruye la señal deseada y elimina la interferente, para recuperar la señal original. De esta manera dos flujos de datos independientes pueden ser transmitidos por el mismo canal.

### **2.3.5 El sistema de reutilización de frecuencia**

El sistema de reutilización de frecuencia hace uso del parámetro XPD que garantiza el fabricante de la antena, el cual permite la coexistencia de la transmisión de dos haces de radio en el mismo canal de frecuencia.

Cada haz de radio frecuencia transporta un solo STM-1, la mejora de canal permite que se realicen pequeños cambios en el hardware se pueda transmitir dos STM-1, en diferente polarización.

El sistema está formado por dos transreceptores independientes y por una antena crosspolarizada con polarización horizontal conectada al primer transmisor y con polarización vertical conectada al otro transmisor.

La discriminación de interferencia de canal inicial se da por el factor XPD en la antena de polarización cruzada (Ejemplo  $XPD = 30$  dB). Este valor puede no ser suficiente para que el sistema con reutilización de frecuencias en recepción trabaje sin el circuito cancelador de interferencia de polarización cruzada. Adicionalmente las señales pueden degradarse por las condiciones de propagación del medio, que pueden llevar a un incremento en la tasa de BER.

Para obtener un valor de discriminación adecuado, se debe usar un cancelador adaptativo, que se basa en un filtro de coeficiente numérico adaptativo completo. Como se muestra en la figura 2.11.

Las señales recibidas a la salida del receptor IF son procesadas por un demodulador ubicado en la sección copolar, así como también en el cancelador (XPIC) anexo al demodulador que procesa las señales provenientes de la polarización cruzada. Este proceso opera en el dominio temporal en banda base.

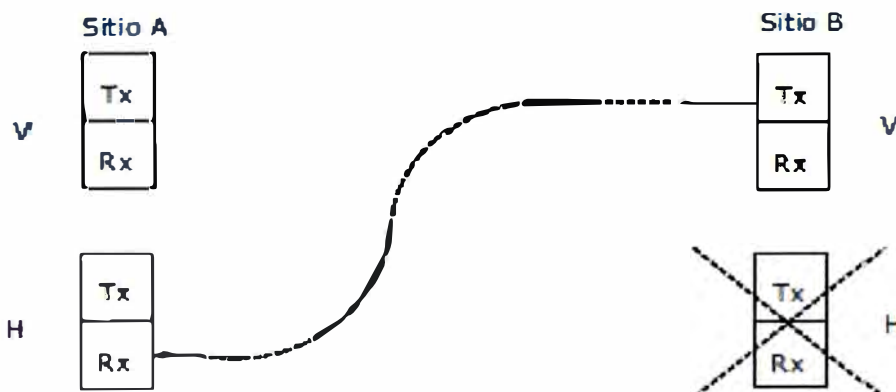
Un ecualizador adaptativo minimiza la interferencia intersímbolo en el demodulador copolar mientras que un circuito demodulador con XPIC genera una señal similar a la interferente en el recorrido cruzado, evaluando la potencia de la señal interferente.

Esta señal, a la que se le resta una señal interferente a la salida del ecualizador, permite la eliminación de las interferencias contenidas en la señal copolar.

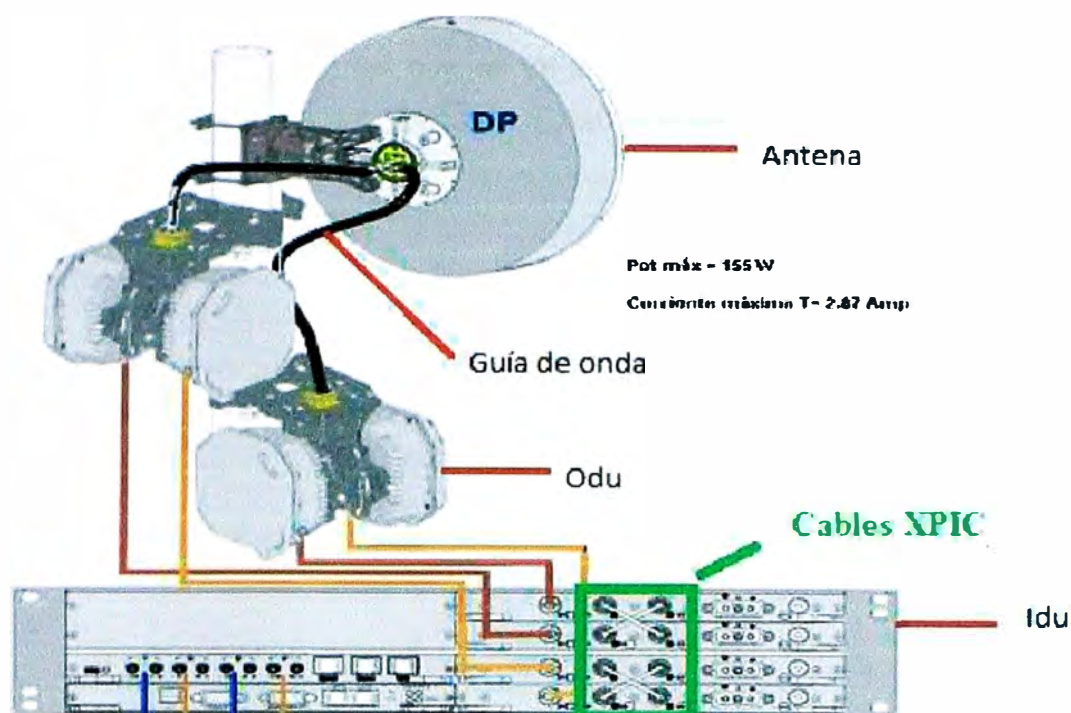
### 2.3.6 Calibración XPIC

Para lograr el perfecto funcionamiento de XPIC y XPD, se tienen que considerar algunos parámetros para la instalación sugeridos por el fabricante como:

- 1. Verificación del margen de desvanecimiento en ambas secciones (horizontal H o vertical V) probando un margen de desvanecimiento en una sección mientras que en la otra está apagado. La medición se realiza en ambos terminales.
- 2. Verificación del desacoplamiento entre la Tx vertical y la Rx horizontal y viceversa, con apagado del transmisor correspondiente al receptor, ver Fig.1.6.
  - 2.1: Tx (H) apagado en la estación B, verificar el desacoplamiento entre el Tx (V) de la estación B con el Rx (H) de la estación A
  - 2.2: Tx (V) apagado en la estación B, verificar el desacoplamiento entre el Tx (H) de la estación B con el Rx (V) de la estación A
  - 2.3: Tx (H) apagado en la estación A, verificar el desacoplamiento entre el Tx (V) de la estación A con el Rx (H) de la estación B.
  - 2.4: Tx (V) apagado en la estación A, verificar el desacoplamiento entre el Tx (H) de la estación A con el Rx (V) de la estación B.
- 3. Conexión de todos los elementos para realizar el normal funcionamiento con XPIC
- 4. Activación:
  - Predisponer ATPC (Automatic Transmission Power Control) inactivo en todas las Tx
  - Predisponer la máxima potencia Tx en todos los transmisores
  - Insertar una atenuación igual al XPD de antena. En la práctica reduce la potencia de salida de 17 dB sobre un transmisor por medio de SCT (Subnetwork Craft Terminal)/LCT (Local Craft Terminal).
  - Verificar que en esta condición el correspondiente receptor no tenga errores. Para verificar la funcionalidad XPIC, desconectar el cable XPIC Rx (ver figura 2.13) y verificar que no haya errores en el receptor.
  - Restablecer la potencia a la salida de Tx. Repetir la operación en todos los receptores.



**Figura 2.12** Muestra cómo implementar el desdoblamiento (Fuente: Ref. [16])



**Figura 2.13** Conexión XPIC en IDU ALC Siae(Fuente: Ref. [16])

### 2.3.7 Parámetros a cumplir para el correcto funcionamiento del sistema cocanal

A pesar de ser una tecnología ya implementada hace algunos años no se han establecido normas ni estándares a cumplir en la elaboración del equipamiento, cada fabricante le añade mejoras como aumentar la capacidad de los enlaces, el uso de modulación adaptativa, mejoramiento en sistema XPIC, etc. Independientemente de la marca del equipo, vamos a numerar algunas recomendaciones que todo equipo cocanal debe cumplir para su correcto funcionamiento.

- 1. Garantizar que el sistema esté trabajando con el valor de XPD mínimo que recomienda el fabricante. Para nuestro caso el nivel de XPD es 28 dB, su valor se verificará que se cumpla en la instalación de cada enlace. Esto garantiza que la discriminación de las señales se pueda realizar adecuadamente. En caso de tener XPD con valor inferiores al mínimo con el que funciona el equipo, se debe proceder con la alineación de los iluminadores tal como se explicó anteriormente.
- 2. Para evitar retardos en las señales, los cables IF que conectan ODU e IDU deben tener la misma longitud. En caso de tener enlaces empleando diversidad de espacio se debe garantizar que se cumpla también esta recomendación, a pesar de que las antenas estén instaladas a diferentes alturas en la misma torre.
- 3. Se debe realizar una verificación de la conexión correcta del sistema XPIC y su activación en la unidad IDU, este es un error común en las instalaciones ya que el sistema no presenta ninguna alarma, y en días en condiciones favorables el desempeño del enlace es aceptable. Los problemas se dan cuando las condiciones climáticas son

muydesfavorables y exigen al máximo al sistema.

- 4. Finalmente las antenas con las que se va a trabajar, deben tener un XPD mayor al mínimo valor con el que el equipo funciona. Existen antenas que garantizan XPD de 40 dB.



### CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta al caso de estudio y sus limitaciones, las cuales luego son resueltas mediante la implementación de mejoras en el backhaul.

#### 3.1 Caso de estudio

Geográficamente el caso de estudio se encuentra en una zona rural o de baja densidad poblacional. Corresponde a un grupo de playas de Paita departamento de Piura (alrededor del distrito de Paita). La demanda de tráfico se incrementa en temporadas de mayor afluencia de visitantes y se detecta en algunos casos la insuficiencia de los servicios existentes.

La Figura 3.1 muestra las dos estaciones, PAITA\_3\_1900 en las coordenadas latitud  $5^{\circ}5'14.64''S$  y longitud  $81^{\circ}6'16.81''W$  a una altura de 41 m.s.n.m., y de la estación PAITA con coordenadas  $5^{\circ}5'57.68''S$   $81^{\circ}6'34.90''O$  a una altura de 66 metros..



**Figura 3.1** Estaciones del caso de estudio (Fuente: Google Earth)

La propuesta de solución apunta a un aumento de la capacidad del enlace

microondas que consiste el reemplazo del enlace por un enlace actual que soporte XPIC. El presente informe solo se enfoca en el aumento de la capacidad de backhaul inalámbrico, es decir de los enlaces microondas ya existentes.

Aunque existen soluciones similares aplicadas a la optimización del Abis, o tecnología Abis sobre IP (una solución para comunicaciones GSM de Ericson [14]) y el sistema de optimización de WAN (Wide AreaApplicationServices” o WAAS de Cisco [15], que aplica la compresión de datos), la tecnología adecuada para el caso de estudio presentado es la utilización de la tecnología CCDP (Polarización Dual Co-Canal).

### 3.2 Estudio de prospección

En esta sección se presentarán os estudios prospectivos de cada una de las dos estaciones.

#### 3.1.1 Prospección del SITE PAITA\_3\_1900

Este se encuentra en la parte alta de San Pedro, entre los pueblos jóvenes de San Pedro y La Merced. Luego de la inspección se determina que en el local se necesita un gabinete Shelter y un Gabinete para bancos de batería, para la instalación de equipos adicionales. Se determina que hay disponibilidad de energía -53 Vdc con sus respectivas llaves, también que la torre es de 30 metros de altura, una torre auto soportada cuadrada.

Los emplazamientos del faren se encuentran a un promedio de 1.5 Km del Site, pudiéndose fácilmente determinar que existía línea de vista entre las estaciones en estudio. Para ello se apoyó en herramientas diversas tal cómo GPS, brújula, binoculares y el aplicativo Google Earth que provee los cálculos de distancia y de azimut.

Dado que existen varios rack disponibles para equipos, se determinara entre ellos la mejor ubicación para la antena. La altura para instalar la nueva antena debe ser de 24mts con dirección al Site Paita (respecto a la base de la torre).

La Tabla 3.1 resume las condiciones encontradas, y los requerimientos para habilitar la estación Paita\_3\_1900. La Figura 3.3 es una vista general de la estación.

**Tabla 3.1** Descripción y requerimientos para habilitación SITE PAITA\_3\_1900

DESCRIPCION	DATOS
Tipo de Estación	SITE
Tipo de torre	AUTOSOPORTADA
Altura de torre	30 m
Altura de antena a instalarse	PAITA_3_1900– 24mts PAITA–24mts
Latitud de la Estación	5° 5'14.64"S
Longitud de la Estación	81°6'16.81 W
Altitud msnm de la Estación	41 msnm
Dirección	PAITA_3_1900
Azimut con respecto a la estación en estudio	PAITA_3_1900– 0° PAITA_203°



	PAITA_ – 1.5 km
Escalerilla vertical	EXISTE
Escalerilla horizontal	EXISTE
Ventana GO	EXISTE
Sistema de protección a tierra en torre	EXISTE
Sistema de protección a tierra en sala	EXISTE
Espacio para radio en sala	→REQUIERE
Energía DC	EXISTE
<b>REQUERIMIENTOS</b>	<b>DATOS</b>
Gabinete Shelter	1 UND
Gabinete para Bateria	1 UND

La figura 3.2 muestra la torre y la figura 3.3 muestra el espacio reservado para la colocación de los soportes que contendrá a los equipos, así como para la escalerilla.



**Figura 3.2** Site PAITA\_3\_1900 (Fuente: Elab. Prop.)



**Figura 3.3** Área reservada para Gabinete Shelter y de batería (Fuente: Elab. Propia)



La Figura 3.4 corresponde al tablero general y las llaves disponibles y medición de voltaje. La Figura 3.5 muestra la condición del aterramiento, tanto en la sala como en la torre. La Figura 3.6 ilustra el recorrido del cableado



**Figura 3.4** Tablero general de conexión monofásico y llaves disponibles y medición de voltaje (Fuente: Elab. Propia)



**Figura 3.5** Aterramientos: a) Sala; b) Torre (Fuente: Elab. Propia)



**Figura 3.6** Recorrido Horizontal y Vertical (Fuente: Elab. Propia)

La Figura 3.7 muestra las Escalerillas Horizontales (ELEVADAS), y el lugar para el excedente de FO.



**Figura 3.7** Escalerillas: a) Horizontal ( Elevadas)) (Fuente: Elab. Propia)

Para una mejor ilustración del emplazamiento en cuestión, a continuación se muestran la vista con dirección al Site Paita (Figura 3.8)



**Figura 3.8** Vista desde site PAITA\_3\_1900 hacia Paita (Fuente: Elab. Propia)

La información de la torre se muestra en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Información de la Torre

Ítem	Condición
Altura de torre	30 mts
Tipo de torre	AUTOSOPORTADA
Angulo de inclinación	5°
Valor conductividad - tierra	1.4 O
Sistema de para rayo	TETRAPOLAR
Luz de balizaje	EXISTE
Año de construcción	1998
Estado de conservación	BUENA
Aterramiento	EXISTE

Para finalizar con la prospección del Site Paita\_3\_1900, se muestra en la Tabla 3.3 el



reporte de la estación.

**Tabla 3.3** Reporte de la estación (Fuente: Elab. Prop.)

ítem	OUTDOOR	SITE PAITA3_1900	
<b>1</b>	<b>DIRECCIÓN DE ESTACIÓN</b>	PARTE ALTA DE SAN PEDRO, ENTRE LOS PUEBLOS JOVENES SAN PEDRO Y LA MERCED	
	Distrito	PAITA	
	Provincia	PAITA	
	Departamento	PIURA	
<b>2</b>	<b>COORDENADAS</b>		
	Latitud Sur	5° 5'14.64"S	
	Longitud Oeste	81°6'16.81 W	
	Altura del lugar	41 msnm	
<b>3</b>	<b>ACCESO (coordinación, tipo de transporte que puede llegar a la zona, etc.) Personal de apoyo</b>	Personal de civil Work entrega de llaves, se requiere camioneta 4x4	
<b>4</b>	<b>TORRE (Tipo)</b>	AUTOSOPORTADA CUADRADA	
	Ancho de Base (m)	6 mts	
	Ancho de parte recta (m)	-	
	Altura (m)	30mts	
	Orientación de torre	0° N	
	Ang. Incl. de la montante	4°	
	Ubic. Bajada de Pararrayo		
<b>5</b>	<b>ESPACIO NUEVA ANTENA</b>	EXISTE	
<b>La antena a instalarse estará ubicada a 24 mts de altura con dirección al Site Paita.</b>			

### 3.1.2 Prospección estación Paita

Este site se encuentra ubicada en Mz A Lote 12 AAHH Alejandro Torres Vega distrito de Paita, Provincia de Paita, departamento de Piura. A 21.55° grados de azimuth de Paita\_3\_1900. Luego de la inspección se determina que en el local se necesita un gabinete Shelter y un Gabinete para bancos de batería, para la instalación de equipos adicionales. Se determina que hay disponibilidad de energía -53 Vdc con sus respectivas llaves, también que la torre es de 30 metros de altura, una torre auto soportada cuadrada.

La Tabla 3.4 resume las condiciones encontradas, y los requerimientos para habilitar El Site Paita.

**Tabla 3.4** Descripción y requerimientos para habilitación SITE PAITA (Elab. Prop)

DESCRIPCION	DATOS
Tipo de Estación	SITE
Tipo de torre	AUTOSOPORTADA
Altura de torre	30 m
Altura de antena a instalarse	PAITA-24mts
Latitud de la Estación	-5.099354533 S
Longitud de la Estación	-81.10969437W
Altitud msnm de la Estación	66 msnm

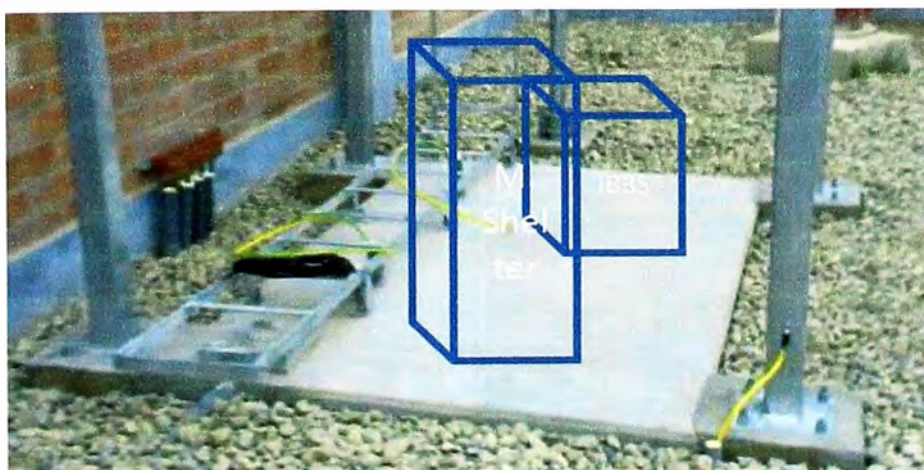
Dirección	PAITA_3_1900
Azimut con respecto a la estación en estudio	PAITA_120°
Distancia entre las dos estaciones	PAITA_3_1900– 1.5 km
Escalerilla vertical	EXISTE
Escalerilla horizontal	EXISTE
Ventana GO	EXISTE
Sistema de protección a tierra en torre	EXISTE
Sistema de protección a tierra en sala	EXISTE
Espacio para radio en sala	→REQUIERE
Energía DC	EXISTE
<b>REQUERIMIENTOS</b>	<b>DATOS</b>
Gabinete Shelter	1 UND
Gabinete para Bateria	1 UND

La Figura 3.9 es una vista general de la estación.



**Figura 3.9** Site PAITAy ubicaciones proyectadas (Fuente: Elab. Prop.)

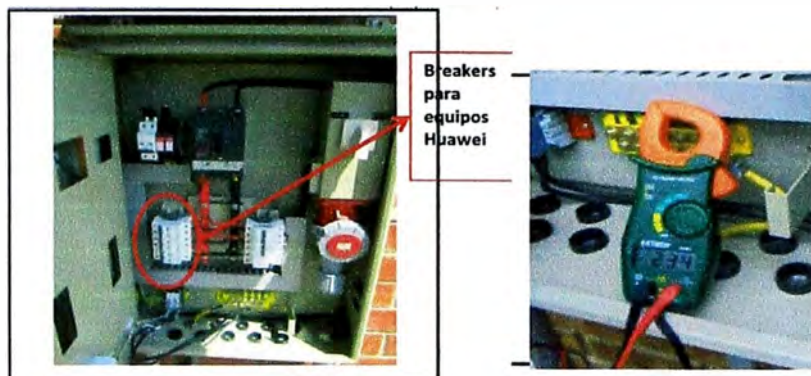
La Figura 3.10 muestra el espacio reservado para la colocación de los soportes que contendrá a los equipos, así como para la escalerilla.



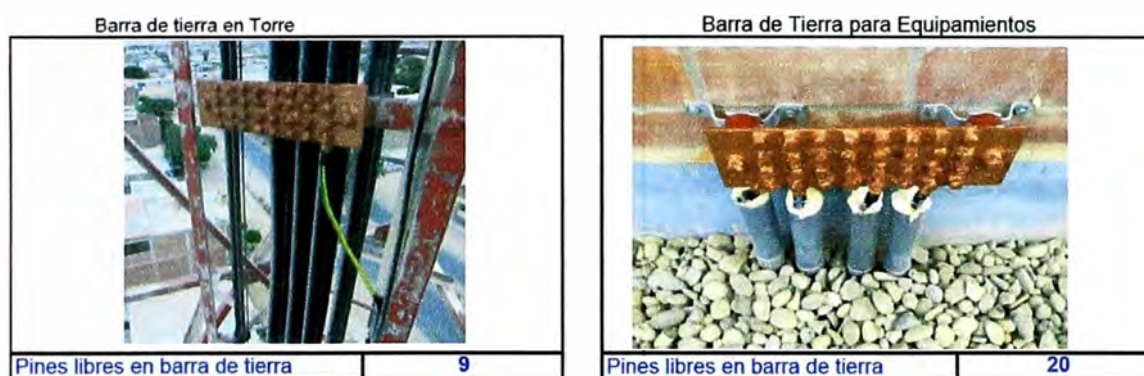
**Figura 3.10** Área reservada para Gabinete Shelter y de batería (Fuente: Elab. Propia)



La Figura 3.11 corresponde al tablero general y las llaves disponibles y medición de voltaje. La Figura 3.12 muestra la condición del aterramiento, tanto en la sala como en la torre. La Figura 3.13 ilustra el recorrido del cableado.



**Figura 3.11** Tablero general de conexión monofásico y llaves disponibles y medición de voltaje (Fuente: Elab. Propia)



**Figura 3.12** Aterramientos: a) Sala; b) Torre (Fuente: Elab. Propia)



**Figura 3.13** Recorrido Horizontal y Vertical (Fuente: Elab. Prop.)

La Figura 3.14 muestra las Escalerillas Horizontales (ELEVADAS), y el lugar para el excedente de FO.



**Figura 3.14** Escalerillas: a) Horizontal (Elevadas)) (Fuente: Elab. Propia)

Para una mejor ilustración del emplazamiento en cuestión, a continuación se muestran la vista con dirección a Paita\_OTF (Figura 3.15)



**Figura 3.15** Vista desde site PAITAhacia Paita\_3\_1900 (Fuente: Elab. Propia)

La tabla 3.5 muestra la información de la torre.

**Tabla 3.5** Información de la Torre(Fuente: Elab. Prop.)

Ítem	Condición
Altura de torre	30 mts
Tipo de torre	AUTOSOPORTADA
Angulo de inclinación	5°
Valor conductividad - tierra	1.4 O
Sistema de para rayo	TETRAPOLAR
Luz de balizaje	EXISTE
Año de construcción	1998
Estado de conservación	BUENA
Aterramiento	EXISTE



Para finalizar con la prospección del site Paita, se muestra en la Tabla 3.6 el reporte de la estación.

**Tabla 3.6** Reporte de la estación(Fuente: Elab. Prop.)

ítem	OUTDOOR	SITE PAITA	
<b>1</b>	<b>DIRECCIÓN DE ESTACIÓN</b>	MZ A LOTE 12 AAHH ALEJANDRO TORRES VEGA	
	Distrito	PAITA	
	Provincia	PAITA	
	Departamento	PIURA	
<b>2</b>	<b>COORDENADAS</b>		
	Latitud Sur	-5.099354533S	
	Longitud Oeste	-81.10969437"W	
	Altura del lugar	66 msnm	
<b>3</b>	<b>ACCESO (coordinación, tipo de transporte que puede llegar a la zona, etc.) Personal de apoyo</b>	Personal de civil Work entrega de llaves, se requiere camioneta 4x4	
<b>4</b>	<b>TORRE (Tipo)</b>	AUTOSOPORTADA CUADRADA	
	Ancho de Base (m)	6 mts	
	Ancho de parte recta (m)	-	
	Altura (m)	30mts	
	Orientación de torre	0° N	
	Ang. Incl. de la montante	5°	
	Ubic. Bajada de Pararrayo		
<b>5</b>	<b>ESPACIO NUEVA ANTENA</b>	<b>EXISTE</b>	
<b>La antena a instalarse estará ubicada a 24 mts de altura con dirección al Site Paita_3_1900.</b>			

### 3.2 Desarrollo de la solución del Enlace Paita3\_1900 – Paita

Se habilitó el radioenlace con el site Paita utilizando equipos de radio HUAWEI RTN950A 1+0 en la banda de 23 Ghz.

El sistema instalado está conformado con equipo digital que opera en la banda de 23 Ghz, con el mismo se obtiene calidad y confiabilidad de transmisión necesarias.

La tabla 3.7 muestra los datos generales. La Tabla 3.8 MUESTRA las especificaciones técnicas.

**Tabla 3.7** Datos generales (Fuente: Elab. propia)

Parámetros	Valor
Nombre de radioenlace	Paita_3_1900 - Paita
Fecha final de Instalación	Miércoles 27 de agosto 2014
Configuración del Radioenlace	1+0 con XPIC dual polarized
Potencia de TX nominal	17 dBm
Antena parabólica	0.30 m

Equipo de Radio	HUAWEI RTN 950A
Capacidad	182 Mbps
E1'S Instalados	Ninguno
E1'S Operativos	ninguno

**Tabla 3.8** Especificaciones técnicas (Fuente: Elab. propia )

ESTACION	Paita_3_1900	Paita
Potencia de Transmisión	17 dbm	17 dbm
Capacidad E1's	Noutilizados Mbps	Noutilizados Mbps
Configuración	1+0 XPIC dual polarized	1+0 XPIC dual polarized
Frecuencia Tx (Mhz)	21938.0	23170.0
Frecuencia Rx (Mhz)	23170.0	21938.0
Ubicación de banda base	En gab TP48200A HUAWEI	En gab APM300 HUAWEI
Diámetro de Antena (m)	0,30	0.30
Ganancia de Antena (m)	34.7 dBi	34-7 dBi
Polarización	H+V	H+V

De conformidad con las necesidades de servicio y en previsión de futuros requerimientos, el sistemadeRadiotiene gran capacidad para soportar alto tráfico.

La Figura 3.16 muestra la antena y su ubicación en la torre del site Paita



**Figura 3.16** Antena en el Site Paita con dirección a Paita\_3\_1900 (Fuente: Elab. propia)

La Figura 3.17 muestra la antena y su ubicación en la torre de Site PAITA. Para ambas figuras se pueden observar las frecuencias de Tx y Rx, además del tipo de polarización vertical y horizontal en un mismo canal a la misma frecuencia.





**Figura 3.17** Antena en Site Paita con dirección al Site Paita\_3\_1900 (Elab. propia)  
La Figura 3.18 muestra conectores XPIC a las tarjetas ISV3 en el Site Paita\_3\_1900.



**Figura 3.18** conectores XPIC a las tarjetas ISV3 (Fuente: Elab. Prop.)



**Figura 3.19** Gabinete APM30 en estación Paita (Fuente: Elab. propia)





**Figura 3.20** Acoplamiento de Unidades ODU XMC2I en el Site Paita\_3\_1900 (Propia)

Los resultados medidos y datos complementarios del enlace PAITA 3\_1900 to PAITA son mostrados en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9** Datos del Enlace PAITA 3\_1900 to PAITA (Fuente: Elab. Prop.)

1	SITE A		Paita_3_1900
2	SITE B		Paita
3	TIPO DE MODULACION		256QAM
4	FRECUENCIA CENTRAL RF	GHZ	23GHZ
5	CAPACIDAD DE TRANSMISION	MB	182M
6	FACTOR DE RUIDO	dB	
7	POTENCIA RF DE TRANSMISION	dBm	17
8	ANCHO DE BANDA (SIMBOL RATE)	Mhz	28
9	LONGITUD DEL TRAMO	Km	1.35
10	RUGOSIDAD DEL TERRENO (6<M<=42)	m	26
11	REGION (COSTA-SIERRA-SELVA)		COSTA
12	CARACTERISTICAS DEL TRAMO (KQ)		NA
13	TIPO DE ANTENA ESTACION A/B		A23D03HAC
14	ALTURA INSTALACION ANTENA EST. A	m	20
15	ALTURA INSTALACION ANTENA EST. B	m	30
16	LONG. DEL ALIMENTADOR ANT.EST. A	m	28
17	LONG. DEL ALIMENTADOR ANT.EST. B	m	38
18	ATENUACION DEL ALIMENTADOR (M)	dB	1.0
19	DIAMETRO DE ANTENA ESTACION A / B	M	0.30
20	GANANCIA ESTACION A	dBi	34.7
21	GANANCIA ESTACION B	dBi	34.7
22	TOTAL: GANANCIA	dB	60
23	PERDIDA POR ESPACIO LIBRE	dB	122.11
24	PERDIDA EN ALIMENTADORES (A+B)	dB	0,8
25	PERDIDA EN CIRCUITOS DE DERIV. RF	dB	0.8
26	ATENUACION DISPERSIVA	dB	0,5

27	OTRAS PERDIDAS(DISTURBIOS EN EL MED)	dB	0.4
28	TOTAL: PERDIDAS	dB	0.4
29	ATENUACION DEL TRAYECTO	dB	0.6
30	NIVEL DE RECEPCION EN ESP.LIBRE	dBm	-37.97
31	NIVEL DE RUIDO KTBf	dBm	0.2

La tabla 3.10 y 3.11 muestran sus componentes y tarjetas

**Tabla 3.10** ANTENAS-RRUS-FILTROS(Fuente: elaboración propia)

Tipo	Modelo	Nº de Serie	Fabricante	Suministro		I
				ICA	CI	
AAU	AU10ID	212701116610E4000706	HUAWEI		CI	X
AAU	AU10ID	212701116610E4001060	HUAWEI		CI	X
AAU	AU10ID	212701116610E4000737	HUAWEI		CI	X
RRU	WD5M19394200	2102310CYU10E3001750	HUAWEI		CI	X
RRU	WD5M19394200	2102310CYU10E3001747	HUAWEI		CI	X
RRU	WD5M19394200	2102310CYU10E3001740	HUAWEI		CI	X
RRU	WD7MIRUAC40B	2102310QNU10E4000732	HUAWEI		CI	X
RRU	WD7MIRUAC40B	2102310QNU10E4000684	HUAWEI		CI	X
RRU	WD7MIRUAC40B	2102310QNU10E4000650	HUAWEI		CI	X
ANTENA MW	A23D03HAC	2152431391AE5000409	HUAWEI		CI	X
ODU	ODU(XMC-2-23G)	215241249010D7000108	HUAWEI		CI	X
ODU	ODU(XMC-2-23G)	215241249010D7000126	HUAWEI		CI	X
OMT	OMT	OMTUO323SS3XE00409				

**Tabla 3.11** Bastidores, Banco de Baterías, Aire Acondicionado, auxiliares, otros. Propia

Tipo	Modelo	Nº de Serie	Fabricante	Suministro		I
				ICA	CI	
LBBP	WD2DLBBPD200	021HPJ6TE36000194	HUAWEI		X	X
UBRI	GMD0UBRIB00	022ACJ10E3003039	HUAWEI		X	X
WBBP	QWMDWBBPF201	021VHC10E3000654	HUAWEI		X	X
WBBP	QWMDWBBPF400	021HPR10E3016524	HUAWEI		X	X
UMPT	WD2DUMPTB101	210305488510E3001309	HUAWEI		X	X
UPEU	WD2M000PEU03	21023198974ME3002102	HUAWEI		X	X
UPEU	WD2M000PEU03	21023198974ME1031512	HUAWEI		X	X
ISV3	SL91ISV3	021PFCNE4024398	HUAWEI		X	X
ISV3	SL91ISV3	021PFCNE4026186	HUAWEI		X	X
BBU	WD2BBUC	2102112722P0E2010453	HUAWEI		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260049301	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260049401	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260049501	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260048301	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260049601	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260048101	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260048201	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260048401	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260071301	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260071401	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260071501	SHOTO		X	X
BATERIA	6-FMX-180	SD0010714041260071601	SHOTO		X	X
IDU	SLFB1CASE	2102113821POE1001566	HUAWEI		X	X
RECTIFICADOR	WPSU50A05	2102310FFABTE3003094	HUAWEI		X	X

RECTIFICADOR	WPSU50A05	2102310FFABTE3003130	HUAWEI	X	X
RECTIFICADOR	WPSU50A05	2102310FFABTE3003299	HUAWEI	X	X
RECTIFICADOR	WPSU50A05	2102310FFABTE3003283	HUAWEI	X	X
FAN	WD2E1FANC	2102112722POE2010453	HUAWEI	X	X
DCDU	TD1MDCDU12BO	2102120731PEO3022154	HUAWEI	X	X
TP48200A	TP48200A	2101072021ESE4000020	HUAWEI	X	X
TBC	TBC300A	2101072175BNE4003001	HUAWEI	X	X

**Tabla 3.12**Costos de instalación(Fuente: Elab. Prop.)

OE_ Implementación_ NX_GUL_Paita_3_ Piura						
N° codigo	Codigo	Item	Unidad	Servicio	Cantidad	Subtotal
2.2	WL-BTS02	APM30 Hardware Installation-New-/BTS	PIECE	434.02	1	434.02
2.6	WL-BTS06	DBS BBU Hardware Installation-New-/BTS	PIECE	364.54	1	364.54
3.1	WL-POW01	BBC & Battery Bank Installation-/SET	SITE	416.64	2	833.27
4.6	WL-ADJ04	DBS Basic1*RRU (on Tower) Hardware Installation-New-/BTS	PIECE	506.33	3	1518.99
10.2	New	DBS Basic1*AAU (on Tower) Hardware Installation-New-/BTS	SITE	572.12	3	1716.36
7.3	WL-ATP04	ATP Test(on site)-/Site	SITE	606.03	1	606.03
1.1	MW-ANT01	RTN 600/900,Hardware Installation,(Antenna<1.2m),Per Side	SITE	408.80	2	817.60
2.1	MW-ODU01	RTN 600/900,Hardware Installation,ODU_IDU 1+0 / 1+1 / 2+0 per direction, included AS BUILT	SITE	1,090.88	2	2181.76
TOTAL						8472.57

### 3.3 Descripción de equipamiento

Para la solución indicada se requiere el equipamiento del enlace de radio que consta del OPTIX RTN950A y la antena microondas modelo A23D03HAC, para las aplicaciones de transmisión de tecnologías 2G en su versión GSM, 3G versión WCDMA, y 4G versión LTE..

#### a. Equipamiento OPTIX RTN950A

En esta sección se describirá los aspectos más resaltantes de este equipo, Consta de las antenas sectoriales AAU3910, marca Huawei, las RRU3942 marca Huawei, BBU 3900 marca Huawei. Gabinete completo minishelter. modelo TP48200A, gabinete de expansión de batería –TBC

##### a.1 Unidad de radio (OMT)

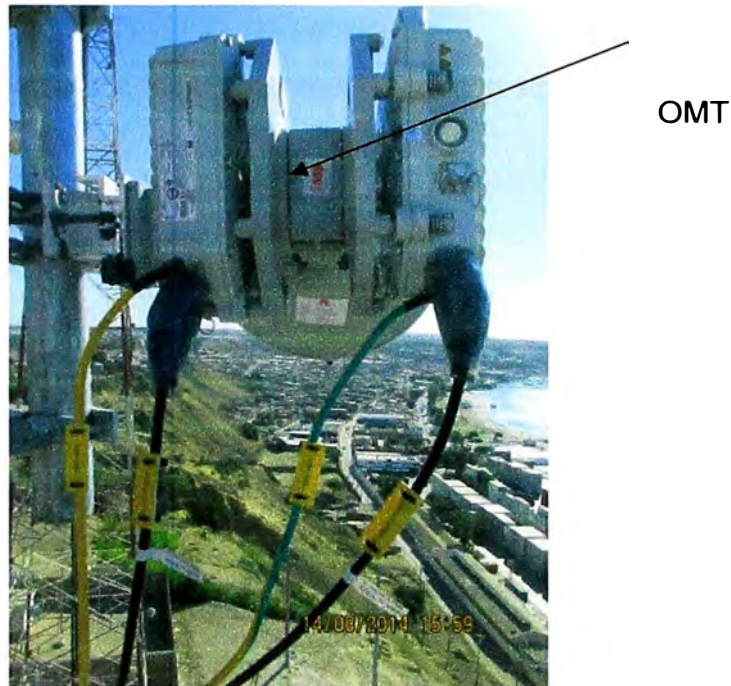
Viene a ser parte del equipo outdoor que va acoplada a la antena de diámetro 0.3 mt, el acoplamiento directo es por la razón de reducir la distancia para que la señal viaje directamente y evitar la atenuación. En la figura 3.39 se puede apreciar entre IODUs un Acoplamiento detrás de la antena (OMT), el cual con lleva una serie de tarjetería



electrónicas para su procesamiento en el Indoor.

El OMT comprende dos tipos de unidades de radio, ISV3. Las unidades de radio ISV3 01 de polaridad vertical + 01 de polaridad horizontal. En esta sección la unidad ISV3 se describe para las frecuencias de 23 GHz

Se debe dejar en claro que la unidad de radio es completamente independiente de las velocidades de transmisión y está disponible para diferentes disposiciones de frecuencias de canal.



**Figura 3.21** OMT en parte posterior de Antena (Fuente: Ref. [10])

### **a.2 Tarjetas ISV3**

Esta unidad forma parte del equipo Indoor que a través de cableado coaxial se conecta con el Outdoor (ODU modelo XMC2). Va instalado en un gabinete dentro de la sala de comunicaciones. La unidad ISV3 cuenta con una serie de tarjetas que permiten procesar la señal de radio para enviar y recibir la trama de datos a través de puerto Ethernet y sobre todo realizar la doble polarización.

### **a.3 Unidad de servicio es la tarjeta CSHO**

Para la entrega de caudales mayores de Mbps se puede configurar la activación de la unidad CSHO. La unidad CSHO proporciona conmutación protegida 1+0.

### **3.4 Resumen técnico de instalación de Indoor y outdoor.**

Primero se procede a instalar la antena de 0.3 metros de diámetro acoplada a la ODU a la altura de 24 metros correspondiente incluyendo el aterramiento a la torre de la ODU.

Segundo se instala el equipo INDOOR OPTIX RTN950A. Para ello se instaló el gabinete mini Shelter el cual utiliza 2RU en su gabinete, incluyendo el aterramiento de la

IDU. Se instala el cable RG8 de la ODU hasta la IDU (ISV3) y este es sujetado con clanes.

El equipo se energizará con -53Vdc, lo cual es entregado por el rectificador marca Huawei. Se configurara los equipos con los parámetros adecuados al radioenlace.

Se realiza el alineamiento del radioenlace con la línea a vista a torre opuesta del Site Paita. Los técnicos proceden al rotulado de cada equipo, según la nomenclatura clara y entendible para su mantenimiento y/o avería. Se realiza la prueba de BER con el equipo de medición a nivel E1 por un tiempo de 24 horas.

### 3.4.1 Alineamiento óptimo para el enlace microondas

Para obtener el óptimo XPD de enlace se procederá con la siguiente metodología

#### Paso 1:

- 1, Alinear la antena para obtener el óptimo RSL.
- 2, configurar las tarjetas IF según ( ver Fig. 3.22)
- 3, En el site A, mover el feeder, y obtener el XPD máximo en una polaridad. Guardar el valor del XPD y marcar el ángulo ( $\theta_1$ ). Ver Figura 3.23

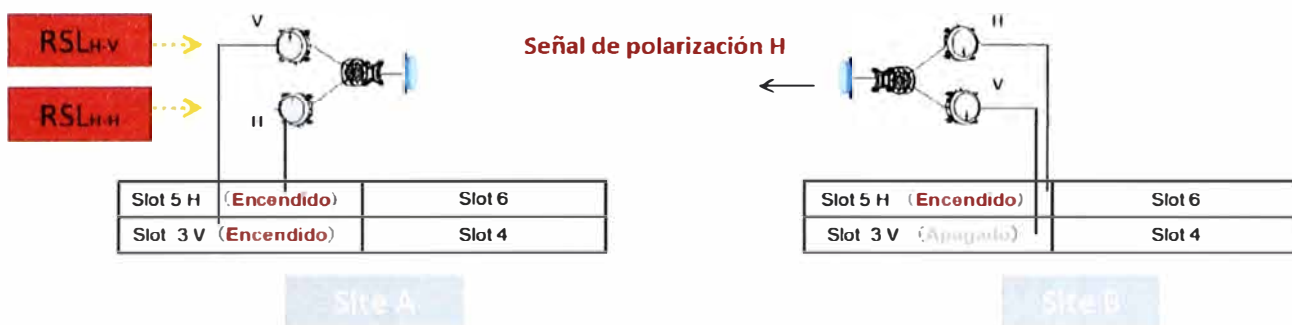


Fig.1 Paso 1 de configuración

Figura 3.22 Configuración (Fuente: Ref. [10])

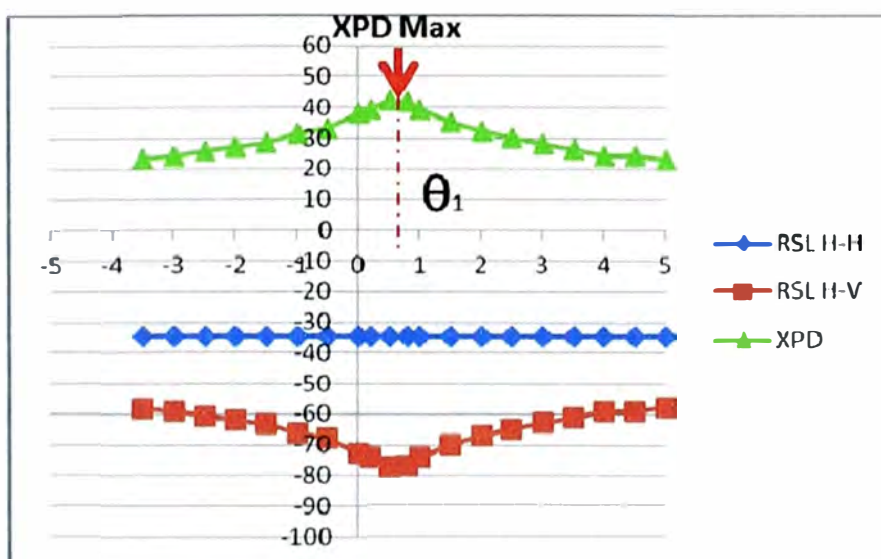


Figura 3.23 Pruebas de alineamiento (Fuente: Ref. [10])

#### Paso 2:

- 1, Alinear la antena para obtener un buen RSL (<1 db).



- 2, configurar las tarjetas IF según ( ver Fig.3.24)
- 3, En el site A, mover el feeder, y obtener el XPD máximo en una polaridad. Guardar el valor del XPD y marcar el ángulo ( $\theta_2$ ).
- 4, Rotar el feeder finamente entre los ángulos  $\theta_1 \sim \theta_2$  para minimizar la diferencia entre XPDv and XPDH
- 5, repetir en el sitio B.

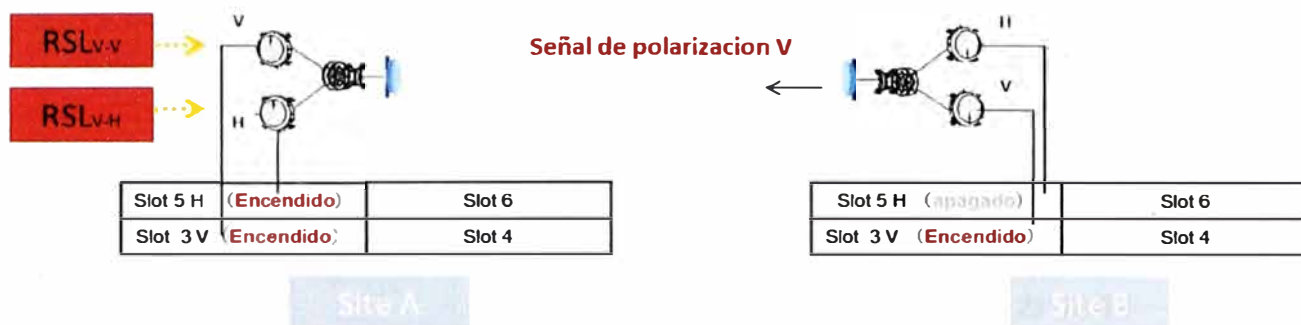


Fig.1 Paso 2 de la configuración

Figura 3.24 Configuración (Fuente: Ref. [10])

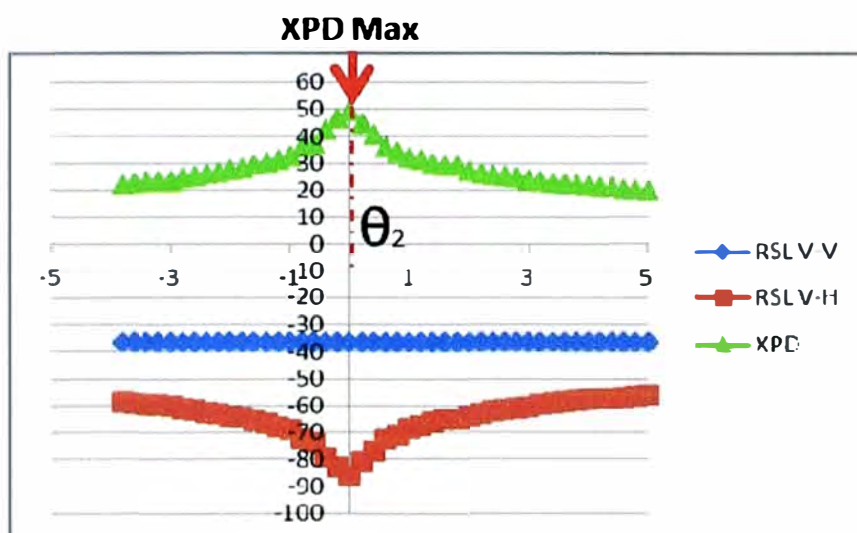


Figura 3.25 Pruebas de alineamiento (Fuente: Ref. [10])

De esta manera se aseguró el buen funcionamiento y el valor de performance óptimo solicitado por la empresa. Y así se garantiza que las dos señales tanto vertical como horizontal no se interferirían la una a la otra durante la transmisión.

En la siguiente tabla 3.13 se muestra los cálculos de parámetros para el enlace microondas

Tabla 3.13 Cálculos de parámetros para el enlace microondas (Fuente: Elab. propia)

Paita_3_1900-Paita Link_1 ( PAITA 3_1900 to PAITA)		
	PI_013174	PI_011707
Elevation(m)	39.14	67.91
Latitude	-5.0874	-5.08617

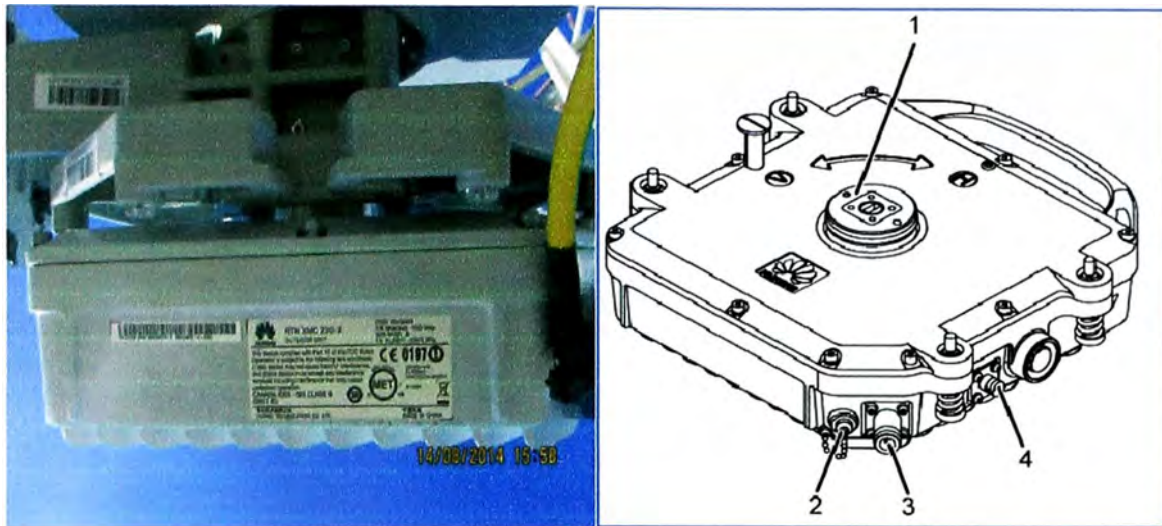
Longitude	-81.1167	-81.1045
Antenna azimuth(°)	<b>84.26</b>	<b>264.26</b>
Vertical angle(°)	-1.21	1.21
Antenna model	A23D03HAC	A23D03HAC
Antenna height(m)	<b>20.0</b>	<b>30.0</b>
Antenna gain(dBi)	34.7	34.7
Connector loss(dB)	1.0	1.0
Frequency(MHz)	22400.0	
Polarization	H+V	
Path length (km)	1.3596	
Free space loss(dB)	122.11	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.26	
Field margin(dB)	1.0	
Diffraction loss(dB)	0.0	
Radio model	<b>23G_XMC2_256Q_28M_1</b>	<b>23G_XMC2_256Q_28M_182M</b>
TX power(dBm)	<b>82M</b> <b>17.0</b>	<b>17.0</b>
TX channels	<b>C26L 21938.0H</b>	<b>C26H 23170.0H</b>
RX threshold criteria	<b>C26L 21938.0V</b>	<b>C26H 23170.0V</b>
RX threshold level(dBm)	1E-6 BER -68.5	1E-6 BER -68.5
RX signal(dBm)	<b>-37.97</b>	<b>-37.97</b>
Thermal fade margin(dB)	30.53	30.53
Average annual temperature(°C)	25.0	
Path classification	Medium elevation antenna(400-700m)-hills	
Over water classification	Inland	
Probability dN/dh <-100 nunits/km(%)	20.0	
Flat fade margin - multipath(dB)	17.54	
Worst month multipath availability(%)	100.0	
Worst month multipath outage (sec)	0.0	
Annual multipath availability(%-sec)	100.0 - 0.0	
0.01% Rain rate(mm/hr)	20.52	
Rain database	ITU-R P.837-6	
Annual rain availability(%-sec)	100.0 - 0.0	
Annual availability(%-sec)	100.0 - 0.0	

### 3.4.2 Instalación de la ODU

Se detalla la instalación de la ODU RTN XMC-2 de modo que se faciliten las labores de operación y mantenimiento. Figura 3.26.

Se procede a instalar la antena de 0.3 metros de diámetro acoplada a la ODU a la altura de 24 metros correspondiente incluyendo el aterramiento a la torre de la ODU. Figura 3.27.

Segundo se instala el equipo INDOOR OPTIX RTN950A de modo que se faciliten las labores de operación y mantenimiento.



**Figura 3.26** ODU(Fuente: Ref. [10])



**Figura 3.27** Antena(Fuente: Elab. propia)

La distribución general de los slots es tal como se muestra en la figura 3.28:

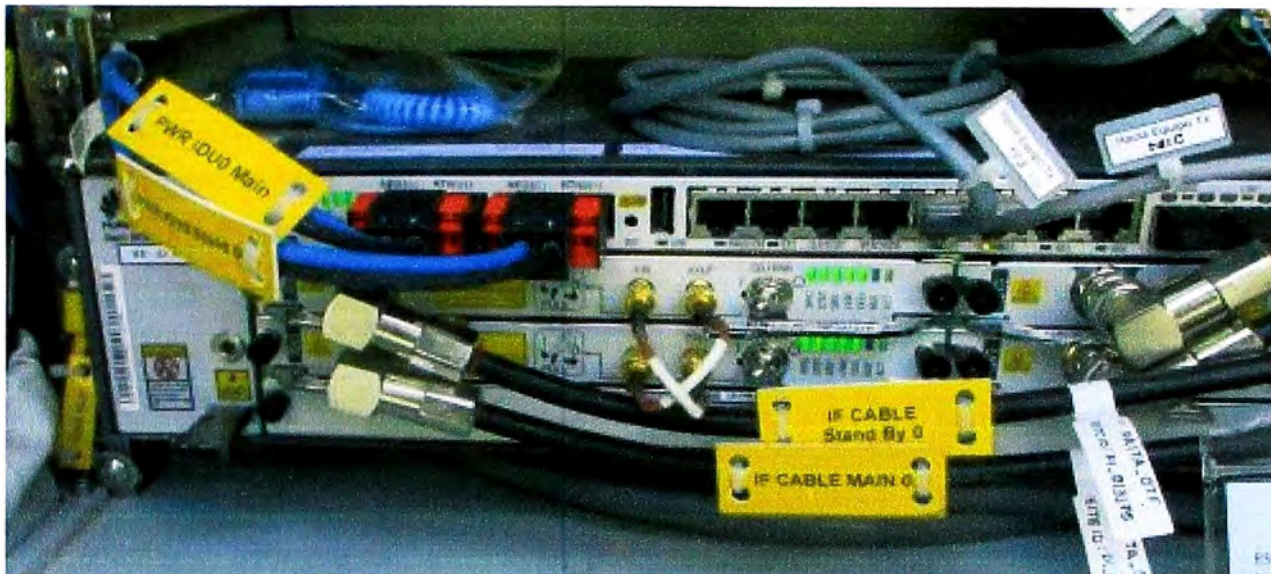
		Slot 7 (CSH0)	
Slot11 (FAN)		Slot 5 (EXT)	Slot 6 (EXT)
		Slot 3 (EXT)	Slot 4 (EXT)
		Slo: 1 (EXT;	Slot 2 (EXT)

**Figura 3.28** Distribución general de los slots(Fuente: Elab. propia)

El recorrido de los cables de señal se llevó por el lado derecho del gabinete. Los cables de energía fueron peinados por el lado izquierdo del gabinete tal como se aprecia



en la figura 3.29:



**Figura 3.29** Peinado de cables(Fuente: Elab. propia)

Para ello se instaló el gabinete mini Shelter el cual utiliza 2RU en su gabinete, incluyendo el aterramiento de la IDU. Ver figura 3.30.



**Figura 3.30** Gabinete mini Shelter(Fuente: Elab. propia)

Se instala el cable RG8 de la ODU hasta la IDU (ISV3) y este es sujetado con clanes. El cableado se ubicó sobre la escalerilla indoor y ajustado con cintillos blancos. La distribución de los cables se realizó según el tipo: teniendo a un extremo, los cables de energía, al centro el cable de tierra (GND), y finalmente los cables de Señal (IF, E1s, Ethernet) al extremo opuesto del cable de energía.

- Los cables fueron fijados a la escalerilla en cada paso de ésta (aproximadamente.30 cm.)
- El tendido de cable y/o flexconduit mantuvo la linealidad durante el recorrido horizontal y/o vertical.
- Los cables de señal y de energía tienen una separación mínima de 3cm para evitar problemas de interferencia entre ellos.

### **Descripción de Cables usados**

- IDU RTN950A:
  - o 02 cables de energía -53VDC.
  - o Cables de PGND: cable de PGND de la IDU (de 6mm2 colores: - Amarillo/verde y Verde).
- Conector tipo: Terminal OT (M4 y M8)
  - o 01 cable UTP 5E para el puerto físico Fast Ethernet entre IDU y BBU.
  - o 01 Cable IF 5D
- Conector tipo: TNC
- ODU XMC-2:
  - o 01 cable IF 5D
- Conector tipo: BNC
  - o 01 Cables de PGND2: cable de PGND de la RRU (de 10mm2 colores: Amarillo/verde y Verde).
- Conector tipo: Terminal OT (M6 y M8)

Para facilidad de operación y mantenimiento de los cables, estos fueron protegidos a la entrada a los gabinetes con sellador Sikaflex 11FC. Se usó dos breaker, un breaker principal y uno en stand-by para energizar el RTN950, dicho breaker debe tener una capacidad de 16 Amperios. El equipo se energizó con -53Vdc, lo cual es entregado por el rectificador marca Huawei.





**Figura 3.31** Gabinete mini Shelter(Fuente: Elab. propia)

Se configuraron los equipos con los parámetros adecuados al radioenlace. Se realizó el alineamiento del radioenlace con la línea a vista a torre opuesta del Site Paita. Los técnicos procedieron al rotulado de cada equipo, según la nomenclatura clara y entendible para su mantenimiento y/o avería. Figura 3.32.



**Figura 3.32** Rotulado de Antena(Fuente: Elab. propia)

Se realizó la prueba de BER con el equipo de medición a nivel E1 por un tiempo de 24 horas.



## **CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección se presenta la estructura de costos y el cronograma de trabajo del proyecto realizado.

### **4.1 Análisis descriptivo de la información relativa a las variables de estudio**

La ubicación de los nuevos radioenlaces en las torres de telecomunicaciones debe ser la adecuada, para poder tener la mejor línea de vista y así poder garantizar la mejor alineación posible y con ello el máximo aprovechamiento. La calibración de los equipos deberá tener las mejores condiciones para no interferir las dos señales durante la transmisión.

### **4.2 Análisis teórico de los datos y resultados obtenidos en relación con las bases de teóricas de la investigación.**

Por medio del software Google Earth, podemos observar teóricamente la ubicación las zonas y así poder determinas algunos datos como distancia, azimut, etc, nos apoyamos también de otra pruebas de enlaces teóricos. Ubicando la mejor línea de vista entre los Sites.

Estos resultados se verifican en campo, con una visita técnica a los sites mencionados y un informe de TSS (Reporte Técnico Site Survey).

### **4.3 Análisis de la asociación de variables y resumen de las apreciaciones relativas**

Las variables que producen la disminución de velocidad de transmisión de enlace son: la neblina, la lluvia, que ocasionan la atenuación de la señal, el calor en las épocas de verano, el movimiento de la torres producido por el fuerte viento. Con relación a esto se debe de realizar la mejor alineación posible y así mismo tener en óptimas condiciones los equipos de refrigeración.

### **4.4 Presupuesto y tiempo de ejecución**

De acuerdo con todo lo señalado hay que tener encuentra las circunstancias frecuentes que se encuentran en el transcurso de la ejecución del proyecto.

Para el cambio de enlace se debe tener en cuenta la capacidad del gabinete disponible o como en nuestro caso y en la mayoría de casos se requerirá la instalación de nuevas unidades. Por el incremento de tráfico se necesita ampliar la capacidad de Backhaul, y por ende aumentar la capacidad del enlace antiguo. Instalando nuevos

enlaces CCDP y tecnología XPIC.

Para llevar a cabo la ejecución de lo expuesto. Se necesita primeramente realizar la visita técnica para realizar la factibilidad y dar la conformidad de la ejecución.

**Tabla 4.1 Costos de Planificación**

Servicio	Item	Costo	Tiempo
Planning	Ing. Junior RF	3000	2 Días
	Ing. Servicios	3000	2 Días
	Ing. Data Base	3000	1 Día

Cabe señalar que el personal de Planing puede realizar el estudio de campo y procesamiento de datos en un promedio de 2 Sites por día. Y un promedio de 40 Sites Mensuales

El personal de Planning es el encargado de estimar la capacidad de los Sites y las demás variables a considerar. Los datos que se obtengan de los sites se realizan las respectivas simulaciones y se obtiene el impacto que se va a tener en la red.

**Tabla 4.2 Costos de equipamiento**

Servicio	Ítem	Costo	Tiempo instalación
Planning	Equipos INDOOR	16 000.00	6 Días
	Equipos INDOOR	20 000.00	6 Días
	MiniShelter	10 000.00	2 Día

Se realizara la instalación de MiniShelter para una proyección del aumento de capacidad de tráfico en el futuro, donde se tenga que hacer nuevas instalaciones o adicionar equipos.

**Tabla 4.3 Costos de instalación**

OE_ Implementación_ NX_GUL_Paita_3_ Piura					
Codigo	Item	Unidad	Servicio	Cantidad	Subtotal
WL-BTS02	APM30 Hardware Installation-New-/BTS	PIECE	434.02	1	434.02
WL-BTS06	DBS BBU Hardware Installation-New-/BTS	PIECE	364.54	1	364.54
WL-POW01	BBC & Battery Bank Installation-/SET	SITE	416.64	2	833.27
WL-ADJ04	DBS Basic1*RRU (on Tower) Hardware Installation-New-/BTS	PIECE	506.33	3	1518.99
New	DBS Basic1*AAU (on Tower) Hardware Installation-New-/BTS	SITE	572.12	3	1716.36
WL-ATP04	ATP Test(on site)-/Site	SITE	606.03	1	606.03
MW-ANT01	RTN 600/900,Hardware Installation,(Antenna<1.2m),Per Side	SITE	408.80	2	817.60
MW-ODU01	RTN 600/900,Hardware Installation,ODU_IDU 1+0 / 1+1 / 2+0 per direction, included AS BUILT	SITE	1,090.88	2	2181.76
<b>TOTAL</b>					<b>8472.57</b>

Respecto al tiempo estimado para realizar los trabajos, el personal de Planning tiene

la información de todas las zonas donde se necesita incrementar la capacidad de Backhaul y después de realizar el estudio en campo con la información obtenida se pone en marcha la ejecución del proyecto.

Posteriormente el personal de implementación realiza las tareas de instalación dependiendo de las facilidades y equipamiento a instalar en el Site, así mismo si es necesario se realizará los trabajos en ventana de mantenimiento

**Tabla 4.4** Cronograma de Instalación (Fuente: Elab. Propia)

<b>Trabajo descripción</b>	<b>1º día</b>	<b>2º día</b>	<b>3º día</b>	<b>4º día</b>	<b>5º día</b>	<b>6º día</b>
Delivery de equipos						
Ubicación de gabinetes						
Ubicación de bancos de batería						
Instalación de Antenas en Near End						
Alineación de Antena CCDP						
Instalación de Radio BBU						
Tendido de Fibra y Conductor DC						
Encendido, comisionamiento de Radio						
Integración de Radio						
Aceptación de obra						

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. La necesidad de mejorar la capacidad del canal es un problema que se enfrenta conforme aumenta la población en las zonas urbanas o los requerimientos temporales en zonas rurales en donde acuden usuarios de manera temporal.
2. El uso de F.O. es muchas veces muy costoso o difícil de implementar por diversos problemas.
3. La opción de duplicar la capacidad del canal por medio del XPIC es óptima ya que es independiente de la tecnología IP usada (Ethernet, MPLS, etc.).
4. En el caso de estudio presentado se ha aplicado XPIC aunque también se pudo haber utilizado Radio LAG el cual agrega un segundo enlace pero con la diferencia que debe usar una segunda frecuencia a diferencia del XPIC que solo usa una frecuencia en dos polarizaciones distintas y evita los problemas de interferencia entre las dos polarizaciones.

### **Recomendaciones**

1. Es recomendable seguir los pasos mencionados en la metodología. Se debe tener cuidado en el alineamiento.
2. Las frecuencias adyacentes de un enlace deberían ser recibidas a niveles cercanos para que el equipamiento XPIC trabaje apropiadamente.
3. El uso de XPIC requiere antenas de muy alta discriminación de polarización cruzada, por ello se debe poner especial cuidado en la selección de la antena.



**ANEXO A**  
**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

AMPS	Advanced Mobile Phone System
ATPC	Automatic Transmission Power Control
CCDP	Polarización Dual Co-Canal
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EPC	Evolved Packet Core
ETACS	Extended Total Access Communication System
eUTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio System
GSM	Global System for Mobile Communication
HSCSD	High Speed Circuit-Switched Data
HSPA	High Speed Packet Access
IETF	Internet Engineering Task Force
LAG	Link Agregation
LCT	Local Craft Terminal
LSP	Label Switch Path
LTE	Long-Term Evolution
MPLS	Multiprotocolo de conmutación por etiquetas
NMS	Network Management System
OAM	Operation, Administration, Management
PW	Pseudo Wire
QoS	alta calidad de servicio
RHPC	Polarización Circular de Mano Derecha) y LHCP (Polarización Circular de Mano Izquierda
SDH	Synchronous Digital Hierarchy.
SCT	Subnetwork Craft Terminal
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	Universal Equipment)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Service
WAAS	Wide Area Application Services
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
XPD	Discriminación por Polarización Cruzada
XPIC	Cross Polarization Interference Cancellation

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] OSIPTEL, "Evolución de las redes de telefonía móviles hacia la cuarta generación". Documento de trabajo n° 13 -GPRC
- [2] Dahlman, et. Al., "3G Evolution: HSPA and LTE for mobile broadband", ISBN: 9780123725332
- [3] Alcatel –Lucent "The IP Road to Mobile Network Evolution". [http://www3.alcatel-lucent.com/enrich/v1i12007/article\\_c4a4.html](http://www3.alcatel-lucent.com/enrich/v1i12007/article_c4a4.html).
- [4] Alcatel –Lucent "Deploying IP/MPLS in Mobile Networks" <http://next-generation-communications.tmcnet.com/topics/end-to-end-ip-transformation/articles/53915-deploying-ipmpls-mobile-networks.htm>".
- [5] Zúñiga, Jorge. Curso: "IP-RAN / IP-MPLS". Alcatel-Lucent Chile. Setiembre, 2009
- [6] Nakamurakare, et. Al. "IP Backhaul para redes móviles", <http://blog.pucp.edu.pe/item/79314/ip-backhaul-para-redes-moviles>
- [7] Fundamentos de MPLS/VPN - Rogelio Alvez
- [8] Dieter Beller, Rolf Sperber, "MPLS-TP – The New Technology for Packet Transport Networks", <https://www.dfn.de/fileadmin/3Beratung/DFN-Forum2/118.pdf>.
- [9] Díaz Ataucuri, "Diapositivas del Curso: Redes de Banda Ancha", 2009
- [10] Huawei, "Choosing the right technology for mobile backhaul evolution", Comunicate, 2009
- [11] A. H. Khan, et. al., "4G as a Next Generation Wireless Network", International Conference on Future Computer and Communication, 2009.
- [12] S. Kumar, "Fourth Generation of Mobile Communication Systems: Evolution, Objectives, Prospects and Challenges", First Asian Himalayas Conference on Internet, November, 2009
- [13] G.S.V. Radha Krishna Rao&G. Radhamani, "WiMAX A Wireless Technology Revolution", Auerbach Publications, 2008.
- [14] Vergaray, Luis. "Optimización de interfaces Abis sobre redes IP para aplicaciones en comunicaciones móviles GSM", Informe de Suficiencia-FIEE, 2011.
- [15] Guerrero Alexis, "Propuesta de un sistema de conectividad corporativa para una empresa petrolera", Informe de Suficiencia-FIEE, 2012.
- [16] NSMA, "Cross Polarization Interference Cancellation (XPIC)" <http://www.nsma.org/presentations/2003XPICupdated.ppt>