

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**RED DORSAL SDH**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**CHRISTIAN JULIÁN SÁNCHEZ SÁNCHEZ**

**PROMOCIÓN**

**2004 - II**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

**RED DORSAL SDH**

Agradezco a mis seres queridos:

A mis padres por el sacrificio y  
la confianza que pusieron en mí,  
a mis hermanos por su comprensión  
y a mis compañeros de estudio  
por su apoyo y amistad.

## **SUMARIO**

En el presente informe se describirán detalladamente los aspectos más importantes de una red de transporte priorizando la parte cualitativa, técnica y económica. Este estudio se basó en el proyecto “Red Dorsal con Jerarquía Digital Síncrona”, el cual se realizó entre las ciudades de Lima y Huancayo.

La disyuntiva que se presentó en este proyecto fue la elección de un medio de transmisión adecuado (fibra óptica o microondas).

Para solucionar este asunto se describirán los puntos más relevantes de los dos medios de transmisión antes mencionados.

Primero se listarán las características de cada uno de ellos y se hará una comparación, también se realizarán algunos cálculos de ingeniería y detallarán los costos que se generan en la implementación de cada uno de ellos; este presupuesto será determinante al momento de la elección del medio, con estos tres aspectos se podrá hacer un análisis y sacar conclusiones que permitan hacer una elección adecuada.

Así mismo, se hará una descripción detallada de todo el equipamiento necesario del medio de transmisión elegido para la implementación de una red SDH.

Finalmente se describirán las principales pruebas que se realizan antes de hacer la entrega final y las pruebas que se desarrollan en el protocolo de aceptación.

## INDICE

<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>MARCO DE REFERENCIA</b>	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Tecnología digital síncrona (SDH)	5
1.2.1 Ventajas	7
1.3 Descripción del problema	9
1.4 Medios de Transmisión	10
1.4.1 Tipos de medios de transmisión	11
1.5 Conclusión	14
<b>CAPITULO II</b>	
<b>ESTUDIO CUALITATIVO, TECNICO Y ECONOMICO</b>	15
2.1 Estudio cualitativo	15
2.2 Comparación de características de los medios de transmisión	15
2.2.1 Ancho de banda	16
2.2.2 Costo	16
2.2.3 Tiempo	17
2.2.4 Espectro electromagnético	17
2.2.5 Línea de vista	17
2.2.6 Inmunidad a la interferencia y ruido	17
2.2.7 Instalación de infraestructura	17
2.2.8 Mantenimiento	18
2.2.9 Irregularidad del terreno	18
2.2.10 Impacto sobre el terreno	18
2.2.11 Seguridad	18
2.2.12 Condiciones ambientales	18
2.2.13 Energía eléctrica	19
2.3 Ventajas adicionales de la fibra óptica	19
2.4 Ventajas adicionales de los radioenlaces	19
2.5 Estudio técnico	19
2.5.1 Diseño del radioenlace	19

2.5.2 Diseño del enlace con fibra óptica	32
2.6 Estudio económico	34
2.6.1 Por microondas	34
2.6.2 Por fibra óptica	36
<b>CAPITULO III</b>	
<b>RESULTADOS</b>	38
3.1 Aspecto cualitativo	38
3.2 Aspecto técnico	38
3.3 Aspecto económico	39
3.4 Equipamiento	39
3.4.1 Antenas	40
3.4.2 Radio	42
3.4.3 Add – Dropp Multiplexor	43
3.4.4 Guía de onda	44
3.4.5 El deshidratador	45
3.5 Mediciones	46
3.5.1 Return Loss (Perdidas de retorno)	46
3.5.2 Distance to fault	47
3.5.3 Potencia	47
3.5.4 BER	48
3.6 Fotografías de la instalación	49
<b>CONCLUSIONES</b>	53
<b>ANEXO A</b>	
DETALLES DE SDH	54
<b>ANEXO B</b>	
PLAN DE CANALIZACION DE FECUENCIAS EN EL RANGO DE 6430 A 7110 MHZ	66
<b>ANEXO C</b>	
ESPECIFICACIONES TECNICAS ALCATEL 9667 LSY Y HUAWEI OSN 1500	68
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	71

## INTRODUCCION

El propósito de este informe es describir los aspectos más importantes de una red dorsal SDH dando énfasis a la elección del medio de transmisión más adecuado, el cual nos permita implementar esta red de la manera más óptima posible. Para tal efecto se estudió las cualidades y limitaciones de dos medios de transmisión (radioenlace y fibra óptica), se hicieron cálculos técnicos y se elaboraron sus presupuestos.

Asimismo, la finalidad de este informe es dar detalles de la implementación y las pruebas de protocolo hechas sobre esta red (actualmente en servicio) con el medio de transmisión que finalmente se eligió.

En el primer capítulo se tiene el marco de referencia, en el cual se recopiló información sobre la evolución de las redes de transporte desde la Jerarquía Digital Plesiosíncrona (PDH) hacia la Jerarquía Digital Síncrona (SDH). Posteriormente, se enumeraron las ventajas que tiene el uso del SDH y finalmente, se describió el problema y/o disyuntiva que se presenta en la elección del medio de transmisión más adecuado.

En el segundo capítulo, se hizo una recopilación de todas las características de los dos medios de transmisión para analizar la parte cualitativa, además se realizaron cálculos técnicos y económicos que nos permitieron ver la factibilidad de la red empleando fibra óptica o radioenlaces.

En el tercer capítulo, se vio el medio de transmisión elegido en base a los aspectos detallados en el capítulo II; asimismo, se vieron detalles del equipamiento con que se implementó la red, las pruebas de protocolo y fotografías de la instalación.

Finalmente, se listaron las conclusiones a las que se llegó gracias a los resultados obtenidos.

En el Anexo A, se muestran detalladamente la topología genérica y demás atributos de la Jerarquía Digital Síncrona; en el Anexo B y C, se muestra el plan de canalización de frecuencias usado durante la implementación final con radioenlaces y las hojas técnicas de los equipos respectivamente.

## **CAPITULO I**

### **MARCO DE REFERENCIA**

#### **1.1 Antecedentes**

El funcionamiento de las redes plesiócronicas (redes tradicionales) está basado en los principios de modulación por codificación de pulsos PCM y de multiplexaje por distribución de tiempo TDM; como sabemos, mediante la PCM es posible representar en forma binaria formas de ondas analógicas como la voz humana; así, mediante esta técnica, la señal telefónica estándar de 4KHz. se convierte en una secuencia digital de bits con la velocidad de 64 kbit/s; por su lado, el TDM se utiliza para producir sistemas de transmisión más eficientes pues permite combinar muchos canales PCM de 64 kbit/s en una señal digital de más alta velocidad y transmitirla por el mismo par trenzado de cobre que se utilizó previamente para una sola señal analógica.

En el esquema PCM-TDM se combinan 30 canales de 64 kbit/s con dos canales adicionales para el control de información, generando una señal de 2.048 Mbit/s. Este sistema se adoptó en Europa y sucesivamente en muchas otras partes del mundo como el sistema básico de transmisión en las redes digitales plesiócronicas y se conoce como sistema E1.

Como consecuencia del incremento en la demanda telefónica, los niveles de tráfico en la red se elevaron progresivamente haciendo que la señal estándar de 2 Mbit/s fuese insuficiente para satisfacer las cargas de tráfico de la red troncal; así, para evitar el empleo excesivo de enlaces de 2 Mbit/s, se creó un nivel mayor de multiplexaje. El estándar europeo se basó en la combinación de cuatro señales de 2 Mbit/s para producir otra con la velocidad de 8 Mbit/s (sistema E2)

A medida que las necesidades de tráfico se fueron incrementando, se incorporaron nuevos niveles de multiplexaje creándose estándares para 34 Mbit/s y 140 Mbit/s, dando lugar a toda una jerarquía de velocidades de transmisión digital.

Paralelamente al desarrollo de la jerarquía europea de transmisión, Norteamérica desarrolló su propia jerarquía digital; si bien los principios son los mismos, esta jerarquía evolucionó con ligeras diferencias en las velocidades de transmisión. Los estándares típicos son los siguientes: 1.5 Mbit/s, 6Mbit/s y 45 Mbit/s. Estas diferencias hicieron que la inter-operación entre las dos jerarquías fuese costosa.

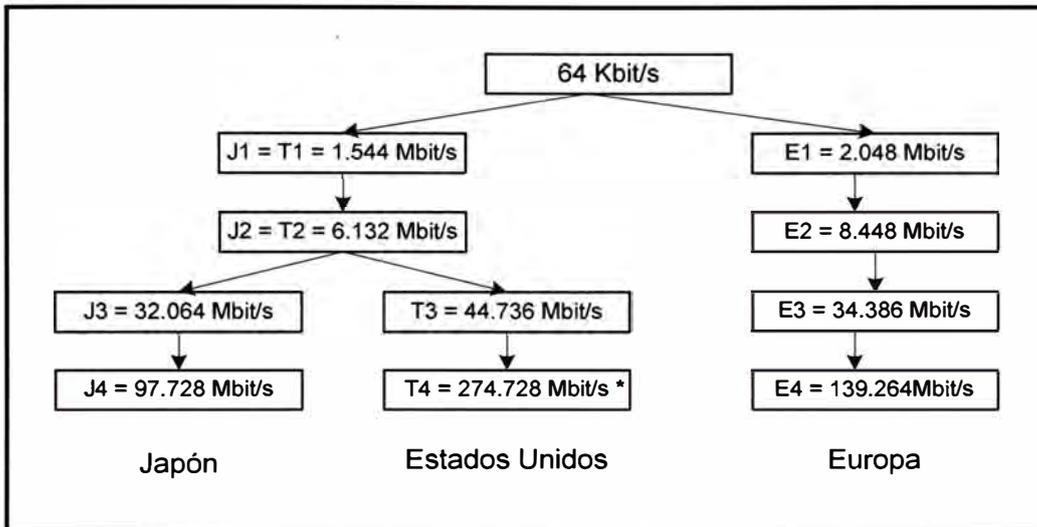


Fig 1.1 Jerarquías de transmisión digital europea, norteamericana y japonesa

La jerarquía de multiplexaje que se acaba de describir tiene las características de que las señales 2 Mbit/s que se multiplexan proceden de diferentes equipos generando cada uno una tasa de bits ligeramente diferente, es decir, no existe sincronía exacta entre ellos, por lo que antes de multiplexar estas señales de 2 Mbit/s es necesario adicionarles información con el propósito de sincronizarlas. Esta información, en forma de bits, se conoce como bits de justificación. En el extremo (receptor), el proceso de demultiplexaje reconoce y elimina los bits de justificación dejando solo la señal original. Este proceso se conoce como operación plesiócrona, palabra griega que significa "casi síncrono".

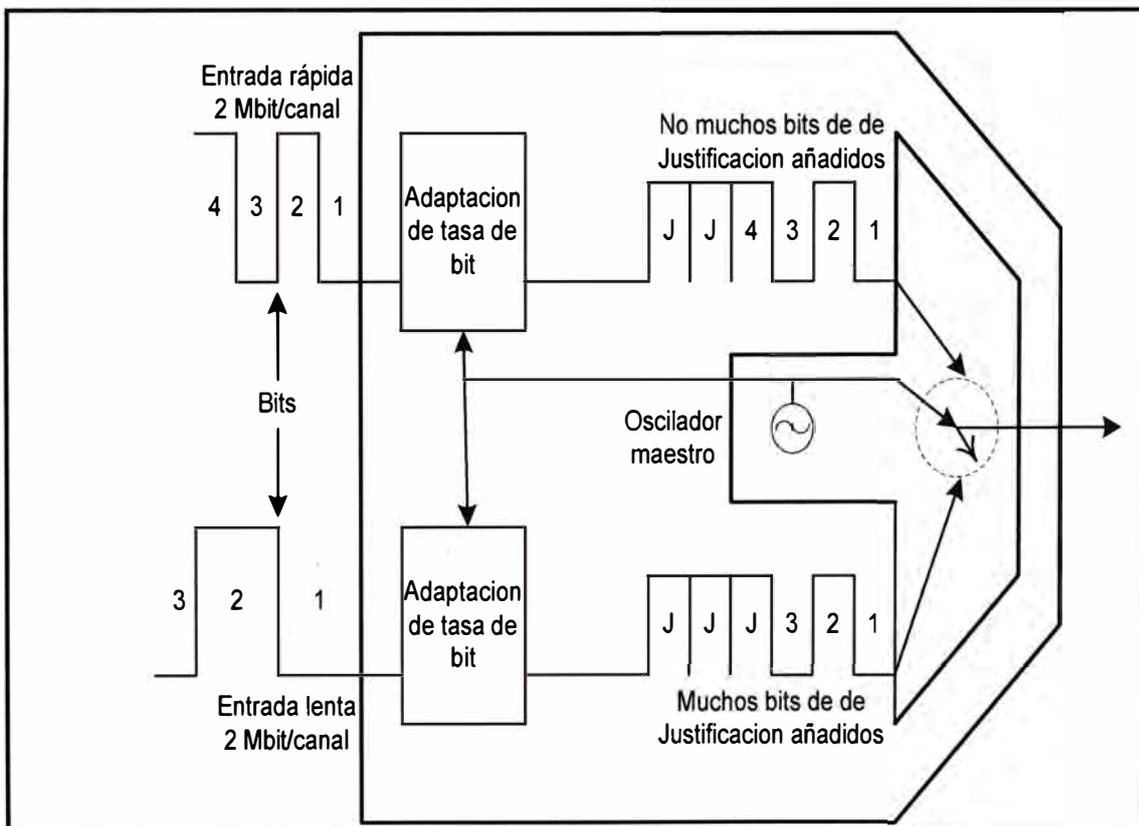


Fig 1.2 Multiplexor plesiócrono

El problema de la falta de sincronía descrito aparece en todos los niveles de la jerarquía de multiplexaje, por esta razón se debe agregar bits de justificación en cada etapa de multiplexaje. El empleo de la operación plesiócrona en toda la jerarquía ha dado origen al término jerarquía digital plesiócrona (JDP o PDH del inglés plesiochronous digital hierarchy)

Los elementos básicos de una red PDH son los multiplexores, los sistemas digitales de distribución de conexiones (digital cross-conexión) y los repetidores digitales. La estructura de un sistema PDH muestra que la eficacia de los multiplexores se ha visto incrementada con los sistemas digitales de distribución de conexiones. Este sistema maneja las señales digitales multiplexadas como si fueran conexiones individuales y es capaz de dirigir las independientemente; estas facilidades se pueden utilizar para configurar servicios dedicados punto a punto entre nodos.

La función de los multiplexores de extracción/inserción es encaminar uno o más canales de comunicación hacia una localidad intermedia haciendo que los canales restantes continúen hacia una localidad distante.

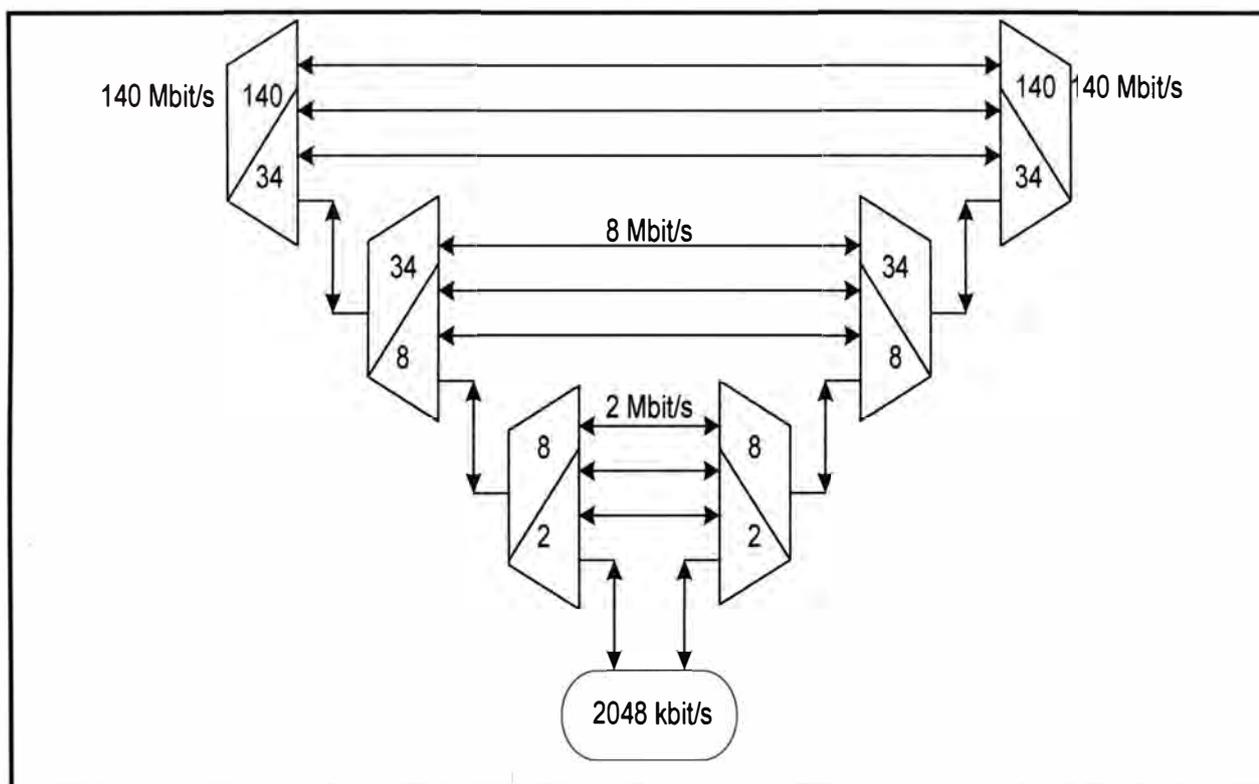


Fig 1.3 Extracción e inserción plesiócrona

Los repetidores son dispositivos que se intercalan a intervalos regulares de una ruta de transmisión con el objetivo de regenerar o restituir a su estado original las señales que se atenúan y distorsionan en el transcurso de su transmisión. Se le emplea en el caso de localidades distantes.

Desventajas de PDH

Las desventajas más importantes de PDH son su inflexibilidad y su incapacidad para la administración eficiente de la red; en efecto, la existencia de bits de justificación en cada nivel de multiplexaje implica que localizar de manera precisa la trama de un solo canal de 2 Mbit/s en una señal de 140 Mbit/s, por ejemplo, es prácticamente imposible, para acceder el canal individual de 2 Mbit/s, la señal de 140 Mbit/s se debe demultiplexar completamente a sus 64 líneas componentes de 2 Mbit/s pasando por los demultiplexajes de 34 y 8 Mbit/s. Una vez que la línea ha sido identificada y extraída, el canal se debe nuevamente multiplexar a los 140 Mbit/s.

Evidentemente, el problema de extracción e inserción de canales en PDH hace que los patrones de conexión sean muy poco flexibles e impide la rápida provisión de servicios; además, la gran cantidad de multiplexores y demultiplexores que se requiere, la cual aumenta con el incremento del número de nodos y de la velocidad de línea, hace extremadamente costoso tanto el equipamiento como el mantenimiento pues el aumento de equipo introduce la posibilidad de generar más errores.

Por otro lado, la gran cantidad de equipos de multiplexaje en la redes PDH acarrea; además, el problema del control de los registros de interconexión de los equipos. En efecto, en su encaminamiento a través de la red, una comunicación de punto a punto pudo haber viajado por diferentes rutas posibles. La única forma de asegurar que siga la ruta correcta es controlando y conservando con precisión los registro de interconexión de los equipos. Estas tareas se vuelven más difíciles de realizar a medida que la actividad de reconexión en la red aumenta haciendo que la posibilidad de fallas crezca. Estas fallas no solo pueden afectar la conexión establecida sino también otras conexiones existentes con comunicación activa.

La limitación típica de PDH es la falta de capacidad para supervisar el comportamiento de la red, esto contrasta con la circunstancia de que a medida que aumenta la complejidad de la red, se necesita mayor control de los parámetros y características de las comunicaciones. El formato de trama PDH suministra poca información para un adecuado sistema de administración de la red, especialmente, cuando las dimensiones de la red crecen, esto incluye el monitoreo y el mantenimiento de la red.

## **1.2 Tecnología digital síncrona (SDH)**

La tecnología SDH se basa en el principio del multiplexaje síncrono directo que es la clave para una red de telecomunicaciones eficiente en costo y flexibilidad. En esencia, esto significa que las señales tributarias individuales se pueden combinar sin etapas intermedias de multiplexaje en un rango más elevado de señal SDH. Como consecuencia, los elementos de la red SDH se pueden interconectar directamente con ahorros en costo y equipo por encima de las redes en operación.

Como ya se ha establecido, las redes tradicionales PDH utilizan una tecnología sencilla de transmisión de punto a punto para enlazar los conmutadores de la red al sitio del cliente. Una señal de 64Kbit/s correspondiente a una llamada telefónica se puede multiplexar hasta 2 Mbit/s y luego a 140 Mbit/s utilizando un multiplexor terminal. Sin embargo, para conmutar esta señal de 64 Kbit/s, la señal de 140 Mbit/s se debe demultiplexar completamente, para esto se requiere un juego completo de multiplexores en cada extremo del enlace de transmisión; este arreglo de multiplexaje-demultiplexaje es muy costoso, siendo que, en la práctica, se necesitan conmutar sólo algunas de las señales de orden inferior.

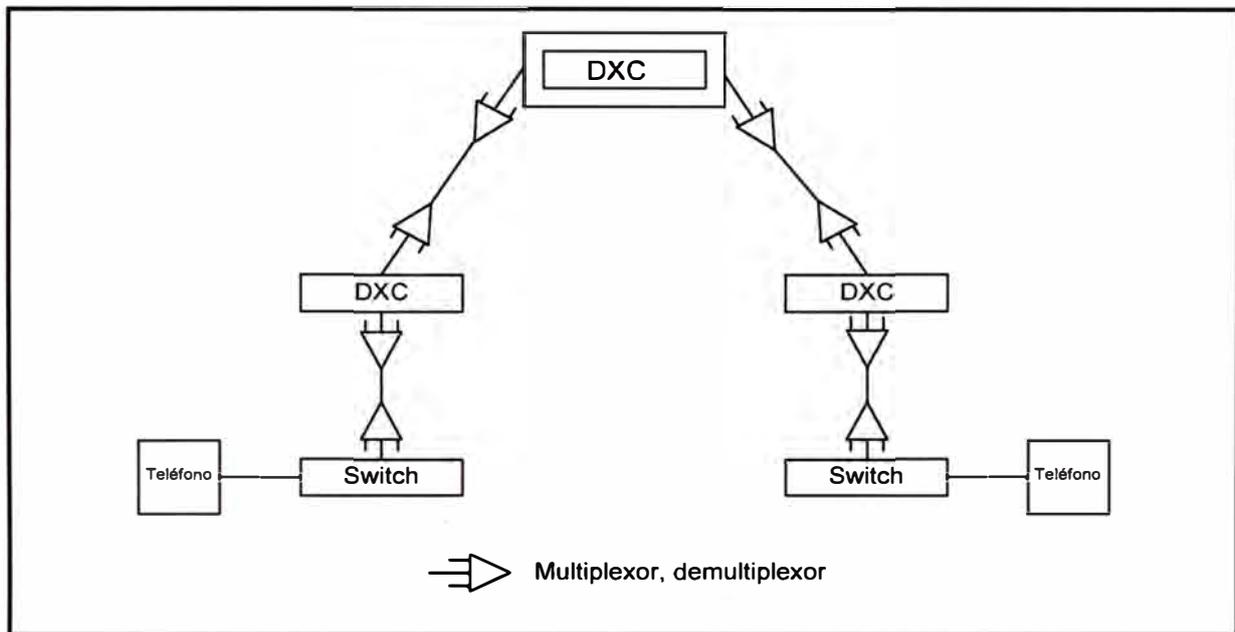


Fig 1.4 Red PDH tradicional

Con una red SDH, la distribución del ancho de banda y el enrutamiento de la transmisión se pueden controlar centralmente haciendo posible el enrutamiento de los circuitos. Una red SDH transporta los datos de usuario utilizando un multiplexaje síncrono. Los sistemas de distribución de conexiones (Digital Cross Connect System, DXC-SDH) pueden enrutar un ancho de banda (de canales de 2 Mbit/s, por ejemplo) a través de la red sin la necesidad de multiplexar primero la señal de línea de alta tasa de bits. Esto lleva a grandes ahorros puesto que se elimina la necesidad de multiplexores terminales de respaldo en los lugares de interconexión. Los DXC-SDH se controlan mediante un conjunto de mensajes estandarizados; además, SDH tiene la flexibilidad de acomodar, rápidamente, nuevos tipos de señales de servicios al cliente que los operadores de red deseen introducir en el futuro. SDH se puede utilizar en las tres áreas tradicionales de aplicación de telecomunicaciones; es decir, larga distancia, red local y red intraplanta. Por lo tanto, SDH promueve la evolución de una infraestructura unificada de red de telecomunicaciones [1]

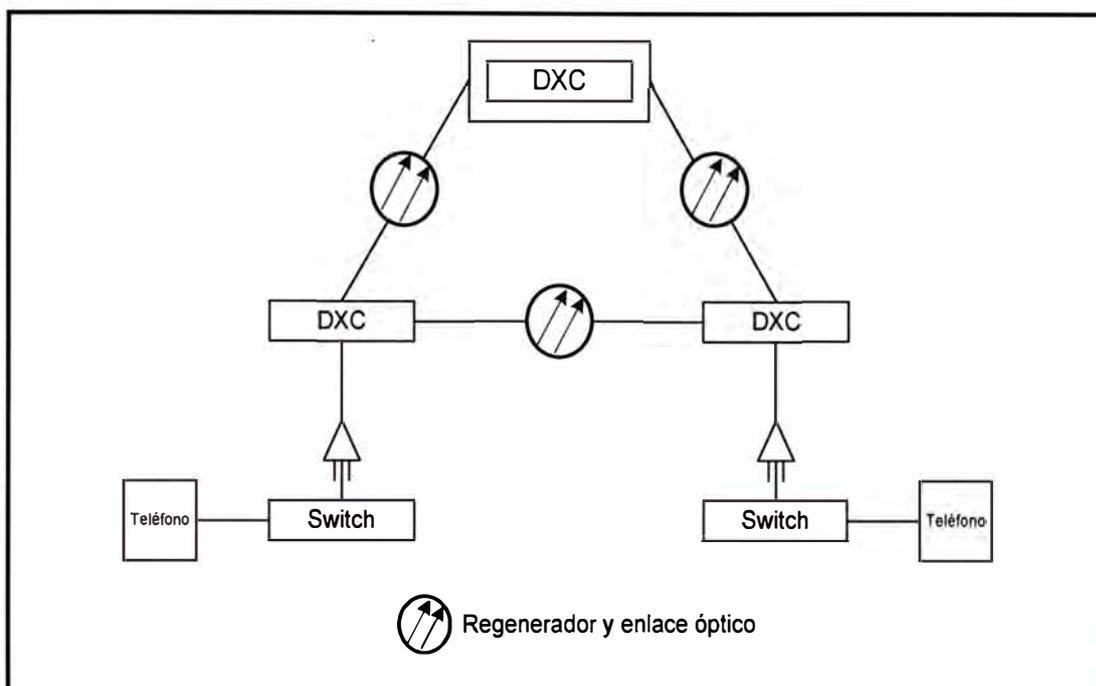


Fig 1.5 Red SDH

La transmisión síncrona se ha desarrollado para resolver los problemas asociados con la transmisión plesiócrona, en particular la capacidad de PDH para extraer circuitos individuales de los sistemas de alta capacidad sin tener que demultiplexar el sistema completo. La transmisión síncrona se puede considerar la siguiente etapa en la evolución de la jerarquía de transmisión, para su desarrollo se ha realizado un esfuerzo concentrado de estandarización. La definición de estos nuevos estándares se ha aprovechado para solucionar un buen número de otros problemas, entre éstos está la necesidad de contar con capacidad para administrar la red, la necesidad de definir interfaces estándar entre equipos y la necesidad de facilitar la interconexión entre las jerarquías de Norteamérica y Europa.

El trabajo de estandarización dio por resultado las recomendaciones G.707, G708 y G709 del CCITT que cubren la jerarquía digital síncrona (SDH), éstas fueron publicadas en 1989 en el libro azul del CCITT. Las recomendaciones del CCITT establecen un número básico de tasas de transmisión dentro de la SDH. La primera de éstas es de 155Mbit/s que normalmente se conoce como STM-1, Synchronous Transport Module, que en español es módulo de transporte síncrono; se establecen también otras dos tasas más altas de transmisión que son STM-4 y STM-16 (622 Mbit/s y 2.4 Gbit/s respectivamente). Las recomendaciones también definen una estructura de multiplexaje en la que la señal STM-1 puede portar varias señales de menor tasa como carga de información (payload), incluyendo señales PDH existentes, sobre la red síncrona.

### 1.2.1 Ventajas

La tecnología SDH ofrece a los proveedores de redes las siguientes ventajas:

**a) Altas velocidades de transmisión**

Los modernos sistemas SDH logran velocidades de más de 10Gbits/s, por ende, SDH es la tecnología más adecuada para los backbones que son las superautopistas de las redes de telecomunicaciones actuales.

**b) Función simplificada de inserción/extracción**

Comparando con los sistemas PDH, ahora es mucho más fácil extraer o insertar canales de menor velocidad en las señales compuestas SDH de alta velocidad, ya no hace falta demultiplexar y volver a multiplexar la estructura plesiócrona, procedimiento que en el mejor de los casos era complejo y costoso. Esto se debe a que en SDH todos los canales están perfectamente identificados por medio de una especie de "etiquetas" que hacen posible conocer exactamente la posición de los canales individuales.

**c) Alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación**

La tecnología SDH permite a los proveedores de redes reaccionar rápida y fácilmente frente a las demandas de sus clientes, por ejemplo, conmutar las líneas alquiladas tarda sólo unos minutos. Empleando un sistema de gestión de redes estándar controlados y monitorizados desde un lugar centralizado.

**d) Fiabilidad**

Las modernas redes SDH incluyen varios mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos de sistema. Un problema en un enlace o en un elemento de la red no provoca el colapso de toda la red, lo que podría ser un desastre financiero para el operador. Estos circuitos de protección también se controlan mediante un sistema de gestión.

**e) Plataforma multiservicio**

Hoy en día SDH es la plataforma ideal para multitud de servicios, desde la telefonía tradicional, las redes RDSI o la telefonía móvil hasta las comunicaciones de datos (LAN, WAN, etc.) y es igualmente adecuado para los servicios más recientes como la transmisión del video digital.

**f) Interconexión**

Con SDH es mucho más fácil crear pasarelas entre los distintos proveedores de las redes y hacia los sistemas SONET, las interfaces SDH están normalizadas, lo que simplifica las combinaciones de elementos de redes de diferentes fabricantes. La consecuencia inmediata es que los gastos de equipamiento son menores en los sistemas SDH que en los sistemas PDH.

El motor que genera toda esta evolución es la creciente demanda de más ancho de banda, mejor calidad de servicio y mayor fiabilidad junto a la necesidad de reducir costos manteniendo la competitividad.

### 1.3 Descripción del problema

Un importante operador de telefonía móvil, en plena expansión y siguiendo su plan de desarrollo, desea extender sus operaciones hacia la sierra central de nuestro país para lo cual necesita una red de transporte. Esta red de transporte tendrá su punto inicial en la ciudad de Lima y su punto terminal en la ciudad de Huancayo. Entre estas ciudades existe una distancia de aproximadamente 300 Km. La cobertura de este operador incluirá: Importantes ciudades del centro del país como: La Oroya, Tarma, Jauja, etc., las cuales desarrollan fundamentales actividades económicas para el país como la ganadería, la agricultura, el comercio, el turismo y la minería.

El problema no radica en la elección de una tecnología para la red de transporte ya que la más apropiada en estos casos es evidentemente una red dorsal o backbone SDH. El dilema radica en el medio de transmisión a usarse. Hay dos posibilidades: la fibra óptica y los radioenlaces.

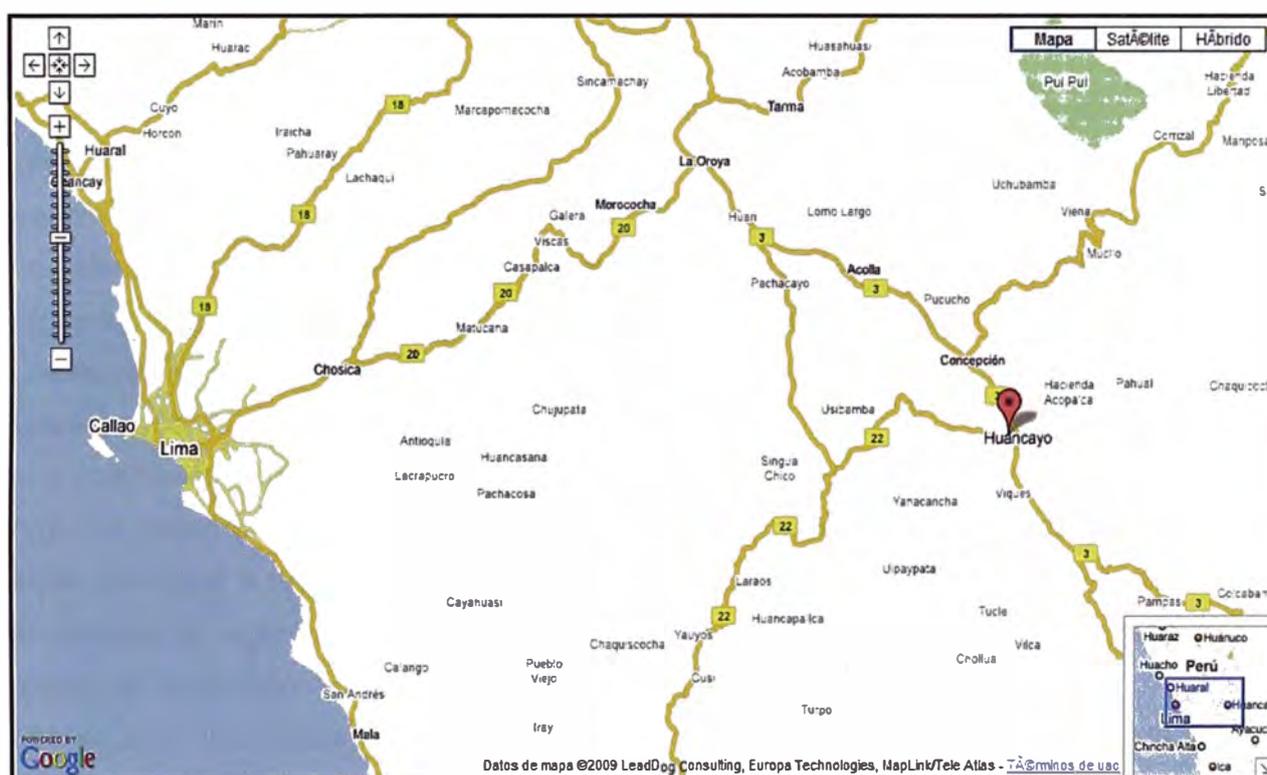


Fig 1.6 Mapa Lima – Huancayo (Fuente: Google Earth)

Asimismo hay otras importantes disyuntivas inherentes la red las cuales son:

El factor económico que incluye:

La selección del fabricante de equipamiento de telecomunicaciones.

La energía eléctrica comercial para el funcionamiento de los equipos

El acceso para la instalación y mantenimiento de los equipos.

La diversidad climática en todo el recorrido de la futura red.

La complicada geografía del enlace, puesto que iniciamos en la Costa y finalizamos en la Sierra.

El impacto ambiental.

Se necesita:

Altas velocidades de transmisión.

Gran nivel de tráfico.

Máxima fiabilidad.

Una red de estas necesita la máxima fiabilidad, por lo que suele emplearse redundancia en equipos y medios de transmisión. Los equipos utilizados son críticos para el funcionamiento de la red y suelen ser de tipo modular. Las topologías malladas (total o parcial), anillo doble y jerárquica con mallado parcial son las más habituales.

#### **1.4 Medios de Transmisión**

En el campo de las telecomunicaciones, el medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual el emisor y el receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión.

En telecomunicaciones, un sistema de transmisión es un conjunto de elementos interconectados que se utiliza para transmitir una señal de un lugar a otro. La señal transmitida puede ser eléctrica, óptica o de radiofrecuencia.

Los elementos básicos de cualquier sistema de transmisión son los siguientes:

La pareja multiplexor y demultiplexor, que pueden ser analógicos o digitales.

Los equipos terminales de línea y

Los repetidores o regeneradores.

Los multiplexores pueden ser de división de frecuencia o de división de tiempo.

Algunos sistemas de transmisión están dotados de repetidores que amplifican la señal antes de volver a retransmitirla, en el caso de señales digitales estos repetidores reciben el nombre de regeneradores ya que la señal deformada y atenuada por su paso, por el medio de transmisión, es reconstruida y conformada antes de la retransmisión.

Los equipos terminales de línea constan de los elementos necesarios para adaptar los multiplexores al medio de transmisión, sea este un conductor metálico, fibra óptica o el espacio radioeléctrico; en el equipo terminal se incluyen además los elementos de supervisión de repetidores o regeneradores así como, en caso de ser necesario, el equipo para alimentar eléctricamente (telealimentar) a estos repetidores o regeneradores intermedios cuando ello se hace a través de los propios conductores metálicos de señal.

En los modernos equipos de transmisión de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH) estas funciones de supervisión y adaptación al medio, generalmente óptico, están concentradas en el mismo equipo.

### 1.4.1 Tipos de medios de transmisión

#### a) Radioenlaces

Sistemas de transmisión de información que utilizan las ondas electromagnéticas a través de un medio no guiado como es el espacio para efectuar enlaces punto a punto.



Fig 1.7 Radioenlaces microondas (Fuente: Internet)

En una transmisión de radio, una antena radiante es usada para convertir una corriente eléctrica variable en el tiempo en una onda electromagnética que se propaga libremente a través de un medio no conductor como es el aire o el espacio; en un canal de radio emisor, una antena omnidireccional irradia una señal transmitida a través de una amplia área de servicio; en un canal de radio punto a punto, una antena direccional que transmite se utiliza para enfocar la onda en un haz estrecho que se dirige a un receptor que se encuentra en único sitio. En cualquiera de los casos, la transmisión de la onda electromagnética es captada por una antena de recepción remota y reconvertida a una corriente eléctrica.

Ventajas:

- a) Volumen de inversión inicialmente más reducido.
- b) Instalación más rápida y sencilla.
- c) Los radioenlaces son inmunes a interrupciones
- d) Conservación generalmente más económica y de actuación rápida.
- e) Pueden superarse las irregularidades del terreno.
- f) La regulación sólo debe aplicarse al equipo puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en la anchura del área de trabajo.
- g) Puede aumentarse la separación entre repetidores incrementando la altura de las torres.

Debido a que los sistemas de microondas no utilizan cable continuo, pueden cruzar terrenos inhóspitos más fácilmente que las soluciones basadas en cable. Los enlaces de microondas también se suelen utilizar para enlazar edificios diferentes donde la instalación de cable conllevaría problemas o sería más costosa; sin embargo, dado que los equipos de microondas suelen utilizar frecuencias con licencia, las organizaciones o gobiernos que conceden las licencias imponen limitaciones económicas y financieras adicionales.

Desventajas:

- a) Explotación restringida.
- b) Necesidad de visibilidad directa para los enlaces punto a punto convencionales.
- c) Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicio de conservación.
- d) Las condiciones atmosféricas adversas puedan ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica usar sistemas de diversidad con equipo auxiliar de conmutación.
- e) La gran linealidad requerida en los repetidores, supone un importante problema de diseño.

Los sistemas de radioenlaces microondas predominan en redes troncales de países donde el terreno es difícil, otros países usan cables en algunas rutas y radio en otras según sea apropiado, en algunos países ambos sistemas son usados en la misma ruta para obtener seguridad en caso cualquiera de ellos caigan.

Aunque se usan antenas de haz angosto, la disponibilidad del espectro de frecuencia es el factor limitante, por tanto el espectro de frecuencia debe ser tratado como un recurso escaso.

#### b) Fibra óptica

La fibra óptica es una tecnología de cable que se utiliza para la instalación de redes de telecomunicación.

Consiste en un núcleo central muy delgado de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plástico (cristales artificiales) con alto índice de refracción de la luz. Alrededor de este núcleo hay un revestimiento también a base de vidrio pero con índice de refracción más bajo que protege al núcleo de contaminación y provoca el fenómeno de reflexión interna, es decir, que cuando un rayo de luz entra por un extremo del cable, no se disipa hacia el exterior sino que mediante reflexiones sucesivas dentro del núcleo se propaga hasta el otro extremo de la fibra. El rayo de luz es el que contiene la información a transmitir.

Entre las principales ventajas y desventajas tenemos las siguientes:

Ventajas.

- a) Tiene un ancho de banda amplio.
- b) No puede ser interferida.
- c) No existe la diafonía (interferencia).
- d) Totalmente dieléctrica.
- e) Capacidad de múltiplex amplio.
- f) Tamaño pequeño, poco peso, soporta grandes tensiones y tiene mucha flexibilidad.
- g) Inmune a la corrosión

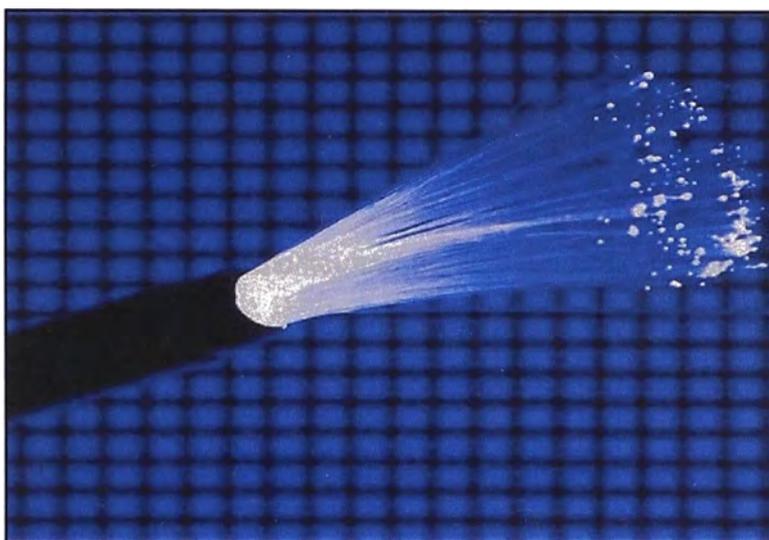


Fig 1.8 Fibra óptica (Fuente: Internet)

La fibra presenta un gran ancho de banda lo que supone más información por conductor que con los medios convencionales. Se manejan valores desde cientos de MHz hasta decenas de GHz; la atenuación que presenta es independiente de la velocidad de transmisión a la que se trabaja, lo cual no ocurre en cables convencionales. La F.O. es totalmente adecuada en virtud de esta característica para transmitir las más altas jerarquías digitales; sin embargo, presenta cierta atenuación, función de sus características físicas, que, además, es variable con la longitud de onda de la señal que la atraviesa; esta atenuación pasa por unos mínimos en determinadas longitudes de onda. La F.O. es inmune al ruido y las interferencias por ser un medio dieléctrico, característica muy positiva en muchas aplicaciones, sobre todo cuando el cable debe pasar por zonas donde hay instalaciones de alta tensión; la información que viaja por la fibra no se puede detectar porque la luz no es sensible a ningún fenómeno de tipo inductivo por la especial configuración de su campo electromagnético. Esto explica que cerca del 10% de la producción mundial de fibra se destine a instalaciones militares. La F.O. presenta dimensiones más reducidas que los medios preexistentes, lo que se traduce en economía de transporte.

Un cable de 10 fibras tiene un diámetro aproximado de 8 ó 10mm y proporciona la misma o más información que un coaxial de 10 tubos; el peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos, redundando en facilidad de instalación.

La sílice tiene un amplio margen de funcionamiento en lo referente a temperatura, pues funde a 600°C. La F.O. presenta un funcionamiento uniforme desde -55°C a +125°C sin degradación de sus características, al contrario de lo que ocurre en muchos cables metálicos, cuya atenuación depende de su resistencia y ésta, de la temperatura. La materia prima para fabricarla es abundante en la naturaleza, lo cual lleva los costos a la baja según mejoran los procesos tecnológicos, al contrario de lo que ocurre con el cobre, cuyo precio depende fundamentalmente de las reservas, de hecho, el precio de los cables de fibra ha ido disminuyendo progresivamente desde su nacimiento.

Desventajas.

- a) Puede resultar más caro si sus ventajas no son correctamente evaluadas.
- b) Las pérdidas de acoplamiento y su dificultad en aplicaciones de campo por el pequeño tamaño de las fibras ópticas.
- c) Algunas fuentes luminosas tienen una vida útil muy limitada.

### **1.5 Conclusión**

Como conclusión puedo señalar que ambas tecnologías representan interesantes opciones para el operador y que al momento de optar por una de ellas se debe analizar las características de estas plataformas y apoyados también en un presupuesto, se adopte la solución adecuada a las necesidades.

## CAPITULO II

### ÉSTUDIO CUALITATIVO, TÉCNICO Y ECONÓMICO

#### 2.1 Estudio cualitativo

Como se mencionó en el capítulo anterior las opciones que tenemos para realizar nuestra red dorsal SDH son dos: los radioenlaces y la fibra óptica.

Sabiendo las características, ventajas y desventajas que nos ofrece cada uno de estos medios de transmisión confeccionaré un cuadro comparativo el cual tendrá por finalidad contrastar las características de ambos medios de transmisión, posteriormente haré un análisis cualitativo que nos permitirá discernir cuál de los dos medios tiene las características más apropiadas (no las mejores) para el tipo de red que deseamos implementar.

#### 2.2 Comparación de características de los medios de transmisión

	<b>Radio enlace</b>	<b>Fibra óptica</b>
1	Ancho de banda limitado.	Gran ancho de banda.
2	Costo proporcional.	Costo lineal.
3	Menor tiempo de puesta en servicio.	Mayor tiempo de puesta en servicio.
4	Necesita del espectro electromagnético	No requiere el espectro electromagnético
5	Requiere línea de vista entre las estaciones	No necesita línea de vista entre las estaciones.
6	No inmune a la interferencia y ruido	Inmunidad a la interferencia y ruido.
7	Instalación rápida y sencilla.	Instalación compleja.
8	Mantenimiento generalmente de actuación rápida.	Dificultad para el mantenimiento en planta externa
9	Puede superar las irregularidades del terreno.	El terreno puede limitarla
10	No impactan sobre el terreno	Gran impacto sobre el terreno
11	Mediana seguridad en la información	Máxima seguridad en la información
12	Dependencia de condiciones ambientales	Independencia de condiciones ambientales
13	Económica	Cara si sus ventajas no son correctamente evaluadas.
14	Uso de energía	Uso de energía

Tabla N° 2.1 (Fuente: autoría personal)

### 2.2.1 Ancho de banda

Como sabemos la capacidad potencial de transportar información crece con el ancho de banda del medio de transmisión y con la frecuencia de la portadora.

Las fibras ópticas tienen un ancho de banda de alrededor de 1 THz, y aunque este rango está lejos de poder ser explotado hoy en día, de todas formas el ancho de banda de las fibras excede ampliamente al de los radioenlaces ya que el ancho de banda de estos últimos están apenas en las decenas de GHz.

### 2.2.2 Costo

A pesar de que los sistemas de fibra óptica son un excelente medio para transmitir información, presentan importantes desventajas asociadas al costo.

Una de ellas es que la fibra óptica tiene un costo lineal con respecto a la distancia (a mayor distancia mas costo).....[2].El alto costo de instalar un sistema de fibra óptica, a pesar de que el costo de sus cables y la tecnología asociada con su instalación ha caído drásticamente en los últimos años.

A diferencia de la fibra óptica, las microondas poseen un costo proporcional al número de repetidores requeridos, es decir, es más barato para grandes distancias....[2]

Comúnmente, a largo plazo, el uso de fibra óptica resulta muy económico, pero si el requerimiento de capacidad de información es bajo esto no se cumple; por otra parte, tenemos las pérdidas que se producen por empalmes o conexiones de las mismas. Los cables de fibra óptica por sí solos son excelentes conductores de luz, pero, al terminarse un cable, éste debe ser unido a otro cable (empalme) o a un equipo específico (conector). En estas conexiones se producen pérdidas de luz que son sumamente costosas, ya que para solventarlas se usa, normalmente, una fuente emisora más potente, de tal manera que éstas pérdidas de luz no afecten la señal emitida.

En este proyecto, las ciudades que se desean enlazar tienen entre sí una distancia de aproximadamente 300Km. Lo cual hace que se prefiera en este punto a los radioenlaces.

Otros costos asociados a la elección del medio de transmisión son:

Los exhaustivos estudios de campo:

Se necesitaría un profundo estudio de campo que nos indique los lugares apropiados para poner las torres, antenas y equipos en el caso de MW o de equipos y recorrido en el caso de fibra.

Este gasto lo podríamos evitar si escogemos las microondas, puesto que la existencia de otro operador telefónico que tiene una red de microondas que une los mismos lugares que deseamos unir, nos serviría como una muy buena referencia. Los cerros donde están colocadas sus antenas nos aseguraran que cumpliremos nuestro objetivo.

La construcción estratégica de nuevas estaciones para las microondas exige obviamente una inversión pero la construcción de estaciones y planta externa en el caso de la fibra implicaría una inversión mucho mayor la cual se justificaría dependiendo del volumen de información que se requiera transmitir.

### **2.2.3 Tiempo**

El tiempo de puesta en servicio de un sistema con fibra óptica es mucho mayor que uno con un sistema de microondas puesto que las obras en planta externa para el caso de la fibra óptica dependen de factores como la geografía, disposición del casco urbano, etc.

En lo que se refiere al tiempo de puesta en servicio, debemos recalcar la existencia de una red dorsal de microondas de otro operador telefónico que está en servicio y que tiene la misma finalidad que deseamos alcanzar (enlazar Lima con Huancayo). Este hecho nos simplificaría bastante el trabajo ya que podemos ahorrar bastante tiempo puesto que tenemos una red que funciona y nos podríamos basar en ella para desarrollar la nuestra, evitando largos y costosos estudios de campo.

### **2.2.4 Espectro electromagnético**

Los radioenlaces microondas, a diferencia de la fibra óptica, necesitan del espectro electromagnético en bandas de frecuencia, las cuales son administradas por el Estado y son además un recurso limitado y caro. Esto es una gran desventaja de la microondas frente a la fibra óptica, ya que limita su crecimiento.

### **2.2.5 Línea de vista**

En los radioenlaces de microondas, a diferencia de la fibra óptica, la línea de vista juega un papel muy importante ya que es vital para su funcionamiento.

En el caso de elegir microondas lo importante sería la localización óptima de estaciones que nos permitan cumplir con nuestro enlace, ésta búsqueda quedaría simplificada si decidiéramos usar como referencia los alrededores de las estaciones del operador telefónico que posee una red similar a la que deseamos implementar.

### **2.2.6 Inmunidad a la interferencia y ruido**

Mientras los radioenlaces microondas no tienen inmunidad a la interferencia y ruido, la fibra óptica es inmune al ruido y las interferencias por ser un medio dieléctrico, característica muy positiva en muchas aplicaciones, sobre todo cuando el cable debe pasar por zonas donde hay instalaciones de alta tensión.

### **2.2.7 Instalación de infraestructura**

La instalación para el caso de las microondas es relativamente rápida y sencilla, luego de encontrar el punto exacto de la futura estación, ya que todo el trabajo se centra en la misma futura estación.

En cambio, con la fibra óptica, a parte de tener que construir nuevas estaciones, se tendría que realizar obra civil para la planta externa que es la ruta por donde pasarían las fibras ópticas entre estación y estación. Esto sería bastante complicado para nuestro proyecto ya que atravesaríamos parte de nuestra complicada geografía (Sierra).

### **2.2.8 Mantenimiento**

En las microondas el mantenimiento generalmente es más económico y de actuación rápida ya que la regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en la anchura de banda de trabajo. En cambio el mantenimiento en el caso de la fibra no solo es a nivel de equipo sino también de planta externa. Reparar un cable de fibras roto en el campo toma un regular periodo de tiempo.

### **2.2.9 Irregularidad del terreno**

En el caso de las microondas y al ser necesario línea de vista para su funcionamiento, la irregularidad del terreno queda superada. Incluso se podría elevar más la altura de la antena como recurso de ser necesario, no así en el caso de la fibra cuya planta externa tendría que lidiar con diferentes geografías y no siempre pudiendo evitar las irregularidades del terreno.

### **2.2.10 Impacto sobre el terreno**

Mientras las microondas se centran en estaciones puntuales, el uso de la fibra implica obra civil entre estaciones (camino de acceso y planta externa), lo que implica un real impacto sobre el terreno y medio ambiente.

### **2.2.11 Seguridad**

Puesto que las fibras ópticas no irradian energía electromagnética, la señal por ellas transmitida no puede ser captada desde el exterior, por esto, algunas aplicaciones militares se apoyan en esta propiedad para incrementar la seguridad de las comunicaciones.

Es extremadamente difícil intervenir una fibra, y virtualmente imposible hacer la intervención indetectable, por ello es altamente utilizada en aplicaciones militares.

### **2.2.12 Condiciones ambientales**

En las microondas, las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerido, esto supone un importante punto en el diseño.

Para la fibra óptica las características de transmisión son prácticamente inalterables debido a los cambios de temperatura. La fibra óptica presenta un comportamiento uniforme desde  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$  sin degradación de sus características, no la afectan las variaciones de temperatura.

### **2.2.13 Energía eléctrica**

Los dos posibles medios de transmisión necesitan energía comercial para el funcionamiento de sus equipos. La existencia de energía comercial en las estaciones del vecino operador, que posee una red de microondas, inclina la balanza hacia el uso de este medio ya que es extremadamente caro llevar energía eléctrica comercial a un lugar remoto.

### **2.3 Ventajas adicionales de la fibra óptica:**

#### **Reducción del peso y tamaño del cable**

Un cable de 6 fibras ópticas puede tener un diámetro exterior de 8 a 10 mm, en cuanto al peso del cable de fibra, se pueden obtener 300 kgr/km, pudiéndose así transportar varios kilómetros de cable en una misma bobina.

#### **Atenuación de línea muy escasa.**

En una fibra óptica, las pérdidas son las mismas para cualquier frecuencia de la señal hasta muy altas frecuencias

#### **Materia prima**

La materia prima fundamental empleada en la fabricación de la fibra óptica es el Dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), elemento muy abundante en la naturaleza pues forma una cuarta parte de la corteza terrestre.

### **2.4 Ventajas adicionales de los radioenlaces**

#### **Retorno de la inversión**

El equipo es reutilizable, a menudo se instalan los sistemas de microondas para grandes proyectos donde la fibra es una buena solución a largo plazo. Para aprovechar al máximo su gran utilidad, una vez que la troncal de fibra se ha instalado, las microondas se retiran y son reinstaladas en otra parte.

### **2.5 Estudio técnico**

#### **2.5.1 Diseño del radioenlace**

##### **a) Especificaciones técnicas básicas:**

El primer paso es saber las especificaciones iniciales para poder hacer un diseño apropiado. Estas especificaciones son:

Velocidad inicial de transmisión: 155Mbps

Modulación: 64 QAM

Frecuencia: Banda de 6 GHz

Servicios: circuitos de voz e interconexión entre operadores

Protección: 1 + 1 HSB

Diversidad: de espacio (mayoría de estaciones)

Polarización: vertical y horizontal (intercalada)

## b) Ubicación

El segundo paso consiste en determinar la posición geográfica de las estaciones lo cual no resultará muy complicado puesto que, como se mencionó, otro operador telefónico tiene una red similar a la que deseamos implementar, es así que se tomará los lugares en donde se encuentran ubicadas sus estaciones como referencia para el inicio del estudio.

Los lugares a los que hacemos alusión son:

Cerro La Milla (Ubicación: San Martín de Porres, Lima)

Cerro Suche (Ubicación: Km 53 de la carretera Central, Santiago de Tuna, Huarochirí)

Casapalca (Ubicación: cumbre del cerro del centro minero Casapalca)

Cerro La Oroya (Ubicación: La Oroya antigua)

Cerro Cachi Cachi (Ubicación: Km 32 de la carretera Lomo Largo, entre Jauja y Tarma)

Cerro Irayrapata (Ubicación: Concepción, Huancayo)

El Tambo (Ubicación: El Tambo, Huancayo)

## c) Diagrama de la red

Usando estos lugares podemos tener un panorama de nuestra futura red y de los equipos que usaremos en nuestro radioenlace.

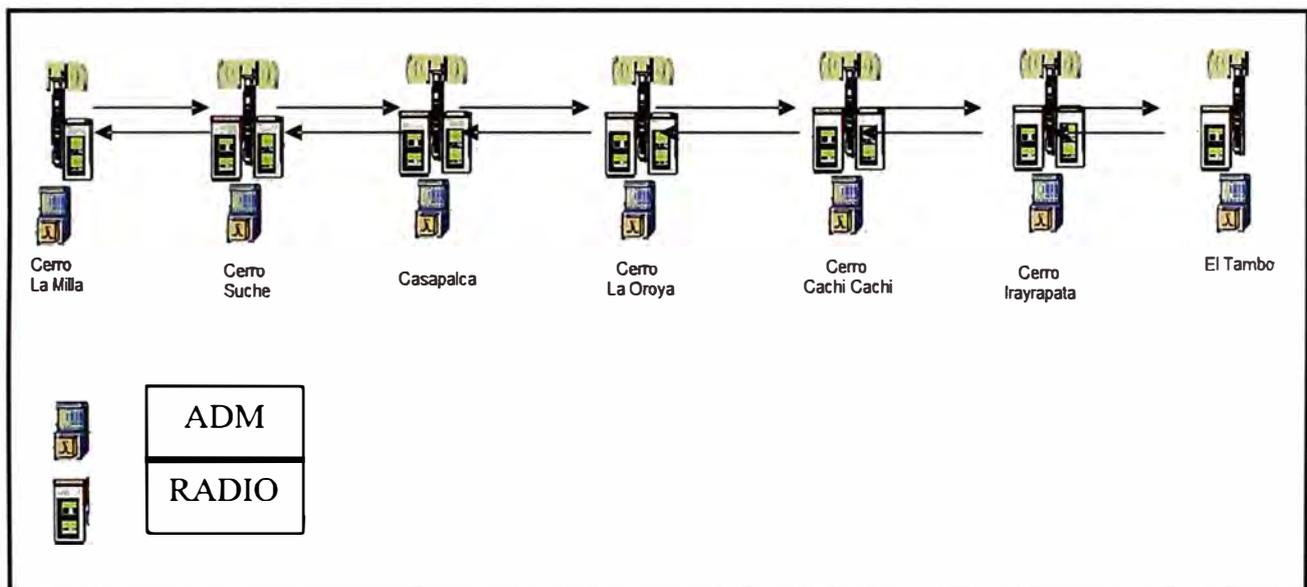


Fig 2.1 Diagrama de la red con microondas

Al inicio de la red los E1s “entran” y/o “salen” del ADM. Los E1s que “entran” al primer ADM por medio de una crosconexion se “acomodan” dentro de un STM1 luego de lo cual son insertados en las radios, las cuales a su vez también reciben el STM1. Este STM1 luego de pasar por varias etapas dentro de la radio llega a la antena a través de la guía de onda la cual transmitirá ondas electromagnéticas hasta la siguiente estación en la cual otra antena la recibirá, luego de lo cual se hará el proceso inverso es decir la radio le da el STM1 con sus E1s al ADM, el cual administrara los E1s con un plan de distribución predeterminado por el operador telefónico, el cual indicara cuantos E1’s se quedan en

esta segunda estación y cuantos siguen su camino hacia la siguiente estación. Así sucesivamente hasta el final la ultima estación. El proceso relatado es de ida y vuelta.

#### d) Site survey

Luego de visitar los cerros con herramientas de medición apropiadas como: GPS, altímetro, binoculares, espejos, etc. obtuvimos los siguientes datos:

Posición de las futuras estaciones.

Altura de las futuras estaciones

Distancia entre las futuras estaciones

ENLACE		COORDENADAS WGS84		COTAS		DIST
SITE A	SITE B	SITE A	SITE B	SITE A	SITE B	KM
Cerro La Milla	Cerro Suche	77° 04' 06.2"	76° 32' 32.3"	207.07m	2894.97m	57.56
		12° 01' 11.7"	11° 57' 51.3"			
Cerro Suche	Casapalca	76° 32' 32.3"	76° 11' 46.9"	2894.97m	5151.64m	49.14
		11° 57' 51.3"	11° 40' 48.6"			
Casapalca	Cerro La Oroya	76° 11' 46.9"	75° 53' 7.0"	5151.64m	4496.32m	40.77
		11° 40' 48.6"	11° 28' 34.4"			
Cerro La Oroya	Cerro Cachi Cachi	75° 53' 7.0"	75° 41' 30"	4496.32m	4362.27m	24.97
		11° 28' 34.4"	11° 35' 46.3"			
Cerro Cachi Cachi	Cerro Irayrapata	75° 41' 30"	75° 20' 07.3"	4362.27m	3732.58m	48.50
		11° 35' 46.3"	11° 51' 28.5"			
Cerro Irayrapata	El Tambo	75° 20' 07.3"	75° 13' 33.8"	3732.58m	3271.99m	23.69
		11° 51' 28.5"	12° 02' 31.8"			

Tabla N° 2.2 Coordenadas, cotas y distancia de las estaciones (Fuente: Alcatel)

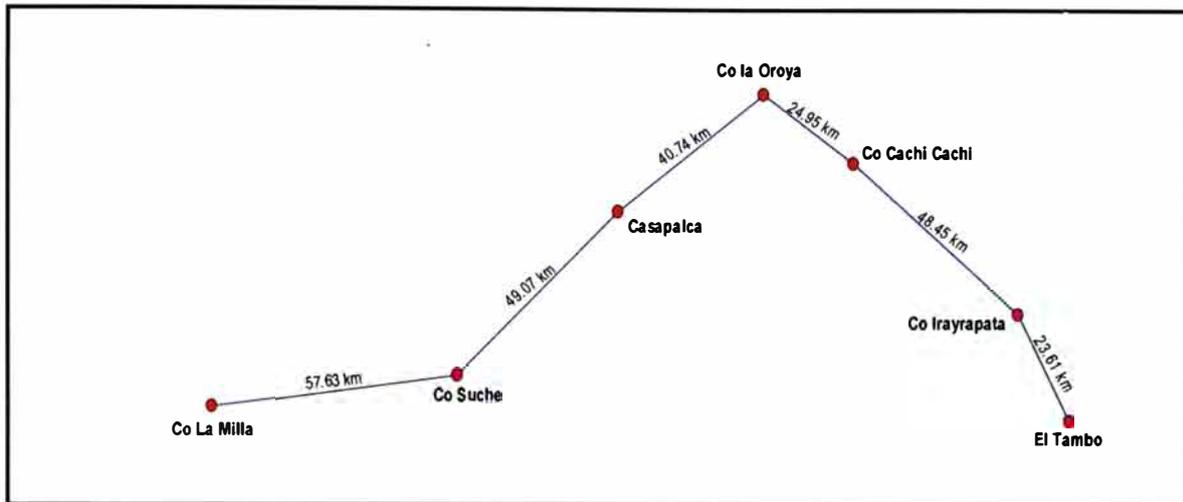


Fig 2.2 Distancia entre estaciones (Fuente Alcatel)

Usando el software ACPLINK podemos obtener: Obstáculos y el perfil del terreno

**e) Perfil del terreno para K = 0.667 y K = 1.333**

**Enlace La Milla – Cerro Suche**

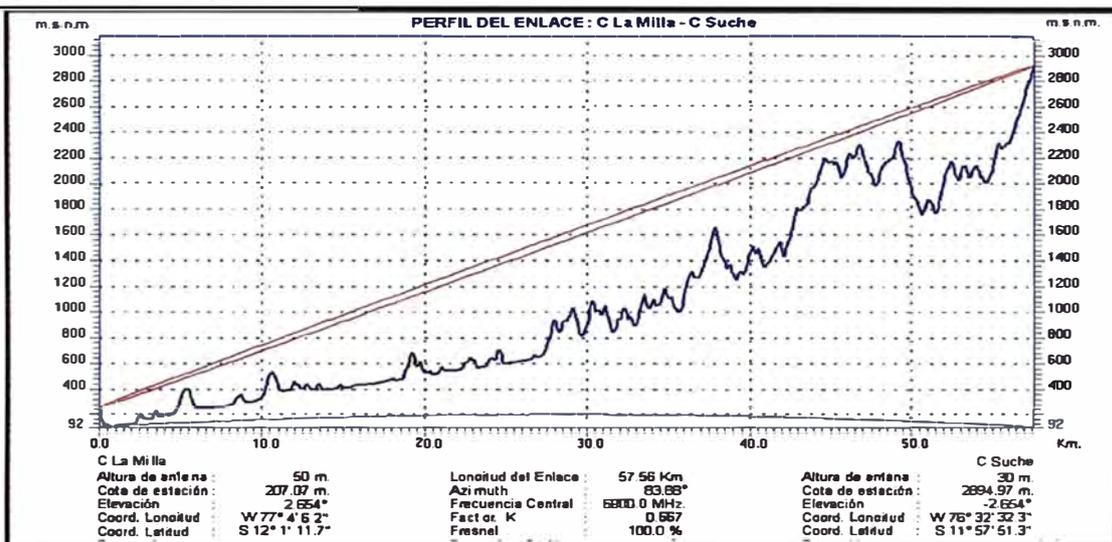


Fig 2.3 Perfil de enlace Co La Milla – Co Suche para K = 0.667 (Software ACPLINK)

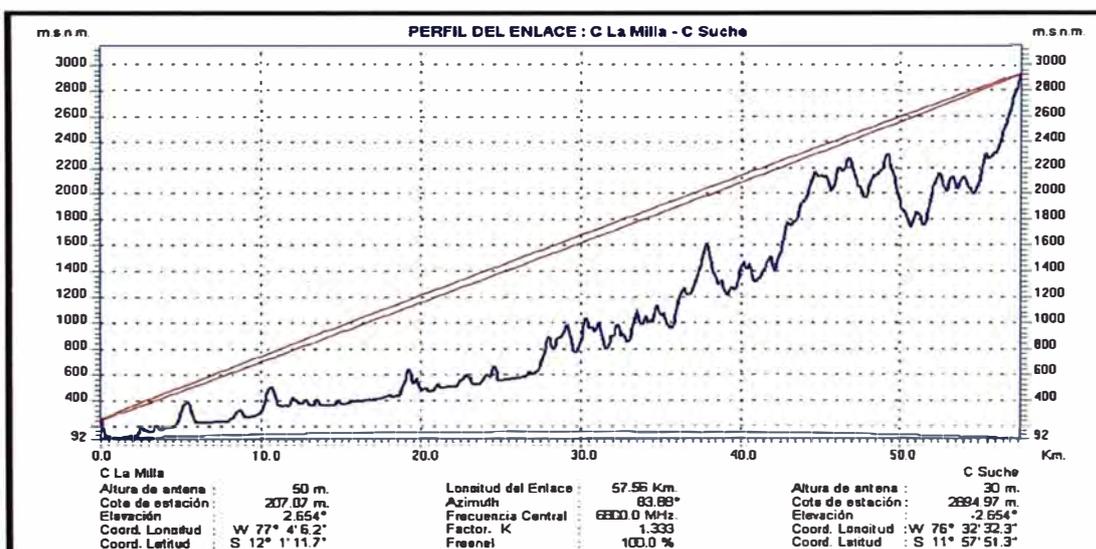


Fig 2.4 Perfil de enlace Co La Milla – Co Suche para K = 1.333 (Software ACPLINK)

Enlace Cerro Suche – Casapalca

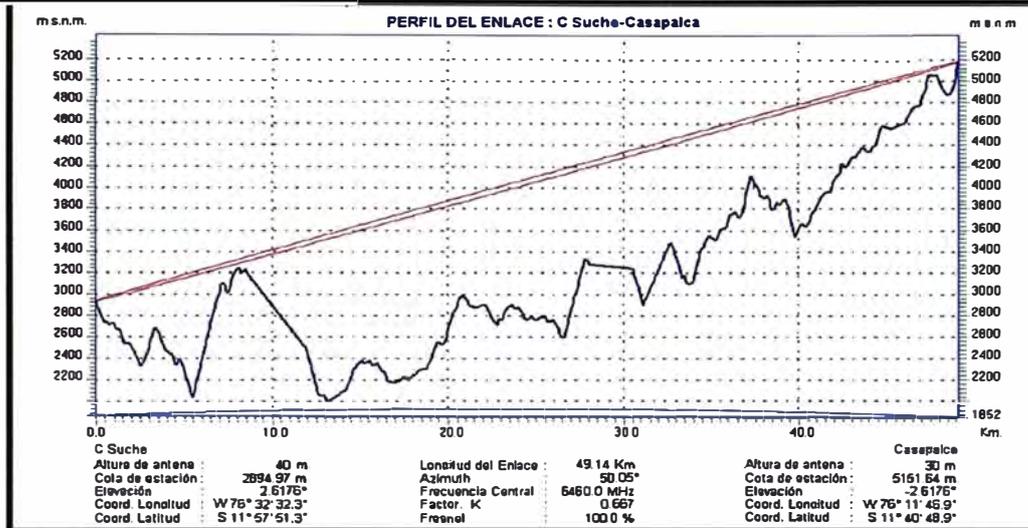


Fig 2.5 Perfil de enlace Co Suche – Casapalca para K = 0.667 (Software ACPLINK)

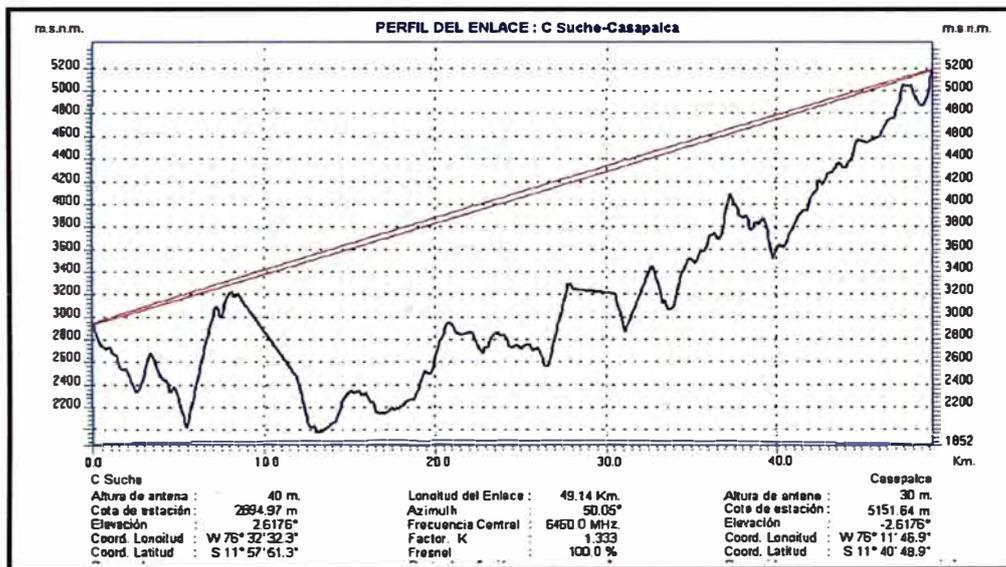


Fig 2.6 Perfil de enlace Co Suche – Casapalca para K = 1.333 (Software ACPLINK)

Enlace Cerro Casapalca – La Oroya

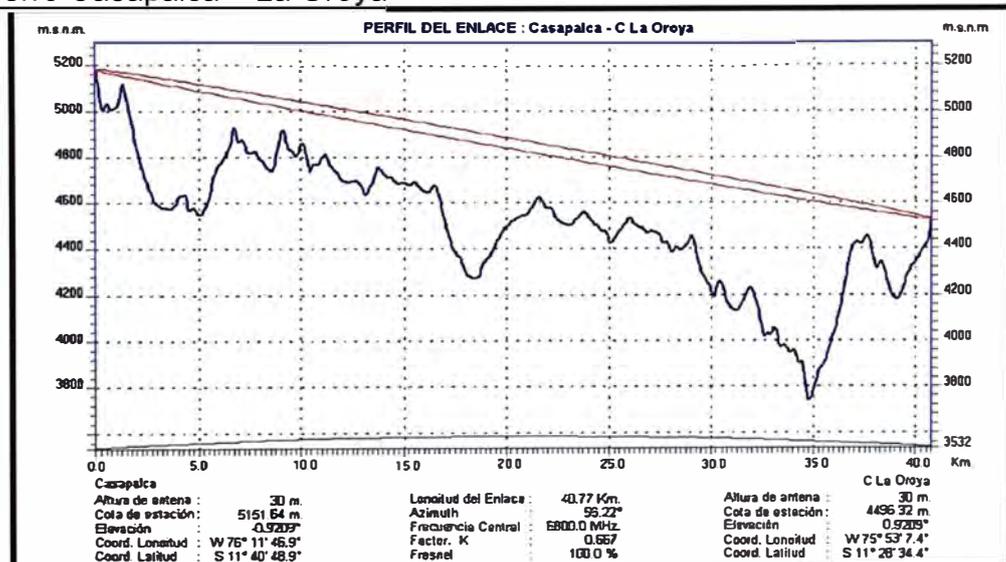


Fig 2.7 Perfil de enlace Casapalca – Co La Oroya para K = 0.667 (Software ACPLINK)



Enlace Cerro Cachi Cachi – Cerro Irayrapata



Fig 2.11 Perfil de enlace Co Cachi Cachi – Co Irayrapata para K = 0.66 (Software ACPLINK)

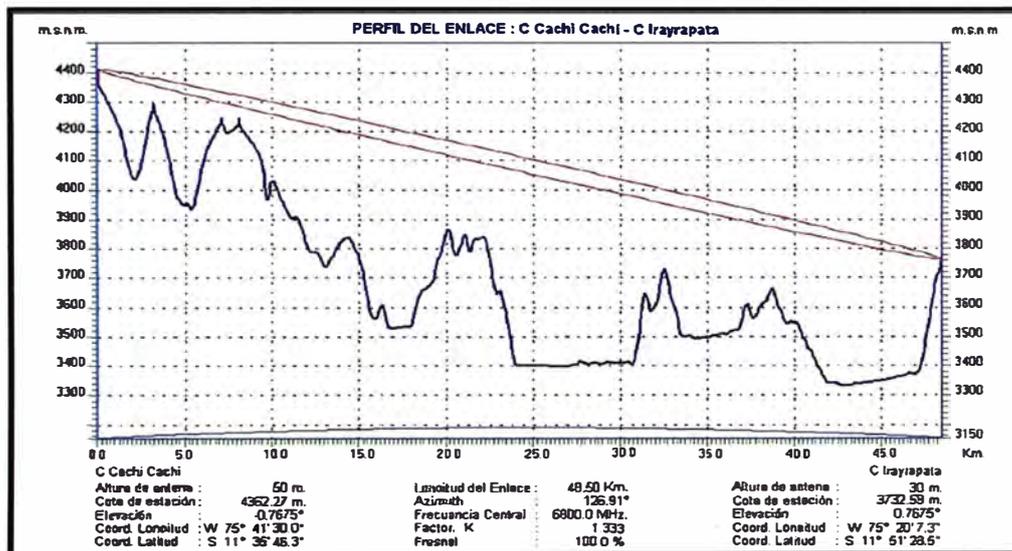


Fig 2.12 Perfil de enlace Co Cachi Cachi – Co Irayrapata para K = 1.333 (Software ACPLINK)

Enlace Cerro Irayrapata – El Tambo

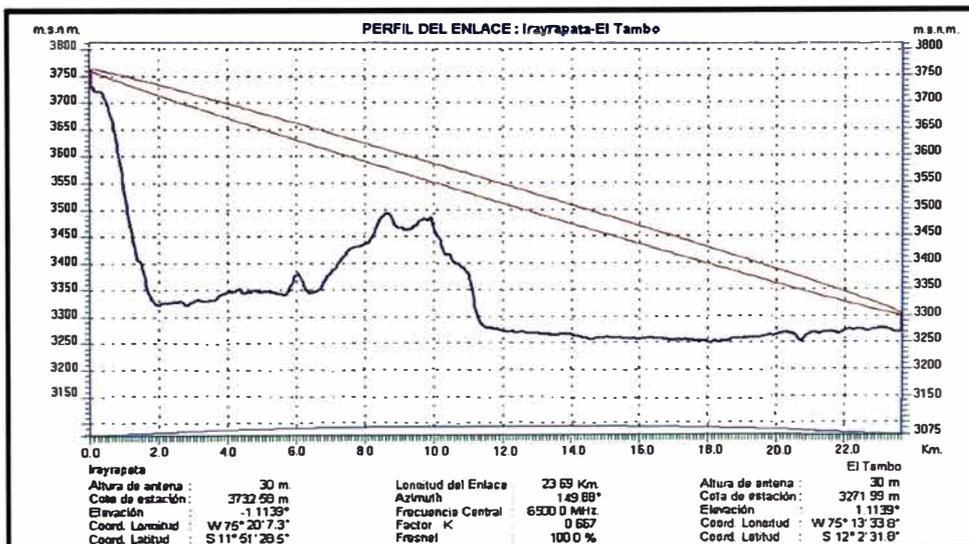


Fig 2.13 Perfil de enlace Co Irayrapata – El Tambo para K = 0.66 (Software ACPLINK)

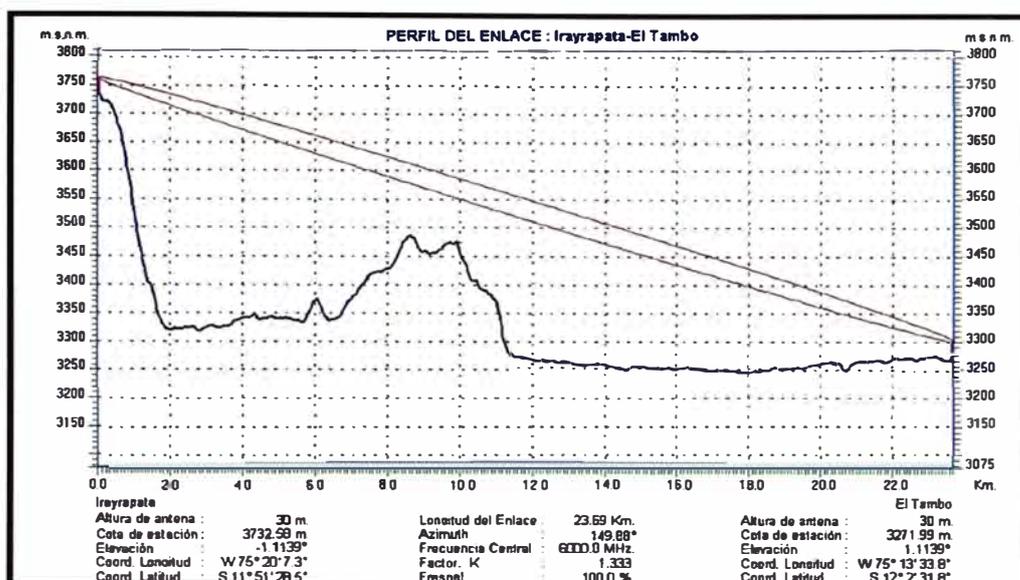


Fig 2.14 Perfil de enlace Co Irayrapata – El Tambo para K = 0.66 (Software ACPLINK)

Los perfiles mostrados en las figuras anteriores fueron analizados teniendo en consideración los obstáculos más relevantes, los cuales podrían ser muy perjudiciales si no tomamos las previsiones necesarias. Para el análisis de la interferencia se visitaron y realizaron mediciones en todos los obstáculos para saber su ubicación y altitud exacta y si estos afectarían o no nuestros enlaces.

#### f) Datos de entrada

El resumen de los datos obtenidos con las mediciones realizadas, las especificaciones de la red y los datos técnicos del proveedor de los equipos aparecen en la siguiente tabla

Calculo de Radioenlace Digital Proyecto: Red SDH (Co La Milla - El Tambo)							
Descripción	Unidad	Cerro La Milla - Cerro. Suche	Cerro Suche - Casapalca	Casapalca - Cerro La Oroya	Cerro La Oroya - Cerro Cachi Cachi	Cerro Cachi Cachi - Cerro Irayrapata	Cerro Irayrapata - El Tambo
MODELO DE EQUIPO	-	9667LSY_64q	9667LSY_64q	9667LSY_64q	9667LSY_64q	9667LSY_64q	9667LSY_64q
VERSIÓN POTENCIA	-	STD c/ATPC	STD c/ATPC	STD c/ATPC	STD c/ATPC	STD c/ATPC	STD c/ATPC
CONFIGURACIÓN FINAL	-	7+1AP	7+1AP	7+1AP	7+1AP	7+1AP	7+1AP
POTENCIA DE SALIDA	dBm	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
UMBRAL DEL RECEPTOR (SES G826) (gar)	-dBm	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9
Slot 0 FRECUENCIA (Tx)	MHz	6800	6460	6800	6460	6800	6500

Slot 1 FRECUENCIA (Tx)	MHz	6960	6620	6960	6620	6960	6660
Slot 0 FRECUENCIA (Rx)	MHz	6460	6800	6460	6800	6460	6840
Slot 1 FRECUENCIA (Rx)	MHz	6620	6960	6620	6960	6620	7000
VELOCIDAD DE TRANSMISION	Mb/s	155	155	155	155	155	155
TIPO DE MODULACION	QAM	64	64	64	64	64	64
COEFICIENTE CLIMATICO		1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
RUGOSIDAD (6 a 42 m)		42	42	42	42	42	42.6
FIRMA KA*KB (SES G826)		0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
DISTANCIA	Km	57.63	49.07	40.74	24.95	48.45	23.61
DIVERSIDAD DE FRECUENCIA	MHz	40	40	40	40	40	40
TIPO DE DIVERSIDAD FRECUENCIA + ESPACIO		a 4 Rx	a 4 Rx	NA	NA	a 4 Rx	NA
ANTENA PRINCIPAL 1	mts	HPX8-65	HPX8-65	HPX8-65	HPX6-65	HPX8-65	HPX8-65
ANTENA PRINCIPAL 2	mts	HPX8-65	HPX8-65	HPX8-65	HPX6-65	HPX8-65	HPX4-65
GANANCIA DE ANTENA 1	dBi	42	42	42	39.5	42.0	42.0
GANANCIA DE ANTENA 2	dBi	42	42	42	39.5	42.0	35.9
DIVERSIDAD DE ESPACIO	mts	10	10	-	-	10	-
TIPO DE ALIMENTADOR 1		EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7
TIPO DE ALIMENTADOR 2		EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7	EW64_6g7
LONGITUD DEL ALIMENTADOR 1	mts	50	50	50	50	50	50
LONGITUD DEL ALIMENTADOR 2	mts	50	50	50	50	50	50
ATENUACION DEL ALIMENTADOR 1	dB/100	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
ATENUACION DEL ALIMENTADOR 2	dB/100	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
ATENUACION POR RADOMO	dB	-	-	-	-	-	-

ATENUACION POR PASIVO	dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ATENUACION POR BRANCHING (gar)	dB	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
OTRAS ATENUACIONES	dB	-	-	-	-	-	-
TOLERANCIA	dB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DELTA UMBRAL (POR INTERF.)	dB	-	-	-	-	-	-
USO DE XPIC	Si/No	No	No	No	No	No	No
POLARIZACION (H/V)	-	V	H	V	H	V	H
INTENSIDAD DE LLUVIA	mm/hs	145	145	145	145	145	145
LATITUD MAYOR A 30° (S/N)	-	N	N	N	N	N	N

Tabla N° 2.3 Datos de entrada del enlace (Fuente: Alcatel)

### g) Cálculos técnicos

Conociendo el detalle a gran escala de la distribución de la red de transporte se pasa a los cálculos respectivos y se tomarán en cuenta los posibles problemas a presentarse en el enlace como desvanecimientos (fading), pérdida en los conectores, cables (dB/m), atenuaciones atmosféricas como lluvia, niebla, etc.

Para ello se hará uso del modelamiento para propagación en el espacio libre; como debe existir línea de vista entre transmisor y receptor, las pérdidas por obstáculos (difracción y reflexión) se asumirán nulas.

Usaré la ecuación de onda para propagación en el espacio libre:

$$Prx = Ptx + Gtx + Grx - Le - Lcables - Lbranching - Fm \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

Prx: nivel del receptor en dBm (nivel nominal de Rx)

Ptx: potencia de transmisión de salida en dBm

Gtx y Grx: ganancia de las antenas en dBi

Le: pérdidas en trayectoria por espacio libre.

Lcables: pérdida por cables y conectores en decibeles

Lbranching: pérdidas por los branchings.

Fm: margen de desvanecimiento o fading

$$Fm = 30 \times \log D + 10 \times \log (6 \times A \times B \times F) - 10 \times \log (1 - R) - 70 \dots \dots \dots (2.2)$$

D: distancia del transmisor al objetivo en Km

A: factor de Rugosidad de Terreno

B: Factor de Análisis climático anual

F: frecuencia de la portadora en GHz.

R: Objetivo de confiabilidad de la transmisión, en formato decimal.

Haremos los cálculos tomando como muestra el enlace Cerro La Milla – Cerro Sucho.

Haciendo uso de la Tabla N° 2.2 podemos sacar la mayoría de datos

$$P_{tx} = 32 \text{ dBm}$$

$$G_{tx} = 42 \text{ dBi}$$

$$G_{tr} = 42 \text{ dBi}$$

$$L_e = 32.4 + 20 \cdot \log f(\text{MHz}) + 20 \cdot \log d(\text{Km})$$

$$L_e = 32.4 + 20 \cdot \log(6800) + 20 \cdot \log(57.63) = 144.8 \text{ dB}$$

$$L_{cables} = 5.1 \text{ dB}$$

$$L_{branching} = 4.6 \text{ dB}$$

Reemplazando valores de la Tabla N° 2.2 en la ecuación 2.2 tenemos que  $F_m$ : 3.3 dB

Reemplazando valores en la ecuación 2.1:

$$P_{rx} = 32 + 42 + 42 - 144.8 - 5.1 - 4.6 - 3.3 = -41.8 \pm 1 = 42.8 \text{ dBm}$$

El máximo nivel de potencia lo da el fabricante, en nuestro caso es 15 dBm y como el umbral de recepción es -75.9dBm, entonces nuestro valor esta dentro del rango permitido; del mismo modo se realizó el cálculo para los otros 5 enlaces que forman la red.

Con lo cual se demuestra que se pueden usar los 7 sitios tomados como referencia inicial

#### h) Datos de salida

El resumen de los datos obtenidos después de realizados nuestros cálculos es el siguiente:

GENERALES							
ATENUACION DE ESPACIO LIBRE Y POR GASES	dB	144.8	143.4	141.7	137.2	143.2	136.8
NIVEL DE ENTRADA SIN FADING	-dBm	39.5	38.1	36.4	36.9	37.9	37.6
FADING PARA EL 80% DEL TIEMPO	dB	3.3	2.6	2.0	0.9	2.5	0.9
NIVEL DE ENTRADA CON FADING	-dBm	42.8	40.7	38.3	37.9	40.5	38.4
PERDIDA TOTAL DEL TRAMO	dB	71.5	70.1	68.4	68.9	69.9	69.6
P0:		0.24019	0.14827	0.08485	0.01949	0.14272	0.01652
N(eta):		0.06557	0.04655	0.03122	0.01067	0.04530	0.00943
CALIDAD PARA SES G826							
MARGEN AL UMBRAL (STD)	dB	36.4	37.8	39.5	39.0	38.0	38.3
TIEMPO DEBIDO AL FADING PLANO	%	0.00556	0.00244	0.00094	0.00025	0.00228	0.00024

TIEMPO DEBIDO AL FADING SELECTIVO	%	0.00637	0.00298	0.00123	0.00012	0.00280	0.00009
TIEMPO MEJORADO P/DIV. HAZ 1 (calidad) Alcatel	%	0.00000	0.00000	0.00005	0.00000	0.00000	0.00000
	Seg/ Mes	0	0	1	0	0	0
<b>OBJETIVO DE CALIDAD</b>							
¿PROPORCIONAL A LA DISTANCIA?	SI/NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
LONGITUD DEL TRAMO SOBRE EL QUE SE APLICA EL OBJETIVO	km	50	50	50	50	50	50
BR ASIGNADO (SOLO PARA G.826 INTERNACIONAL)	de 0 a 1	1	1	1	1	1	1
OBJETIVO G.826/8 - Internac. - País Intermedio	%	0.00046	0.00039	0.00033	0.00020	0.00039	0.00019
	Seg/ Mes	12	10	8	5	10	5
<b>CALCULO DE INDISPONIBILIDAD</b>							
INDISPONIBILIDAD POR LLUVIA (para SES G826)	%	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
	Min/ Año	0	0	0	0	0	0
OBJETIVO DE INDISPONIBILIDAD							
¿PROPORCIONAL A LA DISTANCIA?	SI/NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
LONGITUD DEL TRAMO SOBRE EL QUE SE APLICA EL OBJETIVO	km	50	50	50	50	50	50
OBJETIVO G.826/8 - Internac. - País Intermedio	%	0.01706	0.01452	0.01206	0.00739	0.01434	0.00699
	Min/ Año	90	76	63	39	75	37

Tabla N° 2.4 Datos de salida del enlace (Fuente: Alcatel)

Las alturas y distancia de las antenas (antes de optimizarse) son:

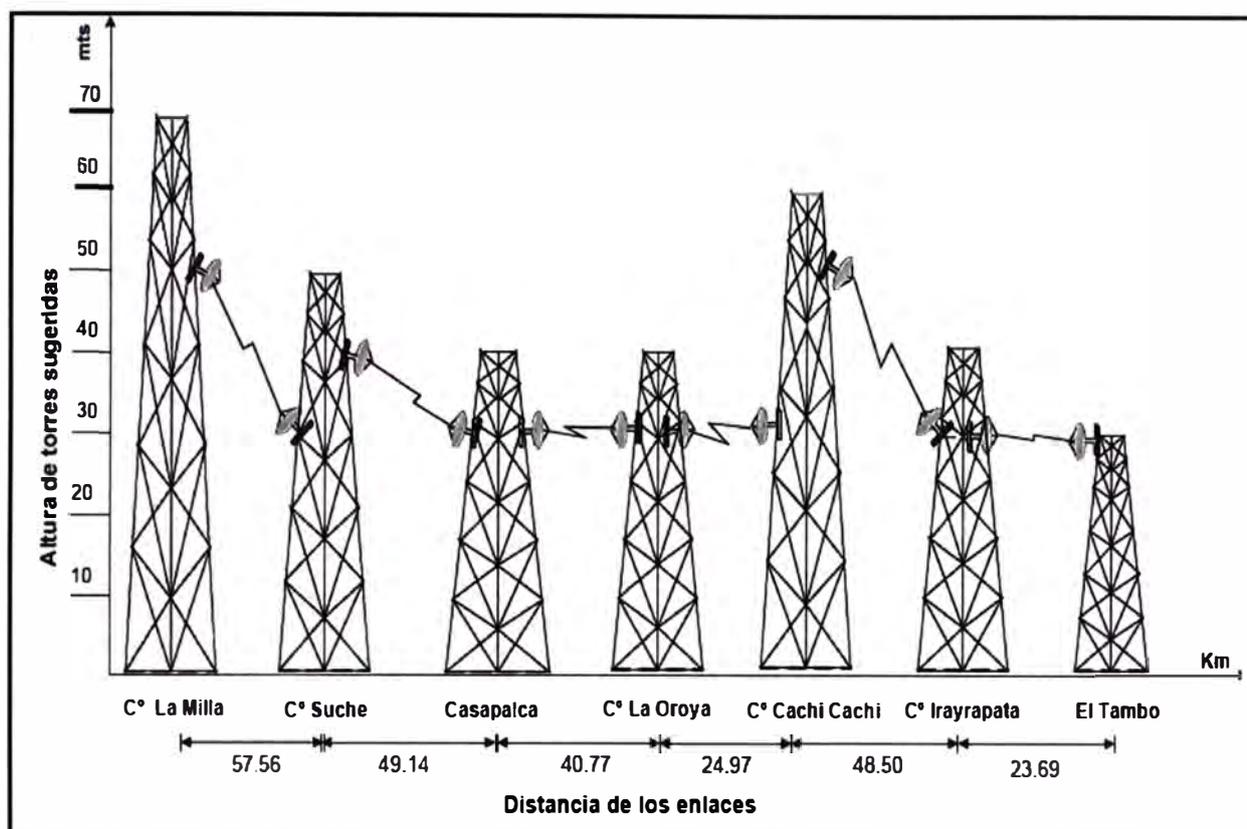


Fig 2.15 Vista distancia vs altura de antenas antes de su optimización (Fuente Alcatel)

Con todos los datos obtenidos se hace una optimización en las alturas de las antenas, consiguiéndose finalmente lo siguiente:

Enlaces	Altura A hacia B (m)	Altura B hacia A (m)
Co La Milla - Co Suche	22	22
	12	12
Co Suche - Casapalca	22	22
	12	12
Casapalca - Co La Oroya	22	22
Co La Oroya - Co Cachi Cachi	18	18
Co Cachi Cachi - Co Irayrapata	40	22
	30	12
Co Irayrapata - El Tambo	18	18

Tabla N° 2.5 Alturas finales de las antenas (Fuente: Alcatel)

## 2.5.2 Diseño del enlace con fibra óptica

### a) Ubicación

Respecto al diseño de una red SDH con fibra óptica, no es necesario buscar las cumbres de algún cerro para construir las estaciones; es, más bien, importante, recomendable y

óptimo ubicar los sitios en lugares urbanos que cuenten con energía eléctrica para el futuro equipamiento. En nuestro caso podríamos colocar las estaciones a lo largo de la misma carretera Central o en la ruta del tren. Lima – Huancayo ya que la agreste geografía que une estas ciudades no nos deja muchas alternativas.

### b) Cálculos técnicos

Para saber el número de sitios y dónde colocaremos las estaciones usaremos el coeficiente de atenuación ( $A_t$ ) de la fibra óptica cuyo valor es según la recomendación de la UIT-T 0.5dBm/Km. Además usaremos el tipo de interfaz L-1.2 cuyas características se encuentran en las siguientes tres tablas

Velocidad	Tipo de Interfaz	Rango de Potencia (dBm)
STM-1	I-1	-15~-8
	S-1.1	-15~-8
	L-1.1	-5~0
	L-1.2	-5~0

Tabla N° 2.6 Rango de potencia por tipo de interfaz

Velocidad	Tipo de Interfaz	Sobrecarga (dBm)
STM-1	I-1	>-8
	S-1.1	>-8
	L-1.1	>-10
	L-1.2	>-10

Tabla N° 2.7 Sobrecarga tipo de interfaz

Velocidad	Tipo de Interfaz	Sensitividad (dBm)
STM-1	I-1	-31
	S-1.1	-31
	L-1.1	-34
	L-1.2	-34

Tabla N° 2.8 Sensitividad tipo de interfaz

El rango de potencia nos indica los valores de potencia media ( $P_m$ ) emitida en la interfaz (módulo óptico). En nuestro caso, esos valores están entre 0 y -5 dBm

El valor de sobrecarga ( $P_o$ ) nos indica la sobrecarga mínima en la interfaz de entrada, es decir, cuánta potencia puede recibir la interfaz antes de dañarse. En esta situación este valor es >-10 dBm

El valor de sensibilidad ( $P_s$ ) nos indica la sensibilidad mínima en la interfaz de entrada, es decir, hasta qué potencia mínima la interfaz es capaz de garantizar potencia de recepción. Para nuestro caso en estudio este valor es -34 dBm.

Para el diseño de nuestra red, se debe considerar la construcción de la menor cantidad de estaciones ya que significa mayor inversión; esto sólo se logra calculando hasta qué distancia puede llegar un valor óptimo de potencia para así saber cuántas estaciones son necesarias.

Conociendo las potencias media, de sobrecarga y de sensibilidad además del coeficiente de atenuación hallaremos esa distancia.

$P_m = 0$  dBm (valor más optimo)

$A_t = 0.5$  dB/Km

$P_o = -10$ dBm (valor límite)

$P_s = -34$  dBm (valor límite)

De manera práctica lo que se hace es un promedio aritmético ( $P_x$ ) entre la potencia de sensibilidad y la potencia de sobrecarga para de esta manera no estar en los extremos del rango permitido

$P_x = (P_o + P_s)/2$

Reemplazando valores tenemos:

$P_x = (-10 + -34)/2 = -22$ dBm

Este valor ( $P_x$ ) nos indica que a la siguiente estación debe llegar -22 dBm para tener una buena recepción.

Si la potencia media en el punto inicial es 0 dBm y al punto remoto -22 dBm entonces la señal se atenúo -22 dBm; para obtener la distancia ( $D$ ) entre ambos puntos, haremos lo siguiente:

$D = |P_x|/A_t = (22\text{dBm})/(0.5 \text{ dBm/Km}) = 44$  Km

Por pérdidas diversas tenemos que la distancia real  $D_r$  será 42 Km

Por otra parte, como sabemos, la distancia por carretera entre Lima y Huancayo ( $D_{I-h}$ ) es de aproximadamente 300Km

Para hallar el numero de estaciones dividimos  $D_{I-h}$  entre  $D_r$  y le sumamos 1.

Tenemos: # estaciones =  $(D_{I-h}/D_r) + 1 = (300\text{Km}/42\text{Km}) + 1 = 8.14$

Es decir necesitamos 8 estaciones para implementar la red

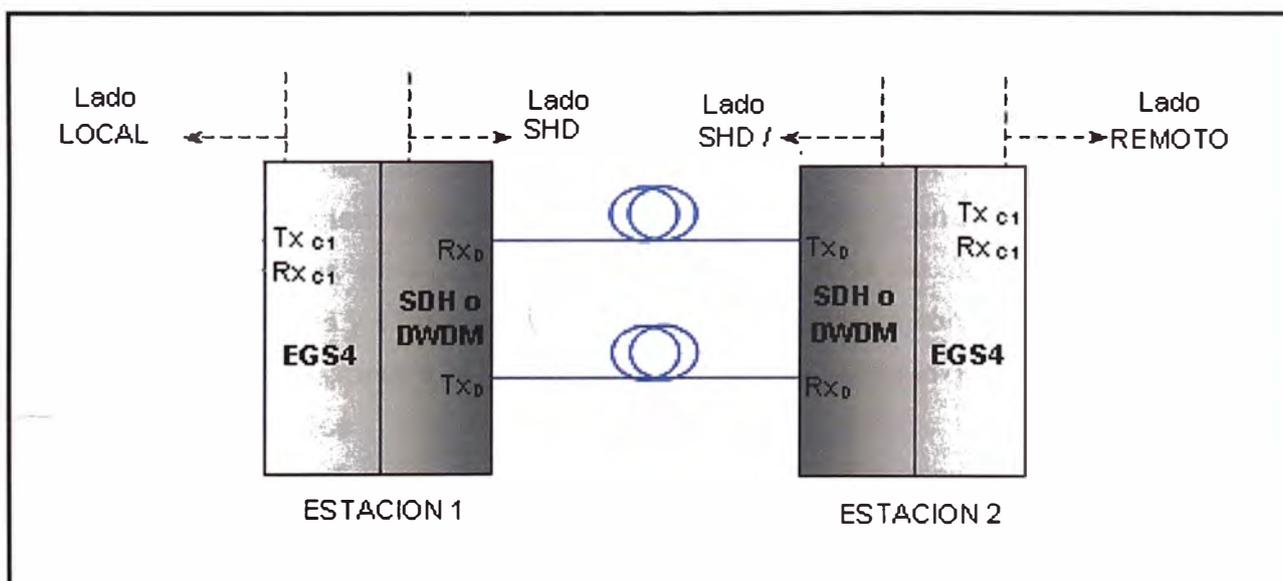


Fig 2.17 Diagrama de un enlace con fibra óptica

### c) Diagrama de la red

Al inicio de la red los E1s “entran” y/o “salen” de un OADM; los E1s que “entran” al primer OADM por medio de una crosconexión se “acomodan” dentro de un STM1, luego de lo cual, son enviados a través de la fibra óptica que se encuentra en planta externa a la siguiente estación donde otro OADM los recibe, esto sucederá sucesivamente hasta la última estación. Este proceso es de ida y vuelta. Los E1s son administrados con un plan de distribución predeterminado por el operador telefónico, el cual indicará cuantos E1’s suben o bajan en cada estación y cuantos siguen su camino hacia la siguiente estación.

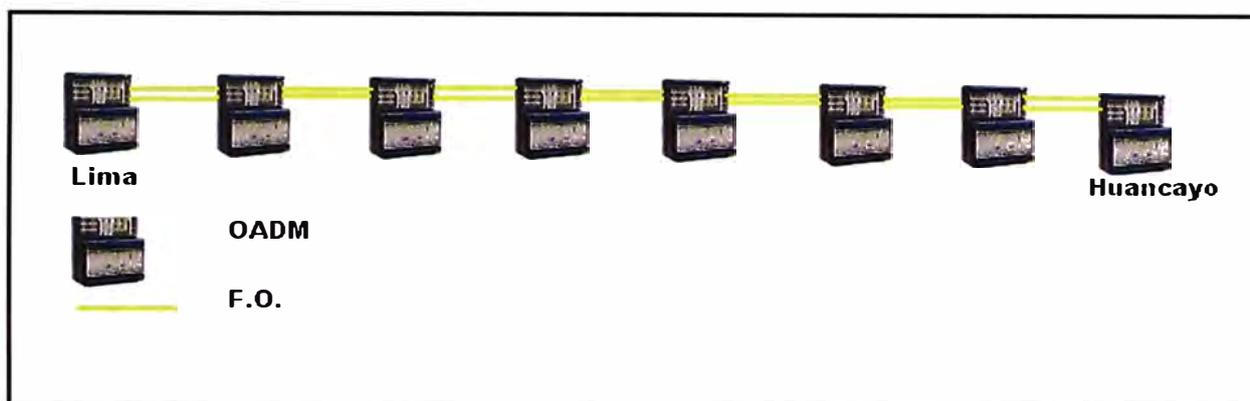


Fig 2.16 Diagrama de la red con fibra óptica

## 2.6 Estudio económico

### 2.6.1 Por microondas

En el caso de usar radioenlaces, la red estará formada por 7 estaciones y transmitirá inicialmente 1 STM-1 protegido (1+1 HSB) para lo cual se necesitan radios. A lo largo de su trayecto irá dejando o recibiendo E1’s según sea necesario, para lo cual se necesita multiplexores los cuales estarán implementados con 63 E1’s según requerimiento del operador.

Dado que nuestro enlace está formado por 7 estaciones. Requeriremos lo siguiente:

Dos (2) radios por cada estación (una que mire a cada extremo), excepto en la primera y última estación donde sólo se colocará una sola radio respectivamente.

Cada radio deberá tener dos tarjetas STM-1 (main y spare). Por tal motivo en cada una de las 5 estaciones intermedias se usarán 4 tarjetas STM-1 y en las estaciones inicial y final sólo dos tarjetas para STM-1, lo que hará un total de 20 tarjetas para las 5 estaciones intermedias y 4 tarjetas en cada extremo. Hasta ahí son 24 tarjetas STM-1 respecto a los multiplexores o ADMs tenemos uno por estación lo que hace un total de 7 mux para todo el enlace.

En cada mux habrán 3 ó 4 tarjetas de E1’s de acuerdo al fabricante (entre interfaces y controladora). Esto hace un total de 21 tarjetas para E1’s, si tomamos como referencia el fabricante que vendió los equipos, éste sólo necesita 3 tarjetas para implementar los 63 E1’s

Además de las tarjetas referidas a los E1's los multiplexores necesita tarjetas STM-1 para poder interactuar con la tarjeta STM-1 de las radios. Asumiremos 2 tarjetas por mux, entonces requerimos 14 tarjetas.

Respecto a la protección por diversidad de espacio, ya que tenemos un enlace formado por 7 estaciones, y todas tienen protección, entonces precisamos de 24 antenas que por el diseño serán de 8 pies o 2,4m de diámetro.

La guía de onda necesaria depende de la altura a la que estén fijadas las antenas, esta altura está basada en un estudio. Si tenemos 24 antenas y asumimos que en promedio cada una de ellas usa 40m de guía entonces, estamos hablando de alrededor de 1000m de guía. Debemos asumir que al instalar la guía de onda todas pasen la prueba de ROE, lo cual nos dará la certeza de que la guía está en buenas condiciones.

El metro de altura de una torre autosoportada de cuatro patas con obra civil (zapatas incluidas) cuesta alrededor de 1,000.00 dólares americanos.

Las tarjetas para STM-1's y E1's mencionadas no son las únicas que llevan un subrack de radio y un subrack de multiplexor ya que estos ya tienen un precio propio como subrack y también por licencia además de estar equipados con otras tarjetas inherentes y necesarias para el buen funcionamiento del equipo como por ejemplo la tarjeta crossconectora, la tarjetas de gestión, etc. Es así, que este equipamiento de todas las radios y multiplexores para toda esta red será alrededor de 900,000.00 dólares americanos.

En lo que concierne a la instalación y pruebas para esta cantidad de equipamiento, el precio es de aproximadamente 152,012.00 dólares americanos.

A continuación un cuadro resumen con los costos aproximados para este radioenlace.

#### Equipamiento Radioenlace

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo aproximado en dólares americanos (no incluye IGV)</b>
Antena (8 feet o 2,4m)	24 unidades	167,640.00
Bobina de guía de onda helicoidal	1000 metros	46,000.00
Subrack de radios en bastidores de 0,6m x 0,3m x 2,2m	12 unidades	180,000.00
Tarjetas STM1	24 unidades	37,224.00

Multiplexores	7 unidades	52,388.00
Tarjeta(s) de E1	21 unidades	22,848.00
Tarjeta STM1	12 unidades	19,536.00
Presurizador	7 unidades	1,596.00
Bastidor con DDF	7 unidades	3,000.00
Torre Autosoportada	7 de 50m c/u	350,000.00
Equipamiento adicional para radio y mux (1 + 1)	12 radios y 7 ADM	911,214.00
Instalación y pruebas	7 estaciones	152,012.00
Total		1'943,458.00

Tabla N° 2.9 Presupuesto con Radioenlace (Fuente: Investigación personal)

Se gastaría alrededor de 2 millones de dólares americanos si utilizamos la microondas.

La otra opción de medio de transmisión es la fibra óptica la cual como veremos resulta un medio poderoso pero a la vez caro.

### 2.6.2 Por fibra óptica

En el caso de usar fibra óptica, la red estará formada por 8 estaciones y transmitirá inicialmente 1 STM-1 con protección 1 + 1 para lo cual se necesitan OADMs. A lo largo de su trayecto, ira dejando o recibiendo E1's según sea necesario, el equipo pensado para este fin es un Huawei OSN 1500

Como mencioné anteriormente nuestro enlace es de aproximadamente 300 Km.

Tomando esto como premisa y sabiendo que el tipo de láser que maneja el fabricante de los equipos a instalar alcanza 42 Km, entonces necesitaremos, teóricamente, 8 estaciones para implementar nuestra red.

Necesitamos un subrack óptico para cada estación, este equipo también necesita de tarjetas como la de cross conexión y la de gestión, además de esas tarjetas, contendrá las tarjetas STM1 y las tarjetas para los E1s.

Sabiendo que son 8 estaciones las que se requieren, entonces necesitaremos 8 bastidores cada uno con un subrack óptico.

Al igual que para el radioenlace se usó protección 1+1, en la fibra también se usara el mismo tipo de protección, por esto usaremos 2 tarjetas con dos puertos STM-1 por subrack para las 6 estaciones intermedias. Cada tarjeta "mirará" a un extremo. Para las estaciones inicial y final solamente se usaran una tarjeta con dos puertos STM1 por estación ya que al igual que para las estaciones intermedias una será la main y la otra la spare. Esto nos da un total de 14 tarjetas STM-1.

También se usará 8 multiplexores (uno por estación) para administrar el trafico de los E1s.

En lo que se refiere a los 63 E1s a implementarse se usaran entre 3 y 4 tarjetas (incluyendo a su controladora), respecto a la obra civil para la planta externa, tenemos que el metro de ductería por donde pasará la fibra óptica cuesta alrededor de 100 dólares americanos. Y si en promedio tenemos un enlace de 300 Km tendríamos más de 30 millones de dólares sólo en parte civil externa

<b>Equipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo aproximado en dólares americanos (no incluye IGV)</b>
Bastidor con subrack básico	8 unidades	80,000.00
Tarjeta STM1	14 unidades	17,346.00
Tarjeta E1	24 unidades	26,112.00
Mux	8 unidades	59,872.00
Bastidor con DDF	8 unidades	3,432.00
Patch cord de fibra óptica	80 unidades de 10m c/u	6,400.00
Obra civil y tendido de fibra para planta externa`	6 hilos x 250 km	30`000,000.00
Instalación y pruebas	8 estaciones	173,728.00
<b>Total</b>		<b>30`366,890.00</b>

**Tabla N° 2.10 Presupuesto con Fibra óptica (Fuente: Investigación personal)**

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS**

#### **3.1 Aspecto cualitativo**

En cuanto a las características de uno y otro medio de transmisión podemos decir que obviamente ambas tienen sus ventajas y desventajas, y, dependiendo de cual sea la finalidad de la red, se puede implementar uno u otro sistema.

Mientras los sistemas con fibra óptica muestran sus puntos fuertes en las siguientes características:

El gran ancho de banda.

Independencia del uso del espectro electromagnético.

Inmunidad a la interferencia y ruido.

Independencia a condiciones ambientales.

Seguridad de la información.

Los sistemas con radio enlace tienen su punto fuerte en el costo y en el tiempo de puesta en servicio y mantenimiento, debemos tener claro que no importa cuantas buenas cualidades tenga un medio de transmisión si es que estas no van a ser utilizadas a plenitud o no son relevantes en un proyecto.

Los objetivos de esta red de transporte son implementar en el menor tiempo posible circuitos de voz e interconexión entre operadores para lo cual no son necesarias muchas de las cualidades de la fibra óptica y sí las de los radioenlaces.

#### **3.2 Aspecto técnico**

En el aspecto técnico, los cálculos realizados nos muestran que los dos medios de transmisión son posibles de ser implementados y que además ambos medios son capaces de suministrar muy bien los servicios (circuitos de voz e interconexión entre operadores) que necesita el operador

Dos de las cualidades de la fibra óptica como son la gran capacidad de expansión y flexible diseño tampoco serían determinantes en una elección puesto que en los radioenlaces los equipos también están preparados para expansiones que si bien no son tan grandes como los de la fibra, tampoco serían necesarias.

En cuanto al diseño, el hecho saber que existe una red con radioenlace de otro operador y que pasa por los mismos lugares donde se desea dar servicio, nos da la factibilidad de implementar nuestro sistema de microondas.

### 3.3 Aspecto económico

La implementación de una red con radioenlaces es mucho más económica frente a la de una con fibra óptica. El menor presupuesto de los sistemas con radioenlaces es uno de los factores que inclinaría la balanza a favor de las microondas ya que la proporción de 15 a 1 (ver Capítulo II) que existe entre el presupuesto con fibra óptica y el presupuesto con microondas hace que esta última opción sea la más viable. En la parte económica debemos tomar en cuenta la existencia de una red dorsal (de otro operador) que enlaza los mismos puntos que nosotros requerimos y que usa microondas. Esta red vecina sirvió de base para hacer el estudio de nuestro enlace, puesto que se tomó como referencia para hacer los estudios de campo y nos permitió ahorrar tiempo y dinero; lo que se hizo fue usar los lugares vecinos a estos puntos y ver la posibilidad de que se pudiera realizar nuestra red en dichos lugares. El resultado fue que era posible usar estos sitios que en su mayoría son cumbres de cerros para colocar nuestras futuras estaciones. Ya no fue necesario gastar dinero en buscar nuevos lugares para poder implementar la red.

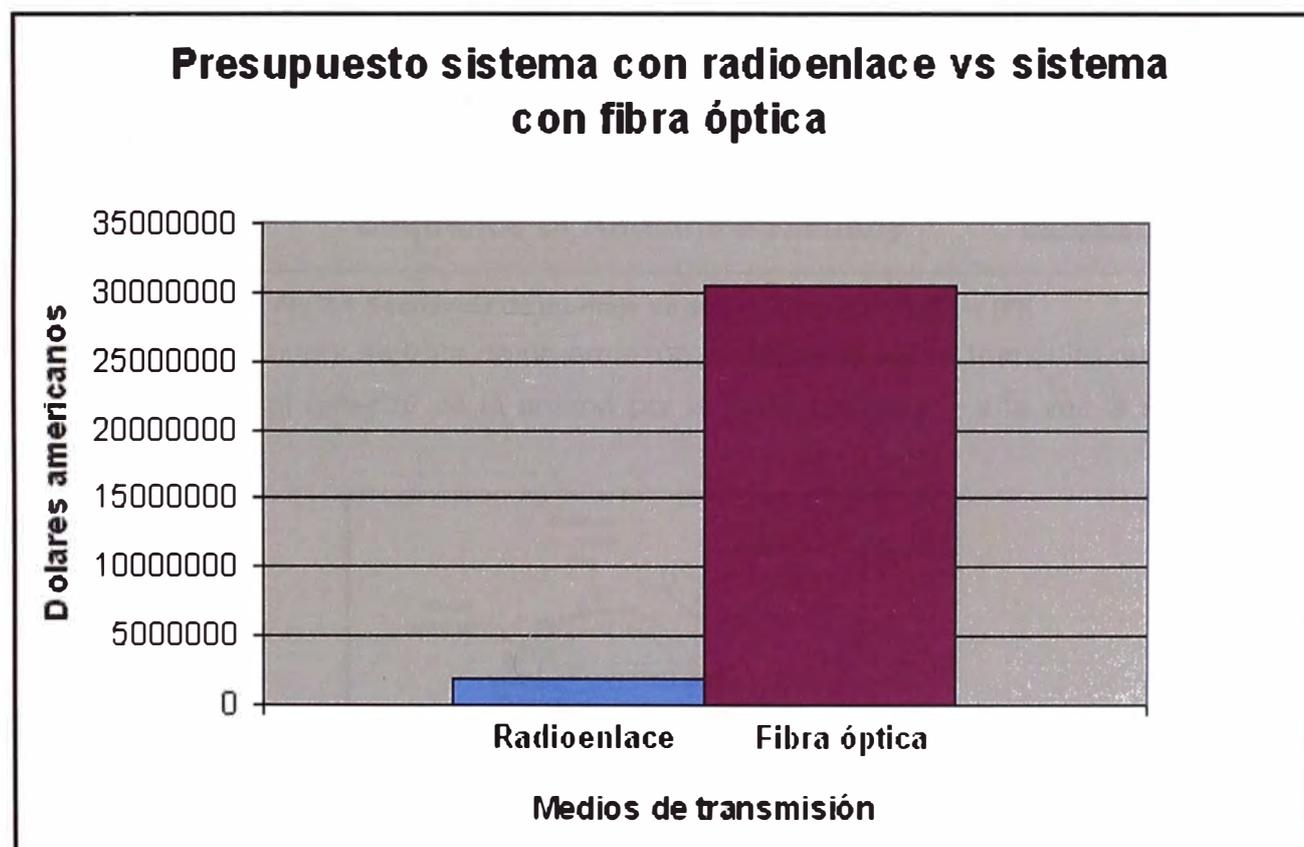


Fig 3.1 Grafica de barras de presupuestos

En base a estos tres aspectos mencionados se eligió a los radioelcaces como medio de transmisión para la red de transporte.

### 3.4 Equipamiento:

Básicamente se usaron los siguientes equipos:

Antenas,

ADMs,

Radios,

Guías de onda

Deshidratadores

#### 3.4.1 Antenas:

Las antenas que se usaron fueron de 2,4m ó 8 pies de diámetro y fueron de marca Andrew. A continuación se mostrará el montaje de este tipo de antenas y luego las partes de una antena parabólica.

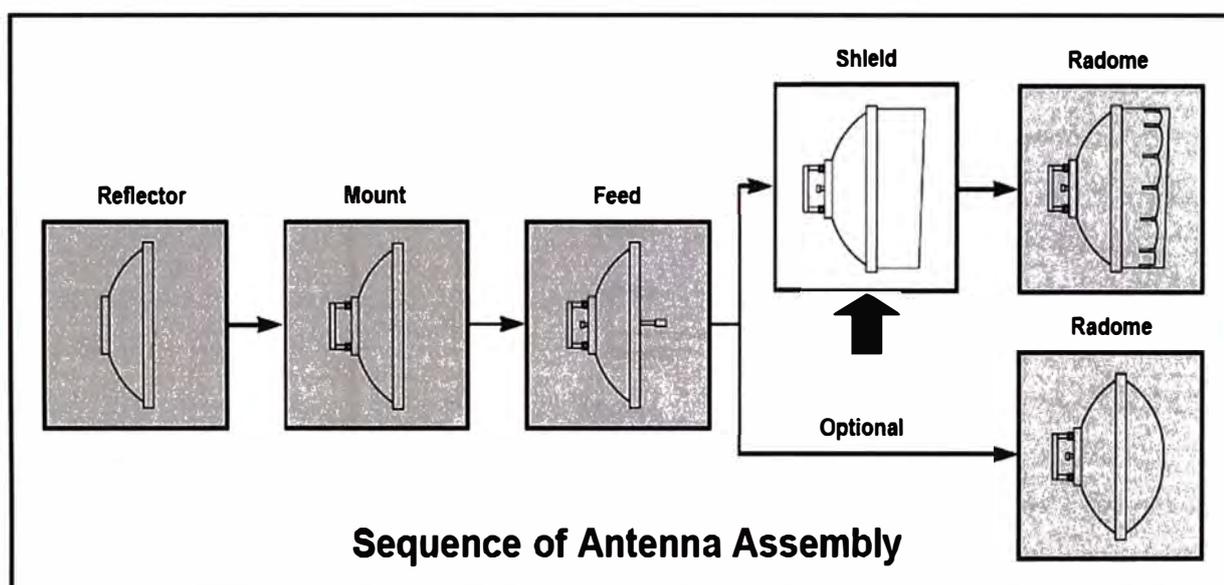


Fig 3.1 Secuencia de montaje de antena (Fuente: Andrew [6])

a) La base (the mount): se trata de un armazón metálico de forma triangular que sostiene mediante pernos al reflector de la antena por la parte posterior y a la vez la sujeta a la torre.

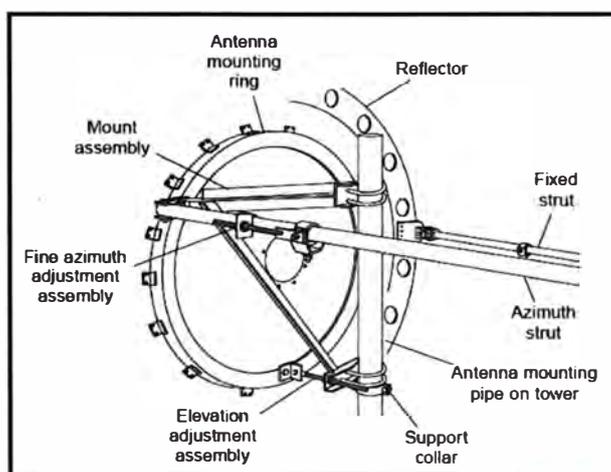


Fig 3.2 The mount (Fuente: Andrew [6])

b). La alimentación (the feed):

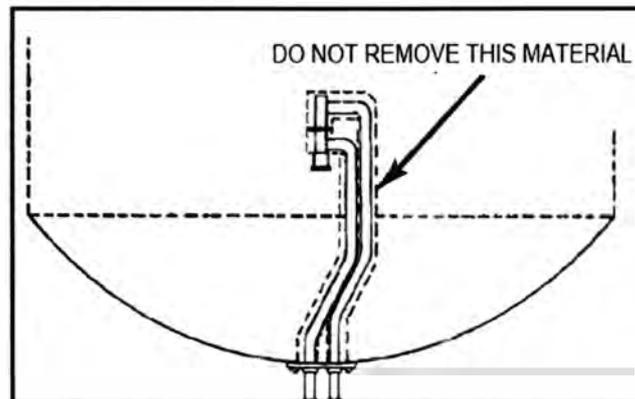


Fig 3.3 A dual feed with foam absorber material (Fuente: Andrew [6])

c) La protección (the shield): está diseñado para reducir el alto rendimiento de la radiación de los lóbulos secundarios en antenas parabólicas.

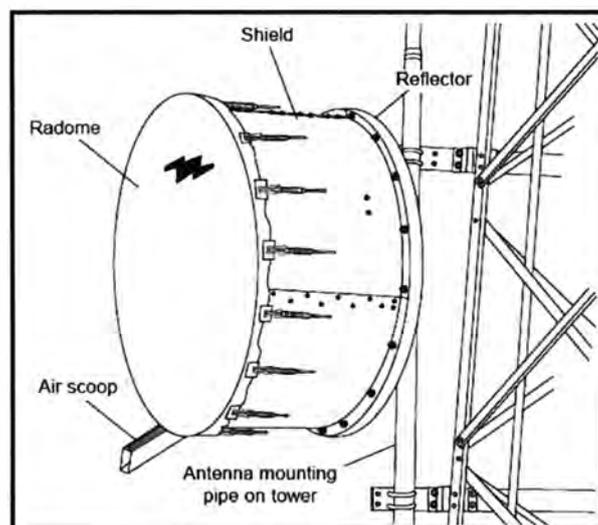


Fig 3.4 The shield (Fuente: Andrew [6])

d). La tapa (the Hypalone radome): es usada con antenas que necesiten protección (Shield). Provee protección contra el clima y de daños físicos contra la alimentación de la antena. Además protege contra la carga del viento.

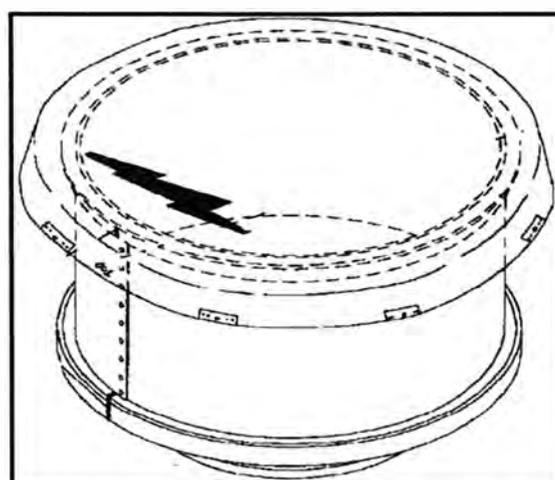


Fig 3.5 The hypalone radome (Fuente: Andrew [6])

### 3.4.2 Radio

La radio utilizada fue la Alcatel-Lucent 9600 LSY, que es la última generación de sistemas SDH de larga distancia, combina alta calidad, flexible tecnología de transmisión de microondas con un costo efectivo y diseño modular. El producto se dirige a una amplia gama de aplicaciones SDH de larga distancia y alta capacidad.

El Alcatel-Lucent 9600 LSY apoya una amplia gama de bandas de frecuencias, de 4 GHz hasta 13 GHz; su robustez, fiabilidad, escalabilidad y tamaño compacto lo convierten en una óptima elección de los operadores troncales. Esta plataforma, que es parte de Alcatel-Lucent en su completa cartera de microondas, permite la optimización del espectro, la manipulación de más tráfico en el mismo ancho de banda para proteger la inversión de los clientes a largo plazo.

Completamente integrado con la plataforma de gestión de la red de Alcatel-Lucent, el 9600 LSY transmite tráfico STM-1/STM-0 y permite una amplia clase de configuraciones, así como regenerador celular o de funciones múltiples en un nodo de manera económica.

#### Beneficios

Reducción de los costos de desarrollo de las redes, rápido retorno de inversión

La escalabilidad y la flexibilidad de facilitar la ampliación de la red de acuerdo a las necesidades del tráfico.

28MHz co-canal de circulación en la misma ramificación para una mejor utilización de ancho de banda (todas las frecuencias se pueden utilizar)

Sin pérdida de servicio durante las actualizaciones del sistema, gracias a su expandible sistema Branching.

Fácil y rápida instalación

Potente gestión local o remota

Fácil mantenimiento y la minimización de los repuestos, gracias a la utilización de partes de radio que pueden manejar todo el canal de plan de frecuencias.

#### Características

El "estándar" de la versión multicanal características hasta 7 +1 u 8 +0 en un solo rack ETSI N3 y soporta conexiones ATM / IP y redes LAN / WAN.

El versión compacta tiene las configuraciones 1 +0, 2 +0 y 1 +1 HST en una sola plataforma ETSI

Gran fiabilidad de diseño altamente integrado, opción de la reutilización de frecuencias disponibles para todas las bandas de frecuencia.

Alta eficiencia del espectro que utiliza la modulación QAM 128.

Conjunto completo de interfaces de usuario: 155 Mbps eléctricos y ópticos, 140 Mbps, Mbps 3x34, 3x45 Mb / s, 63x2 Mbps.

2 Mbps de camino de tráfico lateral como auxiliar en la capacidad de transmisión para cada canal de RF.

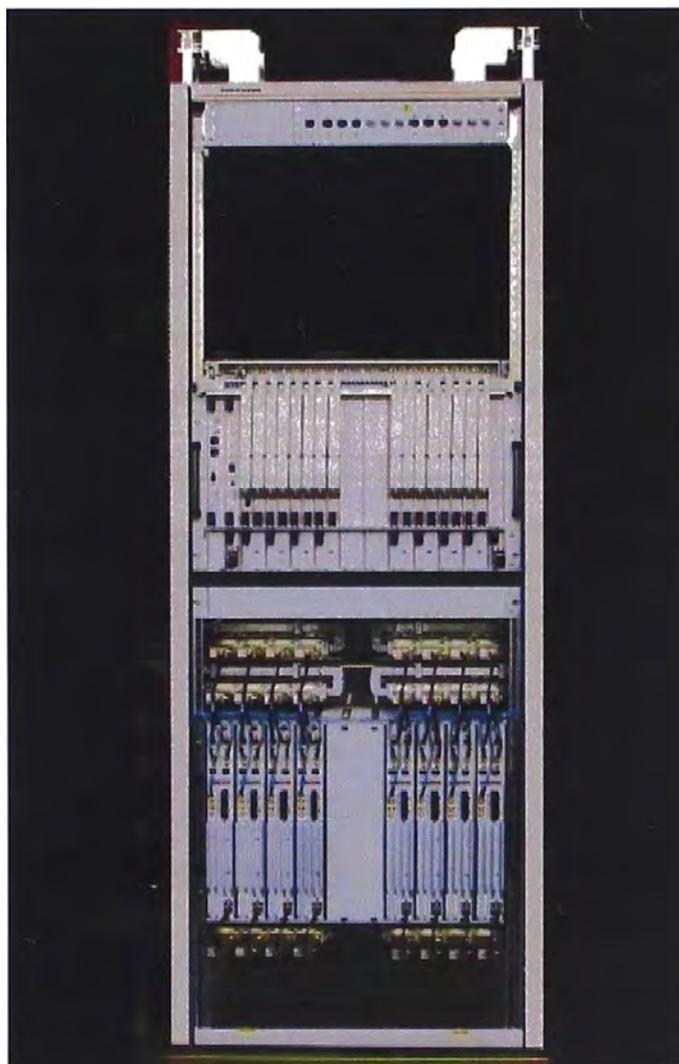


Fig 3.6 Radio Alcatel-Lucent 9600 LSY (Fuente: Alcatel [7])

### 3.4.3 ADM (Add – Dropp Multiplexer)

Un multiplexor es un equipo que combina o multiplexa varias señales de menor ancho de banda en una sola señal de mayor ancho de banda. También tiene la capacidad de “añadir” una o más señales de menor ancho de banda a una de gran ancho de banda y al mismo tiempo puede “extraer” otras señales de bajo ancho de banda.

El ADM que usamos fue uno de marca Alcatel-Lucent modelo 1650 SMC el cual es un multiplexor y mini cross-conector muy compacto que cumple con los requerimientos de nuestra red, este ADM es básicamente un módulo multifuncional que sirve para el desarrollo de SDH, ATM interfaces LAN (Ethernet, Fast Ethernet y Gigabit Ethernet).

El ADM 1650SMC, en nuestro caso, aplicará como un elemento de red de STM1 que servirá para la transmisión y crosconexión de señales PDH y SDH

La figura lateral nos muestra el ADM 1650smc

Beneficios:

Optimiza la relación costo-eficacia de las redes de transporte: eficiencia para la generación de ingresos tradicionales de voz y de tráfico de líneas alquiladas, pero listo para servir la creciente Ethernet, ATM y la demanda de servicios IP.

ISA plug-in es un concepto que sirve para facilitar el servicio de actualización dónde y cuándo sea necesario reduciendo los plazos de comercialización de nuevas fuentes de ingresos de generación de servicios de datos de banda ancha.

Métodos de protección para garantizar la fiabilidad de los servicios a los clientes los cuales son gestionados por la Alcatel-Lucent 13xx con una plataforma común de gestión de la Red que ofrece integración de servicios de gestión de extremo a extremo y gestión de funciones con el mismo aspecto y tacto de todos los productos de transmisión Alcatel-Lucent.

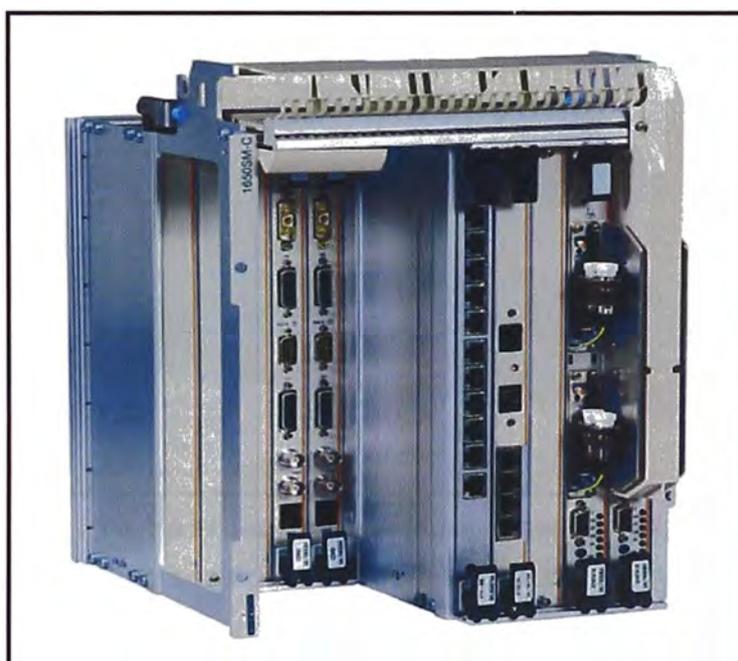


Fig 3.7 ADM (Fuente Alcatel [7])

#### Características

Todas las interfaces SDH y PDH 2/34/45/140Mbps, STM-1 y STM-4.

32x32 STM-1 equivalente VC matriz (HO / LO), con plena conectividad a todos los niveles para cualquier posible configuración.

Esquemas de protección de red: SNCP / I, SNCP / N, MSP lineal y SNCP.

Ocupa la mitad de un rack de 19 "de ancho y tiene 350 mm de alto.

#### 3.4.4 Guía de onda

Se usó guías de onda elíptica marca Andrew, este tipo de guía de onda es el medio más recomendado para la mayoría de sistemas de antenas de microondas en la gama de frecuencias de 3,4 a 26,5 GHz, las paredes del cobre corrugado dan a la guía de onda elíptica fuerza y una buena flexibilidad. Una chaqueta de polietileno negro resistente brinda protección durante la manipulación e instalación.



Fig 3.8 Guía de onda (Fuente Andrew [7])

### 3.4.5 El deshidratador

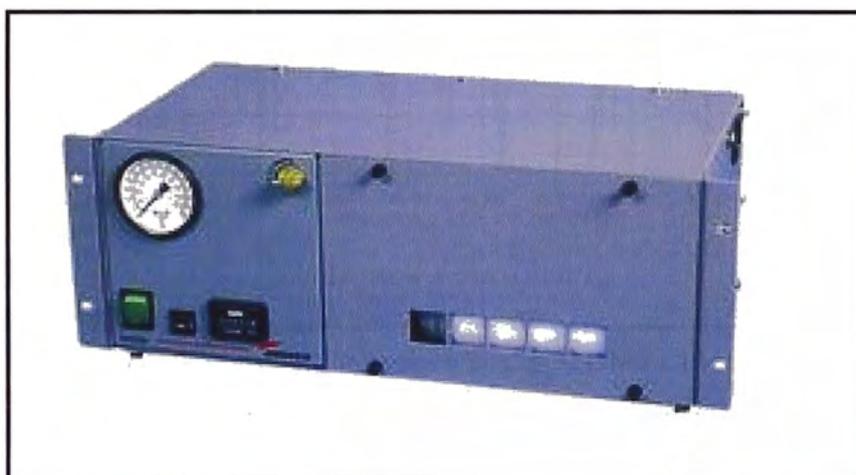


Fig 3.9 El deshidratador (Fuente: Andrew [8])

Es un equipo que provee aire seco para pequeñas presurizaciones (hasta 10 pies cúbicos o 280 litros en volumen) para sistemas de línea de transmisión (como guías de onda) y antenas. Los deshidratadores producen aire seco a -40F con una salida promedio de 0,05 pies cúbicos (1,4 litros) por minuto, básicamente lo que hace un deshidratador es aplicar una presión de aire seco sobre las líneas de transmisión para minimizar la corrosión provocada por la humedad y eliminar el fenómeno conocido como arco eléctrico. Un suministro constante de aire seco a presión asegura una alta calidad de la señal, VSWR bajo, y reducir el riesgo de dañar los componentes de la acumulación de humedad. Los beneficios incluyen:

Mejor rendimiento del sistema y una mayor protección.

Menores costes de funcionamiento y mantenimiento.

Reducción del riesgo de daños para un menor número de interrupciones del servicio.

Verificación visual de instalación indoor

Posición y fijación del bastidor de radio según proyecto.

Configuración del subrack.

Conexiones entre equipamiento y el DDF/ODF

Conexiones de aterramiento del bastidor (rack) y subrack

Conexiones de alimentación de energía.

Sistema de frecuencias y polarización.

### 3.5 Mediciones

#### 3.5.1 Return Loss (Perdidas de retorno)

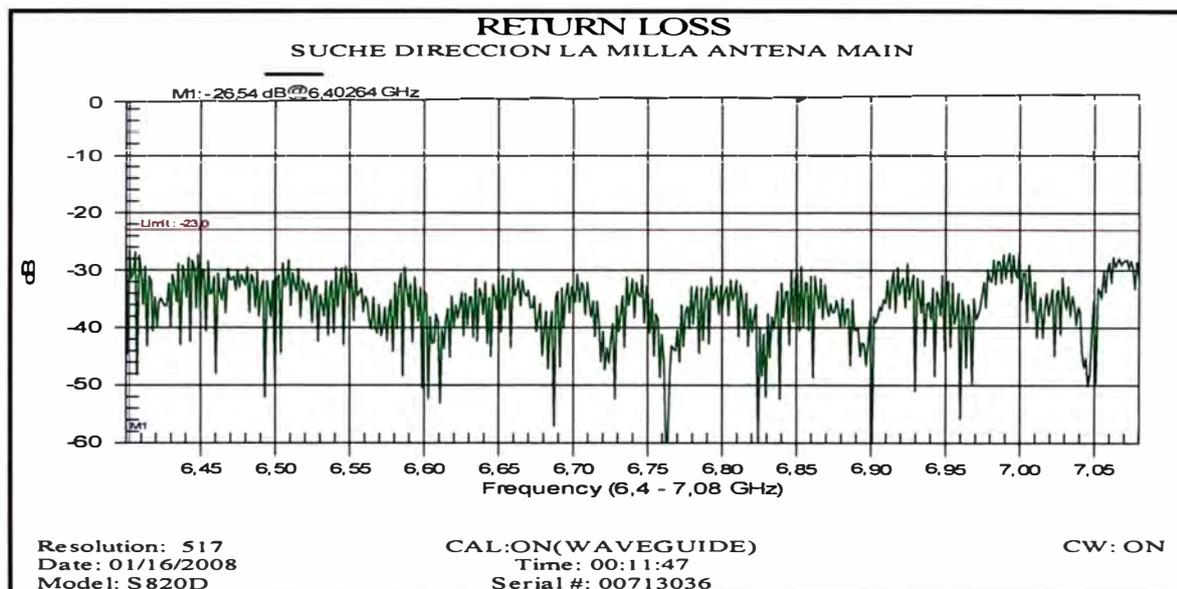


Fig 3.10 Medida return loss del enlace Suche – La Milla. (Fuente: Alcatel)

La pérdida de retorno en una línea de transmisión es la relación de la potencia reflejada ( $P_r$ ) en la línea entre la potencia transmitida ( $P_t$ ) en la misma, para una máxima transferencia de potencia las pérdidas de retorno deben ser tan pequeñas como sea posible, esto significa que la relación  $P_r / P_t$  debe ser pequeña o expresado en dB, la pérdida de retorno debe ser tan grande como un número negativo sea posible, por ejemplo, una pérdida de retorno de -40 dB es mejor que una de -20 dB; esta prueba sirve para verificar que el valor de la señal de retorno no sea mayor a un nivel permisible dentro de un rango de frecuencias ya que esto afectaría la transmisión de información.

En el gráfico que se muestra vemos que el nivel permisible es -23 dB y el rango de frecuencias es de 6.4 Ghz a 7.08 Ghz

#### 3.5.2 Distance to fault

La distancia a la falla en una línea de transmisión consiste en una verificación de rendimiento de la línea, es decir, se examina el estado de ésta después de su instalación en la estación y así se evita posibles fisuras, curvaturas pronunciadas y cualquier alteración de la forma original de la línea. En el gráfico que se muestra a continuación vemos que el eje x está en metros, esto debido a que este eje representa la longitud de la línea de transmisión; en cambio el eje "y" está en dB, esto porque los puntos con alto dB nos muestran los lugares en los cuales la línea tiene los problemas antes mencionados.

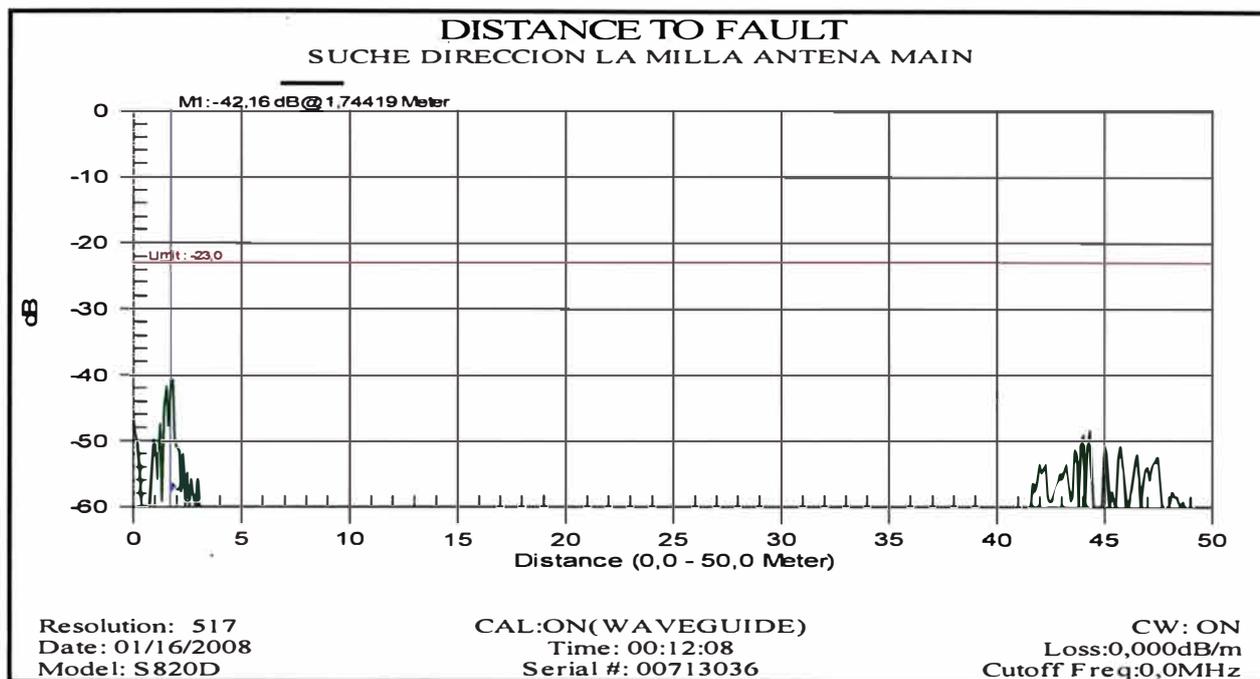


Fig 3.11 Medida distance to fault SucHE - La Milla. (Fuente: Alcatel)

### 3.5.3 Potencia1

Para hacer las mediciones de potencia seguimos los siguientes pasos:

Primero, calibramos y configuramos en las unidades de medición respectivas el power meter, luego lo colocamos a nivel del filtro (el cual se encuentra en la radio); posteriormente, procedemos a hacer las mediciones solicitadas y finalmente usamos el software de gestión para comparar los resultados. Los resultados del power meter y el gestor deben estar próximos.

Una forma de verificar que la potencia de llegada es correcta es saber el valor de la potencia de salida en el lado remoto.

En nuestro caso todas las potencias de salida están configuradas a -32 dBm (ver Tabla N° 4.3). La siguiente tabla nos muestra los valores de potencia de recepción para el enlace La Milla – SucHE.

Mediciones de potencia	Unidades de medida	Valores medidos	
		Slot 0	Slot1
Potencia de recepción indicado por el Power Meter (Main)	dBm	-38.7	-37.6
Potencia de recepción indicado por el Power Meter (Diversity)	dBm	-37.6	-37.7
Potencia de recepción indicado por el SW de gestión (Main)	dBm	-37.5	-36.5
Potencia de recepción indicado por el SW de gestión (Diversity)	dBm	-35.8	-35.5

Tabla N° 3.1 Mediciones de potencia La Milla – SucHE. (Fuente Alcatel)

## 3.5.4 BER

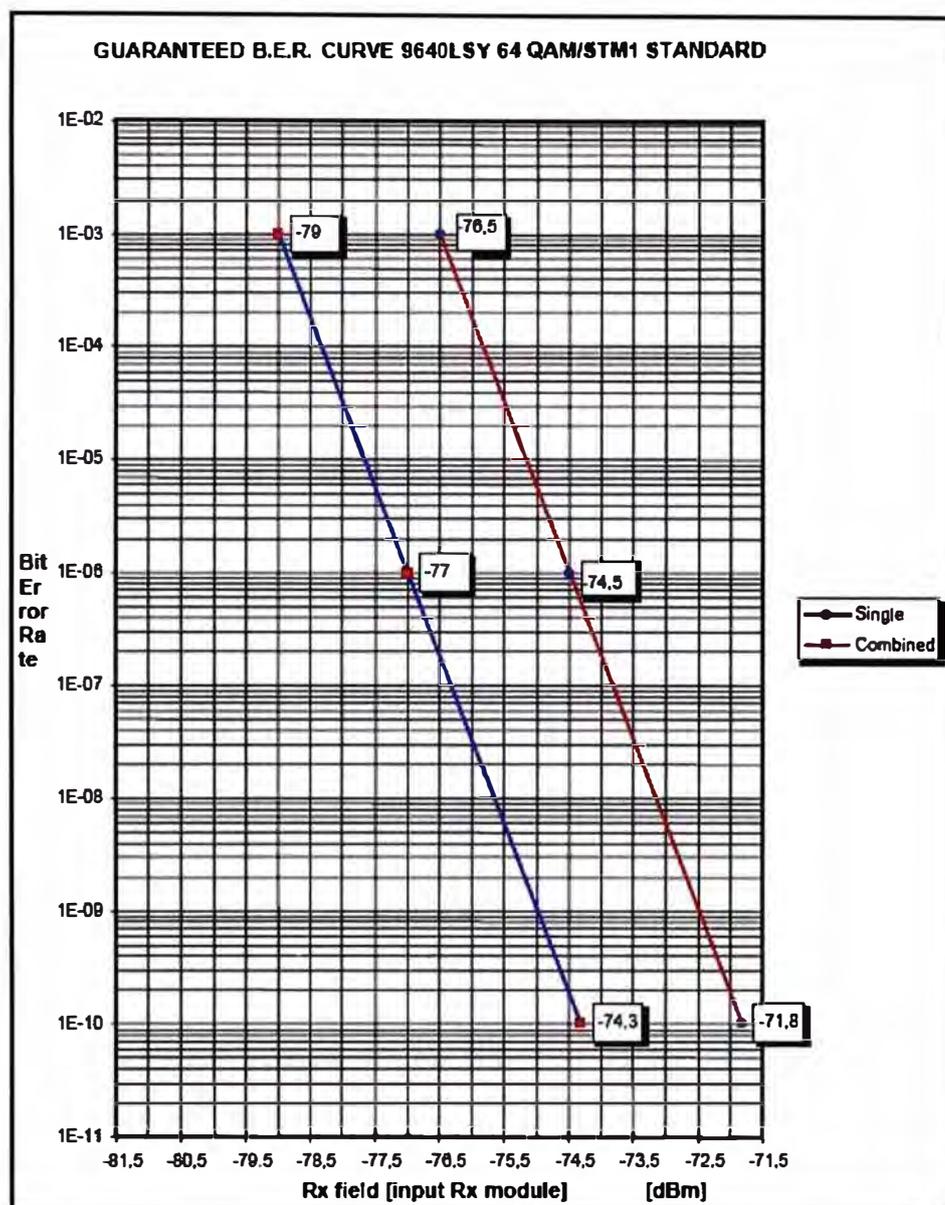


Fig 3.12 Gráfica de BER garantizado (Fuente: Alcatel)

Colocamos el analizador de BER a nivel de la tarjeta STM1, luego de ello atenúamos la señal usando un atenuador variable y vemos en que valor de potencia se producen errores para  $1E-8$ ,  $1E-6$  y  $1E-4$ , estas potencias son comparadas con la gráfica de la curva de BER garantizada

Los resultados para el enlace La Milla- Suche son los que se muestran a continuación:

	Unidades de medida	Valores medidos	
		Slot 0	Slot 1
Canal unico BER 1E-8 (Main)	dBm	-76.5	-74.4
Canal único BER 1E-8 (Diversity)	dBm	-75.1	-75.5

Canal combinado BER 1E-8	dBm	-79.4	-79.4
Canal unico BER 1E-6 (Main)	dBm	-76.6	-76.2
Canal único BER 1E-6 (Diversity)	dBm	-75.8	-77.0
Canal combinado BER 1E-6	dBm	-79.2	-79.2
Canal unico BER 1E-4 (Main)	dBm	-77.8	-77.8
Canal único BER 1E-4 (Diversity)	dBm	-77.0	-77
Canal combinado BER 1E-4	dBm	-79.8	-79.8

Tabla N° 3.2 Mediciones de BER (Fuente: Alcatel)

### 3.6 Fotografías de la instalación

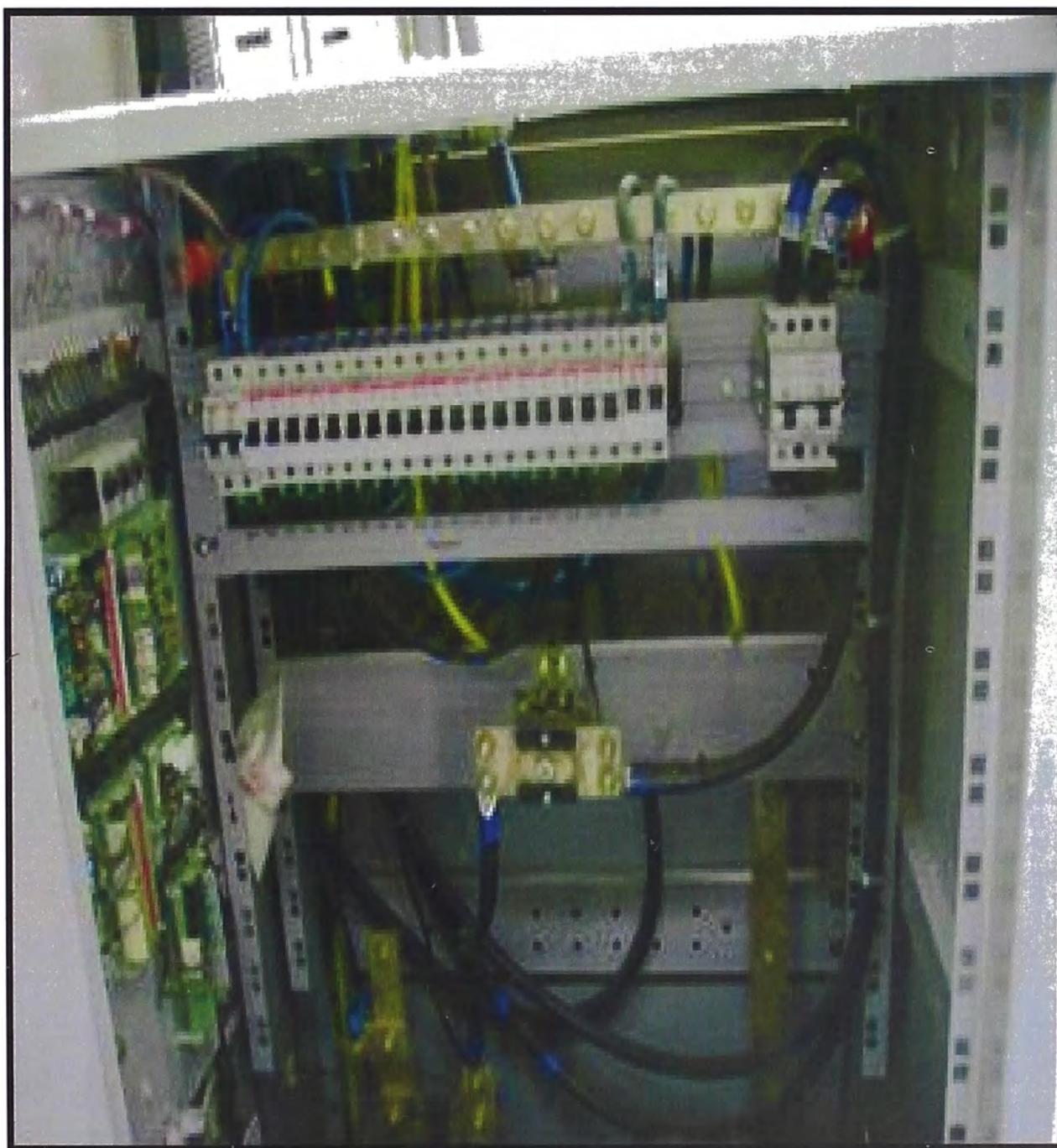


Fig 3.13 Breakers disponibles (Cerro Sucho)



**Fig 3.14 Pasamuro (vista exterior, Cerro La Milla)**



**Fig 3.15 Diversidad de espacio (Cerro Irayrapata)**

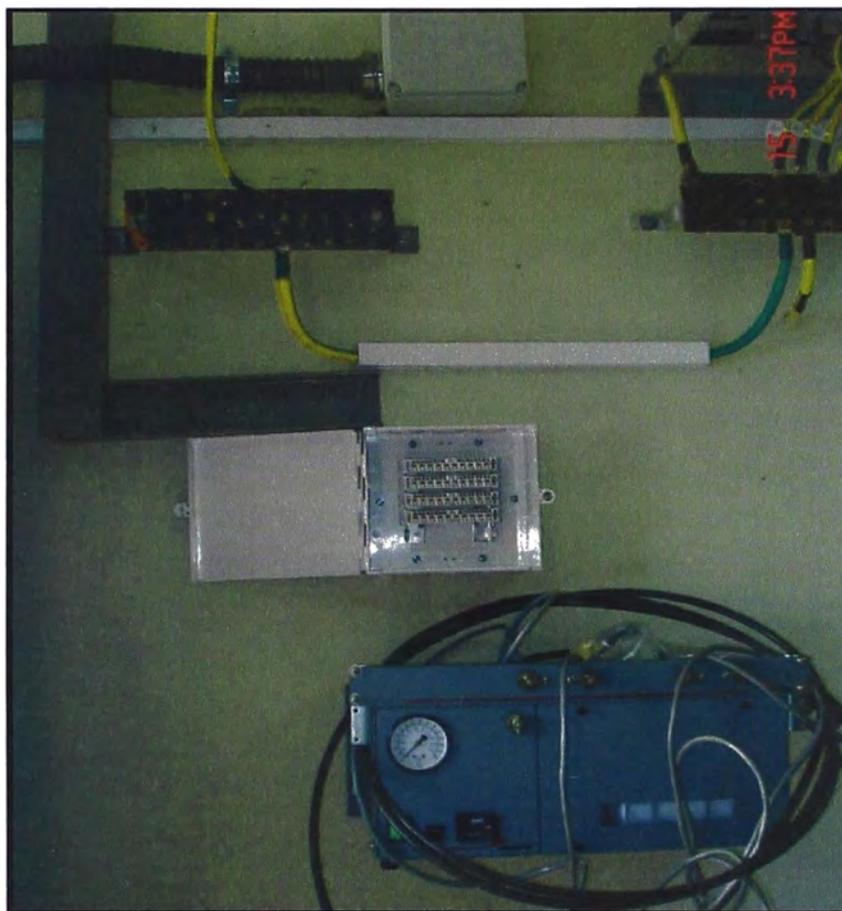


Fig 3.16 Presurizador y caja de alarmas (El Tambo)



Fig 3.17 Radio y ADM (Cerro Cachi Cachi)



Fig 3.18 Bastidor con regletas para E1s y STM-1

## CONCLUSIONES

1. El medio de transmisión elegido para nuestra red de transporte es el radioenlace, por su aspecto cualitativo: menor costo, menor tiempo de puesta en servicio y mantenimiento; técnico: cumple mas rigurosamente los requerimientos técnicos solicitados, económico: puesto que los presupuestos de enlace por microondas y fibra óptica están en la relación de 1 a 15 respectivamente, siendo el presupuesto del radioenlace mucho menos oneroso.
2. Respecto a las principales pruebas de protocolo de esta red tenemos: Return Loss: en la cual se midió las pérdidas de retorno en la guía de onda estando todos los niveles por debajo de -23 dB (nivel máximo permitido); distance to fault: en la que se midió el estado de la guía de onda luego de su instalación obteniéndose todos los niveles por debajo de -40 dB (nivel máximo permitido); medición de potencia de recepción en la cual se verificó la potencia que llega de la estación vecina, cumpliéndose los cálculos realizados con un margen de error menor al 3% (Ver tabla 3.1); Bit Error Rate (BER) en las cual se mide la tasa de bit errados, cumpliéndose los valores garantizados por la radio (Ver tabla 3.2). Todas estas pruebas sirvieron para demostrar que la red de transporte funciona en perfectas condiciones y el operador telefónico quien es finalmente el propietario de la misma recibirá una red probada.
3. El costo de un sistema con fibra óptica es lineal con respecto a la distancia puesto que mientras mas distancia se quiera recorrer se va a necesitar mas metros de fibra mientras que el costo de un sistema de microondas es proporcional al número de repetidores porque no importa la distancia a enlazar si no las estaciones necesarias para hacer el enlace. Por lo que teniendo que implementar una red sobre una geografía difícil (ruta Lima – Huancayo) y de gran recorrido es que el radioenlace es el mas indicado.
4. Técnicamente tanto la fibra óptica como los radioenlaces están en la capacidad de brindar adecuadamente los servicios solicitados por el operador ya que como se vio en el informe ambos medios de transmisión cumplen los requerimientos técnicos deseados. Prueba de esto son los cálculos realizados pero es el radioenlace por sus características el medio mas adecuado para implementar la red de transporte.

**ANEXO A**  
**DETALLES DE SDH**

## Funcionamiento

Una red SDH realiza la misma función básica que una red PDH existente, es decir, transporta información del cliente de un punto a otro; sin embargo, mediante el empleo de una nueva técnica conocida como multiplexaje síncrono la red SDH lleva a cabo esta tarea más eficientemente que las redes PDH.

Los sistemas SDH casi siempre utilizan fibra óptica para la transmisión y operan en sincronismo, esto significa que todo el equipo de la red se sincroniza a un reloj general de la red.

Los sistemas SDH permiten el transporte sin problemas de señales PDH, es decir, todas las señales plesiosíncronas desde 1,5 Mbit/s hasta 140 Mbit/s se pueden arreglar para que se puedan combinar y formar una señal STM-1 como se define en las recomendaciones G.709; permiten, además, las variaciones temporales características de las señales PDH. El arreglo se lleva a cabo multiplexando con dispositivos que realizan lo que se conoce como mapeo y alineamiento. Con el mapeo se convierten las señales plesiosíncronas al formato apropiado para montarlas sobre un enlace SDH y con el alineamiento se asegura que cuando lleguen a su destino saldrán exactamente con la misma velocidad con la que entraron.

Las recomendaciones de la ITU G.707, G.708 y G.709, que se refieren a las interfaces de nodos de red para SDH, definen las velocidades básicas para la transmisión SDH. La primera de estas es 155 Mbit/s llamado modulo de transporte síncrono, STM-1, y las velocidades superiores definidas como STM-4, STM-16 y STM-64 (622 Mbit/s, 2.4Gbit/s y 10Gbit/s respectivamente), estas señales constituyen los niveles jerárquicos de SDH.

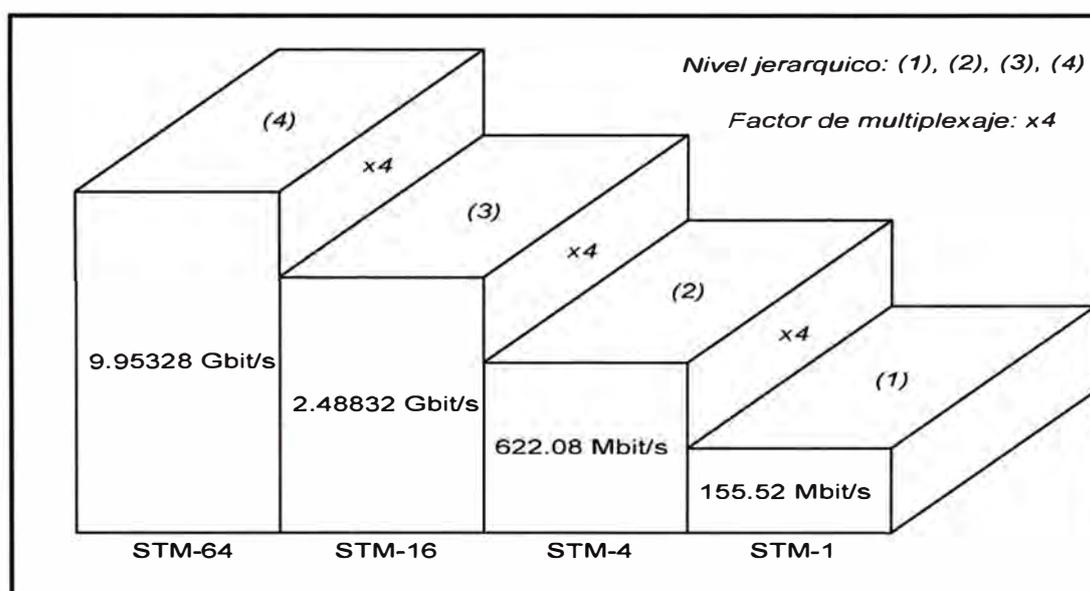


Fig A.1 Niveles jerárquicos SDH

En cualquiera de las redes digitales con que se trabaje, el canal de 64kbit/s constituye la unidad básica de transmisión, cualquier otro servicio digitalizado (diferente a la voz) se

tiene que adaptar a este régimen, resultando en velocidad de canal y estructura algunas veces menor que lo ideal.

La interconexión de cualquier par de nodos en una red SDH se consigue mediante sistemas individuales de transporte SDH; cada sistema de transporte conduce una señal cuyo formato puede describirse en términos de la estructura de trama de transporte SDH. Los tipos de trama y sus estructuras son justamente: STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64.

Dentro de cada estructura de trama, SDH define determinadas áreas de datos llamadas contenedores, cada uno corresponde a una tasa plesiosíncrona específica. Cada contenedor alberga la información de una señal plesiócrona o su equivalente; contiene, además, información de control que se conoce como excedente o encabezado de trayectoria (path overhead), cuyos bytes permiten al operador de red llevar a cabo el monitoreo de la ruta de extremo a extremo en aspectos como tasas de error. Juntos, el contenedor y el encabezado de trayectoria forman un contenedor virtual (en inglés virtual container, VC)

La recomendación G.709 define diferentes combinaciones de contenedores virtuales, las cuales se pueden emplear para llenar el área de carga de información de una señal STM-1. El proceso de cargar contenedores y agregar encabezados se repite en los diferentes niveles de la SDH resultando en el "anidamiento" de pequeños VC dentro de otros mayores, este proceso se repite hasta que se llena el VC de mayor tamaño (un VC-4 en Europa); después, el VC-4 se acomoda dentro de la carga de información de la trama STM-1; cuando el área de carga de información de la trama STM-1 se llena, se agregan algunos bytes de información de control que forman el encabezado de la sección. Se llaman así porque permanecen con la carga de información en la sección de fibra entre dos multiplexores síncronos. Su propósito es proveer canales de comunicación para funciones como operación, administración y mantenimiento (OAM), canales de usuario, conmutación de protección, alineación de trama y algunas otras funciones.

Cuando se requiere la transmisión a más alta tasa de bits que 155 Mbit/s de STM-1 en un red síncrona mediante el simple esquema de intercalado de bytes, se pueden obtener 622 Mbit/s (STM-4), 2.4 Gbit/s (STM-16). En SDH solo se utiliza el multiplexaje a nivel de bytes. A la entrada se tiene varios canales, los cuales formaran la señal de salida empaquetados en un solo canal.

A diferencia de PDH, en SDH no es necesario realizar tipo alguno de adaptación de velocidad de transmisión entre las señales tributarias, que ahora reciben el nombre de contenedores virtuales (VC). La relación de fase entre los VC englobados en una señal multiplex de orden superior está indicada por apuntadores (pointers) en la capa funcional de servicios de red.

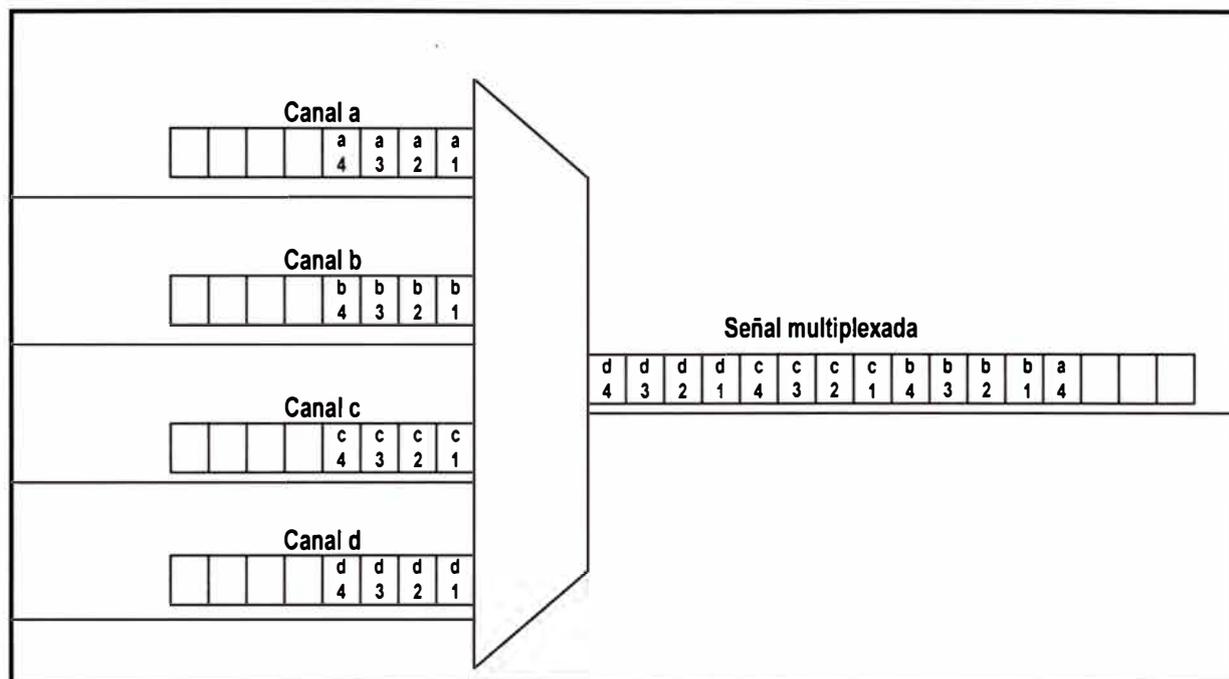


Fig A.2 Multiplexaje a nivel de bytes

Los sistemas SDH/SONET se basan en el multiplexaje que divide la trama en ranuras de tiempo (llamadas trayectorias o canales), esto incluye tanto la carga útil (payload) de la trama como sus datos adicionales (overhead) asociados. Mediante estos bytes adicionales de las tramas STM-n se proveen las facilidades para la operación, administración, mantenimiento y suministro (OAM&S) de la red SDH. Las funciones de supervisión se distribuyen sobre una jerarquía de tres niveles que se describen en la siguiente tabla:

SDH
Excedente (o encabezado) de trayectoria (POH)
Excedente (o encabezado) de sección multiplexora (MSOH)
Excedente (o encabezado) de sección regeneradora

Tabla N°A.1 Funciones de supervisión

El excedente de la trayectoria POH se emplea para manejar la comunicación de extremo a extremo, se combina con el contenedor que porta la comunicación cuando se agrega a un nodo de red, transporta datos de estado y mantenimiento sobre la misma trayectoria de la comunicación y se extrae de la red en el mismo nodo al cual está asociada la comunicación.

### Multiplexaje Síncrono

El método de multiplexaje de señales de orden bajo para obtener la señal SDH de orden más alto se ilustra en la siguiente figura, se trata del diagrama de la estructura del multiplexaje síncrono STM-n que se describe en la recomendación G.709 del CCITT.

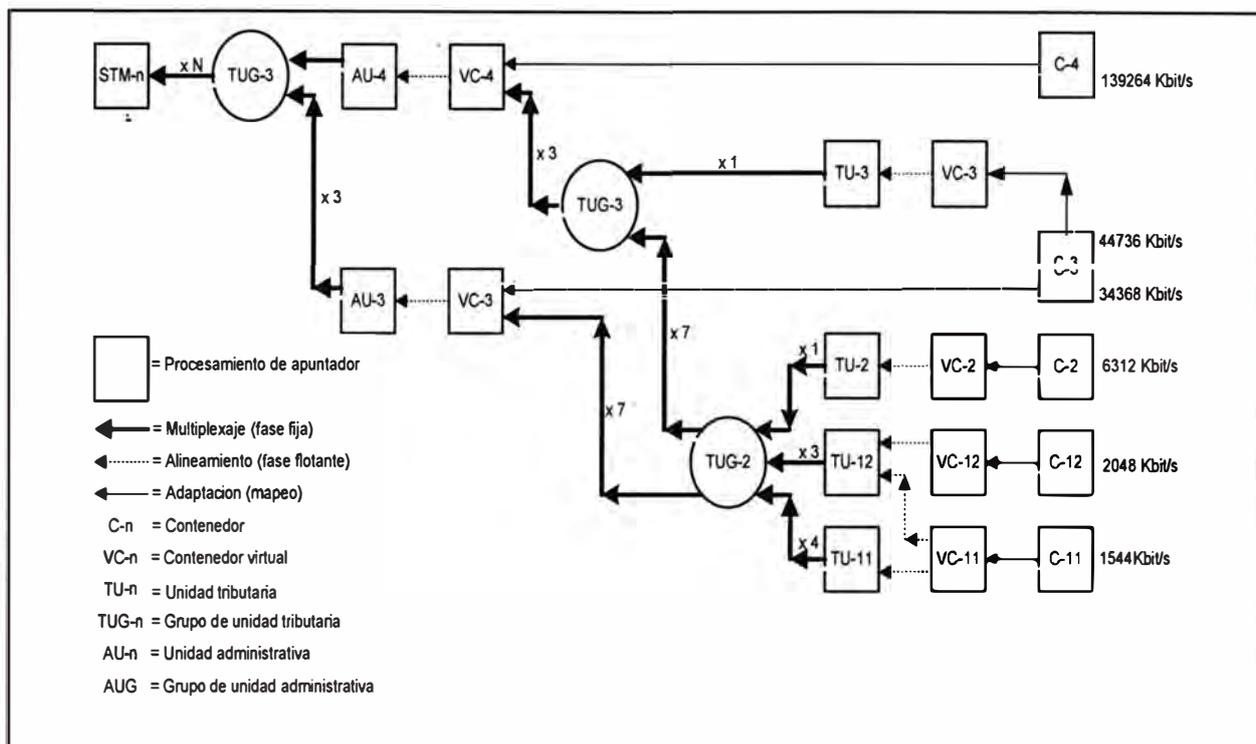


Fig A.3 Estructura de multiplexaje SDH

A continuación se describen los elementos constitutivos del sistema

### Los C-n

Son los contenedores en los cuales se insertan las señales de entrada, en realidad, un contenedor es una estructura de información que contiene la carga útil de la red síncrona. Se dimensiona para que pueda transportar cualquiera de los niveles jerárquicos PDH. La tasa plesiócrona específica se "mapea" (adapta) en el contenedor correspondiente mediante una técnica similar al "relleno" (justificación) de bits en PDH. El contenedor también contiene la capacidad necesaria para transportar señales de banda ancha que se prevé para el futuro, además, de las señales estructuradas con base en celdas como son las ATM.

### Los VC-n

Son los contenedores virtuales que se encargan de transportar la información entre dos puntos de acceso de trayectoria a través del sistema SDH. Un VC se compone de la carga de información misma (o sea el contenedor) y los excedentes de información de trayectoria o POH (Path Overhead) que se utilizan para la supervisión y el mantenimiento de las trayectorias de extremo a extremo, es una estructura de información organizada en forma de tramas que se repite cada 125 o 500  $\mu$ s. La información de alineamiento que se emplea para identificar el comienzo de la trama VC-n es proporcionada por los apuntadores del nivel de servicio de red.

Existen dos tipos de VC:

De orden inferior, VC-m ( $m=1,2$  ó  $3$ ). Este elemento se compone de un solo contenedor del tipo C-m ( $m=1,2$ ) y del POH del contenedor virtual de orden inferior correspondiente al nivel en cuestión (ya sea  $1, 2$  ó  $3$ )

De orden superior, VC-n ( $n=3,4$ ). Este elemento se compone de un solo contenedor C-n ( $n=3,4$ ) ó de un conjunto de grupos de unidades tributarias, TUG-2 o TUG-3, junto con el POH del contenedor virtual de orden superior correspondiente.

#### **Las TU-n**

Son las unidades tributarias que se encargan de agregar apuntadores a los contenedores. Una unidad tributaria es una estructura de información que permite la adaptación entre el nivel de trayectoria de orden inferior y el de orden superior, consiste en una carga de información (el VC-m de orden inferior) y el apuntador TU que indica el desplazamiento (offset) del principio de trama VC-m de orden inferior con respecto al principio de trama VC-n de orden superior; esto es, el TU-m ( $m=1, 2, 3$ ) se compone de un VC-m junto con el apuntador TU.

Un apuntador permite al sistema SDH compensar las diferencias de fase dentro de la red SDH. Las desviaciones de frecuencia entre las redes SDH también se pueden compensar. El dígito n se refiere al nivel del VC que corresponde directamente con la TU.

#### **Las AU-n**

Son las unidades administrativas que también se encargan de agregar "apuntadores" a los VC. Una AU es una estructura de información que permite la adaptación entre el nivel de trayectoria de orden superior y el nivel de sección multiplexora, se compone de una carga de información (el VC-n de orden superior) y el apuntador AU que indica el desplazamiento del inicio de la trama VC-n de orden superior con respecto al inicio de la trama de la sección multiplexora STM-n. Existen dos tipos de AU:

**AU-4:** compuesta de un VC-4 más el apuntador AU-4 que indica el alineamiento de fase VC-4 con respecto a la trama STM-n.

**AU-3:** consiste en un VC-3 de orden superior más el apuntador AU-3 que indica el alineamiento de fase del VC-3 con respecto a la trama STM-n

#### **El AUG**

Es el grupo de unidades administrativas que define un conjunto de una o más AU que ocupan posiciones fijas y definidas en una carga de STM-n. Se compone de una AU-4 o de una combinación homogénea de AU-3s

#### **El STM-n**

Es el módulo de transporte síncrono que constituye la señal que se transmite sobre la línea SDH. Es la estructura de información que se emplea para soportar conexiones a nivel de sección SDH.

Se compone de una carga de información y los campos de información SOH (excedente o encabezado de sección) organizados como estructura de trama con ciclos de repetición de 125  $\mu$ s. Estos encabezados se agregan en el STM a determinado número de unidades administrativas y constituyen las facilidades de supervisión y mantenimiento de secciones multiplexoras y regeneradoras, n es el número de AUG que se transportan en el módulo. Un STM básico está definido a 155,220 kbit/s y se conoce como STM-1, mientras que los STM-n de más alta capacidad están formados a velocidades que son múltiplos de enteros de dicha velocidad básica. El STM-1 se compone de un solo AUG junto con el SOH. El STM-n se compone de n AUG, junto con el SOH. En la actualidad sólo están definidos y especificados valores de n=4, 16 y 64.

### Estructura de la trama STM-n

La señal STM-n es un tren de bits agrupados en bytes (8 bits) que a su vez se arreglan en la forma de trama que se repiten cada 125  $\mu$ s. Dado el número grande de bytes en una trama, por razones prácticas, ésta se representa en la forma de rectángulo de bytes que se transmiten desde la parte superior izquierda hacia la parte inferior derecha tal como se leen las palabras de una página. Cada byte representa 64kbit/s.

El módulo STM-1 representa el nivel más bajo de señal SDH, contiene los siguientes elementos:

Un excedente de 9 columnas x 9 líneas que forma los encabezados de sección y trayectoria y el apuntador AU.

La carga útil del STM-1 de 261 columnas x 9 líneas.

El módulo STM-n contiene:

Un excedente de 9 líneas x 9n columnas.

Una carga útil de 261n columnas x 9 líneas

Los valores estándar del CCITT para n son = 1, 4, 16 y 64

El excedente se compone de:

Un RSOH (excedente de sección regeneradora)

Un MSOH (excedente de sección multiplexora)

Un POH (excedente de trayectoria)

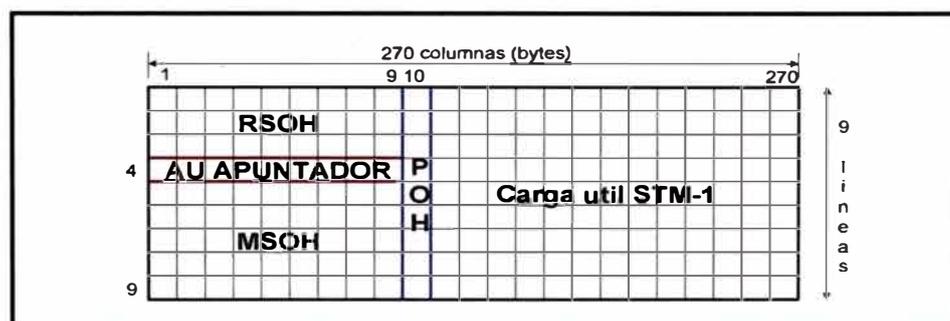


Fig A.4 Estructura de la trama STM-1

## **Cabecera de trayecto**

La cabecera de trayecto (POH) se utiliza para verificar la calidad del canal extremo a extremo. Existen dos tipos de cabecera de trayecto:

Cabecera de trayecto de alto orden, que, asociados a contenedores de tercer y cuarto orden, forman los contenedores virtuales VC-3 y VC-4. Las funciones que desempeñan el excedente o encabezado de trayectoria de alto orden son:

J1: rastreo de trayectoria del VC-n

B3: Bit de paridad (BIP-8)\

C3: Nombre de la señal: composición del VC

G1: Estado de la trayectoria (enlace)

FERF (error de bloque de extremo lejano),

FEBE (falla de recepción de extremo lejano)

F2: Canal del usuario de trayectoria

H4: Indicador de multitrama (localización de la carga útil)

Z3: Canal de usuario

Z4: Uso futuro

Z5: Byte de operador de red

Cabecera de trayecto de bajo orden, que asociados con portadores de primer y segundo orden, forman los contenedores virtuales VC-1 y VC-2. El excedente de trayectoria (POH) de bajo orden se lleva a cabo en el byte V5 y se describe a continuación:

BIP-2. Detección de bloque erróneo (bits 1 y 2) Para verificar la calidad del contenedor virtual VC-1 Y VC-2

FEBE. Error de bloque en el extremo lejano

Nombre de señal (bit 5 a 7). Composición de la carga útil VC-1 o VC-2

FERF. Falla de recepción de extremo lejano (bit 8)

## **Cabecera de sección**

El excedente o encabezado de sección (SOH) está formado por el encabezado de sección regeneradora (RSOH) y el encabezado de la sección multiplexora (MSOH)

### **a) Cabecera de sección de regeneración**

La cabecera de sección de regeneración (RSOH) contiene los datos necesarios para transferir la carga de un equipo al siguiente en la red SDH. Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

Alineación de trama (bytes A1 y A2).

Identificación de módulo STM-1 (byte C1). Número individual asignado a cada STM-1 identificarlos después de multiplexarlos a un mayor nivel.

Detección de errores de bloque (byte B1) para verificar la calidad de cada sección de regeneración.

Un canal de servicio (byte E1) para la sección de regeneración.

Canal de datos de usuario de 64 kb/s (byte F1).

Canales de comunicación de 192 kb/s (bytes D1 a D3) para la gestión de red.

El RSOH se termina en todos los elementos de la red SDH.

### **b) Cabecera de sección de multiplexación**

La cabecera de sección de multiplexación (MSOH) provee las funciones necesarias para monitorear y transmitir los datos de la red de gestión entre elementos de red. Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

Detección de errores de bloque (byte B2) para verificar la calidad de cada sección de multiplexación.

Un canal de conmutación automática de seguridad: APS N+1 (bytes K1 y K2) para la sección de multiplexación.

Canales de comunicación de 576Kbps para la gestión de red (bytes D4 a D12).

Indicador del estado de sincronismo (S1)

Canales reservados para futura utilización (bytes Z1 y Z2).

Sección REI, numero de errores en el B2

Un canal de servicio (byte E2) para la sección de multiplexación.

El MSOH se termina en el multiplexor solamente y no es afectado por el regenerador

### **c) Puntero**

Los punteros son información a base de bytes contenida dentro de la trama sincronía que desempeña un papel de vital importancia en el funcionamiento de las redes SDH. Existen fundamentalmente dos tipos de punteros: los AU y los TU, estos punteros permiten el alineamiento dinámico y flexible de contenedores virtuales dentro de la trama AU y TU. Por alineamiento dinámico se entiende que el VC puede "flotar" dentro de las trama AU y TU, pero su posición inicial dentro de la carga de información de la trama queda descrita por los valores del apuntador que se recalculan en cada nodo.

El empleo de apuntadores evita la necesidad de utilizar buffers para AU y TU que corrigen las diferencias en frecuencia, pero que introducen retraso considerable de señal. Con los apuntadores, el retardo de red en SDH se minimiza.

Los apuntadores permiten también la operación de tipo plesiócrono de los VC, dentro de la red síncrona. Esto es necesario para compensar las diferencias de sincronía que pueden resultar cuando algún nodo pierde la referencia de sincronización de red y opera utilizando su propio reloj interno. También es necesario para compensar corrimientos de

reloj (clock Offset) en los puntos en donde se unen redes SDH independientes, cada una de las cuales opera con su propio reloj de referencia de alta precisión.

La adaptación de las velocidades de transmisión de los VC a la trama AU o TU se lleva a cabo desplazando o moviendo la posición inicial del VC en forma positiva o negativa con respecto a la trama de transporte (justificación positiva o negativa) e incrementando en forma correspondiente el valor del apuntador.

Siendo el mapeo de señales un proceso eminentemente de sincronización, los apuntadores son indispensables para el mapeo de las diferentes señales tributarias en los contenedores respectivos.

El empleo de apuntadores facilita el multiplexaje y demultiplexaje, toda vez que la posición de cada byte de cualquier tributario en una señal STM-n se puede calcular fácilmente a partir de los valores de uno o dos apuntadores.

Las operaciones del puntero de unidad administrativa (AU) compensan las variaciones de fase y frecuencia entre los contenedores virtuales de mayor orden dentro de la carga, la compensación de tales variaciones se requiere para permitir la distribución de conexiones (crosconexión) y el multiplexaje de VC de diferentes orígenes (diferentes retardos de propagación y relojes) y a la vez que eliminan los ajustes de fase de los VC que llevarían al relleno adicional de bits.

Por otro lado, es importante señalar que los movimientos del apuntador producen el llamado "jitter" de punteros en los tributarios de salida, además del "jitter" de mapeo observado también en PDH, este jitter provoca también un deterioro de la señal consistente en la fluctuación de la señal tributaria que se recibe después de la recuperación de un VC-4 que ha estado sujeto a cambios del puntero.

### **Componentes de SDH**

Los componentes tecnológicos de SDH son los siguientes:

El mux terminal de línea (LTM)

El mux de inserción extracción (ADM)

El sistema síncrono de interconexión digital (DXCS)

El regenerador SDH

Todos estos componentes básicos de la red suministran funciones de conmutación y multiplexaje

#### **Mux terminal de línea (LTM)**

El LTM constituye la entrada principal a SDH desde la red PDH, se trata de un multiplexor que puede recibir diferentes señales tributarias y multiplexarlas sobre la portadora óptica apropiada a velocidades SDH, es decir STM-1, STM-4, STM-16 Y STM-64. Los tributarios

de entrada pueden consistir en señales PDH de 2, 34 y 140 Mbit/s o en señales SDH de menor orden.

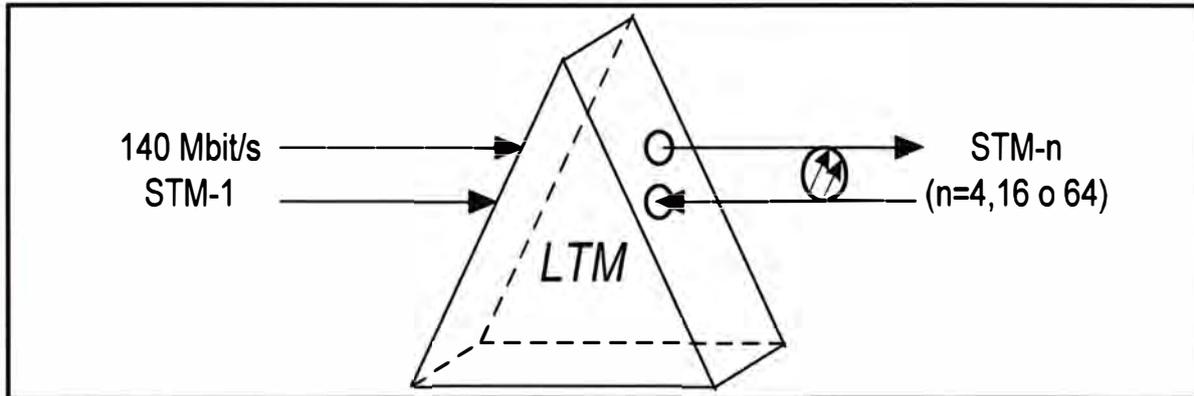


Fig A.5 Mux terminal de línea (LTM)

### Mux de inserción extracción (ADM)

El ADM constituye el bloque estructural básico del SDH para acceder localmente a redes síncronas. Se trata de un tipo especial de multiplexor terminal que opera en modo "a través de", esto es, dentro del ADM es posible insertar canales o extraerlos a través de la señal.

Los ADM ofrecen por lo general interfaces STM-1 y STM-4 y también pueden insertar/extraer diferentes señales tributarias, por ejemplo 2, 34 o 140 Mbit/s. Esta posibilidad constituye uno de los beneficios clave de los sistemas síncronos, pues los ADM suministran de manera directa una función que en PDH requería banco de terminales (una cadena mux/demux). El ADM, con su capacidad "a través de", representa una nueva dimensión en el diseño de redes pudiendo formarse anillos síncronos de acceso total.

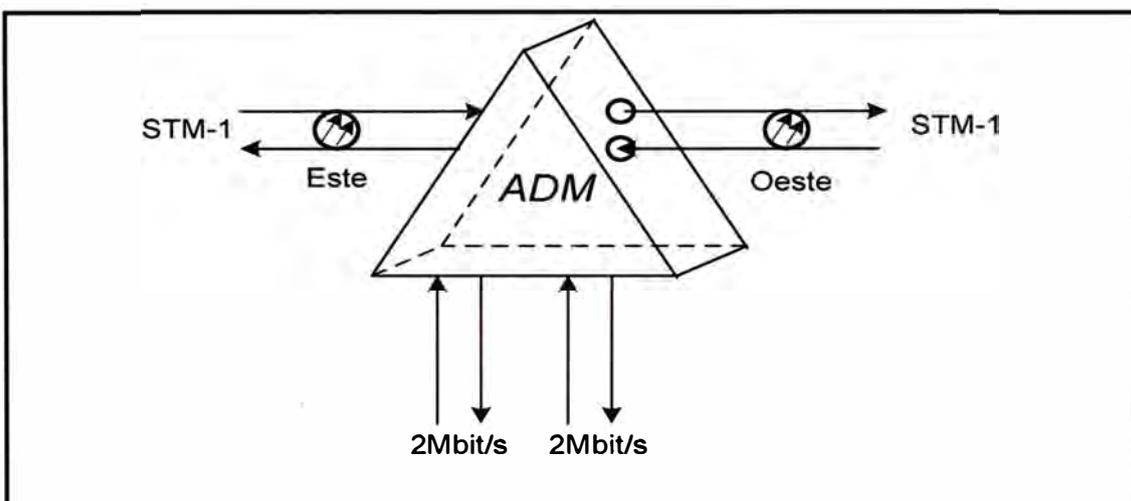


Fig A.6 Concepto del ADM

### Sistema síncrono de interconexión digital (DXCS)

El DXCS, también conocido como sistema de cross-conexión (DXC síncrono), funciona como conmutador semipermanente para canales de transmisión pudiendo conmutar a

cualquier nivel desde 64 kbit/s hasta STM-1. Tales dispositivos poseen por lo general interfaces STM-1 o STM-4.

Bajo control de software, estos componentes pueden seleccionar y reenrutar uno o más canales de orden inferior de la señal que se transmite sin la necesidad de multiplexar. Esta característica es la que permite que la interconexión digital (cross-conexión) sea una herramienta poderosa para conseguir la configuración rápida de la red de transporte y poder suministrar redes rentadas y otros servicios.

Los DXCS se clasifican en términos de la interfaz de línea y el nivel de conmutación; por ejemplo, el DXC 4/4 tiene interfaces STM-1 (o 140Mbit/s) y conmuta al nivel STM-1, mientras que el DXC 1/0 tiene interfaces a 2Mbit/s y conmuta a nivel de 64Kbit/s. El DXC 4/3/1 se utiliza ampliamente para reemplazar las tramas de distribución digital (DDF) que se emplean actualmente en redes digitales. Esto elimina los problemas de red que resultan de fallas en el cableado y recableado de DDF.

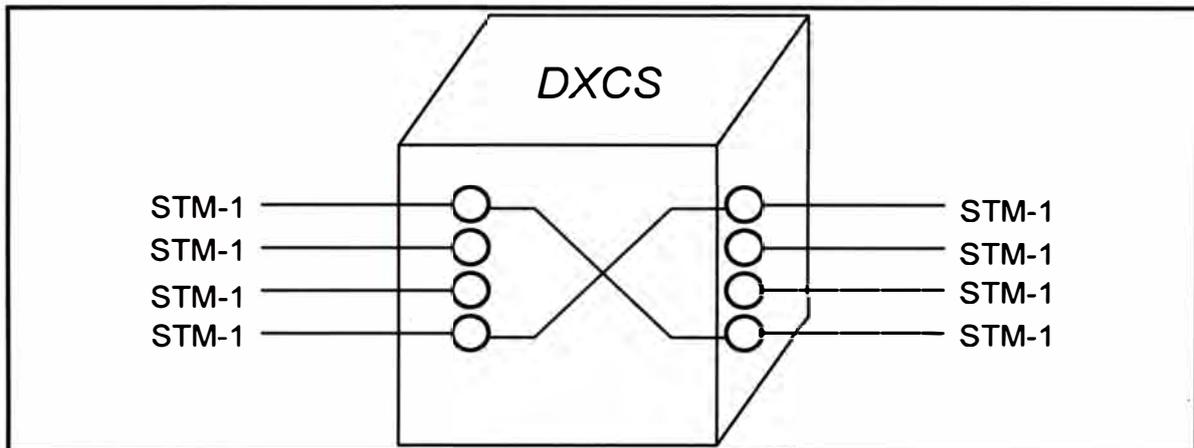


Fig A.7 DXC sincrónico

### Sincronización:

Como ya sabemos SDH significa jerarquía digital síncrona y es muy importante que sea realmente síncrona. Si no se garantiza la sincronización puede producirse una degradación considerable en las funciones de la red. Para evitarlo, todos los elementos de la red están sincronizados respecto a un reloj central, generado mediante un reloj de referencia primario (PRC) de alta precisión conforme a la recomendación G.811 de la UIT-T, que significa una precisión de  $1 \times 10^{-11}$ ; esta señal de reloj debe distribuirse por toda la red, para ello se recurre a una estructura jerárquica, siendo las unidades de sincronización (SSU) y los relojes de equipos síncronos (SEC) quienes transfieren la señal. Las señales de sincronización circulan por los mismos circuitos que las comunicaciones SDH.

**ANEXO B**

**PLAN DE CANALIZACION DE FRECUENCIAS EN EL RANGO DE 6430 A 7110 MHZ**

**Plan de canalización de frecuencias para el Rango de 6430 a 7110 MHz**

## Radiocanales de ida

## Radiocanales de retorno

CANAL N°	FRECUENCIA (MHz)	CANAL N°	FRECUENCIA (MHz)
01	6440	01'	6780
02	6460	02'	6800
03	6480	03'	6820
04	6500	04'	6840
05	6520	05'	6860
06	6540	06'	6880
07	6560	07'	6900
08	6580	08'	6920
09	6600	09'	6940
10	6620	10'	6960
11	6640	11'	6980
12	6660	12'	7000
13	6680	13'	7020
14	6700	14'	7040
15	6720	15'	7060
16	6740	16'	7080

**ANEXO C**

**ESPECIFICACIONES TECNICAS ALCATEL 9667 LSY Y HUAWEI OSN 1500**

## Technical specifications

Radio System	Alcatel 9667 LSY
RF frequency band (GHz)	6.4-7.1
RF channel	F.384
RF channel spacing (MHz)	
STM-1	40
Transmission capacity	1 x STM-1 or 2 x STM-1
Modulation	128/64 QAM
Demodulation	Coherent
Adaptive equalizer	19 TAPS
Spectrum shaping	Raised cosine
Coding type	MLC
Frequency reuse	YES
Transmitted power (*)	
ATPC (maximum) (dBm)	32
ATPC range (dB)	17
AGC dynamic range (dB)	60
Receiver threshold STM1/128 QAM @ BER =1x10-3 (**) (dBm)	-73
Receiver threshold STM1/128 QAM @ BER =1x10-6 (**) (dBm)	-71
Receiver threshold STM1/64 QAM @ BER =1x10-3 (**) (dBm)	-76.5
Receiver threshold STM1/64 QAM @ BER =1x10-6 (**) (dBm)	-74.7
Branching losses T+R (dB)	
1+1 single polar (STM-1)	4
3+1 single polar (STM-1)	4.5
Net system gain (Point C-C') @ BER =1x10-3 (dB)	
1+1 single polar (STM-1/128 QAM)	101
3+1 single polar (STM-1/128QAM) 1	100.5
Net system gain (Point C-C') @ BER =1x10-3 (dB)	
1+1 single polar (STM-1/64 QAM)	104.5
3+1 single polar (STM-1/64QAM)	104.0

System standard (ETSI)	EN 300 234-EN 301 127-EN 301 669 - EN 301 461 - EN 301489
Switching configuration	N+0/N+1
Switching type	Hitless
Station configuration	Regenerator terminal – Wireless Multiservice Node
Maximum power constant (W)	
1+1/2+0 Regenerator terminal	≤ 200
3+1/4+0 Regenerator terminal	≤ 360
7+1/8+0 Regenerator terminal	≤ 700

### Technical specifications

Optical system	Huawei OSN 1500
Characteristics of interfaces:	
8*STM-1 (support AU3 transparent transmission)	
8*N*64K/V.35 (the ability of switching:63x63*E1)	
EMS4 board (4*GE(o)+16*FE (o/e),Support switching of VC12/3/4, GFP,LCAS, L2/VLAN)	
EGS4 board (4*GE (o)) Support switching of VC12/3/4, GFP,LCAS, L2/VLAN)	
Intelligence:	
ASON V1R002	

## BIBLIOGRAFÍA

1. Enrique Herrera Pérez, “Tecnologías y Redes de Transmisión de datos”, Editorial Limusa – México, 2003
2. Marcial López Tafur <http://aniak.uni.edu.pe/sdemicro/Cap%2009%20MW%202005-1.pdf>
3. Juan Carlos Sosa Peña, “Alcatel Tecnología Micro-onda Visión General” ALCATEL – Venezuela, 2006
4. Eduardo Belleza Zamora, “Impacto del diseño de redes de ópticas en los costos y confiabilidad”, - Perú
5. Julio Cesar Lozano, “Diseño de enlace por microondas”, INICTEL UNI – Perú, 2009.
6. ANDREW USER MANUAL  
Installation Instructions for parabolic antennas
7. <http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/Products>
8. Andrew USER MANUAL (Bulletin 237427)  
MR050 Series Manual Regenerative Dehydrator
9. [http://www.huawei.com/products\\_services.do](http://www.huawei.com/products_services.do)