

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**Diseño de una Red Óptica para Aplicaciones de Telemedicina  
para los Departamentos de Lima, La Libertad y Arequipa**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero de las Telecomunicaciones** que presenta el  
bachiller:

**Graciela Garmendia Castañeda**

**ASESOR: Ing. Juan Omar Salomé Resurrección**

Lima, Noviembre del 2013

## **Resumen**

La presente tesis se ocupa del diseño de una red óptica para aplicaciones en Telemedicina en el Perú con la finalidad de interconectar las principales universidades con hospitales a lo largo del país, de forma que puedan prestar servicios de medicina a distancia de modo práctico y educativo; y así mejorar la calidad de servicio y brindar servicios de salud a más personas.

El primer capítulo presentará a grandes rasgos el estado actual de la salud en el Perú y los principales problemas que se tratan con este proyecto.

En el segundo capítulo se presentará el marco teórico, las tendencias tecnológicas en las redes ópticas en la actualidad y el estado del arte en las redes académicas en el Perú, con la capacidad y la infraestructura necesaria para poder soportar las aplicaciones y prestaciones requeridas para este proyecto. De acuerdo a lo presentado, se definirá la base y los alcances del presente trabajo.

En el tercer capítulo se hace un análisis del estado actual de las universidades y centros de salud en el Perú con la finalidad de identificar aquellas más apropiadas para cubrir las necesidades que existen en el sector y para definir las aplicaciones que las satisfagan. Se finaliza con el dimensionamiento correspondiente actual y su proyección al futuro supuesto de la red.

El cuarto capítulo presenta el diseño de la red, en base a los requerimientos de las aplicaciones priorizadas y adaptándose a la escalabilidad de la misma, mediante el empleo de mapas y software especializado.

El quinto capítulo describe los aspectos económicos a tomar en cuenta, es decir, los costos de diseño, implementación, operación y mantenimiento de la red; como también los beneficios económicos que acarrearía la realización del proyecto.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

## *Dedicatoria*



*A mis fieles seguidores y  
devotos creyentes,  
espero no haberlos  
defraudado.*

## ***Agradecimientos***

A mis padres, porque sin ustedes no sería la persona que soy. Gracias mamá por creer en mí, por siempre enseñarme a encontrar lo mejor en las personas y sobre todo en uno mismo.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, por su comprensión, por engreírme, por ser quienes somos cuando estamos juntos.

A mi asesor infalible, Ingeniero Omar Salomé Resurrección, estoy segura que sin tu apoyo y buen consejo esto no hubiese terminado aún.

A mis profesores que siempre me apoyaron en la vida universitaria. Gracias Prof. Larios, siempre fue de los que hacen que uno entregue lo mejor de sí.

A mis amigos, con quienes descubrí que la mejor forma de ser feliz es siendo sincero con uno mismo.

Gracias a todos.



## Índice

<b>Índice</b> .....	v
<b>Lista de Figuras</b> .....	vii
<b>Lista de Tablas</b> .....	viii
<b>Introducción</b> .....	10
<b>Capítulo 1 La salud en el Perú</b> .....	11
1.1 Marco problemático .....	11
1.2 Descripción del problema .....	11
1.3 Justificación.....	12
<b>Capítulo 2 Marco teórico y estado de arte de redes ópticas en el Perú.</b> 14	
2.1 Marco teórico.....	14
2.1.1 Conceptos previos .....	14
2.1.2 Red <i>long haul</i> (LHONs).....	15
2.1.2.1 Características .....	16
2.1.3 Red óptica metropolitana (MON) .....	16
2.1.3.1 Características .....	17
2.1.3.2 Arquitectura y conceptos generales.....	18
2.1.4 Estado del arte en las redes ópticas.....	18
2.1.4.1 Expectativas para el futuro .....	19
2.2 Estado del arte de redes académicas en Perú .....	21
2.2.1 Red Avanzada Académica Peruana (RAAP) – Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas (Red CLARA) .....	21
2.2.1.1 Características de la red [RED2010] .....	22
2.2.1.2 Aplicaciones de la red [RED2010] .....	23
2.2.1.3 Arquitectura de la red .....	23
2.2.2 Plan nacional para el desarrollo de la banda ancha en el Perú .....	25
2.2.2.1 Redes de fibra óptica .....	25
2.2.2.2 Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Fibra Dorsal Nacional de Fibra Óptica .....	27
2.2.2.3 Análisis .....	29
2.2.2.3.1 Ancho de banda.....	29
2.2.2.3.2 Escalabilidad y autonomía.....	30
2.2.2.3.3 Alcance.....	30
2.2.2.4 Conclusiones .....	31
<b>Capítulo 3 Planificación de la red</b> .....	32
3.1 Consideraciones generales .....	32
3.1.1 Estudio y definición de principales centros de salud en el Perú .....	32
3.1.2 Estudio y definición de principales universidades.....	33
3.1.3 Departamentos involucrados en la red piloto.....	35
3.1.4 Estudio y definición de aplicaciones.....	36
3.1.4.1 Red académica avanzada .....	36
3.1.4.1.1 Aplicaciones en redes académicas .....	37
3.1.4.2 Telemedicina .....	39
3.1.4.3 Aplicaciones clínicas de la telemedicina.....	40
3.1.4.4 Tipos de información a transmitir .....	42
3.1.5 Estado del arte en el Perú [RIO2005].....	44
3.2 Planificación de la red y dimensionamiento .....	45

3.2.1	Primera fase .....	46
3.2.2	Segunda fase .....	49
3.3	Conclusiones .....	53
<b>Capítulo 4 Diseño de la red piloto .....</b>		<b>54</b>
4.1	Consideraciones generales .....	54
4.1.1	Fibra óptica .....	54
4.1.2	Parámetros de transmisión .....	54
4.2	Diseño de red en la primera fase .....	57
4.2.1	Lima: planos y esquemas .....	59
4.2.2	Arequipa: planos y esquemas .....	62
4.2.3	Trujillo: planos y esquemas .....	65
4.2.4	Equipamiento .....	68
4.2.5	Diseño completo .....	70
4.3	Diseño de red en la segunda fase .....	72
4.3.1	Equipamiento .....	74
4.3.1.1	Parámetros de transmisión .....	75
4.3.2	Diagrama de red .....	80
4.3.3	Proyección de la red a largo plazo .....	81
<b>Capítulo 5 Aspecto económico y duración del proyecto .....</b>		<b>83</b>
5.1	Evaluación económica .....	83
5.1.1	Inversión .....	83
5.1.2	Operación y mantenimiento .....	83
5.1	Ingresos .....	89
<b>Bibliografía .....</b>		<b>94</b>
<b>Anexos .....</b>		<b>98</b>

## *Lista de Figuras*

FIGURA 2-1: TIPOS DE REDES ÓPTICAS DE ACUERDO AL CRITERIO GEOGRÁFICO.....	15
FIGURA 2-2: ARQUITECTURA DE UNA RED DWDM .....	15
FIGURA 2-3: CAPAS CLIENTE TRANSPORTADAS EN UNA RED METRO .....	17
FIGURA 2-4: REPRESENTACIÓN GENÉRICA DE UNA RED ÓPTICA METROPOLITANA.....	18
FIGURA 2-5: EFICIENCIA ESPECTRAL DE SISTEMAS COMERCIALES INCREMENTADOS POR EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES.....	20
FIGURA 2-6: RED RAAP – RED CLARA – GEANT .....	22
FIGURA 2-7: RED RAAP.....	24
FIGURA 2-8 TOPOLOGÍA DE LA RED .....	24
FIGURA 2-9: TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA A NIVEL NACIONAL.....	26
FIGURA 2-10: RED DORSAL DE FIBRA ÓPTICA IDEAL .....	29
FIGURA 3-1: CUADRO COMPARATIVO DE LAS CATEGORIAS DE LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD .....	32
FIGURA 4-1: DEGRADACIÓN DE LA SEÑAL DE 10Gbps .....	56
FIGURA 4-2: CONFIGURACIÓN DE UN BERT .....	57
FIGURA 4-3: CENTRO DE SALUD/ CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LIMA.....	59
FIGURA 4-4: DISEÑO FINAL DE LIMA FASE 1 .....	61
FIGURA 4-5: CENTRO DE SALUD/ CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN AREQUIPA.....	62
FIGURA 4-6: DISEÑO FINAL DE AREQUIPA FASE 1.....	64
FIGURA 4-7: CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL EN TRUJILLO .....	65
FIGURA 4-8: DISEÑO FINAL DE TRUJILLO FASE 1 .....	67
FIGURA 4-9: SEGMENTO UNIDO MEDIANTE FIBRA ÓPTICA .....	68
FIGURA 4-10: ROUTER DE BORDE MULTISERVICIO JUNIPER M10I.....	69
FIGURA 4-11: ROUTER JUNIPER J4350 .....	70
FIGURA 4-12: DISEÑO FINAL DE LA RED FASE 1 .....	71
FIGURA 4-13: CANALIZACIÓN DEL BACKHAUL DE PERÚ (ENTRE TRUJILLO Y AREQUIPA) .....	73
FIGURA 4-14: POTENCIAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL CPL DE CIENA .....	76
FIGURA 4-15: RESULTADOS DE PRUEBAS DE BERT.....	78
FIGURA 4-16: RESULTADOS DEL MONITOREO DEL PUERTO DE PRUEBA .....	78
FIGURA 4-17: RESULTADOS DE PRUEBAS DE RETARDO.....	80
FIGURA 4-18: RETARDOS EN LA RED FINAL.....	80
FIGURA 4-19: DIAGRAMA DE RED FINAL FASE 2 .....	81

## *Lista de Tablas*

TABLA 2-1: TIPOS DE REDES ÓPTICAS DE ACUERDO AL CRITERIO GEOGRÁFICO .....	14
TABLA 2-2: TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA.....	25
TABLA 2-3: NODOS DE FIBRA ÓPTICA.....	25
TABLA 3-1: CENTROS DE SALUD DEL PERÚ A CONSIDERAR .....	33
TABLA 3-2: UNIVERSIDADES LIDERES EN MEDICINA A NIVEL NACIONAL 2010 .....	34
TABLA 3-3: MEJORES UNIVERSIDADES RANKEADAS POR DEPARTAMENTO .....	35
TABLA 3-4: RESUMEN DE INSTITUCIONES A CONSIDERAR EN LA RED PILOTO.....	36
TABLA 3-5: RESUMEN DE INSTITUCIONES A CONSIDERAR EN LA RED PILOTO.....	38
TABLA 3-6: SERVICIOS DE TELEMEDICINA.....	43
TABLA 3-7: SERVICIOS DE TELEMEDICINA EN FASE 1 .....	46
TABLA 3-8: MÉDICOS EN PROMEDIO POR HOSPITAL DE ACUERDO A DEPARTAMENTO FASE 1 .....	47
TABLA 3-9: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA DE HOSPITALES POR DEPARTAMENTO FASE 1 .....	48
TABLA 3-10: SERVICIOS EN LA RED ACADÉMICA EN FASE 1.....	48
TABLA 3-11: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA DE UNIVERSIDADES POR DEPARTAMENTO EN FASE 1 .....	49
TABLA 3-12: SERVICIOS DE TELEMEDICINA EN FASE 2 .....	50
TABLA 3-13: MÉDICOS EN PROMEDIO POR DEPARTAMENTO EN FASE 2 .....	51
TABLA 3-14: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA DE HOSPITALES POR DEPARTAMENTO EN FASE 2 .....	51
TABLA 3-15: SERVICIOS EN LA RED ACADÉMICA EN FASE 2.....	52
TABLA 3-16: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA DE UNIVERSIDADES POR DEPARTAMENTO EN FASE 2 .....	52
TABLA 3-17: CAPACIDAD FINAL FASE 1 Y FASE 2.....	53
TABLA 4-1: CARACTERÍSTICAS – FIBRA ÓPTICA .....	54
TABLA 4-2: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LIMA .....	58
TABLA 4-3: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN AREQUIPA .....	58
TABLA 4-4: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN TRUJILLO .....	58
TABLA 4-5: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR Y NODOS DE TELEFÓNICA EN LIMA .....	59
TABLA 4-6: DISTANCIA Y ATENUACIONES DEL CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL LINCE .....	62
TABLA 4-7: CENTRO DE SALUD/ CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR Y NODOS DE TELEFONICA EN AREQUIPA .....	63
TABLA 4-8: DISTANCIA Y ATENUACIONES DEL CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL AREQUIPA SALA .....	65

TABLA 4-9: CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL EN TRUJILLO .....	66
TABLA 4-10: DISTANCIA Y ATENUACIONES DEL CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL TRUJILLO .....	67
TABLA 4-11: CARACTERÍSTICAS DEL ACTIVEFLEX 6500 DE CIENA .....	75
TABLA 5-1: FASE 1 – COSTOS DETALLADOS DE MATERIALES Y EQUIPOS A USAR .....	85
TABLA 5-2: FASE 1 – COSTOS DETALLADOS DE CAPEX .....	85
TABLA 5-3: FASE 1 – INFORMACIÓN DETALLADA DE OPEX .....	86
TABLA 5-4: FASE 2 – COSTOS DETALLADOS DE MATERIALES Y EQUIPOS A USAR .....	87
TABLA 5-5: FASE 2 – COSTOS DETALLADOS DE CAPEX .....	87
TABLA 5-6: FASE 2 – INFORMACIÓN DETALLADA DE OPEX .....	88



## ***Introducción***

En estos últimos años se ha experimentado un avance veloz de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) y sus aplicaciones. Dicho avance ha llegado también al sector de la Salud al facilitar la gestión de la salud y sus recursos al brindar educación a distancia; todo esto mediante la telemedicina.

La penetración de las TIC's en los nuevos paradigmas de cuidado de los pacientes brinda nuevas oportunidades en el diagnóstico y tratamiento oportuno, así como para la formación permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y evaluación. Todo con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven, permitiendo mejorar la calidad de vida de estas personas y de la misma forma brindando nuevas oportunidades de desarrollo a los profesionales de la salud.

Las soluciones que se plantean para la mejora del cuidado de la salud se encuentran limitadas por los recursos que se requieren para su funcionamiento. Por ello, en la presente tesis se plantea el diseño de una red de transporte que cuente con las características necesarias para que estas aplicaciones sean utilizables en nuestro país.

Para ello se comienza el marco problemático de la salud en nuestro país para seguir con la investigación del estado del arte de redes ópticas con aplicaciones similares. Con estos resultados se podrá determinar la opción más adecuada de acuerdo a las necesidades y a la cobertura que se pretenda cubrir. Luego, se hará un estudio de las aplicaciones que se van a usar acorde a las necesidades presentes en el sector. Con la información anterior, se podrá determinar la tecnología que soportará el ancho de banda que se requiera para finalmente proceder con la planificación y diseño de la red.



## **Capítulo 1**

### **La salud en el Perú**

#### **1.1 Marco problemático**

La salud en el Perú enfrenta diversas barreras que dan lugar a una baja calidad en la atención, convirtiéndose actualmente en obstáculos grandes para enfrentar con éxito problemas identificados como prioridad a nivel nacional: desnutrición infantil, mortalidad materna y neonatal; dado que requieren de mayor atención y capacitación para su solución. De acuerdo a estudios de la Universidad de Lima, la población percibe que la calidad es baja y que tiene la tendencia a seguir descendiendo, en hospitales del MINSA y de EsSalud [UNI2009].

Esta inadecuada situación puede encontrar una explicación en el bajo nivel de desarrollo de la calidad en los servicios de salud como producto de la insuficiente voluntad política puesta por las Autoridades Sanitarias para lograr su desarrollo. Esta situación se evidencia en los resultados de la medición de las Funciones Esenciales de la Salud Pública en el Perú realizada el 2006, donde la novena función esencial de salud pública (FESP 9) que atañe al desarrollo de calidad no alcanza siquiera el promedio del conjunto. [MIN2009]

#### **1.2 Descripción del problema**

Las principales barreras que se enfrenta y por las cuales la salud es un tema crítico en nuestro país son:

- Las barreras de atención efectiva y segura, que abarca la crisis en recursos humanos y el insuficiente equipo médico.
- Las barreras de infraestructura y medicamentos para poder hacer frente a la demanda actual.

- Las barreras de atención rápida y eficiente, que estaría constituida por el tiempo de espera, las dificultades para calificar en el seguro integral de salud (SIS), navegar la burocracia y la falta información.[ARJ2008].

Esto se evidenciaría en la calidad de atención y servicio que uno puede obtener en centros médicos de la capital y de provincia, pese a existir soluciones tecnológicas eficientes y satisfactorias que se desarrollan en otros países. Por ejemplo, en Brasil se desarrolla el proyecto KyaTera que consiste en una red óptica que soporta WebLabs (la manipulación remota de laboratorios) y en donde se comienza a utilizar una terminología tal como Fiber to the Lab, en España ya se logra que el cirujano pueda ensayar las operaciones delicadas o incluso en los casos cuando el paciente esté lejos y no es conveniente entrar en contacto directo, se hace la operación sobre un modelo virtual, mientras un robot ejecuta los movimientos del cirujano y realiza la operación al paciente, con menos posibilidades de error y sin los temblores normales en el pulso humano [KYA2010].

Por lo expuesto, el presente proyecto enfoca sus esfuerzos en brindar las herramientas necesarias para mejorar la calidad de los servicios de salud, considerando los medios de comunicación factibles de ser desplegados en los tipos de servicios cableados como aplicaciones de fibra óptica.

### 1.3 Justificación

Con este proyecto se contribuirá a mejorar el nivel de atención en salud, gracias a los beneficios tangibles que brinda la telemedicina, tales como la disminución de los tiempos de atención, diagnósticos y tratamientos más oportunos, reducción de los costos de transporte, atención continuada, tratamientos más apropiados, disminución de riesgos profesionales, posibilidad de interconsulta, mayor cobertura, educación médica haciendo uso de videoconferencias, reuniones médicas para obtener opiniones alternativas, entre otras muchas virtudes; agregando un nivel de simplificación que permita su uso en laboratorios nacionales e internacionales distantes de una manera mucho más eficaz.

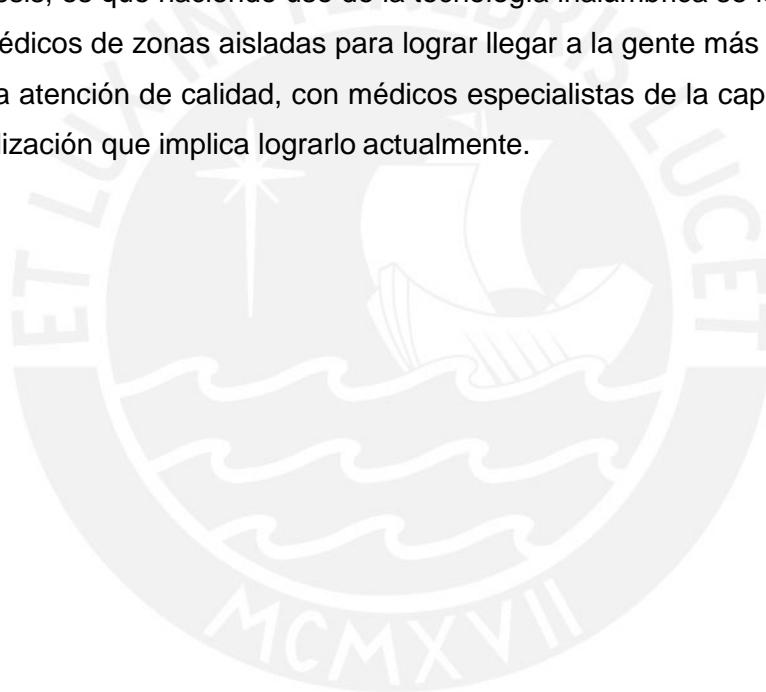
La telemedicina también conllevará beneficios al medio ambiente tales como la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> debido a que se minimizará la movilidad a los centros médicos y a las universidades; y ahorro en el uso de papel al digitalizar los historiales



médicos, los resultados de exámenes, el material de estudio en las universidades, descansos médicos, emisión de recetas, entre otras.

De la misma forma, la red permitirá establecer la red *backbone* nacional que permitirá la interconexión con redes académicas y de telemedicina internacionales dando lugar una red de médicos especialistas en la detección y tratamiento de enfermedades; y brindará un medio para mejorar la instrucción de los futuros galenos en universidades nacionales.

Finalmente, la proyección final del proyecto, aunque no es abarcado dentro de la presente tesis, es que haciendo uso de la tecnología inalámbrica se logre interconectar puestos médicos de zonas aisladas para lograr llegar a la gente más necesitada y que tengan una atención de calidad, con médicos especialistas de la capital sin necesidad de la movilización que implica lograrlo actualmente.



## Capítulo 2

### Marco teórico y estado de arte de redes ópticas en el Perú

#### 2.1 Marco teórico

En el presente capítulo se estudiará las redes metropolitana y *long haul*, ya que en la red a implementar se hará uso de las características de ambas redes.

Siendo específicos, las redes ópticas metropolitanas son aquellas redes que pueden abarcar desde un entorno metropolitano hasta una cobertura nacional. Estas son interconectadas por redes de comunicación de larga distancia denominadas *long haul* cuya cobertura es nacional e internacional entre usuarios localizados en diferentes áreas de servicio.

##### 2.1.1 Conceptos previos

Partimos del concepto de una red óptica que se caracteriza por tener como enlaces de transmisión cables de fibra óptica que pueden ser monomodo, generalmente usado para transmisión de largas distancias, o multimodo que suele ser usada para distancias cortas y de menor velocidad.

Dentro de las redes ópticas podemos tener tipos de enlaces de acuerdo a la distancia entre dos puntos extremos que transmiten información como se detalla en la tabla 2-1 [ORT2006].

**TABLA 2-1: TIPOS DE REDES ÓPTICAS DE ACUERDO AL CRITERIO GEOGRÁFICO**

Fuente: "Redes Ópticas" [ORT2006]

Tipo de Red	Característica
Acceso	Entre 1 y 20 Km.
Metropolitana	Un aproximado de distancia entre 20 y 100 Km.
<i>Long Haul</i>	La distancia puede variar de cientos a miles de kilómetros.
<i>Ultra Long Haul</i>	Mayor a 2500Km, usado normalmente en redes transoceánicas.

En la figura 2-1, podemos diferenciar la red de acceso de la red metropolitana y de la red de larga distancia o *long haul*.

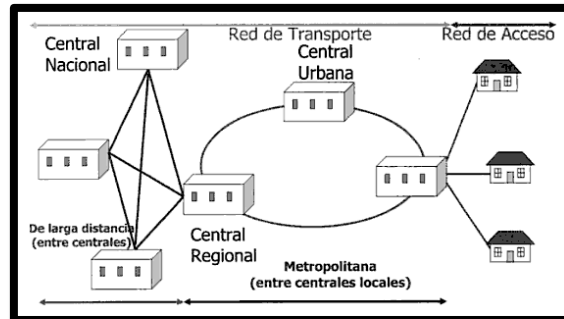


FIGURA 2-1: TIPOS DE REDES ÓPTICAS DE ACUERDO AL CRITERIO GEOGRÁFICO

Fuente: "Redes Ópticas" [ORT2006]

### 2.1.2 Red *long haul* (LHONs)

Como se mencionó en el marco teórico, una red *long haul* o de larga distancia hace referencia a una red que conecta redes de áreas metropolitanas que alcanzan distancias entre 300 y 2500 kilómetros; y velocidades teóricas de hasta 6.4 Tb/s por par de fibra (160 canales de 40 Gb/s), basado en la multiplexación densa de longitud de onda (DWDM) y receptores coherentes. En la práctica, debido al gran avance tecnológico se logran velocidades mayores con lambdas de 100 Gb/s típicamente con bandas de guardia de 50GHz, lo que implica sistemas de 80 canales que pueden soportar hasta 8Tb/s.

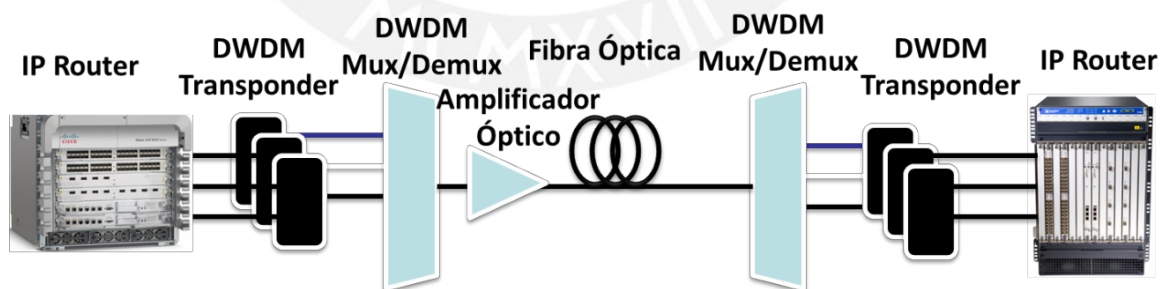


FIGURA 2-2: ARQUITECTURA DE UNA RED DWDM

Fuente: "Propia"

En la figura 2-2, se muestra la arquitectura que tiene una red DWDM en el que se mencionan los elementos básicos que deben estar presentes en el diseño de una red de este tipo (equipos terminales, transpondedores, mux/demux, amplificador óptico y/o regeneradores ópticos).

### 2.1.2.1 Características

Las redes de larga distancia permiten la transmisión de señales de luz no visible a través de cable de fibra óptica a grandes distancias, sobre todo sin o con un mínimo uso de repetidores. Estos permiten mantener la calidad de la señal y evitar que se degrade hasta ser indetectable. En sistemas ópticos de este tipo, el objetivo es reducir al mínimo el número de repetidores por unidad de distancia, e idealmente, para hacer innecesarios los repetidores.

El principal desafío para los desarrolladores de redes ópticas de larga distancia (o ultra-larga distancia óptica) es la pérdida inherente en los materiales utilizados en el cable de fibra óptica. Hasta cierto punto, esta pérdida se puede superar mediante el aumento de la potencia de la señal óptica en el extremo de entrada, pero este enfoque de fuerza bruta tiene funcionalidad limitada. Los repetidores pueden ser utilizados para amplificar los pulsos a intervalos a lo largo de la ruta de transmisión, pero esto es costoso, y el mantenimiento de dichos repetidores es difícil en tendidos de fibra subterráneos o submarinos.

Las redes de larga distancia transportan mucho más información que cualquier tipo de red. Desde el punto de vista óptico, estas redes requieren de un mayor número de pruebas en el proceso de instalación y mantenimiento. Por ejemplo, se debe tomar en consideración la acumulación de problemas de transmisión por efecto de la Dispersión Cromática (CD) y la Dispersión en modo de Polarización (PMD), como los efectos no lineales (NLE), las pérdidas dependientes de la Polarización (PDL); y así como las características de los amplificadores y filtros que conforman la red. [MUT2009], [ORT2006].

### 2.1.3 Red óptica metropolitana (MON)

Una red óptica metropolitana es un subconjunto de la red, a menudo sin diferenciación o límite significativo. MON ahora tiene la tecnología para ser óptico y por lo tanto, en teoría, hacer uso de la misma a través de las fibras como en otras porciones de la red. Sin embargo, este no es siempre el caso, ya que hay varios factores de mercado que definen que tecnologías se desplegarán en que parte de la red. Como resultado de ello, es apropiado describir el MON de una manera que es independiente de los diversos enfoques de la tecnología.

### 2.1.3.1 Características

A pesar de las muchas similitudes, existen varias diferencias entre las redes metropolitanas y de larga distancia (LHONs):

- La primera diferencia es que las MONs son intrínsecamente diseñadas para distancias cortas de longitud media dentro de los límites de un solo vano óptico y, a menudo menos de 200 km de distancia. Como resultado, temas como la regeneración de la señal, amplificación de línea y corrección de errores son de menor importancia que en LHONs.
- En segundo lugar, un requerimiento principal para las MONs es maximizar la cobertura a bajo costo (en oposición a la preparación para garantizar el rendimiento con las LHONs). Como resultado, por ejemplo, la estandarización se centra en la adaptación de las tecnologías de red de área local para ser gestionados eficazmente por los proveedores de servicios, en la amplificación por 'pérdida de inserción' para recuperar la señal de todos los puntos de conexión, y el despliegue de redes en anillo para redundancia y para aprovechar la planta de fibra.
- Otra diferencia clave es la velocidad de servicio: la demanda de resultados rápidos en el circuito de aprovisionamiento es generalmente más alta en MONs que LHON. Eso, combinado con la más amplia variedad de señales de cliente es un factor clave para la flexibilidad de agregación como soportar protocolos y servicios de datos como IP, ATM, 10/100/1000 Mbps-Ethernet, SDH/SONET, FDDI, PDH, etc.; como se muestra en la figura 2.3:

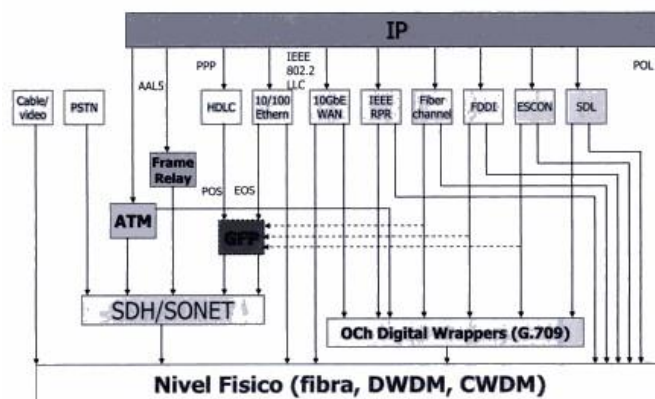


FIGURA 2-3: CAPAS CLIENTE TRANSPORTADAS EN UNA RED METRO

Fuente: "Redes Ópticas" [ORT2006]



- Una última distinción es que en la MON hay requisitos de servicio (por ejemplo, el ancho de banda bajo demanda y múltiples clases de servicios) que conducen a rediseñar la topología y reconsideraciones técnicas que no son una prioridad para las LHONs.

### 2.1.3.2 Arquitectura y conceptos generales

La representación genérica de una arquitectura metropolitana puede ser dada como se muestra en la figura 2.4:

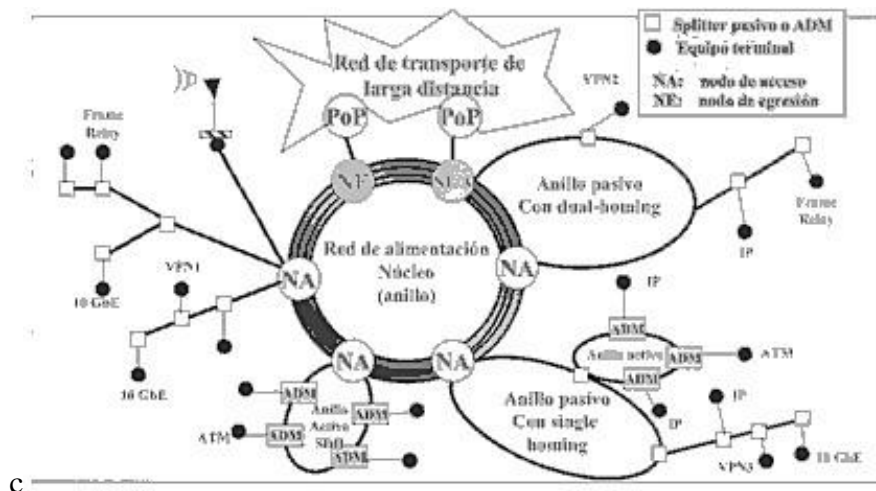


FIGURA 2-4: REPRESENTACIÓN GENÉRICA DE UNA RED ÓPTICA METROPOLITANA

Fuente: "Redes Ópticas" [ORT2006]

Básicamente, una red metropolitana se divide en dos partes:

- *La Red de Alimentación o Núcleo (Metro Core)*: Tiene como función el agregar el tráfico proveniente de redes de distribución.
- *La Red de Distribución o Periférica (Metro Access)*: la conectada directamente con el usuario final. Es la que se encarga de distribuir y recopilar tráfico de los usuarios finales por lo que se considera la red de acceso.

### 2.1.4 Estado del arte en las redes ópticas

En los últimos 15 años, la capacidad óptica de transmisión en sistemas de fibra óptica se ha visto incrementada en más de tres veces dando lugar a un decrecimiento en el costo del transporte de datos en redes metropolitanas y de larga distancia. [ROB2010]

En el pasado, el incremento de capacidad fue logrado en base a la modulación por intensidad y de la cantidad de canales, los cuales lograron factores de crecimiento de capacidad 10 a 100, respectivamente. Sin embargo, lograr tasas de modulación

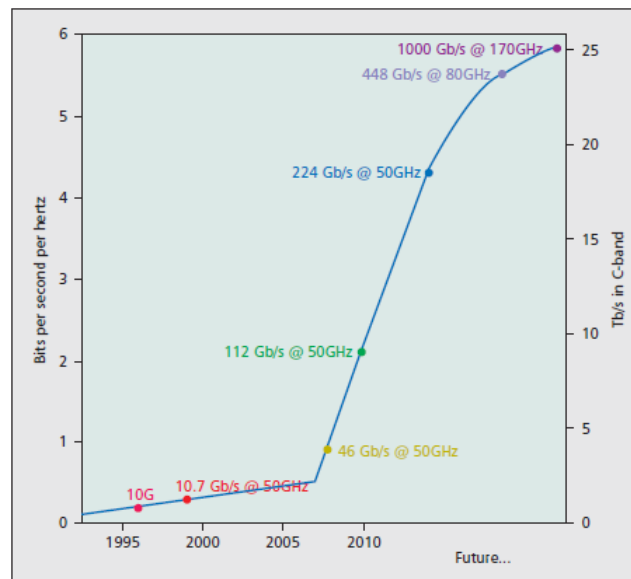
mayores a 10 Gb/s usando sólo estos parámetros ha resultado problemático debido al costo de componentes electrónicos de alta velocidad y en lograr mitigar irregularidades en la transmisión en fibra óptica, como consecuencia se tuvo que buscar un nuevo enfoque.

Es así que un tercer enfoque técnico es introducido en el diseño de sistemas de transmisión óptica que considera dos elementos clave. En primer lugar, la modulación de intensidad fue remplazada por otros esquemas de modulación (constelaciones) para mejorar la eficiencia espectral e incrementar la tolerancia al ruido. En segundo lugar, el receptor coherente en donde la señal portadora y la señal del oscilador local son juntas coherentemente, también se incluye el procesamiento digital de señales implementado en circuitos integrados de la tecnología CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*), el receptor logra un modo eficiente de mitigar las irregularidades de la fibra óptica y recuperar los datos de los símbolos en transmisores más complejos.

Hoy en día, el uso de estas características es usado extensamente en tasas de modulación de 40 Gb/s por canal. A finales del 2009, el primer sistema comercial de 100 Gb/s, haciendo uso de estos enfoques, fue puesto en servicio con excelentes resultados [ROB2010].

#### **2.1.4.1 Expectativas para el futuro**

Con futuras generaciones de CMOS, la tecnología coherente se aplicará en módems de 200, 400 y 1000 Gb/s. Estas señales no podrán caber fácilmente en un espectro óptico de 50GHz (definido por la ITU-T G.694.1, ver anexo 14). Sin embargo, la selección coherente del canal vía el oscilador local del láser permitirá eliminar la necesidad de tener portadoras fijas para canales individuales y los operadores podrán desplegar redes en que se podrá seleccionar por medio de software el canal de la lambda deseada y la banda de guarda.



**FIGURA 2-5: EFICIENCIA ESPECTRAL DE SISTEMAS COMERCIALES INCREMENTADOS POR EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES**

Fuente: "100G and Beyond with Digital Coherent Signal Processing" [ROB2010]

La figura 2.5 muestra cómo la eficiencia espectral se ha incrementado significativamente haciendo uso de receptores coherentes, procesamiento digital de señales y el uso de modulación con constelaciones (QAM, QPSK). Se espera que esta eficiencia continúe creciendo y que se logre mantener los beneficios comerciales de alcance y selección de lambdas que se tiene previsto. En la figura 2.5 se muestra que se presenta la saturación de la curva debido a que se asume un sistema lineal donde el ruido y la distancia de transmisión requerida son constantes en el tiempo. El achatamiento de la curva indica el acercamiento al límite de Shannon. Dado que incrementar la eficiencia espectral en el sistema de transmisión seguirá siendo el mejor modo en relación del costo beneficio de incrementar el rendimiento, tendrá que haber un método para resolver estas limitaciones. Existe la opción de utilizar más regeneradores en un mismo tramo pero con ello se incrementa el costo del sistema al agregar un mayor costo por consumo de energía y espacio que el de la amplificación óptica.

Por otro lado, correspondiendo al incremento de la capacidad de los transductores, ha habido una reducción en el costo de amplificadores y componentes ópticos en los últimos años, lo cual abre la posibilidad de desplegarlos más regularmente para lograr con ello reducir el ruido en el sistema. Mientras tanto, solo queda explotar el



procesamiento digital de señales de los CMOS para incrementar la capacidad de transmisión en las actuales redes ópticas [ROB2010]

## **2.2 Estado del arte de redes académicas en Perú**

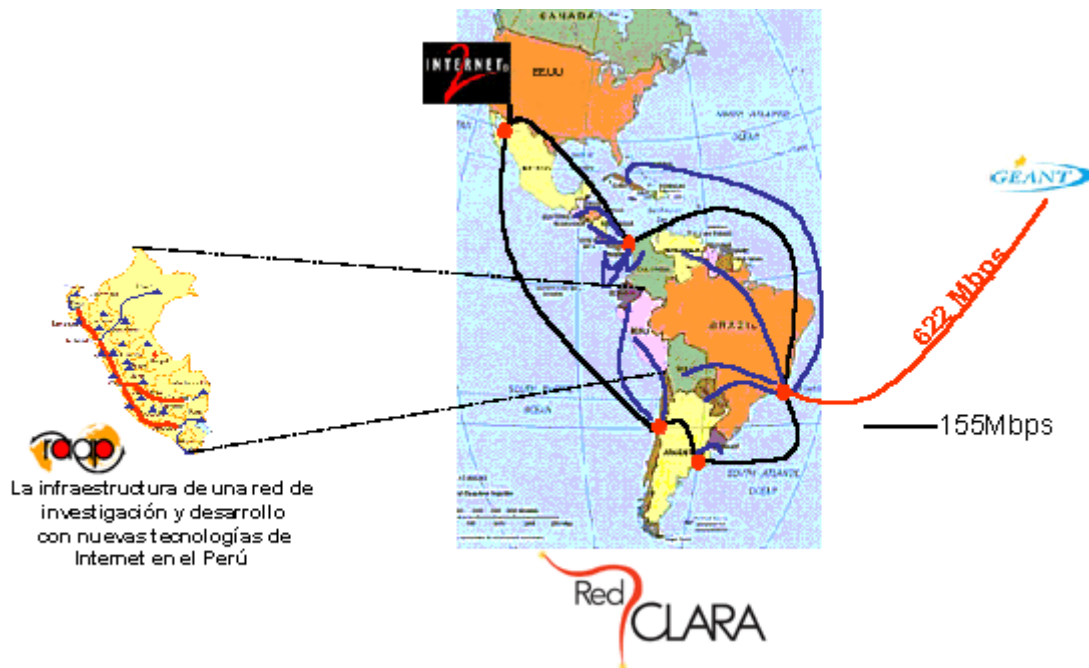
Actualmente en el Perú se han encontrado alternativas de redes de fibra óptica en las cuales se puede desarrollar un proyecto de esta índole. Por ello a continuación se presenta el análisis y las conclusiones obtenidos para definir la mejor opción para el desarrollo del propósito de este documento.

### **2.2.1 Red Avanzada Académica Peruana (RAAP) – Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas (Red CLARA)**

La RAAP, red nacional de investigación y educación del Perú, es una institución que tiene como objetivo desarrollar una infraestructura basada en tecnologías de comunicaciones avanzadas, que permita integrar universidades y centros de investigación de todo el país con el resto del mundo, facilitando el desarrollo de proyectos multidisciplinarios, descentralizados y colaborativos, orientados a la investigación, la innovación y la educación [RED2010].

Fue creada en el Perú, el 30 de abril de 2003, bajo el auspicio de CONCYTEC; como una Asociación Civil sin fines de lucro, constituyéndose como la Red Nacional de Investigación y Educación del Perú. En Junio del mismo año en México son firmados los estatutos de CLARA, conjuntamente con otros 16 países de América Latina. La RAAP hace posible la interconexión con otras redes avanzadas como la europea GEANT, la norteamericana Abilene (Internet 2) o las asiáticas SINET, JAIRC y APAN. [RED2010].

En la figura 2.6 se muestra un mapa referencial de la interconexión de RAAP con otras redes académicas:



**FIGURA 2-6: RED RAAP – RED CLARA – GEANT**

Fuente: “Red Académica Peruana” [RED2010]

La RAAP está conformada por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la Universidad Nacional de Ingeniería, la Universidad Peruana Cayetano Heredia, la Universidad Nacional Agraria La Molina, la Pontificia Universidad Católica del Perú, el Instituto Peruano de Energía Nuclear, el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Comunicaciones (INICTEL-UNI), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la Universidad Ricardo Palma (URP) y el Centro Internacional de la Papa, entre otros [RED2010].

### 2.2.1.1 Características de la red [RED2010]

- Es una red de comunicaciones de arquitectura abierta, con soporte multiprotocolo que permite servicios de banda ancha. Su objetivo es mantener una independencia de conexión con la red Internet que es de propósito general, orientada al ámbito comercial y al entretenimiento.
- La arquitectura de red integrará las universidades e institutos de investigación del país en una sola red.
- Actualmente usa los nuevos protocolos y arquitecturas de red IPV6 garantizando una adecuada calidad de servicio a las nuevas aplicaciones de

I+D y permitiendo la creación de redes virtuales privadas (VPN) para la creación de grupos de investigación.

- Es el Nodo Nacional que da acceso a toda la comunidad académica y de investigación nacional independientemente de sus proveedores actuales de Internet. Cabe señalar que dicho nodo está físicamente ubicado y es gestionado por la PUCP-DIA.
- La arquitectura de la red actual está conformada por una red IP VPN a nivel nacional, con un Nodo Principal.

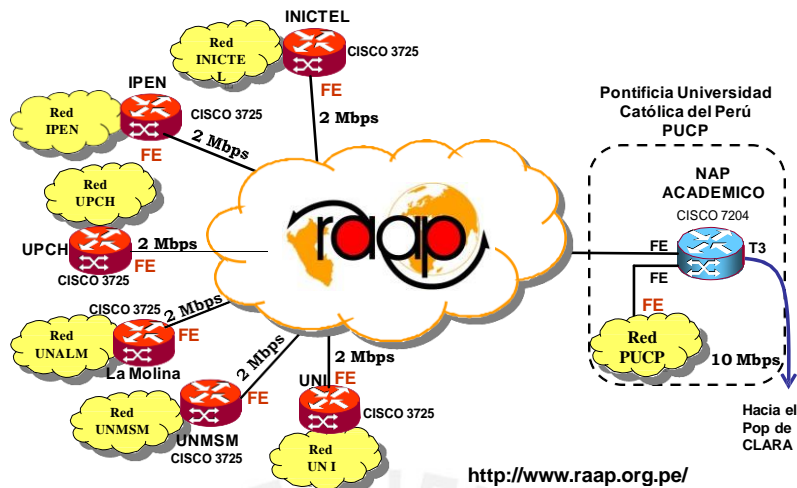
### **2.2.1.2 Aplicaciones de la red [RED2010]**

Todas las aplicaciones que corren sobre la RAAP son aplicaciones orientadas a la colaboración entre personas y a accesos interactivos a información y herramientas que son ineficientes o imposibles de utilizar con Internet; ya que requieren de redes avanzadas que permitan contar con mayores anchos de banda, multicasting, calidad superior de transmisión y recepción, calidad de servicio, latencia y jitter, entre otras.

Entre las múltiples aplicaciones factibles de llevar a cabo con el auxilio de las redes avanzadas de comunicación, las más relevantes son el manejo a distancia de instrumentos de gran capacidad, conferencias a distancia, edificios inteligentes, mecanismos de colaboración, acceso a bibliotecas multimedia, visualización de datos en 3 dimensiones, simulaciones con grandes cantidades de datos descentralizados y utilizando software compartido, video bajo demanda, telemedicina (cardiología, radiología, telepatología, diagnóstico a distancia), aplicaciones en tiempo real, tecnología de Redes de Telecomunicaciones e instrumentación remota (robótica, nanotecnología, microscopía, excavaciones remotas computarizadas).

### **2.2.1.3 Arquitectura de la red**

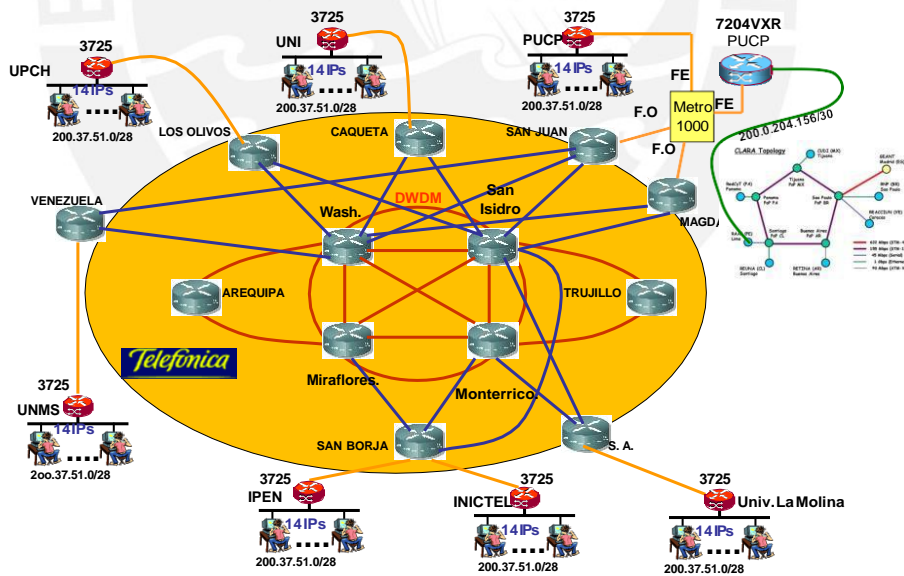
La RAAP interconecta a las universidades e instituciones académicas como se muestra en la figura 2.7:



**FIGURA 2-7 RED RAAP**

Fuente: “Red Académica Peruana” [RED2010]

Como se ve en la figura 2.7 y 2.8, la RAAP interconecta el INICTEL, IPEN, UPCH, UNALM, UNMSM y la UNI por medio de routers CISCO 3725; y sale hacia CLARA por el router CISCO 7204 que se encuentra en la PUCP. Las capacidades que se manejan en cada LAN son de 2Mbps y la salida hacia la red CLARA es de 10Mbps.



**FIGURA 2-8: TOPOLOGÍA DE LA RED**

Fuente: “Red Académica Peruana” [RED10]

La tecnología de transporte que usa la red es DWDM, con anillos de fibra que garantizan su redundancia y respaldo. Adicionalmente, vale mencionar que ésta es propiedad de Telefónica del Perú.

## 2.2.2 Plan nacional para el desarrollo de la banda ancha en el Perú

### 2.2.2.1 Redes de fibra óptica

En el Perú existen redes dorsales de gran capacidad implementadas en base a fibra óptica principalmente en la costa del país. Estas redes son de propiedad de empresas operadoras de telecomunicaciones tales como Telefónica del Perú, Telmex Perú, América Móvil, Internexa, Global Crossing Perú, Nextel del Perú y Optical IP Servicios Multimedia. Se debe notar que las regiones Centro y Oriente del Perú, carecen en gran medida de este medio de comunicación. [MIN2010]

Así, tenemos que el tendido de fibra óptica realizado por cada empresa a la fecha en el Perú, podría ser compilado en la tabla 2.2:

**TABLA 2-2: TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA**

Fuente: "DGRAIC – MTC, Fuente: Empresas operadoras" [MIN2010]

N°	Empresa	Longitud (Km)
1	Telefónica del Perú	4008
2	Telmex Perú / América Móvil	3225
3	Internexa	1293
4	Nextel del Perú	93
5	Global Crossing	252
6	Americatel Perú	92
7	Optical IP Servicios Multimedia	63
<b>TOTAL</b>		9026

Cabe señalar que, en la red dorsal que recorre de norte a sur el Perú, cada empresa tiene instalados nodos, que son puntos en los cuales puede insertarse y extraerse información para que sea transportada hacia su destino final:

**TABLA 2-3: NODOS DE FIBRA ÓPTICA**

Fuente: "DGRAIC – MTC, Fuente: Empresas operadoras" [MIN2010]

Número de Nodos		
N°	EMPRESA	Nodos
1	Telefónica del Perú	52
2	Telmex Perú / América Móvil	46
3	Internexa	11

Del mapa que aparece en la figura 2.9, se puede apreciar que la red dorsal de fibra óptica cubre la costa peruana, sin embargo la zona de la sierra tiene una cobertura limitada y la selva no había obtenido ningún desarrollo en ese aspecto hasta el presente año en que finalmente Telefónica del Perú logró llegar a Pucallpa, Bellavista,



Juanjui, Lamas, Moyobamba, Tarapoto, Tocache y Yurimaguas gracias a un convenio que se firmó durante el 2011 con Electro Oriente. [TDP2012]



**FIGURA 2-9: TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA A NIVEL NACIONAL**

Fuente: “Empresas operadoras, Marzo de 2010” [MIN2010]

A nivel internacional se viene impulsando el desarrollo de Programas Nacionales de Banda Ancha como política de Estado, recomendándose entre otros aspectos, que se fomente las inversiones a través de la inclusión de facilidades para el despliegue de *backbones* de fibra óptica en la construcción de nuevas carreteras, líneas eléctricas, oleoductos y gasoductos. Y es que para el despliegue de estas infraestructuras, se requiere la ejecución de importantes obras civiles, que pueden ser aprovechadas para el despliegue simultáneo de fibra óptica y ductos, promoviendo una mayor eficiencia.

En este contexto, considerando la densidad de los servicios de banda ancha y el limitado desarrollo de las redes de transporte de fibra óptica en el país, con la finalidad de facilitar a la población el acceso a este importancia servicio, se estableció como Política Nacional de obligatorio cumplimiento, que el país cuente con una red dorsal de fibra óptica, y se dispuso la obligación de instalar fibra óptica y/o ductos y cámaras en

los nuevos proyectos de infraestructura de redes de transmisión eléctrica, gasoductos y carreteras (Decreto Supremo N° 034-2010-MTC). Ello, siguiendo la recomendación de la Comisión Multisectorial Temporal encargada de elaborar el "Plan Nacional para el Desarrollo de la Banda Ancha en el Perú".

Asimismo, para una mejor implementación y seguimiento de las disposiciones establecidas en el citado decreto, se creó una Comisión Multisectorial Permanente encargada de monitorear su cumplimiento, la cual se encuentra adscrita al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Comisión Red Dorsal de Fibra Óptica – D.S. N° 034-2010-MTC).

### **2.2.2.2 Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Fibra Dorsal Nacional de Fibra Óptica**

El viernes 20 de Julio del presente año se aprobó la ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (Ley N° 29904). Esta ley es trascendental porque la posibilidad de una mayor conectividad a través de Internet y otras redes en general, permite la entrega de mejores servicios públicos, la generación de contenidos, el desarrollo de capacidades y aplicaciones que contribuyen al desarrollo humano.

Esta ley respecto de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica y la tele salud establece los siguientes puntos:

- Declara la necesidad de la construcción de una Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica que integre todas las provincias del país y de las redes de alta capacidad; y que tenga acceso y uso de la infraestructura asociada a la prestación de servicios públicos de energía eléctrica y de hidrocarburos; y la vía de la Red Vial Nacional para facilitar el despliegue de redes.
- Reitera la libertad de uso de aplicaciones o protocolos de internet de Banda Ancha, por lo cual los proveedores de red respetaran la neutralidad de red. Esto será regulado por OSIPTEL (Organismo Superior de Inversión Privada en Telecomunicaciones).
- Faculta al Fondo de Inversión en Telecomunicaciones – FITEL, a elaborar y financiar proyectos para el despliegue de redes de alta capacidad que integren y brinden conectividad de Banda Ancha a nivel distrital.

- El Estado determina que la Red Dorsal de Fibra Óptica podrá ser entregada en concesión a uno o más operadores neutros, que brinden servicios portadores a otros portadores mas no a usuarios finales, manteniendo su titularidad. Para zonas donde no participe inversión privada, intervendrá de manera subsidiaria. De la misma forma, define que el equipamiento, de preferencia, deberá soportar el protocolo IP y aplicaciones multimedia que utilicen tecnologías aplicables a banda ancha.
- Declara obligatoria la instalación de fibra óptica y/o ductos y cámaras en los nuevos proyectos de infraestructura, con excepciones a ser evaluadas por la Comisión Multisectorial Permanente del Poder Ejecutivo.
- Declara que los concesionarios de servicios públicos de energía eléctrica e hidrocarburos proveerán el acceso y uso de su infraestructura a los concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones para el despliegue de redes de telecomunicaciones necesarias para la provisión de Banda Ancha.
- Define que el uso del derecho de vía para el despliegue de redes de telecomunicaciones será gratuito y en caso de requerir realizar obras de construcción dentro de los primeros años de otorgada la autorización respectiva, será incluido como parte del proyecto vial.
- Determina que un porcentaje de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica será reservado para la Red Nacional del Estado Peruano denominada REDNACE (Red Nacional del Estado Peruano), que será una red de acceso que se utilizará para el desarrollo de la Sociedad de la Información y el Conocimiento priorizando la educación, la salud, defensa nacional, seguridad, cultura, investigación y desarrollo e innovación para cumplir las políticas y lograr los objetivos nacionales, quedando prohibido su uso comercial.
- Declara que se incorporará a todas las universidades públicas e institutos de investigación a la REDNACE formando la Red Nacional de Investigación y Educación (RNIE), para que se integren con las redes regionales e internacionales. Se asigna al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC el monitoreo y seguimiento de la RNIE, como también indicadores y aspectos técnicos que permitan mejorar su infraestructura.





**FIGURA 2-10: RED DORSAL DE FIBRA ÓPTICA IDEAL**

Fuente: “Comisión Red Dorsal de Fibra Óptica” [MIN20106]

En la figura 2.10 se puede diferenciar el tendido de fibra existente al 2010 a lo proyectada de acuerdo al proyecto. Para revisar la ley, ver el anexo 15.

### 2.2.2.3 Análisis

De acuerdo a la información obtenida se ha analizado los ítems que son fundamentales para la red planteada:

#### 2.2.2.3.1 Ancho de banda

- **Red RAAP:** Permite en cada nodo velocidades de 2Mbps para la LAN de cada institución y 10Mbps para su salida a la red CLARA. Si bien puede ser suficiente para las aplicaciones que se realizan actualmente, tales velocidades no son adecuadas para poder soportar aplicativos de telemedicina. En todo caso, se tendría que realizar reformas en cada nodo de la red al igual que en la interfaz que se interconecta con CLARA.

- **Red Nueva:** Tratándose de una red independiente, permitirá tanta capacidad de ancho de banda como soporte el tipo de tecnología, equipamiento y pares de fibra que se pretenda utilizar. Actualmente, la versión comercial de la tecnología denominada multiplicación por división en longitudes de onda densa (DWDM) logra tasas teóricas de transmisión de hasta 6,4 terabits por segundo al combinar 160 señales, en que lleva cada uno 40 Gb/s.

### 2.2.2.3.2 Escalabilidad y autonomía

- **Red RAAP:** Opera por medio de la red de Telefónica del Perú, cuyo contrato es por tres años y se revisa cada seis meses, pero sin exclusividad del mismo. Por cada 10Mbps, Telefónica cobra aproximadamente \$1500 mensuales. Dado que se opera por medio de un operador, limita en gran medida la escalabilidad que puede llegar a tener la red dado que implicaría a largo plazo mayor costo de operación.
- **Red Nueva:** Se plantean tres posibilidades:
  - I. Se desarrollaría la red de forma independiente, lo que implicaría mayores gastos pero tendría la autonomía para facilitar su escalabilidad y reducir los costos a largo plazo.
  - II. Realizarlo sobre una red ya desplegada de los operadores mencionados, lo que reduciría los costos por tendidos de fibra y de contar con personal externo para tratar problemas en el mismo.
  - III. Se abre la posibilidad de que por tratarse de un proyecto social puede ser montado sobre la Red del Estado: REDNACE; lo que implicaría una reducción mucho más significativa en los costos.

### 2.2.2.3.3 Alcance

- **Red RAAP:** El alcance con el que cuenta la red RAAP es internacional, por medio de la Red CLARA que está conformado por redes de investigación de otros países como Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Panamá, Uruguay y Venezuela; y además con conexiones con redes como la red paneuropea GÉANT2 (622Mbps), la red TEIN2 (Trans-Eurasia Information Network) de la zona Asia-Pacífico, EUMEDCONNECT de la cuenca del mediterráneo, por el proyecto WHREN-LILA a Estado Unidos y al APAN que es la red del Avanzada del Asia-Pacífico.[CLA2010]

- **Red Nueva:** Se plantea la posibilidad de que al igual que la RAAP forme parte de la Red CLARA y por lo tanto tenga el mismo alcance; como también que se realice en el PoP de Lince (punto de presencia perteneciente a Telefónica del Perú) por la puerta lógica o denominado también Servicio de Transito de Internet (STI) de algún operador que brinda servicios portadores como TGSolutions y Level 3 [MIN2010].

#### 2.2.2.4 Conclusiones

De acuerdo a lo analizado se concluye lo siguiente:

- El sector sanitario del Perú está en una situación de urgencia y requiere una solución acorde que permita incrementar la calidad de servicio y mejorar la eficiencia del uso de recursos.
- Teniendo en consideración el ancho de banda que será necesario para poder ejecutar las aplicaciones de telemedicina que plantearemos, y en consecuencia que soporte la red; se hace evidente las falencias que presenta la red RAAP al tener conexiones de 10Mbps.
- Dado que se pretende diseñar la base de una red nacional, con la intención de que llegue a cubrir gran parte del territorio nacional; es indispensable que se tome en cuenta la facultad de la red de ser escalable. De lo analizado, es evidente que ante tal posibilidad, la dependencia que se tiene con los operadores puede traer como consecuencia la inviabilidad del proyecto a largo plazo. Sin embargo, de ser diseñado tomando como base la Red Nacional Dorsal de Fibra Óptica esa posibilidad se descarta dado que será propiedad del estado al margen de quien lo opere finalmente.
- El alcance que presenta la red RAAP es una ventaja notable más no exclusiva, por lo que es un logro que caerá por su propio peso a lo largo del desarrollo de la red independiente y para este análisis se vuelve un factor secundario.
- Es imposible, a estas alturas del proyecto, realizar una comparación económica consecuente del estudio económico de cada uno de ellos; ya que no tenemos una red independiente.
- Finalmente, se concluye que la mejor opción para lo que se pretende de realizar es optar por el diseño de una red independiente. Como consecuencia, se desarrollará la tesis con la finalidad de obtener el esqueleto de una red piloto nacional acorde a los alcances que se obtendrán según lo trabajado por la Comisión del Proyecto de Banda Ancha en el Perú y la Ley Nro. 29904.

## Capítulo 3

### Planificación de la red

En el capítulo anterior se ha identificado la necesidad de implementar una red *independiente y nueva* para cubrir correctamente los requerimientos básicos del diseño. Para ello, en el presente capítulo se va a definir, de acuerdo al estado del Sector de la Salud a nivel nacional, las regiones críticas y capaces de adaptarse con mayor facilidad a la red planteada tomando en consideración los hospitales y universidades más representativos en las ciencias de la salud.

### 3.1 Consideraciones generales

#### 3.1.1 Estudio y definición de principales centros de salud en el Perú

La atención hospitalaria en el Perú se inicia en 1538 con la creación del Hospital de la Rinconada de Santo Domingo en Lima. Con el paso del tiempo, y ante la creación de nuevos establecimientos se ha ido dando diversas categorizaciones y denominaciones ya sea por complejidad, por número de camas e incluso por ámbito de acción. Ya en el año 2004, se oficializa por norma técnica aplicable a todos los centros médicos la categorización descrita en la figura 3.1: [SAL2009]:

Categorías	MINSA	EsSalud	PNP	FAP	Naval	Privado
I - 1	Puesto de salud		Puesto sanitario		Enfermería servicios de sanidad	Consultorio
I - 2	Puesto de salud con médico	Posta médica	Posta médica	Posta médica	Departamento de sanidad posta naval	Consultorio médico
I - 3	Centro de salud sin internamiento	Centro médico	Policlínico B	Departamento sanitario		Policlínico
I - 4	Centro de salud con internamiento	Policlínico			Policlínico naval	Centro médico
II - 1	Hospital I	Hospital I	Policlínico A	Hospital zonal	Clínica naval	Clínica
II - 2	Hospital II	Hospital II	Hospital regional	Hospital regional		Clínica
III - 1	Hospital III	Hospital III y IV	Hospital nacional	Hospital Central FAP	Hospital Naval Buque Hospital	Clínica
III - 2	Instituto especializado	Instituto				Instituto

**FIGURA 3-1: CUADRO COMPARATIVO DE LAS CATEGORIAS DE LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD**

Fuente: "Ministerio de Salud (MINSA)" [SAL2009]

De acuerdo a esta clasificación, se pueden determinar con facilidad los hospitales que cuentan con las mejores prestaciones para que sean incluidas y son las mencionadas en la tabla 3.1:

**TABLA 3-1: CENTROS DE SALUD DEL PERÚ A CONSIDERAR**

Fuente: "Propio"

Centro de Salud	Categoría
<b>Lima y Callao</b>	
Instituto Nacional de Salud del Niño – MINSa	Categoría III-2
Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas – MINSa	Categoría III-2
Instituto Nacional Cardiovascular (INCOR) – EsSalud	Categoría III-2
Hospital Cayetano Heredia – EsSalud	Categoría III-1
Hospital Edgardo Rebagliati Martins – EsSalud	Categoría III-1
Hospital Guillermo Almenara Irgoyen - EsSalud	Categoría III-1
Hospital Militar Central "Coronel Luis Arias Schreiber"	Categoría III-1
Hospital Loayza – MINSa	Categoría III-1
Hospital Dos de Mayo – MINSa	Categoría III-1
Hospital Nacional Madre Niño San Bartolomé – MINSa	Categoría III-1
Hospital Nacional "Daniel Alcides Carrión" – MINSa	Categoría III-1
Hospital Nacional Docente Madre-Niño "San Bartolomé" - MINSa	Categoría III-1
Centro Médico Naval "Cirujano Mayor Santiago Távara"	Categoría III-1
<b>Arequipa</b>	
Hospital Regional Honorio Delgado – MINSa	Categoría III-1
Hospital Goyeneche – MINSa	Categoría III-1
Hospital Nacional Carlos Alberto Seguín Escobedo - EsSalud	Categoría III-1
<b>Trujillo</b>	
Hospital Víctor Lazarte Echeagaray – EsSalud	Categoría III-1
Hospital Regional de Trujillo – MINSa	Categoría III-1
<b>Piura</b>	
Hospital Nivel III Cayetano Heredia – EsSalud	Categoría III-1
<b>Tacna</b>	
Hospital Nivel III Daniel Alcides Carrión – EsSalud	Categoría III-1
<b>Lambayeque</b>	
Hospital Regional Docente Las Mercedes – MINSa	Categoría III-1

### 3.1.2 Estudio y definición de principales universidades

Para determinar las principales universidades a considerar para una red de telemedicina, es natural pensar en que deben ser aquellas que sean líderes a nivel nacional en ciencias de la Salud; razón por la cual se enumerarán las mejores universidades de acuerdo a los resultados del Examen Nacional de



Medicina 2010 entre las facultades de Educación Médica del país como se presenta en la tabla 3.2:

**TABLA 3-2: UNIVERSIDADES LÍDERES EN MEDICINA A NIVEL NACIONAL 2010**

Fuente: "Aspefam, 2010" [ASP2010]

Nº	Universidades	Sedes por Departamento
1	Universidad Peruana Cayetano Heredia	Lima
2	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Lima
3	Universidad Nacional de Piura	Piura
4	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	Lambayeque
5	Universidad Nacional San Agustín	Arequipa
6	Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión	Lima
7	Universidad Científica del Sur	Lima
8	Universidad Nacional de Trujillo	La Libertad
9	Universidad San Martín de Porres	Lima
10	Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco	Cusco
11	Universidad Nacional Federico Villareal	Lima
12	Universidad Católica de Santa María	Arequipa
13	Universidad Nacional del Centro del Perú	Junín
14	Universidad Nacional de Cajamarca	Cajamarca
15	Universidad Privada Antenor Orrego	La Libertad
16	Universidad Ricardo Palma	Lima
17	Universidad Nacional del Altiplano	Puno
18	Universidad Nacional de la Amazonía Peruana	La Libertad
19	Universidad Privada de Tacna	Tacna
20	Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica	Lima
21	Universidad San Pedro	Ica
22	Universidad Cesar Vallejo	Lima / La Libertad
23	Universidad Peruana Los Andes	Junín

De acuerdo a un ranking por departamento del 2010 realizado por el Laboratorio de Cibermetría se obtiene la tabla 3.3:

**TABLA 3-3: MEJORES UNIVERSIDADES RANKEADAS POR DEPARTAMENTO**

Fuente: "Ranking Mundial de Universidades en la Web. Laboratorio de Cibermetría. CSIC. 2010" [CIB2010]

Departamento	Universidades en el Ranking	Porcentaje
Lima	18	56.3%
Arequipa	3	9.3%
La Libertad	2	6.3%
Piura	2	6.3%
Tacna	2	6.3%
Cusco	1	3.1%
Loreto	1	3.1%
Áncash	1	3.1%
Lambayeque	1	3.1%
Puno	1	3.1%
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100,0%</b>

Como es de esperar, de acuerdo a la tabla 3.3, las mejores universidades se encuentran en la capital lo que hace inevitable incluir a Lima como una de las ciudades escogidas para la red.

### 3.1.3 Departamentos involucrados en la red piloto

Por el estudio presentado, podemos concluir los siguientes puntos:

- Los establecimientos de salud especializados, es decir clasificados con la categoría III-2 están concentrados en la ciudad de Lima.
- Las mejores universidades peruanas se encuentran en las ciudades de Lima, Arequipa, Trujillo, Piura y Tacna. Sin embargo, en Piura y Tacna no se cuenta con hospitales con categoría suficiente como para que sean considerados y es por ello que incluimos a Arequipa como representante de la parte sur de la red.
- Las mejores facultades de medicina están concentradas en el norte en Chiclayo, Trujillo y Piura. Adicionalmente, en La Libertad y Lambayeque se tienen hospitales de categoría III-1, pero con mayor concentración en Trujillo.

Finalmente, por lo presentado, podemos definir que los departamentos e instituciones a formar parte de la red piloto son las detalladas en la tabla 3.4:

TABLA 3-4: RESUMEN DE INSTITUCIONES EN LA RED PILOTO

Fuente: "Propia"

Centro de Salud / Universidad	Distrito
<b>Lima</b>	
Instituto Nacional de Salud del Niño	Breña
Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas	Surquillo
Instituto Nacional Cardiovascular (INCOR)	Lince
Hospital Cayetano Heredia	San Martín de Porres
Hospital Edgardo Rebagliati Martins	Lince
Hospital Guillermo Almenara Irigoyen	La Victoria
Universidad Peruana Cayetano Heredia	San Martín de Porres
Facultad de Medicina San Fernando (UNMSM)	Lima
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Surco
<b>Arequipa</b>	
Hospital Regional Honorio Delgado	Arequipa
Hospital Goyeneche	Arequipa
Hospital Nacional Carlos Alberto Seguí Escobedo	Arequipa
Universidad Nacional de San Agustín	Arequipa
Universidad Católica de Santa María	Arequipa
<b>Trujillo</b>	
Hospital Víctor Lazarte Echeagaray	Trujillo
Hospital Regional de Trujillo	Trujillo
Universidad Nacional de Trujillo – Facultad de Medicina	Trujillo
Universidad Privada de Antenor Orrego	Trujillo

### 3.1.4 Estudio y definición de aplicaciones

De acuerdo a lo desarrollado, es necesario determinar el tipo de aplicaciones que deberá soportar para que de acuerdo a ello podamos definir la capacidad de la red. Para ello vamos a definir las aplicaciones que operan en una red académica de ciencias de la salud:

#### 3.1.4.1 Red académica avanzada

Las redes avanzadas o las denominadas Redes Nacionales de Investigación y Educación son infraestructuras para la colaboración científica que permite alcanzar desafíos globales.

Estas nacen para brindar conectividad especializada en educación, investigación y recientemente en salud ya que los servicios públicos de Internet no satisfacen las necesidades. Comúnmente hay solamente una red por país



conformada por asociación abierta para cualquier institución educativa o centro de investigación.

#### 3.1.4.1.1 Aplicaciones en redes académicas.

En el segundo capítulo, se mencionaron las aplicaciones que pueden ser soportadas por una red académica como la RAAP, por lo que en esta sección nos enfocaremos en aplicaciones específicas:

**Laboratorios remotos:** Los instrumentos científicos son cada vez más complejos y escasos (telescopios, aceleradores de partículas, sincrotrones, microscopios, supercomputadoras). Los científicos distribuidos geográficamente analizan datos generados por instrumentos remotos. Algunos ejemplos:

- ✓ CERN. El laboratorio de física de partículas más grande del mundo
- ✓ Neptune. Observatorio oceanográfico de fibra óptica submarina del Pacífico
- ✓ Network for Earthquake Engineering Science. Red de sensores, datos, Simuladores
- ✓ ALMA. Atacama Large Millimeter Array Telescope.

**Investigación colaborativa:** Los problemas científicos son cada vez más complejos, por lo que la investigación de punta se realiza de forma colaborativa por científicos dispersos geográficamente, muchas veces a escala mundial, utilizando redes de gran ancho de banda.

**Uso de grids en el cuidado de la salud:** Se refiere a una infraestructura que permite la integración y el uso colectivo de ordenadores de alto rendimiento, redes y bases de datos que son propiedad y están administrados por diferentes instituciones.

- ✓ Para investigadores: Cazar nuevos virus, buscar nuevas drogas, modelar los brotes de enfermedades, procesar y mostrar imágenes de órganos del cuerpo y determinar el tratamiento para pacientes
- ✓ Para médicos: Acceso a información de salud, sin importar en dónde esté almacenada.
- ✓ Para pacientes: Recibir una forma más individualizada de cuidado.

- ✓ Para trabajadores de salud: Colaborar y compartir gran cantidad de información.

Se ha realizado un compendio de aplicaciones que se suelen usar para teleeducación, las cuales son mostrados en la tabla 3.5:

**TABLA 3-5: RESUMEN DE APLICACIONES A CONSIDERAR EN LA RED PILOTO**

Fuente: “Essentials of Telemedicine and Telecare” [NOR2002] [INT2004]

	Servicios en Red Académica	Tipo de Información	Tamaño (bytes)	BW (Kbps)
Tiempo Real (RT)	<b>Audio-conferencia</b>	<b>Audio</b>		<b>N*64</b>
	<i>líneas de aprendizaje, etc.</i>	<i>digital</i>	<i>2ch * 8K</i>	<i>128</i>
	<b>Imágenes médicas estáticas</b>	<b>Imagen</b>		<b>N*256</b>
	<i>telepatología,</i>	<i>B/W</i>	<i>1M</i>	<i>46.3</i>
	<i>teleradiología,</i>	<i>2^5 colores</i>	<i>9M</i>	<i>284.7</i>
	<i>emergencias, etc.</i>	<i>2^6 colores</i>	<i>18M</i>	<i>487.5</i>
	<b>Video-conferencia</b>	<b>Video</b>		<b>N*512</b>
	<i>clases magistrales,</i>	<i>dig-H264</i>	<i>300K</i>	<i>7000</i>
	<i>conferencias,</i>	<i>dig-H263</i>	<i>140K</i>	<i>64</i>
	<i>operaciones en vivo,</i>	<i>dig-30fps</i>	<i>2.1M</i>	<i>45200</i>
	<i>Clases interactivas.</i>	<i>dig-compr</i>	<i>253K</i>	<i>87.5</i>
	<b>Laboratorios remotos</b>	<b>Video y Datos</b>		<b>~256</b>
	<i>Video alta calidad</i>	<i>dig-compr</i>		<i>64</i>
	<i>Video conferencia y posicionamiento de robot</i>	<i>digital</i>		<i>128</i>
	<i>Control y datos del robot</i>	<i>digital</i>		<i>64</i>
	<b>Grid Computing</b>	<b>Data - epr</b>		<b>~512</b>
	<i>Procesamiento de data en supercomputadora</i>	<i>digital</i>		
	<i>Videos de ultrasonidos,</i>	<b>Video</b>		<b>~384</b>
<i>sonidos del corazón, etc.</i>	<b>Audio</b>		<b>~128</b>	
<b>Información de Paciente</b>	<b>Data - epr</b>		<b>~64</b>	
<i>Reporte electrónico de paciente</i>	<i>word</i>	<i>0.288M</i>		
	<i>PDF</i>	<i>0.080M</i>		
<b>Datos pregrabados</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>~256</b>	
<i>tele-EKG, teleobstétricas,</i>	<i>EKG</i>	<i>40.5M</i>		
<i>tele-EEG, -oftalmología</i>	<i>EEG</i>	<i>23M</i>		
<i>teleneuropsicología, etc.</i>	<i>TAC</i>	<i>168M</i>		
<b>Imágenes estáticas grabadas</b>	<b>Imagen</b>		<b>~512</b>	
<i>digitalización,</i>	<i>digitalizat</i>	<i>67.2M</i>		
<i>teledermatología,</i>	<i>MAMO</i>	<i>400M</i>		
<i>teleradiología, -patología,</i>	<i>X-ray</i>	<i>720M</i>		
<i>teleoftalmología,</i>	<i>ECO</i>	<i>3020M</i>		
<i>medicina nuclear,</i>	<i>GANMA</i>	<i>105M</i>		
<i>angiografía, etc.</i>	<i>DIVAS</i>	<i>420M</i>		
Almacenamiento y Reenvío (SF)				

Se ha de usar la información recopilada en este acápite para realizar el dimensionamiento correspondiente a las universidades seleccionadas.

#### 3.1.4.2 Telemedicina

El alcance de la telemedicina ha cambiado a medida que se ha desarrollado más tecnología. Actualmente se identifican 4 tipos diferentes [NOR2002]:

- Teleeducación
- Telemonitorización
- Telecirugía
- Teleconsulta

##### **Teleconsulta**

También llamada telediagnóstico, es la aplicación de las técnicas de telemedicina para hacer posible la comunicación e interacción entre los profesionales de la salud, con o sin la presencia del paciente, accediendo a la opinión especializada y/o estableciendo un diagnóstico cooperativo a partir del intercambio de información clínica del paciente.

Esta interacción se puede realizar ya sea en tiempo real (teléfono o videoconferencia) o en diferido, utilizando técnicas de almacenamiento y retransmisión, como el correo electrónico. [NOR2002][PAL2001]

##### **Teleeducación**

Haciendo uso de infraestructuras y comunicaciones, especialmente el Internet, se pueden ofrecer al usuario (profesional o ciudadano) aplicaciones que permiten el acceso a información y bases de datos.

De esta forma, los sistemas de salud pueden utilizar herramientas de teleformación para: el apoyo a la toma de decisiones para sus profesionales, y facilitar contenidos informativos y servicios para los ciudadanos, independientemente de su localización. [NOR2002][PAL2001]

##### **Telemonitorización**

También llamada teleasistencia, es el uso de las telecomunicaciones para la supervisión de pacientes.

La tecnología hace posible conocer y realizar un seguimiento a distancia de la situación de un paciente y de sus parámetros vitales, y de esta manera permite

la provisión de asistencia y cuidados de salud a los pacientes en su entorno habitual (domicilio).

Estos servicios permiten apoyar la atención a grupos de pacientes con necesidades especiales situados fuera del entorno hospitalario: procesos crónicos, programas de cuidados paliativos, medicina de urgencias, etc.

El sistema capta las señales biológicas del paciente (tensión arterial, trazado electrocardiográfico, oxígeno sanguíneo, glucemia, etc.) y las transmite en formato digital, hasta el centro sanitario o centro de control.

Los sistemas suelen ser interactivos e incluyen alguna forma de telealarma (para poner en marcha un procedimiento de urgencia en caso de ser preciso), y si están apropiadamente conectados en una red de sistemas integrados, es también factible el acceso a la historia clínica del paciente y un sistema de intercambio de información entre los diferentes profesionales implicados. [NOR2002][PAL2001]

### **Telecirugía**

En términos simples, la telecirugía es aquella en la que el cirujano no tiene contacto físico directo con el paciente, por lo tanto se aplican las técnicas de telemedicina en conjunto con realidad virtual, robótica e inteligencia artificial para realizar apoyo, supervisión de procedimientos quirúrgicos e incluso cirugías a distancia. [NOR2002]

La primera operación trasatlántica fue realizada en el 2001 por médicos en Nueva York a una paciente que se encontraba en Francia haciendo uso de un enlace óptico de France Telecom de 10Mbps. Actualmente, se está incursionando en la posibilidad de realizar operaciones con robots móviles de modo que brinden el mismo servicio en situaciones de estrés como guerras, emergencias en zonas aisladas, entre otros.

A pesar del gran beneficio que acarrea, de momento no es una técnica muy difundida debido a que no hay normas establecidas como protocolos clínicos y de entrenamiento, compatibilidad de equipamiento globalmente y se requiere de apoyo del gobierno para su difusión.

#### **3.1.4.3 Aplicaciones clínicas de la telemedicina**

La telemedicina tiene como uno de sus objetivos principales llevar los servicios de salud a mayor número de personas y lugares a los que por disposición geográfica o tiempo es difícil acceder. Gracias a ésta, en centros clínicos

rurales donde se presenta escasez de expertos se puede acceder a especialidades clínicas como la oncología, dermatología, psiquiatría, radiología, cardiología entre otras.

Algunas de las aplicaciones más utilizadas son:

### **Teleradiología**

Transmisión de imágenes radiológicas de una ubicación geográfica a otra, a través de redes de comunicaciones, para los propósitos de interpretación y consulta.

Un sistema de tele radiología consta de una sección de adquisición de imágenes y una sección de despliegue, interpretación y almacenamiento de imágenes conectadas a través de un sistema de comunicaciones.

Las imágenes de los pacientes son codificadas electrónicamente en un formato digital en la sección de adquisición de imágenes, luego son enviadas a través del sistema de comunicaciones y recibidas, vistas y almacenadas en la sección de despliegue de imágenes.

### **Telepatología**

Transmisión de imágenes digitales de anatomía patológica por sistemas de telecomunicación y con fines de consulta, diagnóstico, investigación, o docencia. La telepatología estática utiliza imágenes fijas, mientras que la dinámica se basa en envío de imágenes obtenidas mediante videocámara.

La telepatología estática comienza con la selección por un patólogo de las imágenes demostrativas de una lesión. Posteriormente las imágenes deben ser procesadas y comprimidas, lo que permite mejorar su calidad diagnóstica y, fundamentalmente su tamaño, para que puedan ser enviadas de forma efectiva por vías de comunicación con anchos de banda limitados. [PAS2003]

### **Teledermatología**

Práctica de la dermatología distancia. Para ello emplea dos sistemas la videoconferencia en directo y el sistema diferido. [CAS2005]

### **Teleoftalmología**

Consiste en un sistema de captación de imágenes del fondo ocular que no precisa la dilatación de la pupila. Para poner en marcha la iniciativa se ha

instala un retinógrafo, desde donde las imágenes son enviadas a través del correo electrónico al servicio de Oftalmología y son interpretadas por especialistas.

### **Telecardiología**

Aplicaciones de la telemedicina en el campo de la prevención, diagnóstico, tratamiento y seguimiento de la enfermedad cardiovascular.

#### **3.1.4.4 Tipos de información a transmitir**

En una consulta presencial, un médico puede hacer uso de sus cinco sentidos: la vista, olfato, gusto, tacto y oído para diagnosticar la condición del paciente. En telemedicina, sin embargo, la teleconsulta recae principalmente en los sentidos del oído y la vista. La información útil derivada de estos sentidos puede ser dividida en cuatro tipos:

- Audio.
- Datos (texto y gráficos).
- Imágenes fijas.
- Imágenes en movimiento (video).

#### **Audio**

Es una señal eléctrica en un rango de frecuencias de 20Hz-20kHz, que puede ser de calidad telefónica (64kbps) o de alta fidelidad (1,4Mbps) y que requiere mínimo retardo. Lo habitual es asociar este flujo con un tráfico a ráfagas (*talk spurts*) siguiendo un modelo on-off.

#### **Datos (texto y gráficos)**

Son una representación binaria (8bits/carácter) de puntos, líneas, curvas, trazos, etc. En promedio, genera archivos de decenas de KB y en general no hay un patrón de comportamiento uniforme sino que suelen tener comportamientos extraordinariamente diferentes, modelados con distribuciones probabilísticas tales como exponencial, Pareto, ganma o Weibull.

#### **Imágenes fijas.**

Se forman como la captura digitalizada a partir de una imagen real. Este conjunto de píxeles (usualmente 640 x 480, ó 1024 x 768) se representa con



2m bits ( $m=1$  en grises, y  $m=5, 6$  en color). Aunque se usa una amplia variedad de codificadores y métodos de compresión (en media, se obtienen tamaños de cientos de KB), suele asociarse a tráfico *Constant Bit Rate* (CBR).

### Imágenes en movimiento (Vídeo)

Se compone de una secuencia temporal de imágenes (*frames*). Este flujo (habitualmente, 15-30 frames por segundo, fps) genera una sensación de movimiento que se asocia, de forma extendida, a tráfico *Variable Bit Rate* (VBR). Este modelo recoge muy bien las tendencias predicativas autoregresivas, dada la alta redundancia espacial (cambios de píxeles) y temporal (cambios de secuencias).

Teniendo en consideración todo lo anterior se define la tabla 3.6:

**TABLA 3-6: SERVICIOS DE TELEMEDICINA**

Fuente: "Essentials of Telemedicine and Telecare" [NOR2002][INT2004]

	Servicio de Telemedicina	Tipo de Información	Tamaño (bytes)	BW (Kbps)
Tiempo Real (RT)	<b>Audio-conferencia</b>	<b>Audio</b>		<b>N*64</b>
	<i>líneas de soporte, etc.</i>	digital	2ch * 8K	128
	<b>Monitoreo de signos vitales</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>N*64</b>
	<i>presión de sangre, PsO2,</i>	BP/PsO2	400B	3.2
	<i>pulsaciones, temperatura,</i>	EKG	12*250B	24
	<i>electrocardiografía,</i>	ECO	384M	284
	<i>ecografía, prueba holter,</i>	holter	692M	8.7
	<i>electroencefalografía</i>	EEG	1.9M	80
	<b>Consultas remotas y sesiones de diagnóstico</b>	<b>Media - data</b>		<b>N*128</b>
	<i>tele consultas,</i>	imagen	8M	66.7
	<i>acceso a base de datos,</i>	Data - epr	800B	3.2
	<i>casos urgentes, etc.</i>	web	800K	80
	<b>Imágenes médicas estáticas</b>	<b>Imagen</b>		<b>N*256</b>
	<i>telepatología,</i>	B/W	1M	46.3
	<i>teleradiología,</i>	2^5 colores	9M	284.7
	<i>emergencias, etc.</i>	2^6 colores	18M	487.5
Almacenamiento y Reenvío (SF)	<b>Video-conferencia</b>	<b>Video</b>		<b>N*512</b>
	<i>tele psiquiatría, -diálisis,</i>	dig-H264	300K	7000
	<i>tele dermatología, -oncología</i>	dig-H263	140K	64
	<i>tele neurología, -educación</i>	dig-30fps	2.1M	45200
	<i>tele emergencia, etc.</i>	dig-compr	253K	87.5
	<b>Videos de ultrasonidos,</b>	<b>Video</b>		<b>~384</b>
	<b>sonidos del corazón, etc.</b>	<b>Audio</b>		<b>~128</b>
	<b>Información de Paciente</b>	<b>Data - epr</b>		<b>~64</b>
	<i>Reporte electrónico de paciente</i>	Word	0.288M	
		PDF	0.080M	
<b>Datos pregrabados</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>~256</b>	
<i>tele-EKG, tele obstétricas,</i>	EKG	40.5M		

Servicio de Telemedicina	Tipo de Información	Tamaño (bytes)	BW (Kbps)
<i>tele-EEG, -oftalmología</i>	EEG	23M	
<i>tele neuropsicología, etc.</i>	TAC	168M	
<b>Imágenes estáticas grabadas</b>	<b>Imagen</b>		<b>~512</b>
<i>digitalización,</i>	digitalizat	67.2M	
<i>teledermatología,</i>	MAMO	400M	
<i>teleradiología, -patología,</i>	X-ray	720M	
<i>teleoftalmología,</i>	ECO	3020M	
<i>medicina nuclear,</i>	GANMA	105M	
<i>angiografía, etc.</i>	DIVAS	420M	

Se va a considerar la información presentada en la tabla 3.6 para hallar la capacidad que va a tener la red dependiendo de la fase de proyecto, lo que se desarrollará en el siguiente acápite.

### 3.1.5 Estado del arte en el Perú [RIO2005]

En Perú, la telemedicina aún no se ha desarrollado a gran escala pero existen algunas iniciativas que han sido desarrolladas en un intento de aprovechar los beneficios de la telemedicina, incluyendo un Plan Nacional de Telesalud que el Ministerio de Salud espera implantar. Son las siguientes:

- La Red Andina de Vigilancia Epidemiológica (RAVE) del Organismo Andino de la Salud (OAS), creada en 1997, a raíz de los problemas generados por el fenómeno del Niño, para vigilar constantemente el comportamiento epidemiológico de patologías como la malaria, el dengue clásico y el hemorrágico, el paludismo, la fiebre amarilla, la disentería, entre otros, en los países andinos que forman parte del convenio de integración Hipólito Unanue (Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, Perú y Venezuela).
- El Enlace Hispano Americano de Salud (EHAS - Perú), brinda servicios de comunicación y acceso a información de salud al personal que trabaja en zonas rurales del país utilizando tecnologías de bajo costo para mejorar las condiciones de salud en localidades remotas.
- La Red de Información Científica de EsSalud, tiene como misión ofrecer información biomédica actualizada a los profesionales de salud en el ámbito nacional, para su permanente capacitación, actualización y perfeccionamiento en los conocimientos y técnicas de sus respectivas

especialidades, atendiendo sus necesidades con el propósito de mejorar o ampliar los servicios médicos.

- La Red Cardiológica de Telemedicina del Instituto Nacional del Corazón (INCOR), ofrece asistencia técnica médica, control a distancia y diagnósticos en línea, con la posibilidad de hacer consultas a su archivo virtual, que luego son derivados a sus colegas de provincias que no cuentan con los mismos recursos con el fin de atender las dolencias de sus pacientes cardiacos. Bajo este sistema, se utilizan cámaras digitales para la PC, para una comunicación visual y captación de imágenes de radiografías, tomografías y ecocardiografías, escáneres y software.
- Infosalud, es un servicio gratuito de información y consejería telefónica del Ministerio de Salud, conformado por un grupo de profesionales que brindan consejería en temas de salud integral, información institucional, vigilancia ciudadana así como apoyo en emergencias y desastres; y una iniciativa privada.
- El Plan Puyhuán, desarrollado en el distrito de Molinos, a 07 Km de la ciudad de Jauja (Junín), el cual fue implantado en el 2001 por un grupo de empresarios para aprovechar las tecnologías de información y comunicaciones con el fin de investigar, definir, diseñar e implantar un modelo integral de desarrollo rural sostenible en cinco sectores interrelacionados entre ellos la salud.

### 3.2 Planificación de la red y dimensionamiento

Para el proyecto, se considera conveniente realizarlo en dos fases ya que en un inicio las aplicaciones no van a ser tan complejas porque va a ser necesario tener un tiempo de adaptación para que los hospitales y universidades puedan implementar y difundir los servicios ofrecidos.

Se recalca la decisión de que sea una red de datos basado en IP por su crecimiento actual y el que se tiene previsto a futuro. Siendo este el caso, se tiene que considerar que la capacidad efectiva del enlace es igual a un factor  $N$ , cuyo valor es menor a uno, por la capacidad nominal del enlace debido a

que en la práctica se verá afectado por muchos factores adicionales (carga adicional de procesamiento en las varias capas OSI, limitaciones de procesamiento en dispositivos y eficiencia del protocolo de transmisión) que limitaran su rendimiento. Para nuestros propósitos, seguiremos el estándar usado por NAP Perú, institución privada que agrupa a los principales operadores de telecomunicaciones y proveedores de acceso a Internet del Perú, en donde se ha establecido que un enlace no puede exceder el 80% de su capacidad nominal de transporte para minimizar y evitar el descarte de paquetes [NAP2006].

### 3.2.1 Primera fase

En esta fase de implementación se va a cubrir servicios básicos de telemedicina como se presenta en la tabla 3.7:

**TABLA 3-7: SERVICIOS DE TELEMEDICINA EN FASE 1**  
Fuente: “Essentials of Telemedicine and Telecare” [NOR2002]

	Servicio de Telemedicina	Tipo de Información	Tamaño (bytes)	BW (Kbps)	Factor de Uso	Total (Kbps)
Tiempo Real (RT)	<b>Audio-conferencia</b>	<b>Audio</b>		<b>N*64</b>	100%	576,0
	<i>líneas de soporte, etc.</i>	digital	2ch * 8K	128		
	<b>Monitoreo de signos vitales</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>N*64</b>	100%	
	<i>presión de sangre, PsO<sub>2</sub>,</i>	BP/PsO <sub>2</sub>	400B	3,2		
	<i>pulsaciones, temperatura,</i>	EKG	12*250B	24		
	<i>electrocardiografía,</i>	ECO	384M	284		
	<i>ecografía, prueba holter,</i>	holter	692M	8,7		
	<i>electroencefalografía</i>	EEG	1.9M	80		
	<b>Consultas remotas y</b>	<b>Media - data</b>		<b>N*128</b>	100%	
	<i>sesiones de diagnóstico</i>	imagen	8M	66,7		
<i>teleconsultas,</i>	audio	128K	128			
<i>acceso a base de datos,</i>	Data - epr	800B	3,2			
<i>casos urgentes, etc.</i>	web	800K	80			
Almacenamiento y Reenvío (SF)	<b>Información de Paciente</b>	<b>Data - epr</b>		<b>64</b>	80%	102,4
	<i>Reporte electrónico de paciente</i>	Word	0.288M			
		PDF	0.080M			
	<b>Sonidos del corazón, etc.</b>	<b>Audio</b>		<b>128</b>	40%	

Se ha definido un Factor de Uso, el cual determina la recurrencia de uso estimada por aplicación. Con respecto a las aplicaciones RT, dado que se tratan de aplicaciones en tiempo real se dimensiona necesariamente con un factor de utilización de 100%, mientras que las de tipo SF se considera porcentajes de acuerdo al criterio de uso que se tiene por cada aplicación.

El valor de Total (kb/s) es obtenido de multiplicar el Factor de Uso por cada Servicio de Telemedicina que se va a utilizar en esta Fase del proyecto, de esa forma hallamos el RT como sigue:

$$\begin{aligned}
 RT &= 64Kb/s \times 100\% (\text{Monitoreo de signos vitales}) + \\
 &\quad 128Kb/s (\text{líneas de soporte, etc.}) \times 100\% + \\
 &\quad 128Kb/s (\text{teleconsultas}) \times 100\% \\
 &= 320Kb/s
 \end{aligned}$$

De la misma forma para obtener el tráfico SF, se realizó lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 SF &= 64Kb/s (\text{Información del paciente}) \times 80\% \\
 &\quad + 128Kb/s (\text{Sonidos del corazón, etc.}) \times 40\% = 102.4Kb/s
 \end{aligned}$$

Una vez obtenido el ancho de banda por tipo de tráfico, es necesario definir la cantidad de usuarios que harán uso de estas aplicaciones para finalmente obtener la capacidad a dimensionar durante la primera fase de la red. Para esto, se ha obtenido información estadística demográfica y de salud por departamento del Instituto Nacional de Estadísticas e Información (INEI), con lo cual se ha calculado un aproximado del número de médicos que trabajan por hospital en los departamentos seleccionados como se presenta en la tabla 3.8:

**TABLA 3-8: MÉDICOS EN PROMEDIO POR HOSPITAL DE ACUERDO A DEPARTAMENTO FASE 1**

Fuente: "Instituto Nacional de Estadística e Informática" [INE2010]

Departamentos	Número de habitantes por cada médico	Número de Habitantes	Número de Médicos	Número de hospitales	Número de médicos por hospital	Personal Jornada Normal	Número de Médicos A Considerar	Factor de Departamento	Médicos FASE 1
Arequipa	60908	1218160	3892	20	195	0.88	172	0.3	52
La Libertad	37976	1746896	2966	46	65	0.86	56	0.45	26
Lima	47467	9113664	25673	192	134	0.88	118	0.4	48

Finalmente, con los valores parciales obtenidos de las tablas anteriores, se obtuvo la capacidad total en Mbps de hospital por departamento que se presenta en la tabla 3.9:



**TABLA 3-9: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA DE HOSPITALES POR DEPARTAMENTO**

**FASE 1**

Fuente: "Propia"

Departamento	Número de Médicos FASE 1	Total RT (Mbps)	Total SF (Mbps)	Total (Mbps)	Total 80%
<b>Arequipa</b>	52	29,952	0,1024	30,06	36,08
<b>La Libertad</b>	26	14,976	0,1024	15,08	18,1
<b>Lima</b>	48	27,648	0,1024	27,76	33,32

El total real son los valores que correspondientes al campo Total 80% (Mbps), en donde se hace una consideración de un 20% más dado que a partir del 80% de ocupación del enlace en que se comienza a producir el descarte de paquetes como fue mencionado previamente.

De la misma forma, debemos hallar lo requerido para las universidades como parte de la red académica, se consideran las aplicaciones de la tabla 3.10:

**TABLA 3-10: SERVICIOS EN LA RED ACADÉMICA EN FASE 1**

Fuente: "Essentials of Telemedicine and Telecare" [NOR2002]

	Servicios en Red Académica	Tipo de Información	Tamaño (bytes)	BW (Kbps)	Factor de Uso	Total (Kbps)
<b>Tiempo Real (RT)</b>	<b>Audio-conferencia</b>	<b>Audio</b>		<b>N*64</b>	<b>100%</b>	<b>896,0</b>
	<i>líneas de soporte, etc.</i>	digital	2ch * 8K	128		
	<b>Imágenes médicas estáticas</b>	<b>Imagen</b>		<b>N*256</b>	<b>100%</b>	
	<i>telepatología,</i>	B/W	1M	46.3		
	<i>teleradiología,</i>	2^5 colores	9M	284.7		
	<i>emergencias, etc.</i>	2^6 colores	18M	487.5	<b>100%</b>	
	<b>Video-conferencia</b>	<b>Video</b>		<b>N*512</b>		
	<i>telepsiquiatría, -dialisis,</i>	dig-H264	300K	7000		
	<i>teledermatología, -oncología</i>	dig-H263	140K	64		
<i>teleneurología, -educación</i>	dig-30fps	2.1M	45200			
<i>teleemergencia, etc.</i>	dig-compr	253K	87.5			
<b>Almacenamiento y Reenvío (SF)</b>	<b>Videos de ultrasonidos,</b>	<b>Video</b>		<b>384</b>	<b>30%</b>	<b>403,2</b>
	<b>sonidos del corazón, etc.</b>	<b>Audio</b>		<b>128</b>	<b>30%</b>	
	<b>Información de Paciente</b>	<b>Data - epr</b>		<b>64</b>	<b>30%</b>	
	<i>Reporte electrónico de paciente</i>	word	0.288M			
		PDF	0.080M			
	<b>Datos pregrabados</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>256</b>	<b>30%</b>	
	<i>tele-EKG, teleobstétricas,</i>	EKG	40.5M			
	<i>tele-EEG, -oftalmología</i>	EEG	23M			
	<i>teleneuropsicología, etc.</i>	TAC	168M			
	<b>Imágenes estáticas grabadas</b>	<b>Imagen</b>		<b>512</b>	<b>30%</b>	
<i>digitalización,</i>		digitalizat	67.2M			
<i>teledermatología,</i>		MAMO	400M			
<i>teleradiología, -patología,</i>		X-ray	720M			
<i>teleoftalmología,</i>		ECO	3020M			
<i>medicina nuclear,</i>		GANMA	105M			
<i>angiografía, etc.</i>	DIVAS	420M				



Con los valores de kb/s hallados en tabla 3.10 se determina una cantidad de líneas disponibles por departamento (en base a la cantidad de alumnos) para todas las universidades como se muestra en la tabla 3.11: [INE2011]

**TABLA 3.11: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA DE UNIVERSIDADES POR DEPARTAMENTO EN FASE 1**

Fuente: "Propia"

Departamento	Número de Líneas FASE 1	Total RT (Mbps)	Total SF (Mbps)	Total (Mbps)	Total 80%
Arequipa	15	13,44	0,4032	13,85	16,62
La Libertad	13	11,648	0,4032	12,06	14,48
Lima	18	16,128	0,4032	16,54	19,85

Finalmente, en conjunto con lo hallado para los hospitales se obtendrá la capacidad total para la fase 1.

### 3.2.2 Segunda fase

Para esta fase, ya se considera contar con fibra oscura para brindar los servicios necesarios, por lo que se ha de dimensionar la red para soportar todas las aplicaciones disponibles de acuerdo a la cantidad de personas que podrá utilizarla y las líneas habilitadas. Los servicios considerados a ser cubiertos por en esta fase son mostrados en la tabla 3.12:

**TABLA 3-12: SERVICIOS DE TELEMEDICINA EN FASE 2**

Fuente: “Essentials of Telemedicine and Telecare” [NOR2002] [INT2004]

	Servicio de Telemedicina	Tipo de Información	Tamaño (bytes)	BW (Kbps)	Factor de Uso	Total (Kbps)
Tiempo Real (RT)	<b>Audio-conferencia</b>	<b>Audio</b>		<b>N*64</b>	100%	1438,00
	<i>líneas de soporte, etc.</i>	digital	2ch * 8K	128		
	<b>Monitoreo de signos vitales</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>N*64</b>	100%	
	<i>presión de sangre, PsO2,</i>	BP/PsO2	400B	3.2		
	<i>pulsaciones, temperatura,</i>	EKG	12*250B	24		
	<i>electrocardiografía,</i>	ECO	384M	284		
	<i>ecografía, prueba holter,</i>	holter	692M	8.7		
	<i>electroencefalografía</i>	EEG	1.9M	80		
	<b>Consultas remotas y</b>	<b>Media - data</b>		<b>N*128</b>	100%	
	<i>sesiones de diagnóstico</i>	imagen	8M	66.7		
	<i>teleconsultas,</i>	audio	128K	128		
	<i>acceso a base de datos,</i>	Data - epr	800B	3.2		
	<i>casos urgentes, etc.</i>	web	800K	80		
	<b>Imágenes médicas estáticas</b>	<b>Imagen</b>		<b>N*256</b>	100%	
	<i>telepatología,</i>	B/W	1M	46.3		
	<i>teleradiología,</i>	2^5 colores	9M	284.7		
<i>emergencias, etc.</i>	2^6 colores	18M	487.5			
<b>Video-conferencia</b>	<b>Video</b>		<b>N*512</b>	100%		
<i>telepsiquiatría, -dialisis,</i>	dig-H264	300K	7000			
<i>teledermatología, -oncología</i>	dig-H263	140K	64			
<i>teleneurología, -educación</i>	dig-30fps	2.1M	45200			
<i>teleemergencia, etc.</i>	dig-compr	253K	87.5			
<b>Telecirugía</b>	<b>Video y Datos</b>		<b>N*7000</b>	5%		
<i>Videoendoscopia alta prioridad</i>	video HD		4000			
<i>Video conferencia y</i>	video - audio -		2000			
<i>posicionamiento de robot</i>	data		2000			
<i>Control y datos del robot</i>	Data - epr		1000			
Almacenamiento y Reenvío (SF)	<b>Videos de ultrasonidos,</b>	<b>Video</b>		<b>384</b>	30%	486,4
	<b>sonidos del corazón. etc.</b>	<b>Audio</b>		<b>128</b>	30%	
	<b>Información de Paciente</b>	<b>Data - epr</b>		<b>64</b>	100%	
	<i>Reporte electrónico de</i>	word	0.288M			
	<i>paciente</i>	PDF	0.080M			
	<b>Datos pregrabados</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>256</b>	35%	
	<i>tele-EKG, teleobstétricas,</i>	EKG	40.5M			
	<i>tele-EEG, -oftalmología</i>	EEG	23M			
	<i>teleneuropsicología, etc.</i>	TAC	168M			
	<b>Imágenes estáticas grabadas</b>	<b>Imagen</b>		<b>512</b>	35%	
<i>digitalización,</i>	digitalizat	67.2M				
<i>teledermatología,</i>	MAMO	400M				
<i>teleradiología, -patología,</i>	X-ray	720M				
<i>teleoftalmología,</i>	ECO	3020M				
<i>medicina nuclear,</i>	GANMA	105M				
<i>angiografía, etc.</i>	DIVAS	420M				

Al igual que en la Fase 1, se presenta el Factor de Uso que se ha aplicado con las mismas consideraciones; sin embargo, al tratarse de una mayor cantidad de aplicaciones y de la mejora en calidad de algunas otras ya consideradas en la Fase 1, el ancho de banda se incrementa y se define como se muestra en la tabla 3.13 y 3.14:

**TABLA 3-13: MÉDICOS EN PROMEDIO POR DEPARTAMENTO EN FASE 2**

Fuente: "INEI" [INE2011]

Departamentos	Número de habitantes por cada médico	Número de Habitantes	Número de Médicos	Número de hospitales	Número de médicos por hospital	Personal Jornada Normal	Número de Médicos A Considerar
Arequipa	60908	1218160	3892	20	195	0.88	172
La Libertad	37976	1746896	2966	46	65	0.86	56
Lima	47467	9113664	25673	192	134	0.88	118

**TABLA 3-14: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA POR DEPARTAMENTO EN FASE 2**

Fuente: "Propia"

Departamento	Número de Médicos FASE 2	Total RT (Mbps)	Total SF (Mbps)	Total	Total 80%
<b>Arequipa</b>	172	247,336	0,486	247,83	297,4
<b>La Libertad</b>	56	80,528	0,486	81,02	97,23
<b>Lima</b>	118	169,684	0,486	170,18	204,22

Posteriormente, se determina que para la red académica se consideraran las aplicaciones mostradas en la tabla 3.15:

**TABLA 3-15: SERVICIOS EN LA RED ACADÉMICA FASE 2**

Fuente: “Essentials of Telemedicine and Telecare” [NOR2002] [INT2004]

	Servicios en Red Académica	Tipo de Información	Tamaño (bytes)	BW (Kbps)	Factor de Uso	Total (Kbps)
Tiempo Real (RT)	<b>Audio-conferencia</b>	<b>Audio</b>		<b>N*64</b>	100%	947,2
	<i>líneas de aprendizaje, etc.</i>	digital	2ch * 8K	128		
	<b>Imágenes médicas estáticas</b>	<b>Imagen</b>		<b>N*256</b>	100%	
	<i>telepatología,</i>	B/W	1M	46.3		
	<i>teleradiología,</i>	2^5 colores	9M	284.7		
	<i>emergencias, etc.</i>	2^6 colores	18M	487.5		
	<b>Video-conferencia</b>	<b>Video</b>		<b>N*512</b>	100%	
	<i>clases magistrales,</i>	dig-H264	300K	7000		
	<i>conferencias,</i>	dig-H263	140K	64		
	<i>operaciones en vivo,</i>	dig-30fps	2.1M	45200		
<i>clases interactivas.</i>	dig-compr	253K	87.5			
Almacenamiento y Reenvío (SF)	<b>Laboratorios remotos</b>	<b>Video y Datos</b>		<b>N*256</b>	20%	
	<i>Video calidad</i>	dig-compr		64		
	<i>Video conferencia y posicionamiento de robot</i>	digital		128		
	<i>Control y datos del robot</i>	digital		64		
	<b>Grid Computing</b>	<b>Data - epr</b>		<b>512</b>	20%	
	<i>Procesamiento de data en supercomputadora</i>	digital				
	<b>Videos de ultrasonidos, sonidos del corazón, etc.</b>	<b>Video</b>		<b>384</b>	30%	
	<b>Información de Paciente</b>	<b>Audio</b>		<b>128</b>	30%	
	<b>Datos pregrabados</b>	<b>Data - epr</b>		<b>64</b>	30%	
	<i>Reporte electrónico de paciente</i>	word	0.288M			
	PDF	0.080M				
<b>Imágenes estáticas grabadas</b>	<b>Bio-dato</b>		<b>256</b>			
<i>tele-EKG, teleobstétricas,</i>	EKG	40.5M		30%		
<i>tele-EEG, -oftalmología</i>	EEG	23M				
<i>teleneuropsicología, etc.</i>	TAC	168M				
<i>digitalización,</i>	Imagen		<b>512</b>			
<i>teledermatología,</i>	digitalizat	67.2M				
<i>teleradiología, -patología,</i>	MAMO	400M				
<i>teleoftalmología,</i>	X-ray	720M				
<i>medicina nuclear,</i>	ECO	3020M				
<i>angiografía, etc.</i>	GANMA	105M				
	DIVAS	420M				

Al tratarse de la segunda fase, se amplía la cantidad de líneas de modo que realizando el mismo calculo que para los hospitales obtenemos la capacidad de ancho de banda de la tabla 3.16:

**TABLA 3-16: CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA POR DEPARTAMENTO EN FASE 2**

Fuente: “Propia”

Departamento	Número de Líneas FASE 2	Total RT (Mbps)	Total SF (Mbps)	Total	Total 80%
<b>Arequipa</b>	20	18,944	0,5056	19,45	23,34
<b>La Libertad</b>	15	14,208	0,5056	14,72	17,67
<b>Lima</b>	20	18,944	0,5056	19,45	23,34

### 3.3 Conclusiones

- Se considera un valor de sobredimensionamiento de 20%, ya que con tráfico IP cuando el enlace alcanza un 80% de su capacidad comienza a descartar paquetes; esto de acuerdo al estándar usado por NAP Perú [NAP2006].
- Finalmente, la capacidad a ser considerada para ambas fase son las que se ven en la tabla 3.17:

**TABLA 3-17: CAPACIDAD FINAL FASE 1 Y FASE 2**

Fuente: "Propia"

		Departamento	Total Final (Mbps)	Capacidad a Dar
FASE 1	Universidad	Arequipa	16,62	DS3
		La Libertad	14,48	DS3
		Lima	19,85	DS3
	Hospital	Arequipa	36,08	DS3
		La Libertad	18,1	DS3
		Lima	33,32	DS3
FASE 2	Universidad	Arequipa	23,34	DS3
		La Libertad	17,67	DS3
		Lima	23,34	DS3
	Hospital	Arequipa	297,4	2xSTM-1
		La Libertad	97,23	STM-1
		Lima	204,22	2xSTM-1



## **Capítulo 4**

### **Diseño de la red piloto**

Con lo concluido del capítulo anterior ya contamos con los departamentos que van a ser incluidos en la red piloto y la capacidad a ser cubierta, con lo cual definiremos la capacidad final de la red troncal y los equipos a utilizar para la implementación del proyecto.

#### **4.1 Consideraciones generales**

Para el desarrollo del diseño se va a tener en cuenta los siguientes apartados:

##### **4.1.1 Fibra óptica**

Se va a hacer uso del mismo tipo de fibra que se utiliza en la red de Telefónica para que sean compatibles y de esa forma evitar degradaciones innecesarias. Esta opera de acuerdo a las especificaciones de la norma G652D que permite y se adapta a velocidades superiores, y en 3ra ventana para tener menores atenuaciones, como se ve en la tabla 4.1:

**TABLA 4-1: CARACTERÍSTICAS – FIBRA ÓPTICA**

Característica	Descripción
Estándar	G652D
Ventana de Trabajo	1310 nm/1550 nm
Atenuación en 1310 nm	≤ 0,34 dB/Km
Atenuación en 1550 nm	≤ 0,25 dB/Km
Máxima PMD	≤ 0,1 ps/√km

##### **4.1.2 Parámetros de transmisión**

Para determinar los parámetros de transmisión se debe tener en consideración que las distancias máximas que se han de manejar en tramos de interconexión con los nodos de Telefónica del Perú son menores a 20Km con lo que se concluye que no va a ser necesario el uso de amplificadores ni regeneradores para tratar la atenuación ni la distorsión a la que pueden ser afectados por longitudes de enlace significativa.



### Atenuación para cables de fibra óptica

La atenuación se presenta cuando las señales de transmisión que viajan largas distancias están sujetas a distorsión por pérdida de amplitud de la señal, en otras palabras es la disminución de la potencia de la señal óptica en proporción inversa a la longitud de la fibra. La unidad para medir la atenuación en una fibra es el decibel (dB). En caso la señal alcance valores por debajo del umbral de detección, el equipo receptor no la reconocerá. [ORT2006]

Los factores internos que lo producen son fundamentalmente dos:

- Pérdidas de absorción del material de núcleo de la fibra por impurezas del material que finalmente se transforman en calor.
- Pérdidas de dispersión que se manifiestan como reflexiones de la luz en las irregularidades microscópicas que se dispersa y reflejan.

El principal factor externo que produce la atenuación es por deformaciones mecánicas (curvaturas) que causan que algunos rayos de luz no sufran la reflexión total y se escapan del núcleo.

### Atenuación de enlace ( $A_t$ )

Para realizar el cálculo de la atenuación, se considera la atenuación producida por los conectores, los empalmes, el factor de atenuación del cable que dependerá del estándar y adicionalmente una atenuación de reserva de aproximadamente 3dB que es considerado suficiente para cubrir incrementos de atenuaciones causados por variaciones de temperatura, envejecimiento, reparaciones del cable en el caso que se produzcan roturas, etc. De esa forma se obtiene la siguiente formula:

$$A_t = A_{\text{cable}} + A_{\text{conectores}} + A_{\text{empalmes}} + A_{\text{reserva}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- $A_t$ : Atenuación total de toda la sección de fibra medida.  
 $A_{\text{cable}}$ : Atenuación debida al factor de atenuación propia del cable.  
 $A_{\text{conectores}}$ : Atenuación debido al número de conectores que se tenga.  
 $A_{\text{empalmes}}$ : Atenuación debido al número de empalmes que se tenga.  
 $A_{\text{reserva}}$ : Atenuación de respaldo como margen ante degradaciones.

De modo que finalmente tendríamos una fórmula de la siguiente manera:

Dónde:  $A_t = \alpha \cdot L + n_c \cdot A_c + n_e \cdot A_e + A_r$  (Ecuación 2)

$A_t$ : Atenuación total de toda la sección de fibra medida

$\alpha$ : Coeficiente de atenuación del cable, medido en dB/Km

L: Longitud total de toda la sección de fibra medida

$n_c$ : Número de conectores

$A_c$ : Atenuación por conector

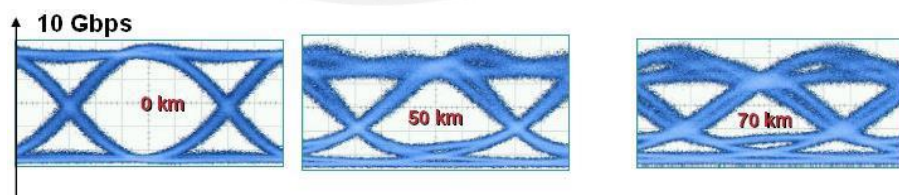
$n_e$ : Número de empalmes

$A_e$ : Atenuación por cada empalme

$A_r$ : Atenuación de reserva - 3dB

#### Dispersión en fibra óptica

La señal óptica sufre degradaciones en el trayecto por los fenómenos de dispersión cromática, dispersión modal de polarización (PMD), el ruido, dispersión intermodal (solo en fibras multimodal) o efectos de no linealidad. Estas degradaciones se vuelven más significativas a medida que el enlace tiene mayor longitud, mayor velocidad de transmisión o número de canales. La degradación es medida por medio del diagrama del ojo, en el ejemplo mostrado en la figura 4.1 se puede notar que cuanto más distancia se recorre el "ojo" se distorsiona y tenderá a cerrarse verticalmente. Para una transmisión sin errores en ausencia de ruido, el ojo debe mantener cierta apertura vertical o en caso contrario existirán señales de interferencia provocarán errores.



**FIGURA 4-1: DEGRADACIÓN DE LA SEÑAL DE 10Gbps**

Fuente: "Introducción a la Fibra Óptica" [URU2011]

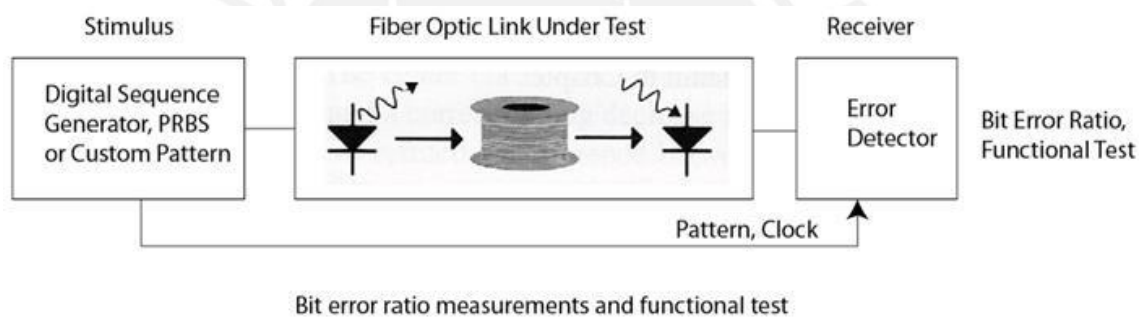
Por ese motivo, las redes ópticas de larga distancia requieren de mecanismos de regeneración de señales que restauren la calidad de las mismas y aseguren una transmisión fiable y libre de errores [ORT2006].

### Bit error ratio (BER)

Este parámetro es extensamente utilizado en los sistemas de telecomunicaciones para poder determinar la calidad de transmisión de señales digitales (la relación señal a ruido o SNR es usada para sistemas analógicos) al hacer una correlación entre la señal de recepción con respecto a la señal de salida del transmisor con la finalidad de definir la cantidad fraccional de bits incorrectos recibidos. Es definido como:

$$BER = \frac{E(t)}{N(t)}$$

Donde  $E(t)$  es el número de bits recibidos con error en el tiempo  $t$ , y  $N(t)$  es el número total de bits transmitidos en el tiempo  $t$ .



**FIGURA 4-2: CONFIGURACIÓN DE UN BERT**

Fuente: "What is BER (Bit Error Ratio) and BERT (Bit Error Ratio Tester)?" [FOF2010]

En la figura 4-2, se muestra la configuración que se realiza para medir este parámetro en un enlace de fibra óptica. Los valores de BER varían significativamente dependiendo de los proveedores de tecnología y es detallado en las especificaciones técnicas de sus equipos; por ello se mencionara los valores adecuados de acuerdo a los equipos que se seleccione.

## 4.2 Diseño de red en la primera fase

En una primera fase del proyecto, la capacidad a requerirse por nodo no supera el DS3 que equivale a 45Mbps por lo que nos enfocaremos en interconectar los nodos a la red de Telefónica para que de esa forma se pueda contratar la capacidad requerida al proveedor.

Actualmente, los nodos que cuentan con tendido de fibra e interconexión a la red en mención se detallan en la tabla 4.2, 4.3 y 4.4:

**TABLA 4-2: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LIMA**

Fuente: “Telefónica del Perú”

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Dirección	Distrito	Fibra
Instituto Nacional de Salud del Niño	Av. Brasil 600	Breña	NO
Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN)	Av. Angamos 2520	Surquillo	SI
Instituto Nacional Cardiovascular (INCOR)	Av. Arenales 1402	Jesús María	SI
Hospital Cayetano Heredia	Av. Honorio Delgado 430	San Martín de Porres	SI
Hospital Edgardo Rebagliati Martins	Jr. Edgardo Rebagliati 440	Jesús María	SI
Hospital Guillermo Almenara Irgoyen	Av. Grau 800	La Victoria	SI
Universidad Peruana Cayetano Heredia	Av. Honorio Delgado 430	San Martín de Porres	SI
Facultad de Medicina San Fernando (UNMSM)	Av. Grau 755	La Victoria	NO
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Av. Prolongación Primavera 2390	Surco	NO

**TABLA 4-3: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN AREQUIPA**

Fuente: “Propio”

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Dirección	Distrito	Fibra
Hospital Regional Honorio Delgado	Av. Los Incas con Av. Daniel Alcides Carrión	Arequipa	NO
Hospital Govenecche	Av. Govenecche s/n	Arequipa	NO
Hospital Nacional Carlos Alberto Seguí Escobedo	Calle Peral s/n	Arequipa	NO
Universidad Nacional de San Agustín	Av. Paucarpata con Av. Independencia	Arequipa	NO
Universidad Católica de Santa María	Urb. San José s/n Umacollo - Arequipa	Arequipa	SI

**TABLA 4-4: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN TRUJILLO**

Fuente: “Telefónica del Perú”

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Dirección	Distrito	Fibra
Hospital Víctor Lazarte Echeagaray	Prolongación Unión 1350, Urb. Rázuri	Trujillo	NO
Hospital Regional de Trujillo	Av. Mansiche	Trujillo	NO
Universidad Nacional de Trujillo – Facultad de Medicina	Ciudad Universitaria s/n Trujillo	Trujillo	NO
Universidad Privada de Antenor Orrego	Av. América Sur 3145	Trujillo	NO

Como se detalla en las tablas anteriores, 8 de los 18 centros ya cuentan con tendido de fibra óptica hasta su sede por lo que se requiere definir la ruta para interconectar los centros restantes. Esto se desarrollará en detalle a continuación:



#### 4.2.1 Lima: planos y esquemas

En la ciudad de Lima se ubican todos los centros correspondientes al departamento de Lima, los cuales se muestran en el siguiente mapa obtenido por Google Earth:



**FIGURA 4-3: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LIMA**

Fuente: "Propia"

Como se mostró en la tabla 4.1, de los 9 centros de la red piloto se tienen 3 pendientes a ser interconectados. Dado que se va montar la red sobre la red de Telefónica del Perú, se ha obtenido los puntos de presencia más cercanos a cada uno de los centros que aún no están interconectados y el nodo al cual están interconectados los que ya cuentan con tendido de fibra. Estos se muestran en detalle en la tabla 4.5 que se presenta a continuación:

**TABLA 4-5: CENTROS DE SALUD / CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR / NODOS DE TELEFÓNICA EN LIMA**

Fuente: "Telefónica del Perú"

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Nodo Telefónica cercano	Fibra
Instituto Nacional de Salud del Niño (INSN)	Lince	NO
Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN)	Higuereta	SI
Instituto Nacional Cardiovascular (INCOR)	Lince	SI

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Nodo Telefónica cercano	Fibra
Hospital Cayetano Heredia	Los Olivos	SI
Hospital Edgardo Rebagliati Martins	Lince	SI
Hospital Guillermo Almenara Irigoyen	La Victoria	SI
Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH)	Los Olivos	SI
Facultad de Medicina San Fernando (UNMSM)	La Victoria	NO
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)	Higuereta	NO

Se han seleccionado las calles por donde se ha de realizar la instalación con la finalidad de obtener las rutas más continuas y rectas posibles, pero evitando el tendido en avenidas sumamente transitadas, debido a que ocasionará mayor tráfico, molestias en la población y menor eficiencia en el trabajo del tendido.

#### **Ruta escogida - Instituto Nacional de Salud del Niño (INSN)**

El nodo de Telefónica más cercano a este Instituto es el nodo Lince como se describe en la tabla 4.5. De este nodo hasta el INSN se ha decidido que el tendido de fibra óptica recorra las siguientes calles y avenidas:

- ❖ *Av. Cuba*
- ❖ *Av. Salaverry*
- ❖ *Av. Talara*
- ❖ *Av. Gral. Garzón*
- ❖ *Calle Megaburos*

Este recorrido incluye los distritos de: Breña y Lince.

En la figura 4.3 se interconecta en Av. Cuba con la canalizada del PoP de Lince hacia el Hospital Rebagliati y el Instituto Nacional del Corazón.

#### **Ruta escogida - Facultad de Medicina San Fernando (UNMSM)**

Este es un caso especial ya que si bien la Facultad de UNMSM no cuenta con tendido hasta su sede, el Hospital Rabagliati sí cuenta con fibra óptica proporcionada por Telefónica por lo que se considera la ruta correspondiente:

- ❖ *Av. Cuba*
- ❖ *Av. Grau*
- ❖ *Av. Aviación*

Este recorrido incluye los distritos de: La Victoria.

#### **Ruta escogida - Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)**

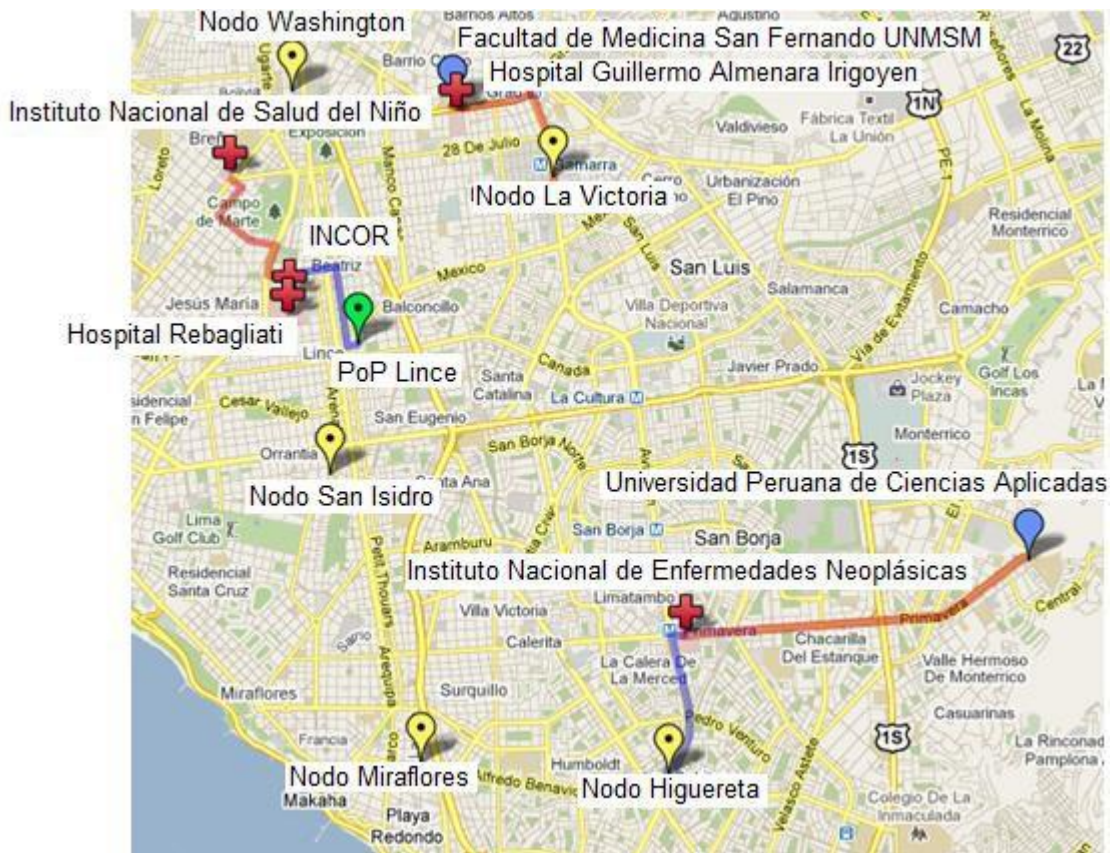


Para este caso, si bien el nodo más cercano de Telefónica es Higuiereta se decide que se interconecte en cascada con el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) ya que se da prioridad en el proyecto en mención a la interconexión de Hospitales e Institutos de Salud Especializados y de la misma forma se abaratan los costos. Por eso, el tendido de fibra recorre:

- ❖ *Av. Primavera*

Este recorrido incluye los distritos de: San Borja y Surco.

Finalmente, se muestra en la figura 4.4 las rutas mencionadas:



**FIGURA 4-4: DISEÑO FINAL LIMA FASE 1**

Fuente: "Propia"

De modo que localizados los nodos y con las rutas definidas se hallan los valores de atenuación con el nodo principal de Lima que vendría a ser el de Lince (ver tabla 4.6).

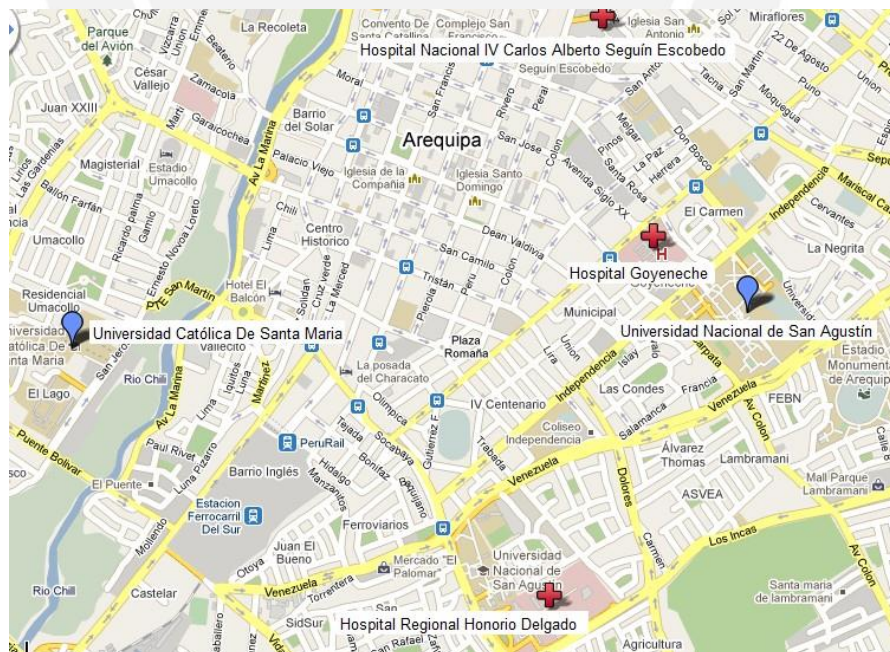
**TABLA 4-6: DISTANCIA Y ATENUACIONES DEL CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL LINCE**

Fuente: “Telefónica del Perú”

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Fibra	Nodo Principal	Nodo de Interconexión	Distancia (Km)	Atenuación (dB)	Distancia de Tendido (Km)
Instituto Nacional de Salud del Niño	NO	Lince	Lince	1,9	1,05	1,9
Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN)	SI	Lince	Higuereta	10,11	3,84	-
Instituto Nacional Cardiovascular (INCOR)	SI	Lince	Lince	1,2	0,9	-
Hospital Cayetano Heredia	SI	Lince	Los Olivos	20,33	7,32	-
Hospital Edgardo Rebagliati Martins	SI	Lince	Lince	1,5	0,97	-
Hospital Guillermo Almenara Irigoyen	SI	Lince	La Victoria	6,05	2,46	-
Universidad Peruana Cayetano Heredia	SI	Lince	Los Olivos	20,12	7,25	-
Facultad de Medicina San Fernando (UNMSM)	NO	Lince	La Victoria	6,07	2,47	2
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	NO	Lince	Higuereta	14,51	5,49	4,4
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>8,3</b>

#### 4.2.2 Arequipa: planos y esquemas

De la misma forma, para la ciudad de Arequipa, lugar donde se localizan los centros seleccionados, se muestra en la figura 4.5 la ubicación geográfica de las instituciones:



**FIGURA 4-5: CENTRO DE SALUD/ CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN AREQUIPA**

Fuente: “Propia”

En este caso, las instituciones pendientes son 4 de los 5 nodos seleccionados, para ello también se obtuvo los puntos de presencia más cercanos cuyo detalle se muestra en la tabla 4.7.

**TABLA 4-7: CENTROS DE SALUD/ CENTROS DE EDUCACIÓN SUPERIOR / NODOS DE TELEFÓNICA EN AREQUIPA**

Fuente: "Telefónica del Perú"

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Nodo Telefónica cercano	Fibra
Hospital Regional Honorio Delgado	Arequipa Sala	NO
Hospital Goyeneche	Arequipa Sala	NO
Hospital Nacional Carlos Alberto Seguí Escobedo	Arequipa Sala	NO
Universidad Nacional de San Agustín	Arequipa Sala	NO
Universidad Católica de Santa María	Ciudad mi Trabajo	SI

Se han seleccionado las calles por donde se ha de realizar la instalación del tendido de fibra óptica para obtener las rutas más continuas y rectas posibles, pero evitando el tendido en avenidas sumamente transitadas, debido a que ocasionará mayor tráfico, molestias en la población y menor eficiencia en el trabajo del tendido.

El nodo de Telefónica más cercano para todos los centros restantes es Arequipa Sala, por lo cual las rutas se definen con respecto a este nodo:

#### **Ruta escogida - Hospital Regional Honorio Delgado**

- ❖ *Av. Álvarez Thomas*
- ❖ *Av. Daniel Alcides Carrión*

Este recorrido incluye el distrito de: Arequipa

#### **Ruta escogida - Hospital Goyeneche**

- ❖ *Av. Álvarez Thomas*
- ❖ *Av. San Camilo (Consuelo)*
- ❖ *Av. Goyeneche*

Este recorrido incluye el distrito de: Arequipa

#### **Ruta escogida - Hospital Nacional Carlos Alberto Seguí Escobedo**

- ❖ *Av. Álvarez Thomas*
- ❖ *Av. San Francisco*
- ❖ *Av. Melgar*



- ❖ *Av. Peral*

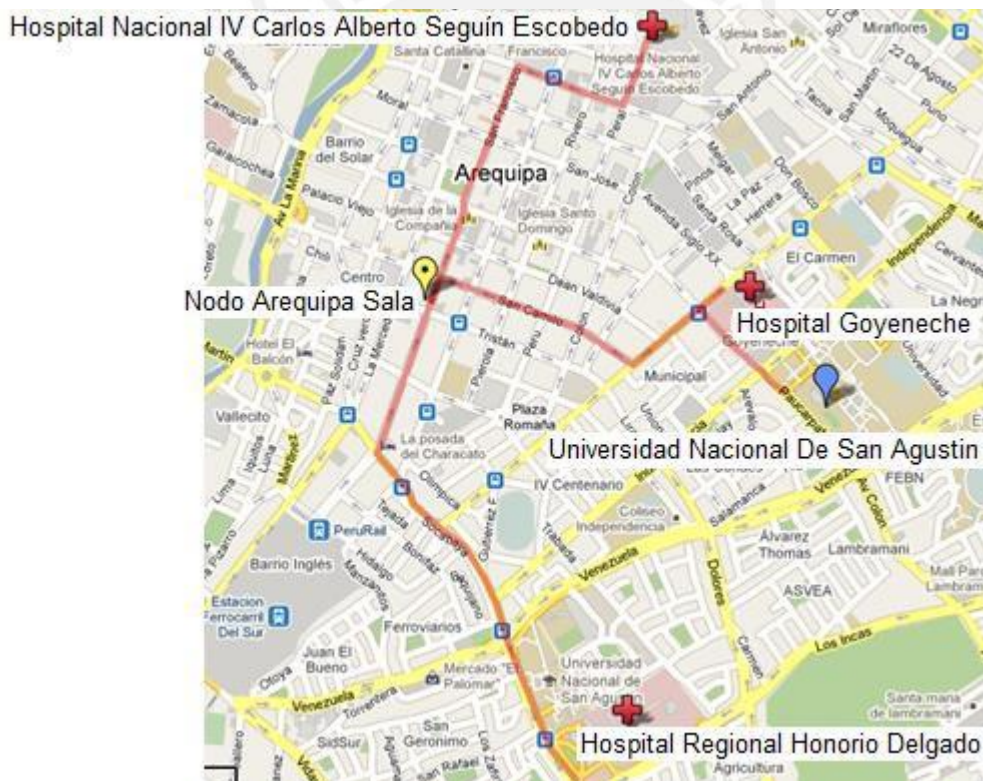
Este recorrido incluye el distrito de: Arequipa

**Ruta escogida - Universidad Nacional de San Agustín**

- ❖ *Av. Álvarez Thomas*
- ❖ *Av. San Camilo (Consuelo)*
- ❖ *Av. Goyeneche*
- ❖ *Av. Paucarpata*

Este recorrido incluye el distrito de: Arequipa

Con lo cual, se obtiene finalmente el diseño de la red en la ciudad de Trujillo para la red piloto que se puede visualizar en la figura 4.6:



**FIGURA 4-6: DISEÑO FINAL DE AREQUIPA FASE 1**

Fuente: "Propio"

Finalmente, de acuerdo a las distancias halladas se procede a determinar la atenuación que va a experimentar la señal en los tramos obteniendo la tabla 4.8:

**TABLA 4-8: DISTANCIA Y ATENUACIONES DEL CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL AREQUIPA SALA**

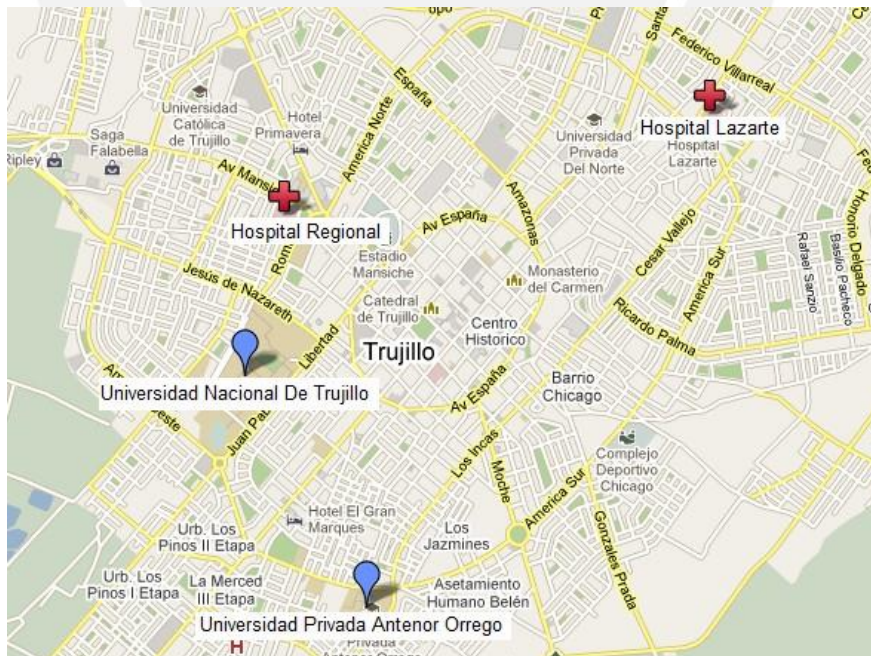
Fuente: "Propio"

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Fibra	Nodo Principal	Nodo de Interconexión	Distancia (Km)	Atenuación (dB)	Distancia de Tendido (Km)
Hospital Regional Honorio Delgado	NO	Arequipa Sala	Arequipa Sala	1,82	1,02	1,82
Hospital Goveneche	NO	Arequipa Sala	Arequipa Sala	1.2	0.81	1.2
Hospital Nacional Carlos Alberto Seguin Escobedo	NO	Arequipa Sala	Arequipa Sala	1,45	0,9	1,45
Universidad Nacional de San Agustín	NO	Arequipa Sala	Arequipa Sala	1.5	0.91	1.5
Universidad Católica de Santa María	SI	Arequipa Sala	Ciudad mi Trabajo	6,05	2,46	-
<b>SUBTOTAL</b>						<b>5.97</b>

Se concluye entonces que los 5,97Km de tendido de fibra restante van a recorrer canalizaciones ubicadas en el centro histórico de Arequipa, resguardándose en la ley de compartición de servicios presentada en el capítulo 1.

#### 4.2.3 Trujillo: planos y esquemas

Finalmente, para el departamento de La Libertad, todas las instituciones que se han escogido se ubican en la ciudad de Trujillo y ninguno de los centros tienen tendido (ver figura 4.7 y tabla 4.9), sin embargo se ha de considerar también los puntos de presencia más cercanos.



**FIGURA 4-7: CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR /NODO PRINCIPAL EN TRUJILLO**

Fuente: "Propia"



**TABLA 4-9: CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL EN TRUJILLO**

Fuente: "Telefónica del Perú"

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Nodo Telefónica cercano	Fibra
Hospital Víctor Lazarte Echegaray	Urb. Granados	NO
Hospital Regional de Trujillo	Trujillo	NO
Universidad Nacional de Trujillo – Facultad de Medicina	Trujillo	NO
Universidad Privada de Antenor Orrego	Trujillo	NO

De la misma manera, se va a describir la ruta seleccionada para los nodos pendientes como sigue:

#### **Ruta escogida - Hospital Víctor Lazarte Echegaray**

El nodo de Telefónica más cercano a este Instituto es el nodo Urb. Granados como se describe en la tabla 4.9. Para llegar al sitio se ha decidido que el tendido de fibra óptica recorra las siguientes calles y avenidas:

- ❖ *Av. Federico Villareal*
- ❖ *Av. Prolongación Unión*

Este recorrido incluye el distrito de Trujillo.

#### **Ruta escogida: Hospital Regional de Trujillo**

El nodo de Telefónica más cercano a este Instituto es el nodo Trujillo. La ruta definida es la siguiente:

- ❖ *Av. España*
- ❖ *Calle Jesús de Nazareth*
- ❖ *Av. Roma*

Este recorrido incluye el distrito de Trujillo

#### **Ruta escogida: Universidad Nacional de Trujillo – Facultad de Medicina**

El nodo de Telefónica más cercano a este Instituto es el nodo Trujillo. La ruta definida es la siguiente:

- ❖ *Av. España*
- ❖ *Calle Jesús de Nazareth*
- ❖ *Av. Roma*
- ❖ *Av. Salaverry*

Este recorrido incluye el distrito de Trujillo

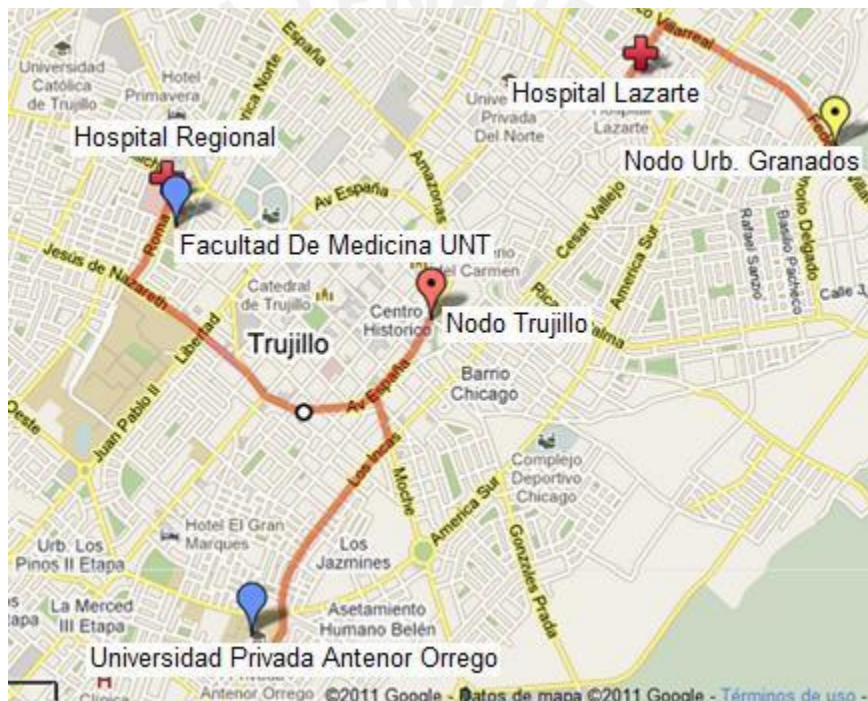
**Ruta escogida - Universidad Privada de Antenor Orrego**

El nodo de Telefónica más cercano a este Instituto es el nodo Urb. Granados como se describe en la tabla 4.9. Para llegar al sitio se ha decidido que el tendido de fibra óptica recorra las siguientes calles y avenidas:

- ❖ *Av. España*
- ❖ *Av. Moche*
- ❖ *Av. Los Incas*
- ❖ *Prolongación Cesar Vallejo*

Este recorrido incluye el distrito de Trujillo.

Finalmente, se obtiene el diseño final que se presenta en la figura 4.8:



**FIGURA 4-8: DISEÑO FINAL DE TRUJILLO FASE 1**

Fuente: "Propio"

Finalmente, de acuerdo a las distancias se procede a determinar la atenuación de la señal en los tramos obteniendo la tabla 4.10:

**TABLA 4-10: DISTANCIA Y ATENUACIONES DEL CENTRO DE SALUD /CENTRO DE EDUCACIÓN SUPERIOR AL NODO PRINCIPAL TRUJILLO**

Fuente: "Propio"

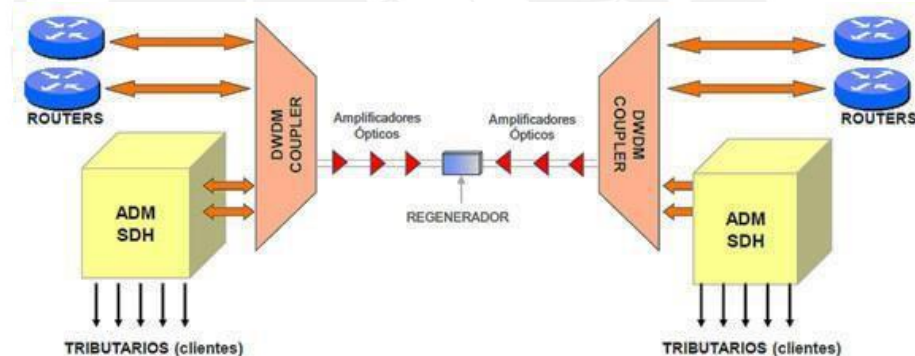
Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Fibra	Nodo Principal	Nodo de Interconexión	Distancia (Km)	Atenuación (dB)	Distancia de Tendido (Km)
Hospital Víctor Lazarte Echeagaray	NO	Trujillo	Ura. Granados	4,2	2,228	4,2
Hospital Regional de Trujillo	NO	Trujillo	Trujillo	2,7	1,318	2,7

Centro de Salud / Centro de Educación Superior	Fibra	Nodo Principal	Nodo de Interconexión	Distancia (Km)	Atenuación (dB)	Distancia de Tendido (Km)
Universidad Nacional de Trujillo - Facultad de Medicina	NO	Trujillo	Trujillo	2,7	1,318	2,7
Universidad Privada de Antenor Orrego	NO	Trujillo	Trujillo	2,2	1,148	2,2
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>11,8</b>

Concluimos en que se va a necesitar en total de **26,07Km** de fibra óptica del estándar G652D para cubrir el tendido faltante del diseño.

#### 4.2.4 Equipamiento

En esta parte del proyecto se hará un planteamiento de cómo se trabajará sobre la primera fase de todo el diseño de la red a presentar. Para entender de mejor manera qué parte nos corresponde equipar en toda la red de la primera fase, en la figura 4.9 se ve la configuración básica de los segmentos terrestres que está constituido por equipos ADM (multiplexor de extracción-inserción) o routers, acopladores DWDM, amplificadores y regeneradores para tener un diseño que cumpla las características de las redes ópticas.



**FIGURA 4-9: SEGMENTO UNIDO MEDIANTE FIBRA ÓPTICA**

Fuente: "Redes Ópticas" [TIW2009]

En una primera fase, los únicos equipos necesarios para el funcionamiento de la red corresponden a los equipos finales o de cliente que de acuerdo al grafico anterior son ADM o routers.

Para el presente proyecto se han seleccionado los siguientes equipos:

#### **Juniper Networks Series M: M10i [JUN2011]**

Para los nodos principales de cada departamento se ha seleccionado el router multiservicio de borde de Juniper M10i (ver figura 4.10) como el principal de

cada zona, es decir en el sur el departamento de Arequipa, en el norte el departamento de La Libertad y en el centro el departamento de Lima. Sus principales características se describen a continuación:



**FIGURA 4-10: ROUTER DE BORDE MULTISERVICIO JUNIPER M10I**

Fuente: "Juniper Networks" [JUN2011]

- La arquitectura ha sido construida para ser modular y protegida contra fallos por el Junos OS, con un riguroso sistema de prueba de procesos.
- Redundancia en el sistema de aire acondicionado y energía.
- Cada router soporta hasta 16Gbit/s.
- Redundancia de procesadoras *Routing Engine* y *Forwarding Engine* que se encargan del enrutamiento y del reenvío de paquetes.
- Soporta *upgrade* de software sin producir afectación de servicio.
- El equipo presenta una gran variedad de interfaces que funcionan en una gran gama de velocidades. Esto hace posible que se pueda tener una gran flexibilidad en las aplicaciones y velocidades de transmisión.
- Soporta interfaces de hasta OC-12/STM-4 y Gigabit Ethernet.

#### **Juniper Networks Series J: J4350 [JUN2011]**

Estos equipos (ver figura 4.11) han sido seleccionados para ser ubicados en los centros de salud y en los centros de educación superior, de modo que se interconecten por medio del tendido diseñado previamente.



**FIGURA 4-11: ROUTER JUNIPER J4350**

Fuente: "Juniper Networks" [JUN20111]

Estos routers se caracterizan por lo siguiente:

- La arquitectura ha sido construida para ser modular y protegida contra fallos por el Junos OS, con un riguroso sistema de prueba de procesos.
- Soporta interfaces T1, E1, Fast Ethernet, Serial, ISDN BRI, ADSL2, G.SHDSL, DS3, E3 y Gigabit Ethernet.
- Cada router soporta hasta 1Gbit/s.
- Soporta aplicación de telefonía IP.
- Proporciona antivirus, antispam, filtrado web, sistema de prevención contra intrusos.
- Control unificado contra intrusos y filtrado de contenido.

#### 4.2.5 Diseño completo

Finalmente, ya definidas las rutas y los equipos necesarios para soportar esta red y teniendo en consideración que para esta primera etapa se va a contratar la capacidad deseada del proveedor Telefónica del Perú, se obtiene la figura 4.12:



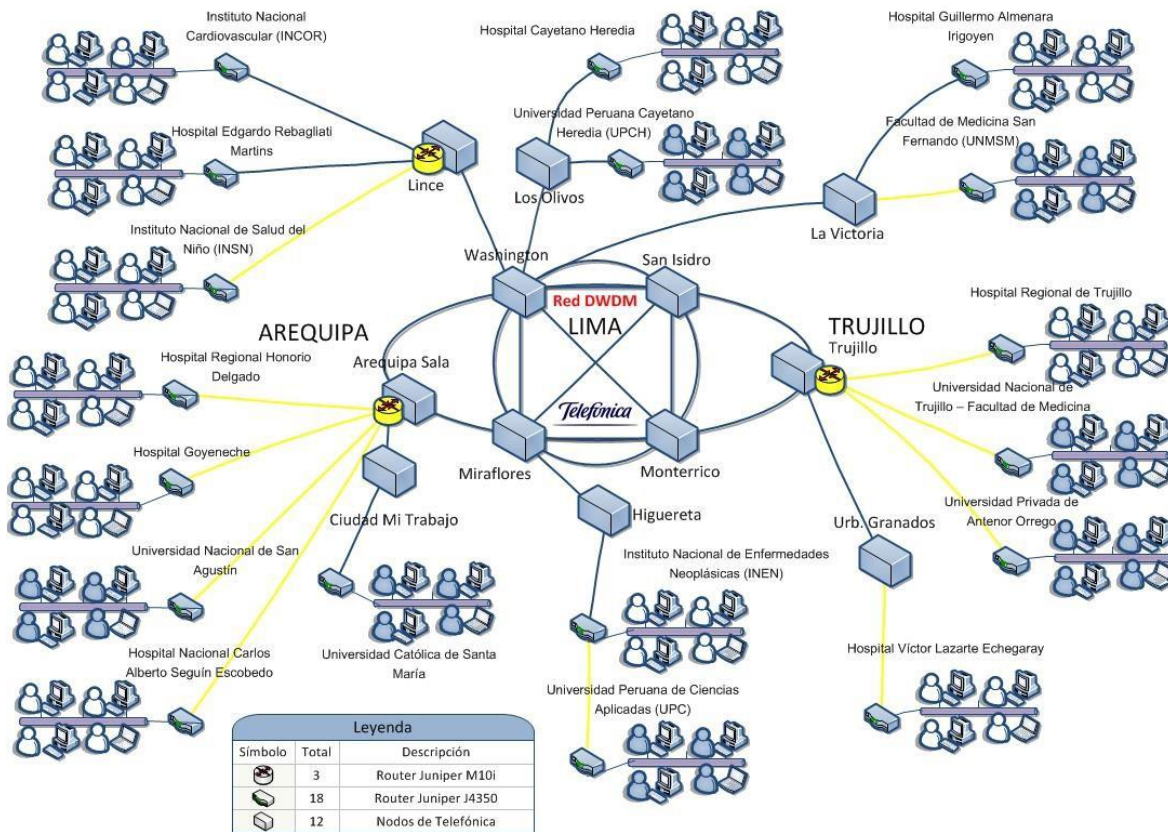


FIGURA 4-12: DISEÑO FINAL DE LA FASE 1

Fuente: "Propia"

Como podemos notar, Telefónica del Perú tiene anillos DWDM operando en Lima, Trujillo y Arequipa. Mediante las mismas contamos con redundancia de enlace y se incrementa la disponibilidad de la capacidad contratada ante cualquier eventualidad de la red.

Se concluye:

- ✓ El tendido de fibra a realizarse según lo diseñado en esta primera fase es el que se representa en la figura 4-11 en líneas amarillas e interconecta los nodos mostrados.
- ✓ Dado que las distancias hacia los nodos principales es menor a los 2000 Km, no es necesario el uso de repetidores ni amplificadores. Esto acarrea una reducción significativa en costos.
- ✓ Se va a necesitar 18 routers Juniper J4350 que van a localizarse en todos los centros que pertenecen a la red y adicionalmente 3 M10i que van a ser parte de la red de transporte y actuarán de routers de borde de cara a la red metropolitana.

- ✓ El servicio a ser contratado a Telefónica del Perú incluye redundancia de enlace entre los nodos principales de la zona sur, norte y centro.

### 4.3 Diseño de red en la segunda fase

Para la segunda fase del proyecto, se espera un incremento significativo en la capacidad requerida y se planea que sea superada a medida que se vayan interconectando más centros a la red de telemedicina. Para ello, en este capítulo se desarrollará el *backbone* de la red lo que implica interconectar Lima – Arequipa – Trujillo mediante un tendido de fibra óptica y equipos de transmisión propios.

Para lograrlo, se parte de la premisa que el cable de fibra óptica va a ser alquilado al operador Telefónica del Perú, situación que se conoce como fibra oscura. Es común esta práctica dado que los operadores suelen sobredimensionar sus redes a la hora de realizar el tendido de fibra óptica porque el costo del tendido es mucho más caro que el mismo cable, de esa forma se cuenta con respaldo ante cualquier eventualidad de la red y reservas que pueden ser usadas para alquilar como en este caso.

En la figura 4.13, se muestra los parámetros de atenuación y distancias que se tienen en el tramo de Trujillo – Lima – Arequipa de la fibra canalizada de Telefónica del Perú que pertenece a su red nacional.



**FIGURA 4-13: CANALIZACIÓN DEL BACKHAUL DE PERÚ (ENTRE TRUJILLO Y AREQUIPA)**

Fuente: "Propia"

Se tiene que cubrir una distancia total de 1670,8 Km entre el PoP de Arequipa y el PoP de Trujillo, para ello va a ser necesario determinar el equipamiento que se va a utilizar. Eso dependerá de la sensibilidad de la recepción como también de la potencia de amplificación que proporcione para poder hallar el rango de distancias que será capaz de alcanzar. Con ello, podremos definir los nodos de amplificación (denominados OLA) en donde se colocaran los equipos.

De la misma forma, se mantiene la capacidad contratada de la primera parte del proyecto debido a que se espera que esta sea la redundancia en caso se



produzca alguna falla en la red; de esta forma pretendemos brindar un servicio confiable.

#### 4.3.1 Equipamiento

Para la elección de equipos de transmisión se hará uso del ActiveFlex de Ciena, el cual es un equipo con la versatilidad de poder cambiar su funcionamiento u operar de varias formas dependiendo del tipo de tarjeta que se coloque y de la configuración. La principal utilidad de esta característica es que tiene las prestaciones para brindar escalabilidad a la red para que se pueda contar con diferentes configuraciones haciendo uso de distintos módulos. Todo esto posible sin necesidad de comprar un equipo nuevo para ello. Para mayor detalle del equipo, ver Anexo 7.

Se cuenta con las siguientes características:

- ✓ Soporta las siguientes configuraciones: Amplificador Óptico, Repetidor, Regenerador, Multiplexador/Demultiplexador, Transductor, Tributarios eléctricos y ópticos (SDH/SONET y PDH).
- ✓ Además soporta interfaces de 40 Gb/s, 10 Gb/s, 2,5 Gb/s, 40 Gb/s, 155Mb/s, 662Mb/s, 1.5Mb/s, 45Mb/s, 34Mb/s, 1GE, 10GE, FE. [TIW2009].
- ✓ La familia de los productos de Ciena que trabajan con tecnología WDM es flexible al cambio rápido del mercado y aseguran la puesta en práctica de nuevos servicios.
- ✓ Es un equipo que se adapta a cualquier tecnología y fabricante ya que tiene protocolos e interfaces estandarizadas.

En la tabla 4.11 se presenta un resumen de las características principal del equipo seleccionado.

TABLA 4-11: CARACTERÍSTICAS DEL ACTIVEFLEX 6500 DE CIENA

Característica	Descripción
Configuraciones	Amplificador Óptico
	Regenerador
	Conmutador
	Multiplexador/Demultiplexador
Interfaces	STM-256
	STM-64
	STM-16
	STM-4
	STM-1
	E1/T1
	E3/DS3
	1GE/10GE/FE
Sensibilidad Recepción	[-25 dBm, 10 dBm]
Salida	24 dBm

Definidos los equipos y obtenidos sus parámetros de sensibilidad y potencia de amplificación se procede a hallar el rango de distancia en que operará de forma óptima la red.

#### 4.3.1.1 Parámetros de transmisión

En la figura 4-12 se muestran las distancias Trujillo – Lima – Arequipa, las cuales ya son suficientemente significativas para ser consideradas redes Long Haul, razón por lo cual va a ser necesario determinar los parámetros de transmisión que se desarrollaron en la acápite 4.1.2. Recordemos para ello que en la red, como se mostró en la figura 4-8, va a ser necesario utilizar equipos que amplifiquen y/o regeneren la señal debido a la atenuación o dispersión que van acumulando a medida que la longitud del enlace se incrementa.

#### Atenuación de fibra óptica

Para determinar la atenuación del enlace y de acuerdo a ello determinar la ubicación de los equipos se va a usar la fórmula de atenuación total del enlace previamente descrita en el acápite 4.2.1. Esta depende de la longitud y de las características de los equipos a usar (potencias). También, como se mencionó anteriormente se hace uso de una atenuación de reserva, a la cual le damos un valor característico de 3 dB.

$$A_t = \alpha \cdot L + n_c \cdot A_c + n_e \cdot A_e + A_r \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

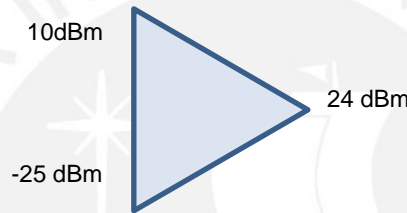
$A_t$ : Atenuación total del enlace



- $\alpha$ : Coeficiente de atenuación del cable es 0,25 dB/Km
- L: Longitud total de toda la sección de fibra medida
- $n_c$ : Número de conectores ( $n_c=2$ )
- $A_c$ : Atenuación por conector (0,2 dB)
- $n_e$ : Número de empalmes  $((L/5)+1)$ , l es la longitud de carrete)
- $A_e$ : Atenuación por cada empalme (0,15 dB)

$$A_t = 0,25 \times L + 2 \times 0,2 + ((L/5) + 1) \times 0,15 + 3 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Ahora, con los parámetros de potencia que obtuvimos del equipo tenemos lo siguiente:



**FIGURA 4-14: POTENCIAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL ActiveFlex 6500 DE CIENA**

Fuente: "Propia"

Utilizando los valores de sensibilidad de potencia en recepción, hallamos:

$$A_{min} = 24 - 10 = 14 \text{ dB}$$

$$A_{max} = 24 - (-25) = 49 \text{ dB}$$

Reemplazando ambos valores en la fórmula se obtiene:

$$A_t = 0,25 \times L + 2 \times 0,2 + ((L/5) + 1) \times 0,15 + 3 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$A_{min} \leq A_{total} \leq A_{max}$$

$$24 \leq 0,25 \times L + 2 \times 0,2 + ((L/5) + 1) \times 0,15 + 3 \leq 49 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$73 \text{ Km} \leq L \leq 162 \text{ Km}$$

Estos datos son suficientes para determinar la ubicación de los amplificadores de modo que se garantice su correcta operación, se deberá tener una distancia mayor a 73 Km y menor a 162 Km entre amplificadores.

### **Dispersión de fibra óptica**

Como se mencionó previamente, la dispersión produce degradación en la señal que se incrementa por diversos factores como la distancia. En este caso, la tecnología de los equipos que han sido escogidos es resaltable dado que no es necesario hacer uso de regeneradores dentro de nuestra red debido a que la longitud máxima en los enlaces de la red no superan la longitud máxima que tiene el equipo ActiveFlex 6500 para ser afectado por el efecto de la dispersión; esta longitud máxima es de 2000 Kilómetros. Más detalles en el Anexo 7.

### **Bit error ratio (BER)**

Para poder realizar pruebas de BER se requiere tener implementada la red en mención, pero ya que la presenta tesis no abarca la implementación se han realizado pruebas sobre un sistema DWDM en actual funcionamiento con características similares a las del segmento Lima – Arequipa (1039Km con 12 amplificadores EDFA) de nuestra red y en un enlace de 10Gbps, las cuales son:

- Longitud del segmento Arica – Lurín: 1379.934 Km
- Número de amplificadores EDFA: 23
- Lambda: 1555.34nm
- BER:  $10^{-6}$

Las mediciones fueron realizadas con un BERT JDSU 8000 (ver anexo 10) con el cual, luego de una prueba de 24 horas, se obtuvieron los resultados de la figura 4.15.

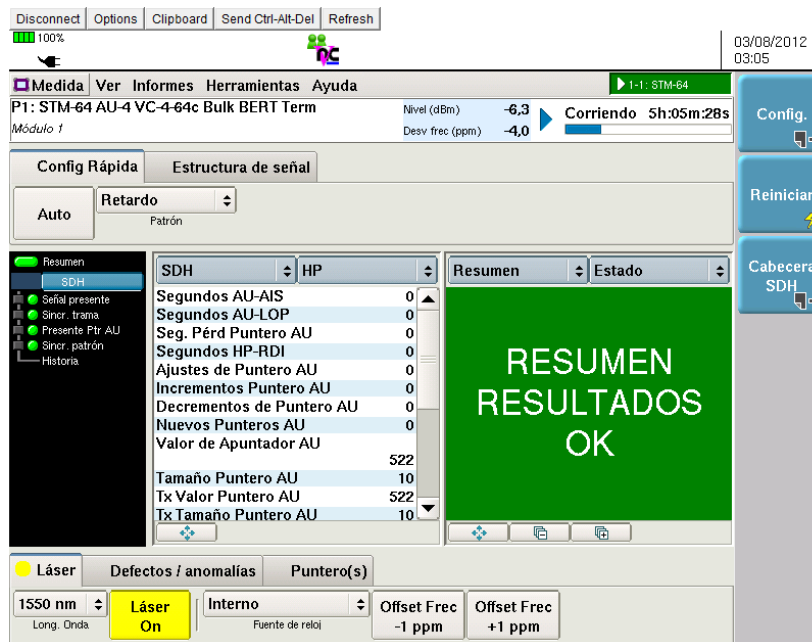


FIGURA 4-15: RESULTADOS DE PRUEBAS DEL BERT

Fuente: "Propia"

Con ello podemos concluir que con los parámetros definidos en nuestra red, la calidad de las mediciones de BER es exitosa al no presentar fallas durante el tiempo de medición.

Del mismo modo, se evaluó en el puerto del equipo Ciena distintos parámetros SDH y se obtuvo lo mostrado en la figura 4.16:

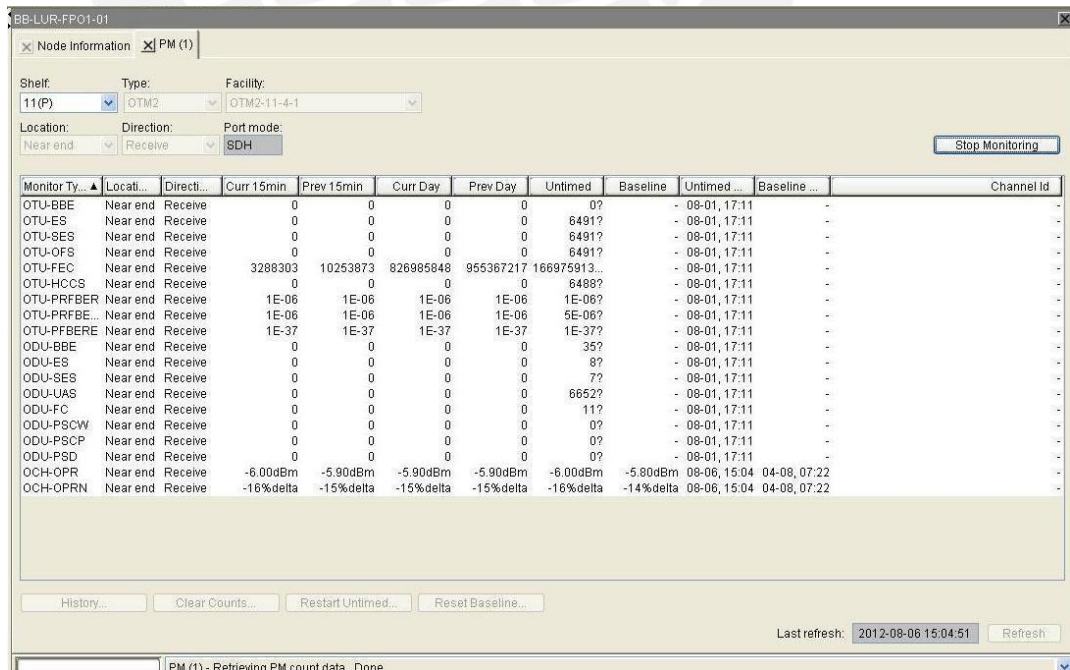


FIGURA 4-16: RESULTADOS DEL MONITOREO DEL PUERTO DE PRUEBA

Fuente: "Propia"

De lo obtenido en la figura 4.16 se tienen contadores durante 15 minutos y 24 horas en el que se acumula distintos parámetros dependiendo de lo que se capture de los recibido en la trama SDH. Algunos de los más utilizados son los siguientes:

- *BBE: Background Block Error*
- *ES: Errored Seconds*
- *UAS: Unavailable Seconds*
- *SES: Severely Errored Seconds*
- *OFS: Out of Frame Second*
- *FEC: Forward Error Correction*
- *PRFBE: Pre Forward Error Correction Bit Error Rate*
- *PFBERE: Post Forward Error Correction Bit Error Rate*

De acuerdo a lo obtenido en estas mediciones, se puede determinar si en el enlace analizado se presenta algún tipo de falla. En este caso, las mediciones relacionadas a segundos analizados no han presentado en lo que va de la medición ningún error por lo cual el contador está en cero.

Por otro lado, también se obtuvieron parámetros de *Forward Error Correction* (FEC) en el cual indica los valores de BER antes y después de ser aplicado el algoritmo de corrección de errores (FEC), con lo que se obtienen valores del orden de  $10^{-6}$  y uno mucho mejor en el orden de  $10^{-37}$  que hace muy evidente la calidad del algoritmo propietario fabricante Ciena al incrementar tan significativamente los valores BER.

Otro parámetro de evaluación de la calidad de servicio es el del retardo el cual puede ser medido también con el equipo JDSU, por lo que se obtuvo los valores del retardo de ida y vuelta: de 13.90 ms (ver figura 4.17).



**FIGURA 4-17: RESULTADOS DE PRUEBAS DE RETARDO**

Fuente: "Propia"

Con las mediciones obtenidas y haciendo una aproximación matemática se pudo calcular los retardos de cada segmento de la red como se muestra en la figura 4.18.



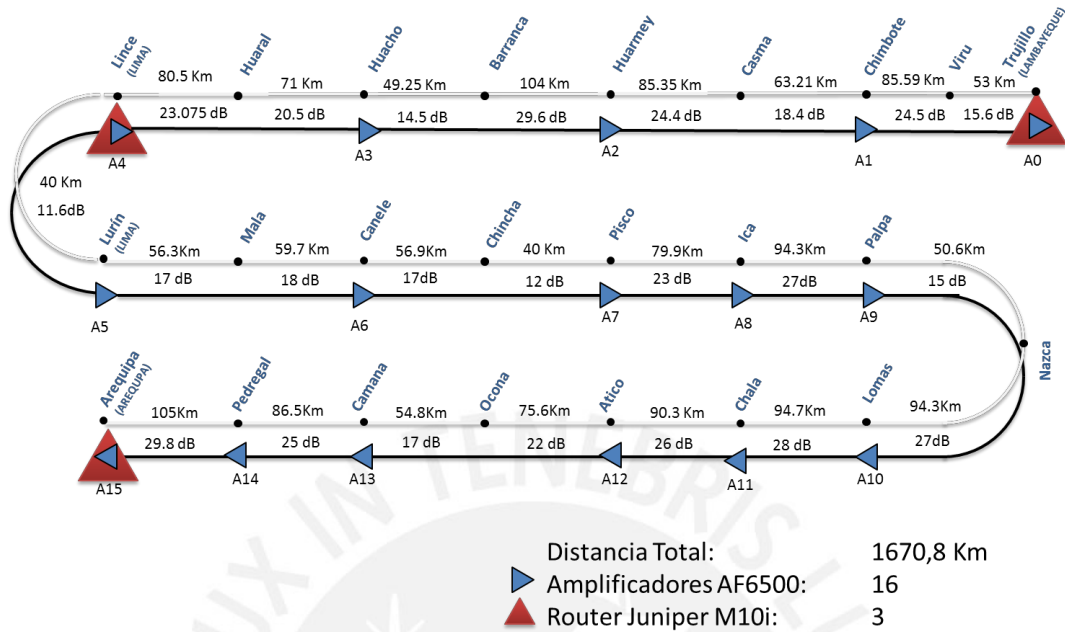
**FIGURA 4-18: RETARDOS EN LA RED FINAL**

Fuente: "Propia"

### 4.3.2 Diagrama de red

Procedemos ahora a determinar la ubicación de los amplificadores y la cantidad necesaria para cubrir los requerimientos, con ello en consideración se obtuvo la figura 4.19:





**FIGURA 4-19: DIAGRAMA DE RED FINAL FASE 2**

Fuente: "Propia"

Concluimos entonces que se va a requerir utilizar 16 amplificadores ActiveFlex 6500 de Ciena para los 1670,8 Km de distancia entre los nodos de Trujillo y Arequipa; de esa forma se ha de confrontar las atenuaciones que se presentan en el tramo. De igual forma, no se va a utilizar regeneradores por las características de los equipos que han sido seleccionados.

### 4.3.3 Proyección de la red a largo plazo

Para un futuro, se proyecta que la red se expanda de modo que también abarque otros departamentos del sur y del norte, por ello se consideró necesario elegir un nodo principal en el norte, sur y centro del país. Siguiendo este lineamiento, se estaría previendo brindar servicios de telemedicina a los largo de todo el litoral para de esa forma lograr mejorar las prestaciones en el sector salud y con uso de otras tecnologías (por ejemplo, redes inalámbricas) conseguir llegar a zonas rurales y de limitado acceso.

Por otro lado, las pruebas realizadas en el enlace de una red de 1380Km permiten corroborar el correcto funcionamiento de la red ante cualquier escenario previsible al que se vea probado en la futura red a implementar

debido a que hace de uso de los mismos equipos y trabaja bajo parámetros similares.

Finalmente, se considera necesario que la red pueda interconectarse con redes académicas más afianzadas y con mayor despliegue como CLARA, Intenet2, CANARIE, TERENA, y muchas otras que permitan que la información, los recursos, la experiencia, los conocimientos, etc.; sean compartidos y aprovechados dentro de nuestro país.



## Capítulo 5

### Aspecto económico y duración del proyecto

El principal objetivo de este capítulo es la de realizar la evaluación económica. Para ello se ha de considerar los costos de inversión en la implementación CAPEX (*CAPital Expenditure*) y los costos de operación OPEX (*OPerating EXpenditure*) pero en este caso no se va a hablar de rentabilidad dado que este proyecto está enfocado como un proyecto para beneficio social, razón por la cual se va a presentar un estudio de sostenibilidad relacionado a la telemedicina para medir el beneficio social, ambiental y económico que acarrea.

#### 5.1 Evaluación económica

La evaluación económica se detallada en las tablas de la 5.1 a la 5.6 para ello de detallado a continuación conceptos que se están considerando en los cálculos:

##### 5.1.1 Inversión

- **Material local:** El cual incluye aquellos equipos o bienes que se pueden adquirir en el mercado nacional.
- **Material importado:** El cual incluye todo los equipos que se requieren traer desde el extranjero. Se debe tener en cuenta que estos equipos sean adquiridos mediante el representante local de las empresas o fabricantes elegidos. Se tendrá en cuenta los costos de transporte, impuestos, etc.
- **Gastos generales:** Es el rubro que comprende los gastos directos (personal, equipos, oficinas, almacenes en obra, etc.) y gastos indirectos (impuestos, servicios y otros) en que el carrier o proveedor se hará cargo de la ejecución del proyecto.
- **Gastos de Instalación General:** Incluyen todos los gastos referidos a la instalación del tendido de la Fibra Óptica.

##### 5.1.2 Operación y mantenimiento

Esta red, una vez que comience a operar deberá tener un sistema de monitoreo y supervisión constante para reducir las fallas al mínimo, para lo cual se optó por

contratar los servicios de Telefónica del Perú. Esto incluye el mantenimiento en planta externa, el servicio de *housing* como también personal técnico para realización de trabajos en sitio (*smart hands*).

Por otro lado, para fines de supervisión de calidad de la red y de los servicios brindados por el proveedor se determina un **Ingeniero Responsable de Red**.

Finalmente, se mantendrá **contrato de mantenimiento con Juniper y Ciena** para el equipamiento comprado, lo que incluye: reposición de piezas averiadas, soporte técnico remoto, mantenimiento preventivo y correctivo de software y hardware.



**TABLA 5-1: FASE 1 - COSTOS DETALLADOS DE MATERIALES Y EQUIPOS A USAR**

ITEM	MATERIA L	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO TOTAL (US\$)	OBSERVACIONES
1	Importado	Cable Fibra Óptica	Km	31,5	1.600,00	50.400,00	6 carretes utilizables + 1 carrete de reserva
2	Local	Capacidad contratada 6xSTM-1 por año	STM-1	6	72.000,00	432.000,00	
3	Local	Imprevistos	conjunto	1	300.000,00	300.000,00	
4	Importado	Routers Juniper M10i	material	3	30.000,00	90.000,00	Incluye tarjetas 4xDS3
5	Importado	Routers Juniper J4350	material	18	8.000,00	144.000,00	Incluye tarjeta DS3
<b>SUB TOTAL - MATERIALES :</b>					<b>411.600,00</b>	<b>1.016.400,00</b>	

**TABLA 5-2: FASE 1 - COSTOS DETALLADOS DE CAPEX**

INFORMACIÓN GENERAL DE CAPEX - FASE 1							
1		Materiales en general	unid	1	1.016.400,00	1.016.400,00	Sub total de materiales
<b>SUB TOTAL - IMPUESTOS Y ARANCELES :</b>					<b>1.016.400,00</b>	<b>1.016.400,00</b>	
1		Impuestos y aranceles	unid	1	34.128,00	34.128,00	12% de los materiales importados
<b>SUB TOTAL - IMPUESTOS Y ARANCELES :</b>					<b>34.128,00</b>	<b>34.128,00</b>	
1		Transporte materiales	unid	1	28.440,00	28.440,00	10% de los materiales
<b>SUB TOTAL - TRANSPORTE DE MATERIALES :</b>					<b>28.440,00</b>	<b>28.440,00</b>	
1		Instalación	unid	1	71.100,00	71.100,00	25% de los materiales
<b>SUB TOTAL - INSTALACIÓN:</b>					<b>71.100,00</b>	<b>71.100,00</b>	
1		Empalmes y Pruebas de aceptación F.O.	unid	1	120.000,00	120.000,00	
<b>SUB TOTAL - EMPALMERÍA Y PRUEBAS F.O. :</b>					<b>120.000,00</b>	<b>120.000,00</b>	
1		Homologación de equipos	unid	2	127,00	254,00	
<b>SUB TOTAL - HOMOLOGACIÓN DE EQUIPOS :</b>					<b>127,00</b>	<b>254,00</b>	
<b>TOTAL CAPEX:</b>						<b>1.270.322,00</b>	



**TABLA 5-3: FASE 1 - INFORMACIÓN DETALLADA DE OPEX**

INFORMACIÓN DE GENERAL DE OPEX						
ITEM	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO TOTAL (US\$)	OBSERVACIONES
1	Ingeniero Encargado de Red	unid	1	2.000,00	2.000,00	Responsable de la Red
<b>SUB TOTAL - PERSONAL:</b>					2.000,00	
1	Contrato de mantenimiento JUNIPER	unid	1	2.925,00	2.925,00	Se considera el 15% del costo del equipamiento adquirido al fabricante.
2	Smart hand y housing de proveedor	unid	3	340,00	1.020,00	Se considera el mantenimiento por <i>housing</i> , técnicos en sitio para trabajos programados, correctivos y/o averías.
3	Monitoreo de equipos en NOC de proveedor	unid	3	200,00	600,00	Incluye las 3 regiones
4	Mantenimiento de planta externa por proveedor	unid	1	312,00	312,00	Se considera el costo de 20\$ por Km en Lima y 10\$ por Km en provincia anual
<b>SUB TOTAL - MANTENIMIENTO :</b>					4.545,00	
1	Gastos de Oficina y Adicionales	unid	1	1.500,00	1.500,00	Se considera línea telefónica, internet, líneas celulares para cada uno de los miembros de la empresa, movilidad.
<b>SUB TOTAL - ADICIONALES:</b>					1.500,00	
<b>TOTAL MENSUAL:</b>					<b>8.045,00</b>	
<b>TOTAL ANUAL:</b>					<b>96.540,00</b>	

**TABLA 5-4: FASE 2 - COSTOS DETALLADOS DE MATERIALES Y EQUIPOS A USAR**

ITEM	MATERIAL	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO TOTAL (US\$)	OBSERVACIONES
1	Local	Fibra Oscura	Km	Alquiler anual de FO	227.339,94	227.339,94	
2	Local	Capacidad contratada 6xSTM-1 por año	STM-1	6	72.000,00	432.000,00	De preferencia, un operador distinto a Telefónica del Perú
3	Local	Imprevistos	conjunto	1	300.000,00	300.000,00	
4	Importado	Amplificador Óptico	material	16	128.000,00	2.048.000,00	-
5	Importado	Regenerador Óptico	material	0	100.000,00	-	No se necesitará ninguno
<b>SUB TOTAL - MATERIALES :</b>					827.339,94	3.007.339,94	

**TABLA 5-5: FASE 2 - COSTOS DETALLADOS DE CAPEX**

INFORMACIÓN GENERAL DE CAPEX - FASE 2							
1		Materiales en general	unid	1	3.007.339,94	3.007.339,94	Sub total de materiales
<b>SUB TOTAL - MATERIALES :</b>					3.007.339,94	3.007.339,94	
1		Impuestos y aranceles	unid	1	245.760,00	245.760,00	12% de los materiales importados
<b>SUB TOTAL - IMPUESTOS Y ARANCELES :</b>					245.760,00	245.760,00	
1		Transporte materiales	unid	1	204.800,00	204.800,00	10% de los materiales
<b>SUB TOTAL - TRANSPORTE DE MATERIALES :</b>					204.800,00	204.800,00	
1		Instalación	unid	1	512.000,00	512.000,00	25% de los materiales
<b>SUB TOTAL - INSTALACIÓN:</b>					512.000,00	512.000,00	
1		Empalmes y Pruebas de aceptación F.O.	unid	1	120.000,00	120.000,00	
<b>SUB TOTAL - EMPALMERÍA Y PRUEBAS F.O. :</b>					120.000,00	120.000,00	
1		Homologación de equipos	unid	1	127,00	127,00	
<b>SUB TOTAL - HOMOLOGACIÓN DE EQUIPOS :</b>					127,00	127,00	
<b>TOTAL CAPEX FASE 2:</b>						4.090.026,94	

TABLA 5-6: FASE 2 - INFORMACIÓN DETALLADA DE OPEX

INFORMACIÓN DE GENERAL DE OPEX						
ITEM	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (US\$)	PRECIO TOTAL (US\$)	OBSERVACIONES
1	Ingeniero Encargado de Red	unid	2	2.000,00	4.000,00	Jefe de toda la red
<b>SUB TOTAL - PERSONAL:</b>					4.000,00	
1	Contrato de mantenimiento CIENA	unid	1	25.600,00	25.600,00	Se considera el 15% del costo del equipamiento adquirido al fabricante para el año.
2	Contrato de mantenimiento JUNIPER	unid	1	35.100,00	35.100,00	Se considera el 15% del costo del equipamiento adquirido al fabricante el año
3	Smart hand y housing	unid	1	11.500,00	11.500,00	Se considera el mantenimiento por housing, técnicos en sitio y campo para trabajos programados, correctivos y/o averías.
4	Monitoreo de equipos en NOC de proveedor	unid	18	300,00	5.400,00	Incluye las 3 regiones
5	Mantenimiento de planta externa por proveedor	unid	1	312,00	312,00	Se considera el costo de 20\$ por Km en Lima y 10\$ por Km en provincia anual
<b>SUB TOTAL - ELEMENTOS REPARACIÓN :</b>					77.600,00	
1	Gastos de Oficina y Adicionales	unid	1	2.000,00	2.000,00	Se considera línea telefónica, internet, líneas celulares para cada uno de los miembros de la empresa
<b>SUB TOTAL - ADICIONALES:</b>					2.000,00	
<b>TOTAL MENSUAL:</b>					<b>83.600,00</b>	
<b>TOTAL ANUAL:</b>					<b>1.003.200,00</b>	

## 5.1 Ingresos

Dado que el proyecto es de carácter social y no ha abarcado una evaluación de sostenibilidad para definir cuantitativamente los beneficios que se obtendrán; se va de mencionar algunos ejemplos de redes de la misma índole en otros países y de los resultados obtenidos:

- **Programa Nacional de Telesalud de México (2005)**

Ha conseguido generar ahorros considerables tanto a los pacientes como a la misma institución al reducir a 50% el traslado de pacientes e impartir teleconsultas. Estos logros le han valido al sistema de telesalud ser reconocido por la Organización Mundial de la Salud como el primer modelo mundial en salud pública y con el primer lugar en número de teleconsultas en el mundo.

La red en mención enlaza unidades hospitalarias para realizar consultas e intervenciones quirúrgicas con la asistencia de especialistas, en tiempo real y de forma interactiva, el cual ha ahorrado un total de un millón de dólares, que equivale al 47% del costo total de la red al reducir costos en tele administración, teleeducación y en el área asistencial[MAR2008].

- **Red Universitaria de Telemedicina de Brasil (RUTE)**

Está basada en la implantación de la infraestructura de comunicación en los Hospitales Universitarios y de Enseñanza, que comenzó en enero de 2006 con 19 hospitales universitarios hasta totalizar este año 158 instituciones beneficiadas por RUTE y cerca de 400 instituciones de salud que participan en eventos virtuales en la Red.

La existencia de RUTE tiene múltiples beneficios para la sociedad: no sólo pone a disposición la infraestructura de comunicación de los hospitales universitarios (conexión de 1GB por segundo) con Redes Comunitarias Metropolitanas de Enseñanza e Investigación (Redecomep), sala de

videoconferencia para teleconsulta y telediagnóstico; sino que además garantiza la calidad del servicio y la integración, estimula las investigaciones colaborativas, da cursos de formación interinstitucionales y de asistencia médica, involucra a los principales actores, tales como gobierno, sector académico y empresas, ofrece indicadores para la evaluación de los servicios y estructura y apoya grupos de interés en las especialidades de la salud.

Esta Red de Telemedicina Universitaria cuenta con el apoyo gubernamental del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil, a través de la Agencia Nacional para la Innovación, ejecutado por la Red Nacional de Enseñanza e Investigación (RNP) para todos los hospitales públicos universitarios y de enseñanza certificados (alrededor de 158). Evaluaciones ejecutadas en el país demuestran que la telemedicina permite el ahorro de hasta un 70% de los costos de asistencia y transferencia de pacientes, lo que es muy común en Brasil por sus regiones geográficas amplias y sin cobertura de especialistas; las cuales son similares a las del Perú [CEP2010].

- **Red de Datos y de Telefonía IP de la Micro Red de Salud del Napo (Perú) [GRT2013]**

El Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la PUCP fue el encargado de implementar una red de Telecomunicaciones en la zona del río Napo y de Torres Causana (provincia de Maynas, departamento de Loreto), el cual recorre buena parte de los territorios amazónicos de Ecuador y Perú. Esta zona es una de las más alejadas del país, en donde los servicios de agua potable son muy restringidos o no existen, el transporte fluvial no es continuo y posee uno de los más altos índices de muerte por malaria.

La red de telecomunicaciones se basa en el uso del estándar 802.11g en 2.4GHz más conocido como WiFi. La topología de la



red permite intercomunicar 11 establecimientos de salud de la micro red de salud del Napo brindándoles servicios de telefonía y transferencia de datos con lo que ayudara a mejorar la calidad de servicio a los pacientes dado que permitirán brindar servicios como Tele-estetoscopia, tele-ecografía, tele-consultas, entre otras.

La micro red de salud del Napo como tal comprende de 12 establecimientos de salud, dos de los cuales tienen categoría de centro de salud, los 10 establecimientos de salud restantes son puestos de salud de los cuales 9 son dirigidos y administrados por técnicos de enfermería; el centro de salud Santa Clotilde es la cabecera de la micro red Napo ubicado en el pueblo con el mismo nombre. Esta micro red esta administrado por congregaciones sacerdotales desde hace más de 20 años y en los últimos años tiene apoyo del MINSA.

El esquema general de la red del Napo consta de un enlace troncal que cubre una longitud de más de 300km, cubriendo entre dos puntos de red en promedio de 30km; los enlaces de distribución, los repetidores y las estaciones clientes.

Finalmente, se interconecta a internet mediante el Hospital Regional de Iquitos que cuenta con una conexión dedicada satelital contratada del operador Telefónica.

Como se mencionó, los principales servicios de telemedicina que se brindan en la red son tele – estetoscopia, tele ecografía, tele-microscopia y consultas a distancia. Adicionalmente, se brinda capacitaciones regulares a personal técnico de los centros de salud y las postas en el manejo de las herramientas y en el mantenimiento del equipamiento.[GRT2013]

## ***Conclusiones y recomendaciones***

### **Conclusiones**

- Mediante el presente proyecto se presenta un piloto de la posible red troncal para servicios de telemedicina a nivel nacional que será escalable y con infraestructura básica necesaria para soportar una expansión a nivel nacional.
- Se considera a las telecomunicaciones como causantes de un 2% de las emisiones que se generan al planeta, sin embargo es una herramienta para reducir el otro 98%. Bajo ese esquema, la telemedicina contribuye en este con reducir la necesidad de que los pacientes se desplacen, reduciendo así el consumo de combustible y los gases de efecto invernadero; con el propio uso de los ordenadores, que permite más eficiencia en el trabajo, ahorro de papel.
- Se debe considerar que al ser una red de telemedicina y una red académica avanzada, dará lugar a una mejor educación brindada a nuestros especialistas de la salud en formación.
- Al no hacer uso de repetidores o regeneradores, la red propuesta se encuentra en el completo dominio óptico, es decir, no se tendrá ninguna electrónica de por medio, lo cual se requiere para regenerar las señales ópticas. Al ser un enlace totalmente por medio de la fotónica se reducen los costos de implementación, ya que se evita la adquisición de equipos regeneradores.

## Recomendaciones

- Dado que se trata de un proyecto social, se hace necesario realizar una evaluación de sostenibilidad con la finalidad de determinar con valores cuantitativos el beneficio social que acarrea la telemedicina.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de interconectar la red troncal planteada con redes de accesos para zonas rurales de modo que sean inalámbricos. De esa forma, se reduce el impacto visual y la generación de residuos que pueda ocasionar otras soluciones, el impacto social que conlleva llevar tecnologías de gran magnitud a zonas de esta índole.
- Basándonos en la Ley 29904, el cual fue mencionado en el capítulo 1, se puede conseguir el financiamiento de FITEC para el despliegue de fibra óptica en los distritos involucrados y con ello reducir significativamente los costos en la primera fase del proyecto.
- La red académica avanzada en formación tiene la posibilidad de interconectarse con otras redes avanzadas como CLARA, etc.; que permitirán expandir el abanico de opciones que puede montarse sobre una red de esta capacidad.

## Bibliografía

- [MIN2009] MINISTERIO DE SALUD.  
Documento Técnico: Política Nacional de Calidad en Salud RM N° 727-2009/MINSA. Lima. 2009.  
URL:  
[http://www.minsa.gob.pe/portada/especiales/2010/calidad\\_salud/archivos/otros/politica\\_nacional\\_calidad.pdf](http://www.minsa.gob.pe/portada/especiales/2010/calidad_salud/archivos/otros/politica_nacional_calidad.pdf)
- [MIN2010] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.  
“Informe N° 01. Diagnóstico sobre el Desarrollo de La Banda Ancha en el Perú”. Lima. 2010.  
URL:  
[http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto\\_banda\\_ancha/INFORME%2001%20BANDA%20ANCHA.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/INFORME%2001%20BANDA%20ANCHA.pdf)
- [MIN20101] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.  
“Informe N° 02. Barreras que Limitan el Desarrollo de La Banda Ancha en el Perú”. Lima. 2010.  
URL:  
[http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto\\_banda\\_ancha/INFORME\\_02\\_BANDA\\_ANCHA\\_16\\_08\\_2010pm\\_correc27082010.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/INFORME_02_BANDA_ANCHA_16_08_2010pm_correc27082010.pdf)
- [MIN20102] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.  
“Informe N° 03. Visión, Metas y Propuestas de Política para El Desarrollo de La Banda Ancha en el Perú”. Lima. 2010.  
URL:  
[http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto\\_banda\\_ancha/INFORME\\_03\\_BANDA\\_ANCHA\\_.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/INFORME_03_BANDA_ANCHA_.pdf)
- [MIN20103] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.  
“Documento De Trabajo N° 01. Diagnóstico Preliminar Sobre El Desarrollo De La Banda Ancha En El Perú”. Lima. Junio 2010.  
URL:  
[http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto\\_banda\\_ancha/DOC%20TRABAJO%2001%20BANDA%20ANCHA%2010-junio-2010.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/DOC%20TRABAJO%2001%20BANDA%20ANCHA%2010-junio-2010.pdf)
- [MIN20104] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.  
“Documento De Trabajo N° 02. Barreras que Limitan El Desarrollo de La Banda Ancha en el Perú”. Lima. Julio 2010.  
URL:  
[http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto\\_banda\\_ancha/DOC\\_TRABAJO\\_02\\_BANDA\\_ANCHA\\_05.07.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/DOC_TRABAJO_02_BANDA_ANCHA_05.07.pdf)
- [MIN20105] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.  
“Plan de Desarrollo de Banda Ancha para el Perú”. Lima. 2010.  
URL:  
[http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto\\_banda\\_ancha/PUCP%20Plan%20de%20desarrollo%20de%20banda%20ancha%20para%20el%20Peru.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/PUCP%20Plan%20de%20desarrollo%20de%20banda%20ancha%20para%20el%20Peru.pdf)
- [MIN20106] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.  
“Mapa de Red Dorsal de Fibra Óptica Ideal”. Lima. 2010.

- URL:  
<http://www.mtc.gob.pe/portal/fibraoptica/mapas.html>
- [ESC2010] ESCALAYA ADVINCULA, DRA. MARÍA ELENA. Artículo: “Telemedicina y Diabetes.” Lima. Julio 2010.
- [UNI2009] UNIVERSIDAD DE LIMA - BARÓMETRO SOCIAL. “Encuesta Anual sobre la Situación de Salud en el Perú.” Lima Metropolitana y Callao. 2009.
- [RED2010] RED ACADÉMICA PERUANA.URL: <http://www.raap.org.pe/>
- [KYA2010] KYATERA. URL: <http://www.kyatera.fapesp.br/>
- [CLA2010] CLARA. URL: <http://www.redclara.net/>
- [KOP2006] KOPEC POLISZUK, A.; SALAZAR GÓMEZ, A. J. “Aplicaciones de Telecomunicaciones en la Salud en la Subregión Andina”. Lima. 2006.
- [PED2006] PEDRO FRANCKE, J. A. “Salud en el Perú: diagnóstico y propuestas para el.” Lima. 2006.
- [ORT2006] ORTEGA TAMARIT, BEATRIZ; CAPMANY FRANCOY, JOSÉ. “Redes Ópticas”. España. 2006.
- [MUT2009] MUTAFUNGWA, EDWARD. Presentación: “Future Directions in Optical Networking”.  
URL:  
[http://www.comlab.hut.fi/studies/3340/Lecture%2011\\_Future%20Directions%20in%20Optical%20Networking.pdf](http://www.comlab.hut.fi/studies/3340/Lecture%2011_Future%20Directions%20in%20Optical%20Networking.pdf)
- [ARJ2008] ARJUN SURI, B.A. Presentación: “¿El Derecho de qué?: La Calidad de Servicios en Salud de los CLAS en Red Huamanga”.  
URL:  
[http://institudelperu.org.pe/descargas/Eventos/Conversatorios/2010/presentacion\\_junio\\_2010\\_arjun\\_suri.pdf](http://institudelperu.org.pe/descargas/Eventos/Conversatorios/2010/presentacion_junio_2010_arjun_suri.pdf)
- [PLA2009] PLAYÁN, ANDRÉS. Artículo: “Las redes ópticas de nueva generación” Mayo. 2009.  
URL: <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit174/53-56s.pdf>
- [NOR2002] NORRIS, A. C. “Essentials of Telemedicine and Telecare”. Editorial John Wiley & Sons, Enero 28, 2002.
- [PAL2001] PALAU, ENRIQUE. “Telemedicina: un intento de aproximación desde la Gestión Sanitaria”, Revista española de Administración Sanitaria, Vol. 5, Número 19, 2001.
- [PAS2003] PASCUAL, ALEJANDRO. “Telepatología estática”. Revista Española de Vol. 36, nº 3, 2003.



- [CAS2005] CASANOVA, JOSEPH. "Teledermatología". Revista Med Cutan Iber Lat Am, 2005
- [SAL2009] SALAVERRY, OSWALDO; CÁRDENAS-ROJAS, DANIEL. "Establecimientos Asistenciales del Sector Salud". 2009
- [INT2004] INTERFACE SURGICAL TECHNOLOGIES, LLC. "Tele-Medicine --- Tele-Surgery". California. 2004.  
URL: <http://www.intersurgtech.com/tele-medicine.html>
- [TIW2009] TELEFÓNICA INTERNATIONAL WHOLESALE SERVICES (TIWS). Presentación: "Tecnología Nortel - Ciena". Lima. 2009.
- [TIW2010] TELEFÓNICA INTERNATIONAL WHOLESALE SERVICES (TIWS). Presentación: "Segmento Terrestre Argentina - Chile". Lima. 2010.
- [JUN2011] JUNIPER NETWORKS. "M10I Multiservice Edge Router"  
URL: <http://www.juniper.net/us/en/products-services/routing/m-series/m10i/>
- [JUN20111] JUNIPER NETWORKS  
"J4350".  
URL: <http://www.juniper.net/us/en/products-services/routing/j-series/j4350/>
- [RIO2005] RIOS, MARIO. Artículo: "Perspectivas de la Telemedicina en Perú". 2005.  
URL:  
[http://www.usmp.edu.pe/medicina/horizonte/2005\\_II/Art8\\_Vol5\\_N2.pdf](http://www.usmp.edu.pe/medicina/horizonte/2005_II/Art8_Vol5_N2.pdf)
- [INE2007] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS E INFORMATICA  
"Información del Sector Salud". Lima. 2007.  
URL: <http://www.inei.gob.pe/Sisd/index.asp>
- [FOF2010] FIBER OPTICS FOR SALE Co.  
"What is BER (Bit Error Ratio) and BERT (Bit Error Ratio Tester)?" . Lima. California. Diciembre 2010.  
URL: <http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/what-is-ber-bit-error-ratio-and-bert-bit-error-ratio-tester/>
- [ROB2010] ROBERTS, KIM; BECKETT, DOUGLAS; BOERTJES, DAVID; BERTHOLD, JOSEPH; LAPERLE, CHARLES. "100G and Beyond with Digital Coherent Signal Processing". Revista IEEE Communications. Julio 2010.
- [CEP2010] CEPAL. "RUTE: telemedicina y capacitación". 2010-2011.  
URL:  
<http://www.eclac.cl/cgi-bin/getprod.asp?xml=/socinfo/noticias/paginas/6/40936/P40936.xml&xsl=/socinfo/tpl/p18f.xsl&base=/socinfo/tpl/top-bottom.xsl>
- [MAR2008] MARISCAL, JUDITH; GIL-GARCÍA, RAMON; RAMIREZ, FERNANDO. "E-salud en México", División Administrativa Pública, Número 208, 2008.

- [NAP2006] NAP – PERU “Características técnicas de los Miembros del NAP Perú”. 2006.  
URL:  
<http://www.nap.pe/Caract-tec-NAP.pdf>
- [TDP2012] TELEFÓNICA DEL PERÚ. “Resultados al cierre del 2011”. 2012.  
URL:  
[http://www.telefonica.com.pe/news/shtml/NP\\_09022012.shtml](http://www.telefonica.com.pe/news/shtml/NP_09022012.shtml)
- [GTR2012] GRUPO DE TELECOMUNICACIONES RURALES. “Red Napo”. 2013.  
URL:  
<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/>
- [INE2011] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS E INFORMATICA “CENSO NACIONAL UNIVERSITARIO 2010”. Lima. 2011.  
URL  
[http://desa.inei.gob.pe/cenaun/redatam\\_INEI/#](http://desa.inei.gob.pe/cenaun/redatam_INEI/#)



## Anexos

### **Anexo 1: Demanda de profesionales de la Salud.**

Se presenta en este anexo una noticia reportada en el diario Perú21, en la cual se la falta de profesionales de la salud en nuestro país.

### **Anexo 2: Crecimiento Esperado de la Telecirugía**

Se presenta en este anexo un artículo de la revista científica de salud MedMarkets donde presenta el crecimiento esperado de la telecirugía, aplicaciones actuales y normas emitidas para cada una de ellas en USA.

### **Anexo 3: Estudio del Arte de las Tecnologías de la Información (TICS): Caso Latinoamérica**

Se presenta en este anexo una parte de un documento electrónico de la Universidad de Medellín en el que se presenta un estudio de las redes académicas actuales de las cuales presenta las falencias en las redes del Perú en su plataforma como en su organización.

### **Anexo 4: Fibra Óptica Prysmian Freelight.**

Se presenta en este anexo la información técnica de la Fibra Óptica a usar.

### **Anexo 5: Cable para Fibra Óptica Prysmian para Ductos.**

Se presenta en este anexo la información técnica del cable de revestimiento de Fibra Óptica a usar.

### **Anexo 6: Juniper M10i**

Se presenta en este anexo la información del equipo amplificador/regenerador a usar.

### **Anexo 7: Juniper J4365**

Se presenta en este anexo la información del equipo ADM a usar.

### **Anexo 8: ActiveFlex6500**

Se presenta en este anexo la información del equipo amplificador/regenerador a usar.

### **Anexo 9: Homologación de Equipos.**

Se presenta en este anexo las solicitudes a presentar para homologar equipos según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### **Anexo 10: JDSU T-BERTD /MTS-8000 Scalable Multitest Platform**

Se presenta la información técnica del equipo utilizado en las mediciones de BER y retardo.

### **Anexo 11: Resultados de las pruebas de retardo en enlace de 10Gbps**

Se presenta los resultados obtenidos del equipo JDSU 8000 en las pruebas de retardo.

### **Anexo 12: Resultados de las pruebas de BER en enlace de 10Gbps**

Se presenta los resultados obtenidos del equipo JDSU 8000 en las pruebas de Bit Error Rate.

### **Anexo 13: ITU-T G.694.1**

Se presenta en detalle información sobre la norma.

### **Anexo 14: Ley 29904, Promoción de Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica**

Se presenta en la ley correspondiente obtenida del "El Peruano".