

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



DISEÑO DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES ENTRE
LOS HOSPITALES ESSALUD DE CUSCO Y URUBAMBA

Tesis para optar el título de ingeniero electrónico

Presentado por:
Héctor Rafael Canal Camero

Lima - PERÚ
2006

RESUMEN

La carencia de un enlace de comunicaciones entre el Hospital categoría 4 ESSALUD de Cusco, con una población de 19,317 asegurados y el Hospital Categoría 1 ESSALUD de Urubamba, con una población de 5,505 asegurados, impide hasta la fecha brindar servicios de telemedicina, videoconferencias, Telefonía IP, intercambio de información e internet, en este contexto, el objetivo principal de la presente investigación es el diseño de un enlace microondas que permitirá brindar los servicios antes mencionados entre los dos hospitales, para de esta manera, lograr un incremento en la cobertura de atención médica, mejorar la calidad del servicio de salud, incrementar la eficiencia en el manejo administrativo, y permitir la actualización del personal médico y técnico.

El presente estudio se divide en cuatro capítulos. El primero desarrolla la problemática de los Hospitales, enfatizando el análisis de las deficiencias y limitaciones del Hospital de Urubamba respecto a los servicios de telecomunicaciones. El capítulo segundo desarrolla las tecnologías usadas para implementar sistemas de comunicaciones. El tercer capítulo presenta la metodología para el enlace de microondas, se plantean indicadores cualitativos y cuantitativos, los objetivos principales y secundarios, la hipótesis principal y secundarias, así como las características del enlace. El cuarto capítulo desarrolla el diseño y diagrama completo del enlace microondas de manera práctica y teórica utilizando la herramienta Radiomobile; determinándose la altura de las torres y márgenes de señal para cada enlace, para luego establecer la selección de equipos y la estructura de costos del enlace microondas, con lo cual, se demuestra que el diseño del enlace entre los Hospitales antes mencionados resulta técnica y económicamente viable.

ÍNDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u>	XII
 <u>CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA SITUACIONAL DE LOS HOSPITALES ESSALUD EN CUSCO Y URUBAMBA</u>	
1.1. Contexto global	1
1.2. Contexto local	2
1.2.1. Factores políticos	2
1.2.2. Programa Nacional de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento (PRONIEM)	2
1.3. Diagnóstico situacional del Hospital categoría 4 ESSALUD sur este del Cusco	2
1.3.1. Ubicación geográfica	3
1.3.2. Servicios de salud	4
1.4. Diagnóstico situacional del Hospital categoría 1 ESSALUD de la provincia de Urubamba sub sede del Hospital sur este ESSALUD Cusco	5
1.4.1. Ubicación geográfica	5
1.4.2. Medios de acceso	6
1.4.3. Infraestructura, servicios, equipamiento médico y de cómputo	6
1.4.4. Principales recursos económicos	8
1.4.5. Deficiencias y limitaciones respecto a los servicios de salud	8
1.4.6. Deficiencias y limitaciones respecto a los servicios de telecomunicaciones	9

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO RELACIONADO CON EL DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES EN EL SECTOR RURAL

2.1.	Presentación del asunto de estudio	11
2.2.	Tecnologías de comunicaciones basadas en radio enlaces	12
2.2.1.	Sistemas basados en alta frecuencia (HF)	12
2.2.2.	Enlaces de microondas	14
2.2.2.1.	Zonas de fresnel	15
2.2.2.2.	Diversidades en los sistemas de transmisión	16
2.2.2.3.	Procedimiento para determinar los planes de enrutamiento	19
2.2.2.4.	Características de los estándares IEEE 802.11 a / b / g	21
2.2.2.5.	Multiacceso radial (MAR)	23
2.2.3.	Accesos basados en sistemas celulares	25
2.2.3.1.	Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	25
2.2.3.2.	Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	26
2.2.3.3.	Acceso múltiple por división de códigos (CDMA)	27
2.2.4.	Terminales de muy pequeña apertura (VSAT)	29
2.3.	Transmisión de datos por medio de redes convencionales	31
2.3.1.	Modems	31
2.3.1.1.	Modems sincronicos y asincronicos	33
2.3.1.2.	Normalización y protocolos	34
2.3.2.	Protocolo de Control de Transmisión (TCP)/Protocolo de Internet (IP)	36
2.4.	Cuadro comparativo de las tecnologías mencionadas	37
2.5.	Selección de la tecnología	39

CAPITULO 3: METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES

3.1.	Metodología de la investigación	41
3.1.1.	Nivel de la investigación	41
3.1.2.	Tipo de investigación	41
3.2.	Hipótesis de la investigación	42
3.2.1.	Hipótesis principal	42
3.2.2.	Hipótesis secundaria	42
3.3.	Objetivos de la investigación	43
3.3.1.	Objetivo principal	43
3.3.2.	Objetivos secundarios	43
3.4.	Definiciones operativas para un enlace microondas	44
3.4.1.	Indicadores cualitativos	44
3.4.2.	Indicadores Cuantitativos	45
3.5.	Características del enlace de comunicaciones	46
3.5.1.	Tráfico del enlace	46
3.5.2.	Estándar para el enlace de comunicaciones	49
3.5.3.	Definición de las rutas para establecer el enlace privado entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba	50
3.5.4.	Sistema de protección eléctrica	61
3.6.	Normativa para el uso de frecuencias y equipos	61

CAPITULO 4: PROPUESTA DE DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES

4.1.	Diseño del enlace	63
4.1.1.	Cálculo de la altura de torres	64
4.1.2.	Cálculo de la potencia necesaria en el transmisor	65

4.1.2.1. Configuración del programa radiomobile	65
4.1.2.2. Simulación de los enlaces de comunicaciones	71
4.2. Propuesta del enlace de comunicaciones	78
4.3. Selección de equipos	80
4.4. Estructura de costos	95
<u>CONCLUSIONES</u>	98
<u>RECOMENDACIONES</u>	101
<u>FUENTES</u>	102
<u>ABREVIACIONES</u>	104
<u>GLOSARIO</u>	106
<u>ANEXOS</u>	

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1	Hospital ESSALUD de Cusco	3
Figura 1.2	Hospital ESSALUD de Urubamba	5
Figura 1.3	Sala de computo para el manejo administrativo y atención de los asegurados	7
Figura 1.4	Computadora Pentium II utilizada por el personal administrativo, médico y técnico del Hospital	7

CAPITULO 2

Figura 2.1	Efecto del ángulo sobre la distancia de salto, todas las ondas están a la misma frecuencia	13
Figura 2.2	Variación de la distancia con la frecuencia	14
Figura 2.3	Zonas de Fresnel	16
Figura 2.4	Diversidad de frecuencia	18
Figura 2.5	Diversidad de espacio	19
Figura 2.6	Línea recta entre dos puntos en la zona de interés	20
Figura 2.7	Perfil entre dos puntos	20
Figura 2.8	Separación de canales del estándar 802.11b	22
Figura 2.9	Configuración de una red de multiacceso radial (MAR)	23
Figura 2.10	Configuración de una red de comunicaciones con cobertura radial.	24
Figura 2.11	Configuración de una red de comunicaciones con cobertura en derivación	24
Figura 2.12	Configuración de una red de comunicaciones con cobertura lineal.	25
Figura 2.13	Esquema de acceso múltiple por división de frecuencia	26
Figura 2.14	Esquema de acceso múltiple por división de tiempo	26
Figura 2.15	Señales con la misma potencia pero con diferente ancho de banda	27

Figura 2.16	Esquema de acceso múltiple por división de códigos de banda ancha	28
Figura 2.17	Diagrama de bloques de una estación terrestre de transmisión VSAT	30
Figura 2.18	Diagrama de bloques de una estación terrestre de recepción VSAT	30
Figura 2.19	Elementos de una comunicación entre dos equipos terminales de datos	32
Figura 2.20	Elementos de una comunicación entre equipos terminales de datos	33

CAPITULO 3

Figura 3.1	Mapa geográfico: enlace de comunicaciones entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba	51
Figura 3.2	Principales obstáculos topográficos comprendidos entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba	52
Figura 3.3	Línea de vista existente entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba	52
Figura 3.4	Perfil topográfico entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba	53
Figura 3.5	Perfil topográfico del Hospital de Cusco y la Estación Repetidora 1	55
Figura 3.6	Perfil topográfico desde la ubicación de la Estación Repetidora 1 hacia la Estación Repetidora 2	56
Figura 3.7	Perfil topográfico desde la ubicación de la Estación Repetidora 2 hacia la Estación Terminal del Hospital de Urubamba	57
Figura 3.8	Mapa geográfico: Plan de enrutamiento para el radio enlace digital entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba	60

CAPITULO 4

Figura 4.1	Configuración del programa radiomobile: características del terreno	66
------------	---	----

Figura 4.2	Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Terminal 1	68
Figura 4.3	Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Repetidora 1	69
Figura 4.4	Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Repetidora 2	70
Figura 4.5	Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Terminal 2	71
Figura 4.6	Propuesta de un enlace microondas entre los Hospitales ESSALUD de Cusco Y Urubamba	78
Figura 4.7	Tarjeta Soekris net 4521	83
Figura 4.8	Tarjeta Soekris net 4511	83
Figura 4.9	Tarjeta inalámbrica Senao NL-2511CD PLUS EXT2 200mw	87
Figura 4.10	Pigtail MMCX to N-Male	89
Figura 4.11	Lightning Protector Model AL6-NMNFB (N-female a N-male)	89
Figura 4.12	Conector tipo "N" male	90
Figura 4.13	Conector tipo "N" female	90
Figura 4.14	Antena tipo grid Modelo HG2419G (19 dB)	91
Figura 4.15	Antena tipo grid Modelo HG2424G (24 dB)	91
Figura 4.16	Diagrama de conexiones de las Estaciones Terminales 1 y 2	93
Figura 4.17	Diagrama de conexiones de las Estaciones Repetidoras 1 y 2	94

INDICE DE TABLASCAPITULO 1CAPITULO 2

Tabla 2.1	Espectro radio eléctrico de las microondas	15
Tabla 2.2	Ventajas y desventajas de los sistemas basados en HF, enlaces microondas y terminales de muy pequeña apertura (VSAT)	37

CAPITULO 3

Tabla 3.1	Índices de transmisión para telefonía IP según el estándar H.323 .	47
Tabla 3.2.	Índice de Transferencia mínimo para el enlace de comunicaciones	48
Tabla 3.3	Coordenadas geográficas, vías de acceso, seguridad y suministro de energía de las Estaciones Terminales y Estaciones Repetidoras	59

CAPITULO 4

Tabla 4.1	Altura de las torres para las Estaciones Terminales y Estaciones Repetidoras	65
Tabla 4.2	Valores de conductividad y permitividad para un determinado tipo de terreno	66
Tabla 4.3	Valores de sensibilidad, potencia recibida y margen de señal para cada uno de los enlaces de acuerdo al plan de enrutamiento	74
Tabla 4.4	Factores de rugosidad y conversión para una determinada área y terreno	75
Tabla 4.5	Cálculo de la potencia recibida, sensibilidad y margen de señal para el enlace: Estación Terminal 1 – Estación Repetidora 2	77
Tabla 4.6	Modelos y características de equipos Access Point (AP)	84
Tabla 4.7	Modelos y características de tarjetas inalámbricas	88
Tabla 4.8	Partes y equipos utilizados para la implementación de las Estaciones Terminales y Estaciones Repetidoras	92

Tabla 4.9	Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Terminal 1	95
Tabla 4.10	Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Repetidora 1	96
Tabla 4.11	Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Repetidora 2	96
Tabla 4.12	Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Terminal 2	97

INTRODUCCION

Desde finales del siglo XX la necesidad de transmitir información ha venido incentivando el desarrollo de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información y comunicación; como resultado de este desarrollo existen en el mercado tecnologías que han sido diseñadas específicamente para zonas rurales y países en vías de desarrollo a precios accesibles que permiten reducir la brecha digital existente con los países desarrollados. Así por ejemplo, se encuentran sistemas con terminales de muy pequeña apertura (VSAT), alta frecuencia (HF) o microondas que permiten comunicaciones a pequeña, mediana o gran distancia entre dos o mas puntos remotos.

Con el uso de estas tecnologías se puede implementar redes de comunicaciones que involucren usuarios ubicados en zonas distantes o remotas; por ello y tomando en consideración nuestro objeto de estudio, estos sistemas pueden ser aplicados en la interconexión de hospitales de infraestructura superior (Categoría 4) con centros de salud, postas médicas u hospitales de menor categoría; y además, permiten administrar los recursos económicos o informáticos y la capacitación del personal desde el hospital de mayor categoría.

Actualmente, se requiere sistemas privados de comunicaciones para interconectar a una empresa o entidad pública, que tiene sedes dispersas a lo largo del territorio nacional, con el fin de intercambiar información relevante para ellas; prueba de ello son algunas entidades del sector público; como la red de los Hospitales ESSALUD con

urgentes necesidades de interconexión en zonas alejadas como ocurre en la Región Cusco.

Un caso palpable en la mencionada región lo constituye el Hospital Categoría 1 ESSALUD de Urubamba con una población de 5,505 asegurados, el cual no cuenta con equipos médicos para realizar intervenciones quirúrgicas de mediana o alta complejidad, especialidades básicas para la atención de los pacientes, por ello se hace necesario crear un enlace de comunicaciones que permita la comunicación permanente con el Hospital ESSALUD de Cusco por ser de categoría superior, con una población de 19,317 asegurados; de esta forma el presente trabajo, propone el diseño de un enlace de comunicaciones entre el Hospital Categoría 4 ESSALUD Cusco y el Hospital Categoría 1 ESSALUD Urubamba; este enlace permitirá brindar los servicios de telemedicina, videoconferencias, telefonía IP, acceso a internet y la transmisión de datos, para de esta manera, lograr un incremento en la cobertura de atención médica, mejorar la calidad del servicio de salud, incrementar la eficiencia en el manejo administrativo, y permitir la actualización del personal médico y técnico. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es el diseño de un enlace microondas entre el Hospital ESSALUD de Cusco y Urubamba.

Para el desarrollo del enlace de comunicaciones, el presente trabajo de investigación se divide en 4 capítulos. En el primer capítulo, se trata la problemática actual del Hospital ESSALUD de Urubamba, de esta forma se presentan las limitaciones médicas, administrativas y de infraestructura del Hospital, así como de la falta de un sistema de comunicaciones apropiado con el Hospital ESSALUD de Cusco, que permita mejorar las necesidades anteriormente mencionadas del Hospital ESSALUD de Urubamba.

En el segundo capítulo, se desarrollan las tecnologías actuales utilizadas para la transferencia de datos. Entre las más importantes se tiene las comunicaciones VSAT que permiten comunicaciones a pequeña, mediana o gran distancia entre dos o más puntos ubicados remotamente, ofreciendo elevados anchos de banda (Mbps) para prestar servicios integrados de voz, datos y video de manera simultánea; por otro lado, tenemos los sistemas HF que también permitan conectar puntos remotos a gran distancia con la diferencia que el índice de transmisión (Kbps) está muy por debajo para prestar los servicios de voz, datos y video. La tercera propuesta tecnológica está representada por los sistemas microondas, éstos tienen un índice de transferencia adecuado para integrar los servicios antes mencionados, permitiendo brindar los servicios de telemedicina, videoconferencias, telefonía IP y transferencia de datos, de los cuales podremos escoger el más adecuado para la solución de la problemática planteada.

En el tercer capítulo, se efectúa la selección de un enlace microondas como tecnología apropiada, ya que satisface los requerimientos técnicos y las necesidades planteadas por el Hospital ESSALUD de Cusco y Urubamba. Asimismo, se plantea las características del enlace de comunicaciones; entre ellas analizamos el tráfico que debe soportar el enlace, y a continuación se define el estándar de comunicaciones. Por otro lado, se establece el plan de enrutamiento óptimo para el enlace, el cual estará constituido por 2 Estaciones Terminales y 2 Estaciones Repetidoras; en consecuencia, se determina tres enlaces siguiendo la ruta Estación Terminal 1 (Hospital de Cusco) – Estación Repetidora 1, Estación Repetidora 1 – Estación Repetidora 2, Estación Repetidora 2 – Estación Terminal 2 (Hospital de Urubamba). Con la definición del plan de enrutamiento se presentan los perfiles topográficos para cada uno de los enlaces así como sus principales características, señalando además

las medidas de seguridad con que cada estación deberá contar para tener una adecuada protección contra descargas atmosféricas.

El cuarto capítulo desarrolla el diseño del enlace microondas. Se procede con el cálculo de la altura de las torres, determinación de la potencia de transmisión necesaria para cada uno de los enlaces, valores que se obtienen matemáticamente y con el uso de la herramienta radio mobile; el diseño del enlace microondas es presentado mediante un diagrama. Con el cálculo de la potencia se hace la selección de los equipos considerando los valores calculados y las condiciones atmosféricas de la zona (velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad). Por último se presenta la estructura de costos para la implementación de cada una de las estaciones. Es preciso mencionar que para el cálculo de los parámetros del enlace se ha considerado márgenes de seguridad, sistemas de protección eléctricos, condiciones climáticas de la zona, recomendaciones de diseño de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para garantizar el óptimo funcionamiento del enlace de comunicaciones.

Para establecer el diseño de un enlace microondas entre ambos Hospitales, partimos del análisis de la problemática del Hospital ESSALUD de Urubamba, siendo este de categoría inferior, se observa las deficiencias en los servicios de atención médica, manejo administrativo y limitada infraestructura para la atención adecuada de los asegurados. El Hospital ESSALUD Cusco de categoría superior, y siendo este la sede principal de la ciudad, está en la capacidad de brindar servicios de atención médica a distancia (telemedicina), administrar de manera global los recursos de las sub sedes, capacitar al personal médico y técnico (teleeducación) e intercambio de información.

En consecuencia, se busca un medio de comunicación privado que permita la utilización de los recursos del Hospital ESSALUD Cusco para mejorar la problemática del Hospital ESSALUD de Urubamba. Es así como se plantea la comunicación permanente entre ambos Hospitales a través de un medio, entre éstos tenemos tecnologías basados en radioenlaces y la transmisión de datos por redes convencionales. Las tecnologías basadas en radioenlaces se adaptan técnica y económicamente al medio en comparación a las redes convencionales, ya que, los sistemas inalámbricos permiten la interconexión de puntos remotos o distantes sin la necesidad del tendido de cables sobre terrenos montañosos y de difícil acceso que hacen imposible la utilización de este medio. Como solución se elabora el diseño de un enlace microondas que permita la comunicación permanente entre ambos Hospitales. Para el desarrollo del enlace de comunicaciones se hizo necesaria la utilización de herramientas informáticas como el programa radiomobile, utilizado para el diseño de redes microondas, estas herramientas han permitido simplificar las operaciones matemáticas, obteniendo una mejor aproximación en los resultados. Además de equipos de posicionamiento global (GPS) que nos permiten obtener las coordenadas geográficas de un punto remoto con gran precisión y catalejos que hacen posible verificar la existencia de línea de vista (LOS) entre dos puntos.

Finalmente, con la presente investigación es posible visualizar que con las herramientas adecuadas resulta factible interconectar mediante enlaces microondas a los Hospitales arriba mencionados, lo cual beneficiará tanto al personal administrativo como a los pacientes que son atendidos en dichos hospitales, puesto que la transmisión de información en tiempo real, permitirá la comunicación fluida entre los centros asistenciales motivo del presente proyecto.

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA SITUACIONAL DE LOS HOSPITALES

ESSALUD EN CUSCO Y URUBAMBA

1.1. Contexto global

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización mundial de la Salud (OMS) manifiestan que la telemedicina tiene una tendencia creciente en la prestación de servicios médicos a distancia; según la primera, ésta es una herramienta útil para reducir la gran diferencia entre los servicios de salud prestados en los países desarrollados y los países en vía de desarrollo, puesto que la implementación de los servicios de salud permite la atención, diagnóstico y tratamiento de los pacientes sin necesidad que personal médico requiera trasladarse a zonas tradicionalmente marginadas.

Al respecto, es preciso mencionar que los sistemas de telemedicina permiten brindar servicios de salud a distancia en tiempo real; por lo que, para la prestación de este servicio es necesario la implementación de sólidos sistemas de comunicaciones, bases de datos, recursos de Internet e intranet ya que ellos permitirán la transferencia de imágenes, tratamiento clínico en neurología, neurocirugía, dermatología y psiquiatría.

Ambos organismos adoptan las normas y estándares de las tecnologías establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) para la implementación de

sistemas de información y comunicaciones orientados a la salud según la “resolución sobre cybersalud adoptada en mayo de 2002 por la conferencia mundial de desarrollo de las tecnologías” [1].

1.2. Contexto local

1.2.1. Factores Políticos

ESSALUD promueve el mejoramiento de los sistemas de salud, inversión social e implementación de sistemas de telecomunicaciones con recursos propios como entidad independiente y autónoma de los recursos del estado.

1.2.2. Programa Nacional de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento (PRONIEM)

El PRONIEM cumple la función de conducir la gestión tecnológica, evaluación de los proyectos, implementación, equipamiento de la infraestructura y mantenimiento de los sistemas de salud brindados por el Estado Peruano.

Entre los principales proyectos que realiza este programa tenemos: mejoras de las condiciones ambientales y prestaciones de los centros de salud de manera global.

1.3. Diagnóstico situacional del Hospital categoría 4 ESSALUD sur este del Cusco

Este Hospital está ubicado en la ciudad de Cusco, en la Av. Anselmo Álvarez s/n , en el distrito de Huanchac con una población de 19,317 asegurados, su infraestructura es una de las más modernas, cuenta con todos los servicios básicos como agua, desagüe, fluido eléctrico, tecnología de punta, y donde además a la fecha se vienen

realizando operaciones de alto riesgo con mucho éxito como por ejemplo: trasplantes de riñones o corazón. Asimismo, cabe agregar que cuenta con un equipo de profesionales altamente capacitados y dispuestos a poner en práctica sus conocimientos en cualquier emergencia.

Los Hospitales del Seguro Social en nuestro país pueden ser denominados desde la categoría 1 hasta la categoría 4, dependiendo directamente del grado de implementación y de la cantidad de asegurados; el Hospital ESSALUD de Cusco es de Categoría 4 precisamente por la infraestructura, equipamiento y población asegurada con que cuenta dicho Hospital.

1.3.1. Ubicación geográfica



Figura 1.1 Hospital ESSALUD de Cusco

- Departamento: : Cusco
- Provincia : Cusco
- Distrito : Cusco
- Altitud : 3370 m.s.n.m.
- Latitud : 13° 31' 27,2"
- Longitud : 71° 57' 28.8"
- Población asegurada : 19,317
- Dirección : Av. Cultura s/n

1.3.2. Servicios de salud

El Hospital ESSALUD de Cusco realiza intervenciones quirúrgicas de pequeña, mediana y alta complejidad con equipos médicos modernos. Del mismo modo, cuenta con todas las especialidades para consultas externas: medicina general, ginecología, pediatría, obstetricia, odontología, psicología, estomatología, infectología, dermatología, radiología, etcétera; además de otros servicios que presta el Hospital como son los de: radiología, emergencias, hospitalización, electrocardiogramas, ecografías, electro encefalografías, mielografías, espirometrías, audiometrías, farmacología, banco de sangre, análisis básicos, insuficiencia renal, visitas a domicilio, capacitación a personal médico, técnico y administrativo, etcétera.

1.4. Diagnóstico situacional del Hospital categoría 1 ESSALUD de la provincia de Urubamba sub sede del Hospital sur este ESSALUD Cusco

1.4.1 Ubicación geográfica



Figura 1.2 Hospital ESSALUD de Urubamba

- Departamento: : Cusco
- Provincia : Urubamba
- Altitud : 2870 m.s.n.m.
- Latitud : 13° 18' 22,5"
- Longitud : 72° 06' 53.6"
- Población asegurada : 5,505
- Dirección : Av. 9 de noviembre s/n

1.4.2. Medios de Acceso

La vía principal de acceso a la provincia de Urubamba es la terrestre, unida con la carretera central permite conectarse con la ciudad de Cusco, además de contar con diversas unidades de transporte interurbano que permiten el intercambio cultural, económico y de salud entre la provincia de Urubamba y la ciudad antes mencionada.

Para llegar a la localidad de Urubamba se tiene dos vías; la primera recorriendo una distancia de 57 Km por la carretera asfaltada Cusco – Chinchero, la cual se cubre aproximadamente en una hora en transporte particular, y hora y media en servicios de transporte público; y la otra por la carretera asfaltada vía Cusco – Pisac – Calca – Yucay con un recorrido de 70 kilómetros, los cuales son cubiertos en una hora con treinta minutos en transporte particular y dos horas en servicios públicos de transporte.

1.4.3. Infraestructura, servicios, equipamiento médico y de cómputo

La infraestructura del Hospital es una moderna construcción de material noble en su gran mayoría (ver figura 1.2), el mismo cuenta con todos los servicios básicos como agua, desagüe y fluido eléctrico; así como con una sala de emergencia, oficinas para consultas externas, tópico, una sala de rayos X debidamente implementada y equipamiento básico para atención de emergencias.

Como prestador de salud y siendo considerado Hospital de Categoría 1; ofrece a sus asegurados los siguientes servicios:

- Consulta externa
- Emergencias

- Operaciones simples (Cirugías menores del tipo C y D)

- **Equipo médico**

1 director médico

6 médicos con diferentes especialidades

12 enfermeras

20 personal técnico

- **Equipo de cómputo**

El centro de cómputo del Hospital ESSALUD de Urubamba cuenta con 5 computadoras Pentium 2; de las cuales tres computadoras son utilizadas por el personal administrativo para la atención de los asegurados, y las otras dos para el manejo general del Hospital. Todas ellas conectadas a un servidor que contiene toda la información de los usuarios.



Figura 1.3 Sala de cómputo para el manejo administrativo y atención de los asegurados



Figura 1.4 Computadora Pentium II utilizada por el personal administrativo, médico y técnico del Hospital

1.4.4. Principales recursos económicos

La población de la provincia de Urubamba tiene dos estratos sociales: el medio y bajo, los cuales se encuentran en una situación de indigencia, el 73% de la población tienen ingresos bajos e insuficientes, la principal fuente de ingresos es la elaboración de artesanías así como del comercio con una fluctuación del 5 % de personas dedicadas a esta actividad. Se considera para la población económicamente activa (PEA) un 93% y para la PEA desocupado un 8%. En consecuencia, la cantidad de asegurados del Hospital ESSALUD de Urubamba es mínima y el aporte mensual es insuficiente para brindar un servicio médico apropiado.

El Hospital ESSALUD de Urubamba cuenta con recursos propios debido al aporte mensual de los asegurados, brindando cobertura mayoritaria y prestaciones de salud a nivel nacional para los trabajadores públicos. Independientemente de los servicios prestados al sector público también cuenta con programas de atención al público en general previo pago mensual por derechos de atención. Debiendo considerar además que los Hospitales de ESSALUD no cuentan con apoyo económico del Estado y son los asegurados la fuente de sustento para los servicios de salud.

1.4.5. Deficiencias y limitaciones respecto a los servicios de salud

En el Hospital ESSALUD de Urubamba solo se realizan cirugías del tipo C y D (Cirugías menores) lo que implica que pacientes que requieren de operaciones tipo A y B sean evacuados inmediatamente al Hospital ESSALUD de Cusco dependiendo de la gravedad. La falta de comunicación y baja calidad de atención médica en dicho Hospital imposibilita la atención de emergencia del paciente por lo que genera un aumento del índice de mortandad en la población según entrevistas realizadas al

personal médico. Cuando se presentan emergencias médicas y el sistema de comunicaciones no opera adecuadamente, el paciente no puede ser trasladado de inmediato a un centro de salud con infraestructura apropiada.

El Hospital ESSALUD de Urubamba cuenta con una sala de rayos X debidamente equipada. Para la prestación de este servicio se cuenta solo con un operador de los equipos con una frecuencia de una sola vez por semana, lo que imposibilita la atención continua de los pacientes.

Las placas radiográficas obtenidas son enviadas al Hospital ESSALUD de Cusco para su respectivo análisis; este proceso puede tardar varios días e incluso semanas. Este período generalmente causa complicaciones sobre el estado del paciente.

1.4.6. Deficiencias y limitaciones respecto a los servicios de telecomunicaciones

El Hospital ESSALUD de Urubamba cuenta con una pequeña red de área local (LAN) y equipos de cómputo descritos anteriormente con una tecnología obsoleta, esto hace difícil la tarea de brindar un servicio eficiente a los asegurados y un manejo administrativo adecuado. Además, el personal técnico, médico y administrativo no recibe ningún tipo de actualización referente a la labor que realizan por la limitación de los medios de comunicación.

El Hospital de Urubamba cuenta con los servicios de telefonía e internet, estos servicios son brindados por la empresa de telecomunicaciones Telefónica del Perú, ambos medios de comunicación son usados por el personal médico y administrativo a nivel local y externo a la provincia de Urubamba. Estos servicios hacen ineficiente y

costosa la transmisión de información para realizar las siguientes funciones básicas:
traslados de pacientes, control administrativo y actualización de bases de datos con el
Hospital ESSALUD de Cusco.



CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO RELACIONADO CON EL DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES EN EL SECTOR

RURAL

2.1. Presentación del asunto de estudio

El desarrollo de las tecnologías para telecomunicaciones permite brindar servicios de gran demanda como telefonía, internet, correo electrónico, transmisión de datos, voz y video a través de un medio de transmisión. De esta forma, encontramos sistemas inalámbricos con nuevas interfaces, así como diversas técnicas sofisticadas con bajos costos que están presentes en casi la totalidad de los sistemas de comunicación que permiten la implementación de los mismos en zonas de difícil acceso con características topográficas particulares.

La tecnología inalámbrica aplicada a un enlace punto a punto en zonas rurales resulta adecuada para realizar la transmisión de datos, porque a través del mismo se pueden brindar con gran flexibilidad y excelente calidad (gran ancho de banda) los servicios de voz (llamadas telefónicas), transferencia de datos y videoconferencias.

En el Perú se han implementado sistemas de comunicación orientados a prestar servicios de telemedicina. Los medios de transmisión utilizados por los Hospitales o centros de salud son principalmente redes cableadas o sistemas inalámbricos que

operan con microondas, estos medios permiten la interconexión de sus redes de área local pero limitados al manejo de bases de datos.

El presente documento hace una breve descripción de las tecnologías de comunicaciones basadas en radio enlaces y transmisión de datos por medios convencionales.

2.2. Tecnologías de Comunicaciones basadas en radio enlaces

Las ondas de radio están conformadas por un campo eléctrico y un campo magnético que los somete a fenómenos capaces de modificar la dirección de propagación transversal característica de las ondas. Cuando se tiene línea de vista entre el transmisor y receptor con condiciones atmosféricas estables, la comunicación es eficiente, pero cuando se requiere establecer una comunicación entre un punto y otro mas allá del “horizonte”, es necesario tomar en cuenta condiciones de propagación y frecuencias de operación apropiadas. Las señales transmitidas en el orden de muy altas frecuencias (VHF), ultra altas frecuencias (UHF), y super altas frecuencias (SHF) no se reflejan en la atmósfera por lo tanto son útiles para radio enlaces punto a punto y satelitales [2].

2.2.1. Sistemas basados en alta frecuencia (HF)

Según los valores del espectro radioeléctrico la clase de altas frecuencias (HF) está determinada en el rango de 3 a 30 Mhz con longitudes de onda de 10 a 100 m. De acuerdo a la clasificación del sector de estandarizaciones en las telecomunicaciones de la ITU (ITU-T), son denominadas ondas decamétricas que dependen directamente de las características de la ionosfera debido a la actividad solar y geomagnética, así como de la estación y hora de la transmisión.

Un transmisor de ondas decamétricas tiene dos componentes de propagación: una onda terrestre denominada “groundwave” que se transmite a través de la superficie de la tierra y una onda aérea denominada “skywave” que se transmite a través del espacio y puede ser reflejada en las diferentes capas de la ionosfera (Capa F1 y F2), siendo la frecuencia y el ángulo de propagación de la señal quienes determinan la trayectoria de la onda de espacio.

El ángulo de la onda decamétrica en el transmisor determina la distancia del enlace, en la figura 2.1 podemos observar que el ángulo de transmisión no puede ser mayor al ángulo crítico si se requiere que la señal sea reflejada en la ionosfera hacia el receptor, de esta forma, si el ángulo es mayor la señal simplemente atravesará las capas de la ionosfera.

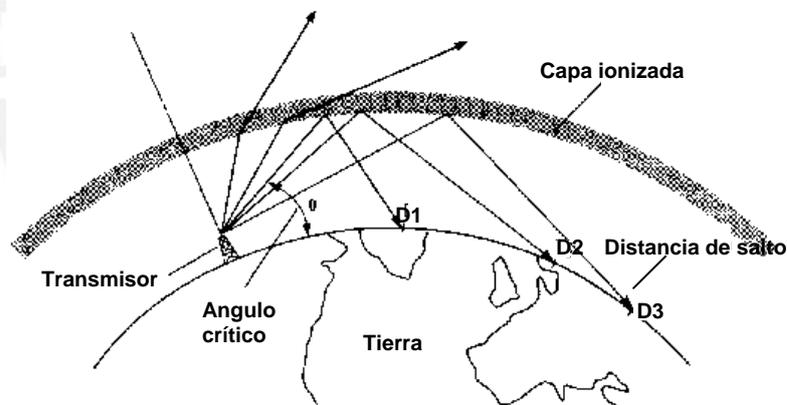


Figura 2.1 Efecto del ángulo sobre la distancia de salto, todas la ondas están a la misma frecuencia.

La frecuencia es un factor determinante en la transmisión de ondas decamétricas; conforme se incrementa la frecuencia de operación, la onda de radio alcanza niveles mas altos en la ionosfera, ver figura 2.2. Para una transmisión permanente se hacen los cálculos de la máxima frecuencia utilizable (MUF) y de la frecuencia óptima de trabajo (FOT) en la Capa 2 debido a que ésta es permanente frente a la capa F1 y E que se presentan solo durante el día. La frecuencia óptima de trabajo se determina

mediante la relación matemática: $FOT = 0.85 \text{ MUF}$ que considera un factor de seguridad.

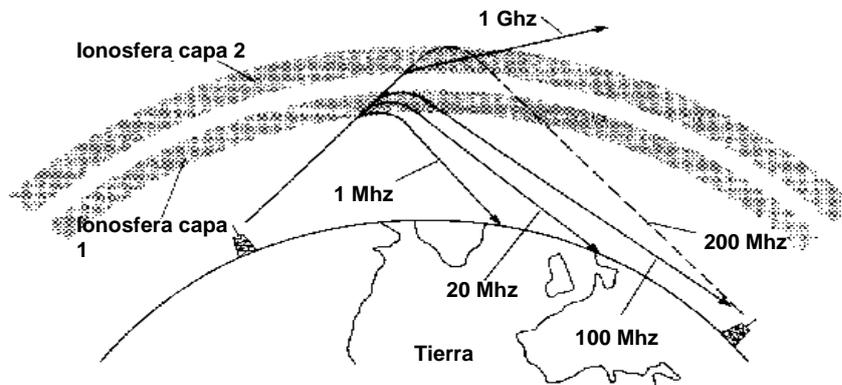


Figura 2.2 Variación de la distancia con la frecuencia

Los sistemas HF permiten todo tipo de comunicaciones a pequeña, mediana y larga distancia a través de terrenos planos, elevados o montañosos (enlaces locales, nacionales e internacionales) sin la necesidad de dispositivos de retransmisión como repetidoras con pequeñas cantidades de potencia radiada.

2.2.2. Enlaces de microondas

Para enlazar dos puntos no muy distantes y contar con un adecuado ancho de banda se tiene la posibilidad de implementar un sistema de comunicaciones punto a punto, punto a multipunto para aplicaciones como televisión por cable (CATV), radiodifusión, radar, redes digitales de datos, etcétera.

Las frecuencias de operación para un enlace microondas son mayores a 30 Mhz, para que sea posible la comunicación entre transmisor y receptor es necesaria la existencia de línea de vista comúnmente denominada LOS (line of sign).

En la tabla 2.1 se observa el espectro radioeléctrico para un enlace microondas.

Clase	Rango	Longitud de onda	Clasificación según la ITU-T	Condiciones para el enlace
VHF	30 – 300 Mhz	10 – 1 m	Métricas	Línea de vista
UHF	0.3 – 3 Ghz	100 – 10 cm	Decimétricas	Línea de vista
SHF	3 – 30 Ghz	10 – 1 cm	Centimétricas	Línea de vista
EHF	30 – 300 Ghz	10 – 1 mm	Milimétricas	Línea de vista

Tabla 2.1 Espectro radio eléctrico de las microondas

2.2.2.1. Zonas de fresnel

Un transmisor genera un frente de onda esférico en el caso de una antena isotrópica, este frente de onda está constituido por un número infinito de fuentes secundarias de radiación que también generan frentes de ondas en la propagación de la señal según el principio de Huygens. Las zonas de fresnel están constituidas por una gran cantidad de fuentes secundarias con una radiación uniformemente repartida. El campo resultante en el receptor es la suma de las contribuciones de las zonas de fresnel, siendo la primera zona la que aporta mayor energía.

Las zonas de fresnel están conformadas por todos los puntos del espacio cuya suma de las distancias del punto hacia el receptor y transmisor es igual a la suma de la distancia directa entre el transmisor y receptor mas $n \lambda/2$, ver figura 2.3. Se denomina primera zona de fresnel cuando n toma el valor de 1.

$$D_1 + D_2 = D + n \lambda/2$$

- Primera zona de fresnel: Se radia el 50% de la energía entregada por el transmisor (La onda reflejada llega en fase con la onda directa incrementando efectivamente la intensidad de campo en la antena receptora)

- Segunda zona de fresnel ($n = 2$): Se radia el 25% de la energía entregada por el transmisor (Esta en contrafase 180°)
- Tercera zona de fresnel ($n = 3$): Se radia el 12.5% de la energía entregada por el transmisor (En fase 0°)

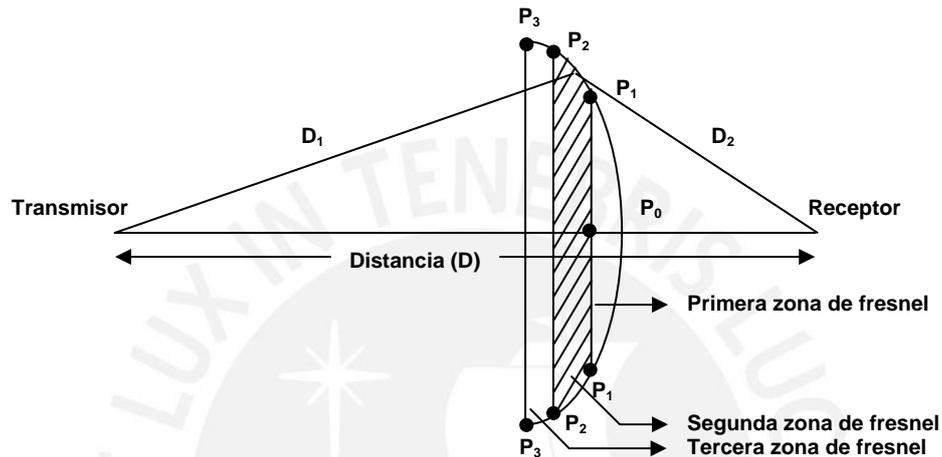


Figura 2.3 Zonas de fresnel

2.2.2.2. Diversidades en los sistemas de transmisión

Como consecuencia del fenómeno denominado Fading se producen pérdidas, atenuaciones y desvanecimientos en el nivel de la señal transmitida, estas pérdidas dependen de las variaciones atmosféricas y características topográficas de la zona. Así mismo por el fenómeno de absorción se producen pérdidas en el nivel de señal, siendo estas causadas por condiciones climáticas como lluvia, granizo, etcétera.

También se produce el efecto de multicamino o multipath donde la señal de radio recorre varios trayectos de propagación debido a obstáculos topográficos (montañas, ríos, lagos, mar, quebradas, etcétera) para zonas rurales o en el caso de comunicaciones móviles (construcciones, edificios, etcétera) que se encuentran entre el transmisor y el receptor. Debido a que estas señales de radio recorren distancias

diferentes en un mismo período de tiempo se producen variaciones en la amplitud y fase de cada una de las señales de radio que llegan al receptor, por lo tanto la señal resultante en el receptor será una combinación de todas las componentes, si existen variaciones en amplitud y fase se producirá interferencias entre dos o mas señales, siendo importante considerar este aspecto si la longitud de onda es pequeña.

Finalmente, la señal transmitida es atenuada por efectos de refracción, difracción, rugosidad e imperfecciones de las antenas.

Para llegar a los niveles apropiados de Fading se opta por las siguientes alternativas inmediatas: el uso de antenas de abertura mas grande, mejora de la calidad de recepción haciendo uso de amplificadores de bajo ruido (LNA) o elevando el nivel de potencia de la señal transmitida, las cuales no son las más apropiadas por tener altos costos en los elementos adicionales.[3]

Como solución para disminuir el Fading y asegurar la confiabilidad del enlace se implementan sistemas de diversidad que pueden estar en el dominio del tiempo, frecuencia y espacio, éstas permiten transmitir información a través de caminos distintos, lo que asegura tener una redundancia en la información; si la señal transmitida por un camino es afectada por el Fading entonces no necesariamente la señal transmitida por otro camino también estará sujeta a este fenómeno, por lo tanto se evita la interrupción o la caída del enlace.

“Los métodos mas comunes usados de diversidad son frecuencia y espacio, los cuales permiten minimizar los efectos de Fading” [3], los mismos que pasamos a describir a continuación.

a) Diversidad de frecuencia

Este tipo de configuración se logra mediante el uso de una sola antena en la estación de transmisión y otra en la estación de recepción (figura 2.4), esto es una ventaja económica frente a la diversidad de espacio. La diversidad de frecuencia hace uso de dos frecuencias distintas (TR_1 , TR_2) para la transmisión de información (señal de entrada), generando paths distintos, esto permite tener una redundancia completa en la información. En la estación de recepción se cuenta con dos receptores (RT_1 , RT_2) y por medio de un combinador de señales se obtiene nuevamente la señal de entrada. De esta forma, se evitaría la interrupción o caída del enlace.

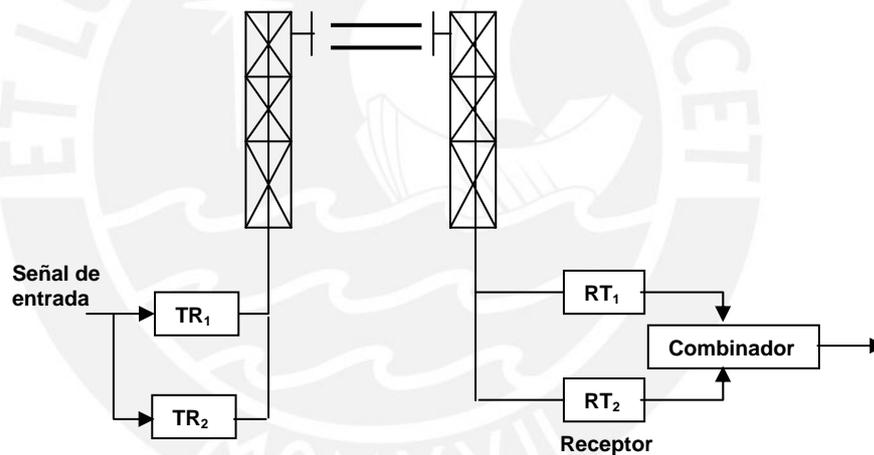


Figura 2.4 Diversidad de frecuencia

b) Diversidad de espacio

Para la implementación de la diversidad de espacio se requiere de una antena ubicada en el transmisor (TR_1), esta antena transmitirá con una misma frecuencia a diferencia de la diversidad de frecuencia; pero el receptor cuenta con dos antenas como se puede observar en la figura 2.5, el diseño principal se centra en el cálculo adecuado de la distancia de separación vertical de estas antenas que garantice la redundancia de la información en el enlace. Este tipo de configuración es más costosa por los

equipos adicionales y el tamaño de las torres que garantiza la transmisión continua de información.

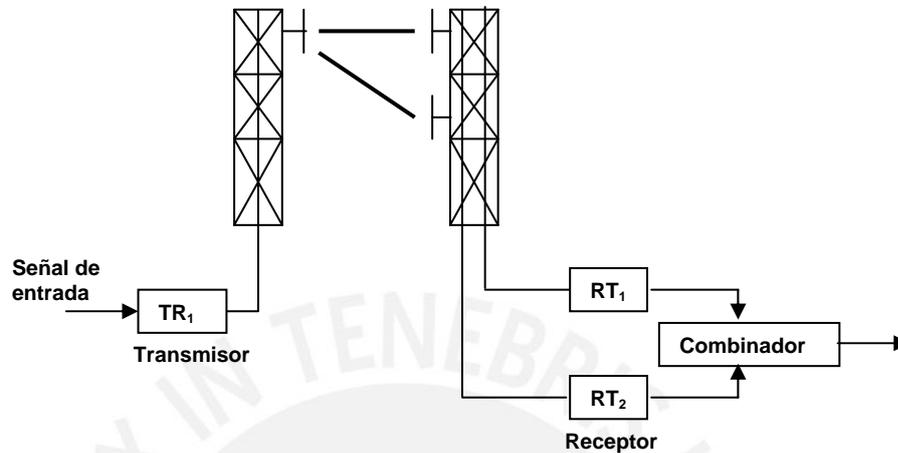


Figura 2.5 Diversidad de espacio

2.2.2.3. Procedimiento para determinar los planes de enrutamiento

Para el diseño de un sistema de comunicaciones usando microondas es necesario realizar un plan de enrutamiento. Este proceso se realiza haciendo uso de herramientas como: cartas geográficas y/o programas; ambos métodos permiten observar detalles de la superficie (curvas de nivel).

Una curva de nivel se obtiene por la intersección de un plano horizontal con el relieve del terreno a diferentes alturas, ver figura 2.6. La altura de cada punto que conforma una curva de nivel es la misma y se mide sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Una curva de nivel debe ser continua, ellas por lo general no se juntan o cruzan, excepto si en el terreno existen cuevas o acantilados que estén contenidos en dos o más planos horizontales que definen las curvas de nivel.

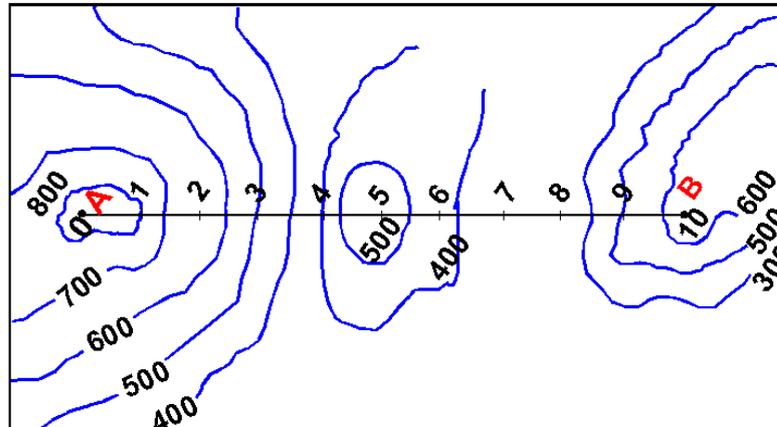


Figura 2.6 Línea Recta entre dos puntos en la zona de Interés

Una vez determinada las curvas de nivel se procede al trazado del perfil entre los puntos extremos de interés (A y B). Se traza una línea recta que une ambos puntos para determinar los principales obstáculos geográficos que se presentan a lo largo del recorrido, se debe poner énfasis en cimas y montañas, porque pueden afectar la propagación de las microondas. En la figura 2.7 se puede observar el perfil topográfico entre los puntos A y B.

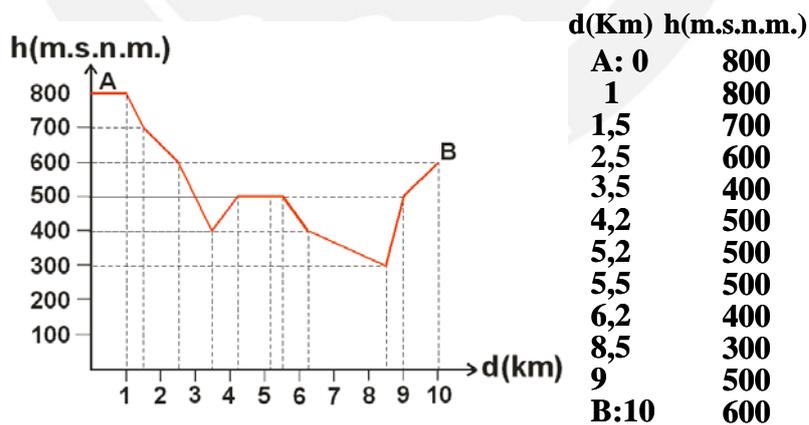


Figura 2.7 Perfil entre dos Puntos

Para el diseño de un sistema de microondas digital; primero se busca enlazar directamente las estaciones terminales (puntos extremos) siempre que exista línea de vista, si no existe LOS entre las estaciones terminales se buscan puntos cercanos a

estas, de tal forma que la distancia entre la estación terminal y el punto sea lo más pequeña posible, permitiendo que la bajada de línea mediante cable coaxial o fibra óptica sea la más corta.

Si no existe línea de vista entre las estaciones terminales o puntos cercanos; se buscan rutas con el menor número de repetidoras.

2.2.2.4. Características de los estándares IEEE 802.11 a / b / g

a) Estándar IEEE 802.11a

- Este estándar trabaja en la frecuencia regulada de 5 GHz, la separación entre las frecuencias centrales de cada canal es de 5 MHz; estas se pueden determinar con las siguientes fórmulas:

$$\text{Frecuencia central (MHz)} = 5000 + 5n, n = 0, 1, 2, \dots, 199.$$

$$\text{Frecuencia central (MHz)} = 5000 - 5(256 - n), n = 240, 241, \dots, 255.$$

- Soporta velocidades de 54Mbps, 48Mbps, 36Mbps, 24Mbps, 12Mbps, 6Mbps
- Medidas de seguridad: protocolo de privacidad equivalente a cable (WEP), Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM).
- El costo de los equipos son elevados y la señal es fácilmente obstruible.

b) Estándar IEEE 802.11b

- Trabaja en la frecuencia no regulada de 2.4 GHz (banda utilizada por teléfonos inalámbricos que pueden causar interferencia). Los DS PHY tienen 14 canales, cada uno con un ancho de banda de 5 MHz. El canal 1 tiene la frecuencia central de 2.412 GHz, canal 2: 2.417 GHz y el canal 14: 2.477 GHz.

- En la fig. 2.12 se observa que la mayor cantidad de energía de un canal se encuentra distribuida en un ancho de banda de 22 MHz debido a que el estándar IEEE 802.11 b posee un reloj con una frecuencia de 11 MHz.

Para hacer uso simultáneo de dos o mas canales es necesario que la separación entre las frecuencias centrales sea de 25 MHz; esto evita que señales adyacentes se interfieran. Los canales más usados que cumplen esta condición son el 1, 6 y 11.

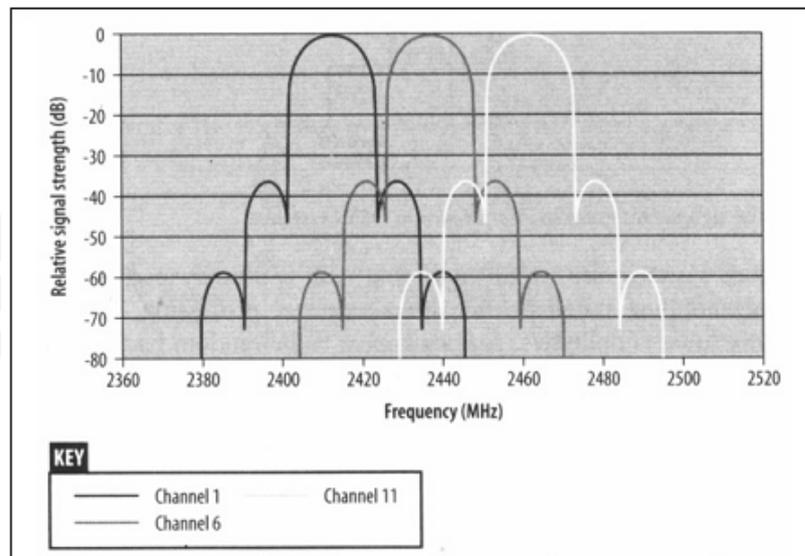


Figura 2.8 Separación de canales del estándar 802.11b

- Soporta velocidades de 11Mbps con modulación por cambios de código complementarios (CCK), 5Mbps (CCK), 2 Mbps con codificación diferencial de fase en cuadratura (DQPSK), 1Mbps con codificación diferencial de fase binaria (DBPSK)
- Medidas de seguridad: WEP en combinación con espectro de dispersión directa
- Incompatible con el estándar IEEE 802.11a
- Equipos comerciales de bajo costo.

c) Estándar IEEE 802.11g

- Trabaja en la frecuencia no regulada de 2.4 GHz
- Soporta velocidades de hasta 54Mbps
- Medidas de seguridad: WEP, OFDM
- Mantiene compatibilidad con el estándar IEEE 802.11b

2.2.2.5. Multiacceso radial (MAR)

Debido a las características de las zonas rurales es difícil implementar un sistema de comunicaciones que permita la interconexión con la red telefónica nacional o con una red de datos. Como solución a esta necesidad se implementan sistemas de radio comunicación punto a multipunto en las zonas rurales. Una red de multiacceso radial (MAR) tiene la siguiente configuración:

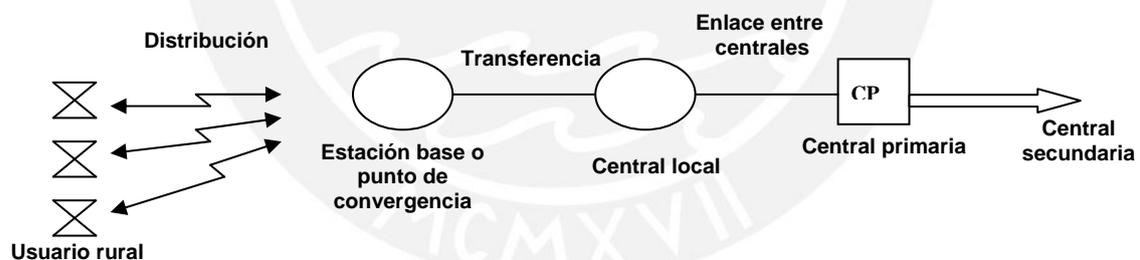


Figura 2.9 Configuración de una red de multiacceso radial (MAR)

Para brindar este servicio se hace uso de tres tipos de configuraciones:

a) Cobertura radial. Se cuenta con una estación central que dará cobertura a las zonas circundantes mediante el uso de estaciones periféricas que brindan el servicio telefónico o de datos a un grupo de abonados. La estación central estará conectada a una estación central telefónica de conmutación pero sin el uso de estaciones

repetidoras entre la estación central y las estaciones periféricas. Este tipo de solución representa la mas sencilla y económica.

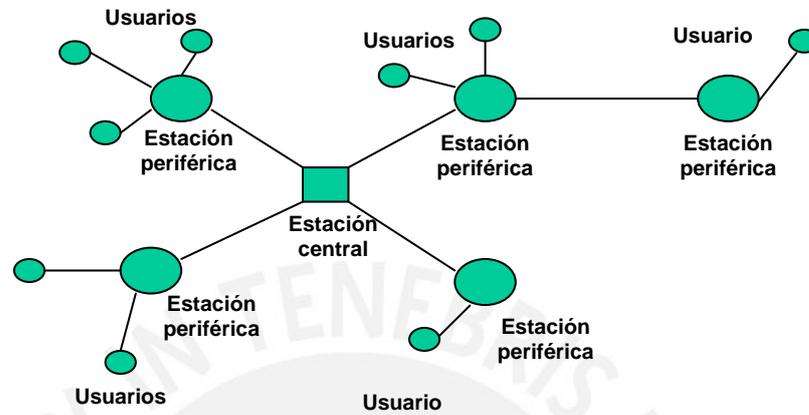


Figura 2.10 Configuración de una red de comunicaciones con cobertura radial

b) Cobertura en derivación. Permite brindar servicios de comunicaciones a zonas rurales que están alejadas a la estación central. Para tener mayor cobertura de comunicación y reutilizar la estación central se hace uso de estaciones repetidoras debido a los obstáculos topográficos y la distancia entre la estación central y la estación periférica.

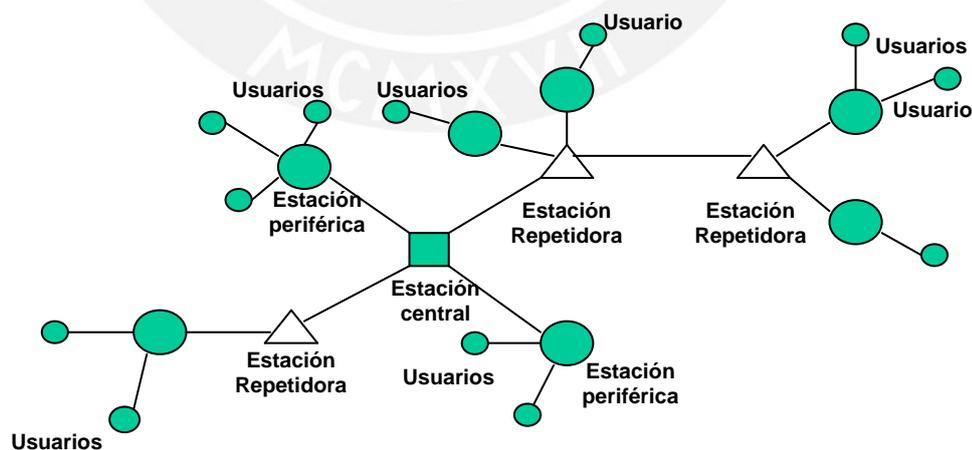


Figura 2.11 Configuración de una red de comunicaciones con cobertura en derivación

c) Cobertura lineal. Permite brindar mayor cobertura a zonas rurales alejadas mediante el uso de repetidores en serie. Cada repetidor podrá brindar servicios a más estaciones periféricas.

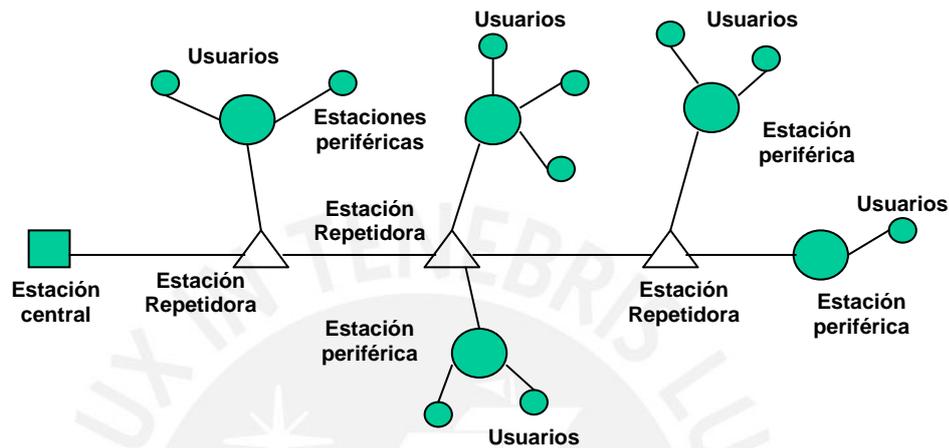


Figura 2.12 Configuración de una red de comunicaciones con cobertura lineal.

2.2.3. Accesos basados en sistemas celulares

Actualmente se cuenta con tres tipos de técnicas de múltiples accesos: acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división de códigos (CDMA), también podemos encontrar combinaciones generales de estos accesos como (FD/TDMA) que es una combinación de acceso múltiple por división de tiempo con frecuencia. La técnica de acceso CDMA es una combinación de las tecnologías FDMA con TDMA que asigna un código diferente a cada usuario.

2.2.3.1. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Se observa en la figura 2.13 que el plano tiempo - frecuencia es dividido en "n" canales de frecuencia que permite asignar una portadora o canal de radio frecuencia (RF) con

una determinada frecuencia, ancho de banda y tipo de modulación prefijados a un usuario con la desventaja que los anchos de banda asignados son limitados.

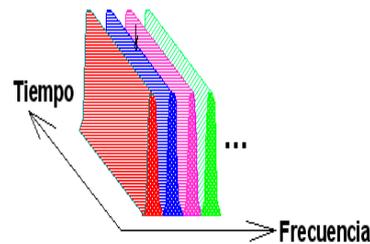


Figura 2.13 Esquema de acceso múltiple por división de frecuencia

2.2.3.2. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Para un sistema TDMA, el plano con ejes tiempo y frecuencia es dividido en "n" time slots. Un slot de tiempo se asigna para una misma portadora de radio frecuencia (RF), ésto permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio frecuencia en diferentes ranuras de tiempo. En este tipo de acceso las transmisiones se limitan a una ranura precisa de tiempo.

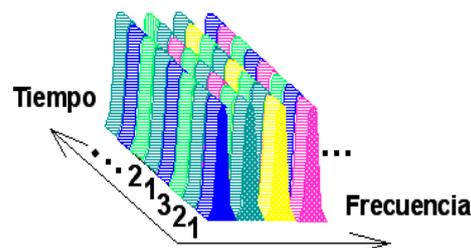


Figura 2.14 Esquema de acceso múltiple por división de tiempo

2.2.3.3. Acceso múltiple por división de códigos (CDMA)

La tecnología CDMA se aplica principalmente a los sistemas celulares móviles comerciales para la transmisión de telefonía, datos y video con la ventaja de reutilización de frecuencias entre celdas y sectores continuos con el incremento de la eficiencia espectral. Una portadora CDMA es aproximadamente 1.2288 Mhz (banda de espectro ensanchado), esto implica la transferencia de la señal original con un ancho de banda mucho mayor al requerido en transmisiones de banda estrecha de la misma señal con mayor calidad de transmisión y eficiencia de uso del ancho de banda.

El método de espectro ensanchado permite disminuir la relación señal a ruido (SNR) sin aumentar la tasa de error en la transmisión, en la figura 2.15 considerando que la potencia total de la señal sea el área bajo la densidad espectral de potencia, entonces si la potencia de la señal original es ensanchada en un gran ancho de banda (zona tenue) se puede reducir la potencia de la señal o se puede tener señales de gran potencia concentradas en rangos de frecuencia pequeños.

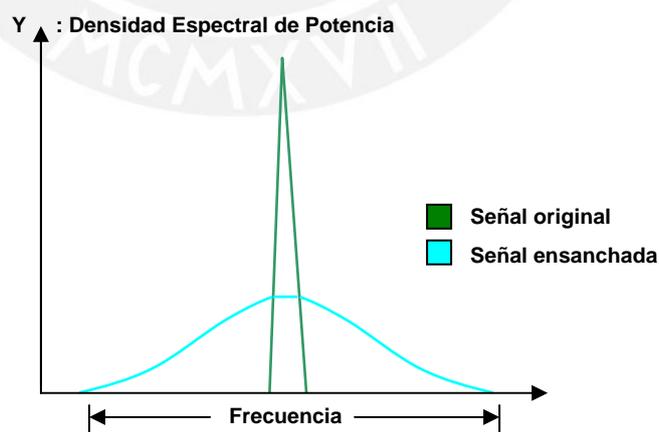


Figura 2.15 Señales con la misma potencia pero con diferente ancho de banda

El uso de CDMA en la banda de los 450MHz presenta ventajas significativas en la transmisión de señales:

- Las señales son menos afectadas por la absorción de la lluvia (fenómenos atmosféricos),
- Pueden rebotar en obstáculos que se encuentran entre el emisor y los múltiples receptores (características del relieve de zonas rurales)
- Poseen mejores características en comparación a las señales transmitidas a mayores frecuencias (800 MHz y 900MHz)
- La señal tiene menor atenuación por lo que requiere menor infraestructura (equipos repetidores)
- Facilidad de poder migrar a tecnologías mas modernas, tercera generación de celulares (3G)
- Cumple con los requerimientos para la instalación del sistema en zonas rurales, ya que estas se caracterizan por ser dispersas. [2]

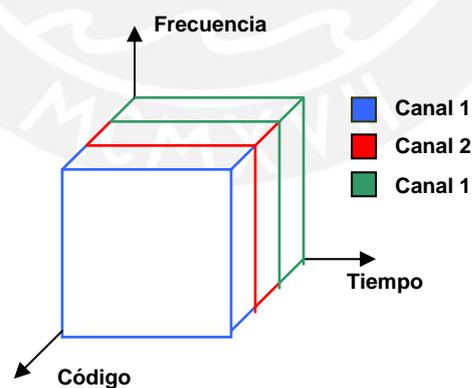


Figura 2.16 Esquema de acceso múltiple por división de códigos de banda ancha

2.2.4. Terminales de muy pequeña apertura (VSAT)

Los terminales de muy pequeña apertura (VSAT) permiten brindar servicios con anchos de banda reducidos como telefonía pública y privada o servicios que requieren gran ancho de banda y velocidades elevadas (MHz), tales como: televisión por cable, transmisión de voz, datos y video simultáneamente. La implementación de estos sistemas se puede observar con mucha frecuencia en zonas de difícil acceso. Entre las principales características del sistema podemos mencionar que los costos de transmisión son independientes de la distancia, se puede transmitir por difusión (broadcasting) y punto a multipunto con una frecuencia de mantenimiento muy baja.

Los métodos de acceso: multiplexación por división de tiempo (TDM) y TDMA son los más adecuados porque permiten una adecuada utilización del ancho de banda disponible.

Los elementos de un sistema VSAT son: una estación terrestre de transmisión VSAT, satélite (estación repetidora) y una estación terrestre de recepción VSAT.

Una estación terrestre de transmisión VSAT (figura 2.17) esta constituida por un modulador (modulación de frecuencia (FM), modulación por desplazamiento de fase (PSK) o modulación de amplitud en cuadratura (QAM) de la señal en banda base, un filtro pasa banda (BPF) que limita el ancho de banda del espectro de la señal, obteniéndose a la salida de este una señal con una frecuencia intermedia (IF), el circuito de conversión ascendente permite obtener una señal de microondas (RF), la cual será limitada en banda por un BPF para que finalmente ingrese a un amplificador de alta potencia y sea transmitida al transponder del satélite.

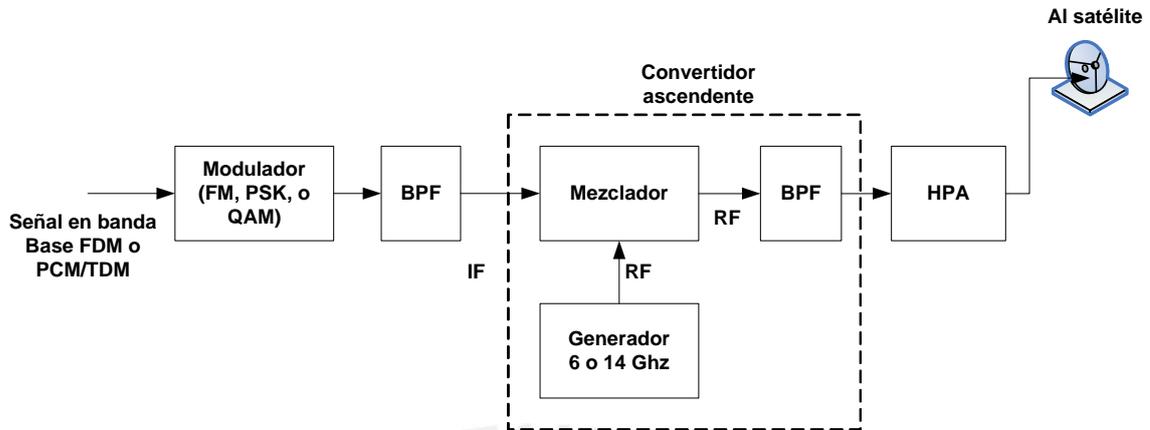


Figura 2.17 Diagrama de bloques de una estación terrestre de transmisión VSAT

Una estación terrestre de recepción VSAT (figura 2.18) esta constituido por un BPF como etapa inicial que limita el espectro de la señal recibida desde el transponder del satélite. Esta señal pasa por un (LNA), el convertidor descendente pasa la señal RF a IF, siendo la señal limitada en banda por un (BPF) para que finalmente sea demodulada y se obtenga la señal en banda base.

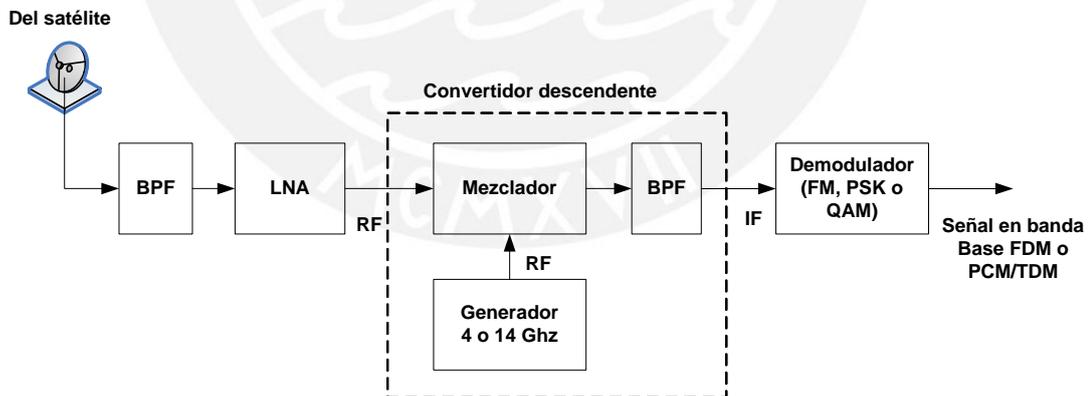


Figura 2.18 Diagrama de bloques de una estación terrestre de recepción VSAT

2.3. Transmisión de datos por medio de redes convencionales

2.3.1. Modems

Debido a la necesidad de transmitir información a través de un canal de comunicaciones; surge la necesidad de diseñar dispositivos capaces de transmitir datos sobre una red existente diseñada específicamente para transmitir señales analógicas (llamadas telefónicas). Con el diseño y posterior implementación del primer MODEM se logró transmitir datos digitales a través de una red telefónica que cuenta con pares de cobre como medio de transmisión. Este MODEM tenía una velocidad máxima de transmisión de 100 bits/s, esta velocidad es mínima si la comparamos con la velocidad actual de los módems (64 kbps como mínimo).

El desarrollo acelerado de los dispositivos que permiten acondicionar una señal para que se transmita a través de un medio, se logró mediante el desarrollo de técnicas de modulación cada vez más complejas, sistemas que tienen la capacidad de corregir errores y empleando herramientas modernas como el procesamiento de señales. Entre las principales técnicas de modulación tenemos: PSK, QAM, desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) y sus variaciones, de esta forma podemos observar que conforme la tecnología avanza los dispositivos tienen una velocidad de transmisión mayor, menor consumo de potencia y una reducción notable del volumen de los equipos.

Un MODEM es un dispositivo electrónico que permite adaptar las señales digitales a un medio de transmisión analógico (canal analógico). Por ejemplo, el medio de transmisión usado por las operadoras telefónicas es el par de cobre. Si se requiere transmitir información de un equipo terminal de datos (computadora personal) a otro

ubicado en un punto remoto; el MODEM tendrá en el puerto de entrada un tren de datos digitales, internamente se encarga de convertir la señal digital en señal analógica que pueda ser transmitida a través de los pares de cobre. Para la transmisión de datos se usan técnicas de modulación mencionadas anteriormente así como corrección de errores, La frecuencia asignada a la portadora es la usada para la transferencia de señales de voz.

En la figura 2.19 podemos observar los elementos de una comunicación entre dos computadoras personales (equipo terminal de datos; ETD) con ubicaciones remotas haciendo uso de modems (equipo terminal de circuitos de datos; ETCDD).

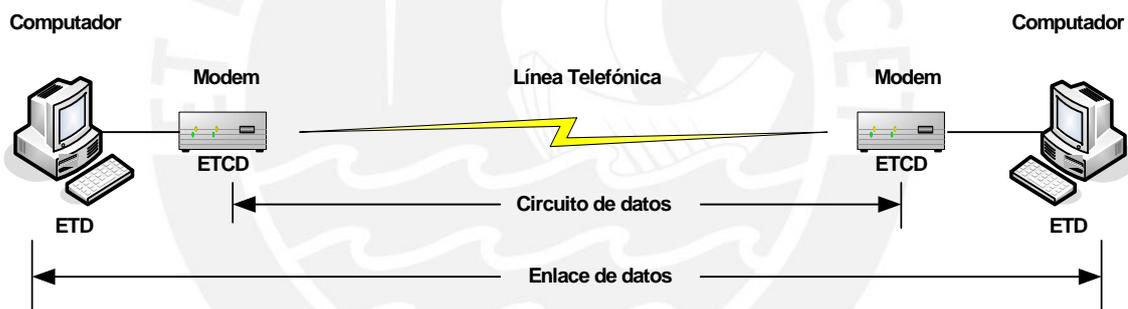


Figura 2.19 Elementos de una comunicación entre dos equipos terminales de datos

- ETD: Equipo terminal de datos (computadoras, impresoras, scanners, routers, etcétera).
- ETCDD: Equipo terminal de circuitos de datos (Switchers , modems).
- Circuito de datos: Esta comprendido por los elementos comprendidos entre los ETD.
- Enlace de datos: se produce mediante la unión entre el origen de los datos (Emisor) y el destino (Receptor).

En la figura 2.20 existe una comunicación entre los equipos terminales de datos (Teléfonos, impresoras, computadoras personales, etcétera) mediante el uso de los modems (ETCDD), haciendo uso de las redes de pares de cobre de un operador de telecomunicaciones.

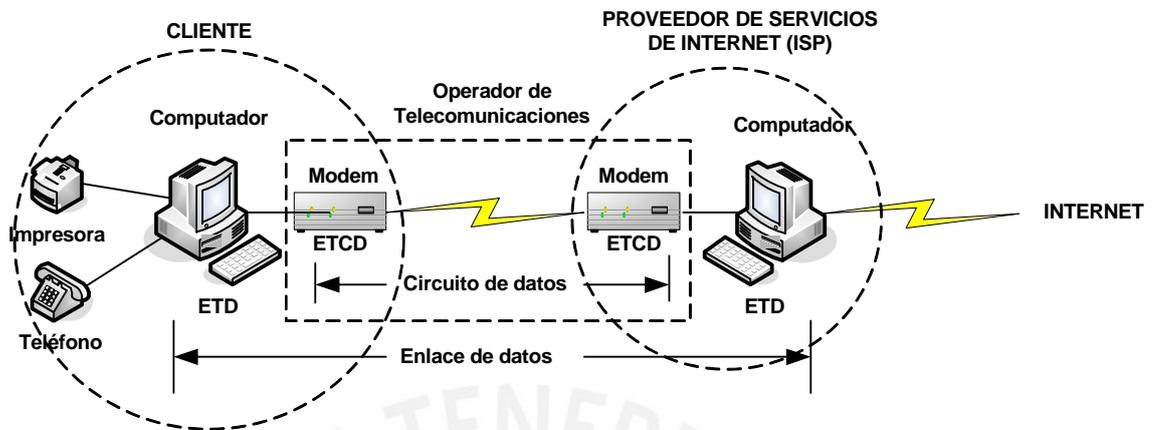


Figura 2.20 Elementos de una comunicación entre equipos terminales de datos

2.3.1.1. Modems síncronos y asíncronos

En la actualidad los modems síncronos son los más utilizados por tener una velocidad de transmisión mucho mayor a uno asíncrono. Un MODEM síncrono para su funcionamiento requiere de un generador de reloj que acompañe a la información para la sincronización de los datos en el receptor, ello permite que los datos transmitidos sean demodulados correctamente. El moden de origen tiene la función de agrupar la información en bloques como parte de la trama que estará constituida por los bloques de información, bits de direccionamiento, bits de detección y corrección de errores.

Los modems asíncronos no necesitan de un generador de reloj que acompañe los datos para que sean demodulados correctamente, este tipo de modems no es utilizado en la actualidad por su baja velocidad de transmisión de 300 a 1200 bits/s. Para la transferencia de información solo se requiere conocer la tasa nominal de datos, debido al deslizamiento de datos producido por la diferencia de la frecuencia de los relojes es necesario agrupar los datos en bloques pequeños con bits de señalización que indican el comienzo y fin de la trama.

2.3.1.2. Normalización y protocolos

Debido a la gran cantidad de fabricantes de equipos para telecomunicaciones se busca el desarrollo de equipos con características homogéneas de funcionamiento, para esto existen organismos internacionales como la asociación electrónica de industrias (EIA) en USA e internacionales (ITU-T) que han creado estándares para la modulación, transferencia de datos y protocolos de compresión para un determinado equipo que satisfaga una función. Esta normalización permite la interacción entre modems de diferentes fabricantes.

La normalización de los equipos son de la forma V.XX y son denominados por el Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telecomunicaciones (CCITT) para los estándares de la ITU -T.

Las principales características que definen un modem son :

- Velocidad de transmisión
- Tipo de línea de transmisión
- Tipo de modulación

Los protocolos establecen las reglas para:

- Agrupación de bits y caracteres (framing)
- Detección y corrección de errores (Control de error)
- Numeración de mensajes (Secuenciamiento)
- Separación de caracteres de control y de datos (Transparencia)
- Control de línea
- Acciones requeridas para establecimiento (Control de establecimiento)
- Acciones requeridas para la terminación de la comunicación (Control de time out)

2.3.2. Protocolo de Control de Transmisión (TCP) / Protocolo de Internet (IP)

“En el informe del Grupo Temático 7 de la ITU se considera que la tecnología inalámbrica de paquetes combinada con encaminadores de Protocolo Internet (IP) es un medio adecuado para las zonas rurales de países en desarrollo” [4]

Actualmente las comunicaciones de datos se han convertido en una parte fundamental de la computación, donde las redes de datos son primordiales, ya que permite el intercambio de información entre zonas remotas y distantes, debido a estas necesidades ha evolucionado una nueva tecnología que permite interconectar muchas redes físicas diferentes estructuralmente y hacerlas funcionar como una unidad coordinada permitiendo que las computadoras se comuniquen en forma independiente de sus conexiones y estructuras físicas de red; de esta forma, con las características mencionadas de este protocolo se puede brindar servicios a nivel de aplicación entre todos los usuarios conectados a esta red. Este protocolo permite la transferencia de datos, así como brindar servicios de videoconferencias (voz y video). [5]

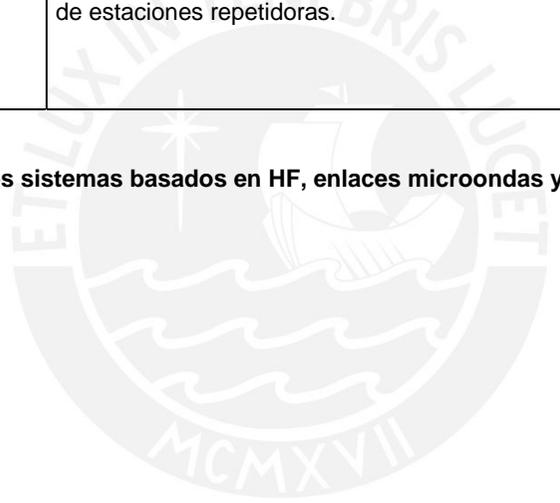
El protocolo IP funciona mediante la conmutación de paquetes, un conmutador determina el próximo punto de la red al cual deberá transmitirse un paquete, por lo que actualmente se puede establecer una red de acceso en las zonas rurales y distantes mediante la tecnología antes mencionada. La combinación de conmutación de paquetes y la tecnología inalámbrica en el bucle hace posible brindar una solución para estos requerimientos, con la ventaja que los encaminadores que utilizan TCP/IP pueden interconectarse con la red telefónica pública.[6]

2.4. Cuadro comparativo de las tecnologías mencionadas

	Sistemas basados en HF	Enlaces de microondas	Terminales de muy pequeña abertura (VSAT)
Ventajas	<p>Permiten comunicaciones a pequeña, mediana y largas distancias a través de todo tipo de terreno.</p> <p>Se requiere hacer el cálculo del ángulo de la onda decamétrica así como de la frecuencia para determinar la distancia de propagación.</p> <p>No es necesaria la existencia de línea de vista entre los puntos a ser enlazados.</p>	<p>El ancho de banda de estos sistemas es mucho mayor a los sistemas HF, esto permite integrar servicios de voz datos y video (MHz) simultáneamente con una excelente performance.</p> <p>Posibilidad de conexión de la red microondas con redes telefónicas o de datos.</p> <p>Mediante la implementación de sistemas con diversidad de frecuencia o espacio se garantiza el continuo funcionamiento del enlace y se evita las caídas del sistema.</p> <p>Se puede realizar enlaces de punto a punto o punto a multipunto.</p> <p>Facilidad de instalación y mantenimiento de los equipos de comunicación con un bajo costo.</p> <p>Baja vulnerabilidad frente a vandalismo y desastres naturales.</p> <p>Multiacceso Radial (M.A.R.)</p>	<p>Brinda servicios integrados con velocidades y anchos de banda elevados (MHZ) de voz datos y video simultáneamente.</p> <p>Permite satisfacer los requerimientos en materia de conexión bidireccional de cualquier zona remota o aislada.</p> <p>No es necesaria la existencia de línea de vista entre los puntos a ser enlazados.</p> <p>Se puede transmitir por difusión (broadcasting) y punto a multipunto.</p> <p>Los costos de la transmisión son independientes de la distancia.</p>

<p>Desventajas</p>	<p>Dependen de la Ionosfera (Capa F1 y principalmente F2), actividad solar y geomagnética para establecer un radio enlace.</p> <p>El ancho de banda de estos sistemas es muy reducido.</p>	<p>Debe existir línea de vista (LOS) entre las antenas de transmisión y recepción; en caso de que no exista LOS es necesario la implementación de estaciones repetidoras con una distancia máxima de 50 Km entre ellas.</p> <p>Para extender la cobertura del sistema de comunicaciones es necesario la implementación de estaciones repetidoras.</p>	<p>Para satélites geoestacionarios: se produce un retardo de 500ms en transmitir información de una estación terrestre a otra. Esto afecta principalmente a las comunicaciones telefónicas.</p> <p>Alto costo del segmento satelital para un determinado ancho de banda.</p>
---------------------------	--	---	--

Tabla 2.2 Ventajas y desventajas de los sistemas basados en HF, enlaces microondas y terminales de muy pequeña apertura (VSAT)



2.5. Selección de la tecnología

En la actualidad se puede apreciar que la demanda por el uso de servicios de información a nivel global está en aumento, el desarrollo e investigación de las tecnologías mencionadas, permiten la implementación de sistemas con capacidades para transferir datos a distancia que se pueden aplicar en teleeducación y telemedicina entre otros, la cual como se puede observar en la práctica han traído resultados muy alentadores.

Para la implementación de un sistema de comunicaciones que enlace zonas urbanas y rurales es necesario optar por la tecnología e infraestructura en telecomunicaciones (redes de cómputo, sistemas de videoconferencias, software, equipos electrónicos, etcétera) más apropiados, buscando que el proyecto sea económica y técnicamente viable de acuerdo al entorno y tipo de problemática a resolver. Es así como, los elevados costos de instalación con tecnología urbana (transmisión de datos por redes convencionales), debido a las características complejas del relieve topográfico, difícil acceso a las zonas remotas y la baja rentabilidad para los operadores, hace imposible la implementación de estos sistemas de comunicaciones. Por tal motivo es necesario usar un medio de transmisión inalámbrico, entre los cuales tenemos a los sistemas VSAT que tienen una gran demanda en la actualidad sobre todo en zonas de difícil acceso o mediante la implementación de enlaces microondas y sistemas HF. En consecuencia para poder establecer una comunicación entre el Hospital ESSALUD de Cusco y el Hospital ESSALUD de Urubamba será necesario el diseño de un enlace de comunicaciones.

Los sistemas basados en HF soportan un ancho de banda reducido (Kbps), esto no permite brindar servicios integrados de voz, datos y video (Mbps), por tal motivo no utilizaremos esta tecnología.

Por otro lado, los sistemas VSAT satisfacen la necesidad de contar con un ancho de banda en el orden de los Mbps, además permiten la conexión bidireccional entre dos o más estaciones remotas ubicadas entre sí a pequeña, mediana o gran distancia, sin embargo, se busca un enlace de comunicaciones privado entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba.

Como solución planteamos un enlace microondas, ello debido a que permite transmitir voz, datos y video con un ancho de banda óptimo para brindar estos servicios (Mbps); así mismo la consideramos una tecnología apropiada que hará posible la interconexión de zonas rurales y/o urbanas; y permitirá cubrir grandes distancias según la topología de la red (cobertura radial, en derivación y lineal), la red microondas será de propiedad de ESSALUD y no dependerá de pagos por servicios hacia una empresa privada de telecomunicaciones. Además es posible la interconexión de la red microondas con las redes telefónicas o de datos.

En consecuencia un enlace microondas da solución a las necesidades de interconexión entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba,

CAPITULO 3

METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Nivel de la investigación

El presente estudio por la naturaleza de sus objetivos es una investigación básica, porque permite conocer y analizar las características de una realidad en una situación dada, para aplicar los principios científicos y tecnológicos del campo de las telecomunicaciones y para resolver problemas existentes planteados en el enlace de microondas.

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizado para el desarrollo del estudio, puede ser considerado como:

- a) Descriptiva, porque tanto el objetivo general como los objetivos específicos están orientados a describir la situación actual de la capacidad y nivel de comunicación que existe entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba.
- b) Explicativa, ya que a partir del análisis efectuado se aplica las causas que genera la problemática en las comunicaciones de los citados centros hospitalarios.
- c) Evaluativa, porque permite evaluar la factibilidad desde el punto de vista tecnológico para implementar un sistema de enlace de microondas punto a punto

que permita solucionar el aislamiento entre los centros asistenciales ESSALUD de Cusco y Urubamba.

3.2. Hipótesis de la investigación

3.2.1. Hipótesis principal

Dada la necesidad de un enlace de microondas por la complejidad del relieve topográfico de la zona, que no permite la implementación de redes cableadas destinados a prestar los servicios de telemedicina, videoconferencias, telefonía IP, acceso a Internet y la transferencia de datos entre los Hospitales de Cusco y Urubamba; entonces, es necesario el diseño de un enlace de microondas entre estos dos Hospitales que permitan brindar y satisfacer los servicios antes mencionados para el personal, así como para la población en general del Hospital de Urubamba.

3.2.2. Hipótesis secundaria

- La selección adecuada de las tecnologías inalámbricas (microondas) especialmente diseñadas para las zonas rurales de países en vía de desarrollo o la adaptación de una de estas para una aplicación en particular, donde, el enlace microondas deberá tener como características: la facilidad de construcción, instalación, funcionamiento y mantenimiento de las estaciones. Así como, modularidad, flexibilidad y tolerancia a factores ambientales externos de los equipos, de esta forma, hará posible el enlace microondas entre los Hospitales de Cusco y Urubamba.

- El diseño de un plan de enrutamiento debe considerar la utilización mínima necesaria de Estaciones Repetidoras, seleccionando la ruta mas apropiada. Este diseño permitirá la implementación del enlace.
- La utilización de tecnología adecuada con costos bajos, permitirá la ejecución del proyecto.

3.3. Objetivos de la investigación

3.3.1. Objetivo principal

Diseñar un enlace de microondas entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba.

3.3.2. Objetivos secundarios

- **Seleccionar la Tecnología adecuada.** Es necesario la utilización de tecnologías inalámbricas (microondas) especialmente diseñadas para las zonas rurales de países en vía de desarrollo o buscar la adaptación de estas para una aplicación en particular. El enlace microondas deberá tener como características: la facilidad de construcción, instalación, funcionamiento y mantenimiento de las estaciones. Así como, modularidad, flexibilidad (posibilidad futura de ampliaciones graduales de las estaciones) y tolerancia a factores ambientales externos (humedad, altas o bajas temperaturas, lluvia, velocidad y dirección del viento) de los equipos de telecomunicaciones, puesto que, estos determinarán las características de las torres y casetas que soportan las antenas y equipos.

- **Determinar las ubicaciones de las estaciones.**

Se debe elaborar un plan de enrutamiento que debe considerar la utilización mínima necesaria de Estaciones Repetidoras a lo largo de toda la ruta entre las Estaciones Terminales. Una vez definido el plan de enrutamiento se debe realizar el reconocimiento de la zona y elección de la ruta mas apropiada.

La ubicación de cada estación dependerá de la facilidad de acceso al lugar por medio de carreteras que permitan la construcción y mantenimiento de las estaciones, debiendo existir un suministro de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos, además de tener un suelo lo suficientemente amplio, plano y con infraestructura necesaria .

- **Establecer la viabilidad económica.** Se debe buscar la implementación y explotación del enlace microondas con tecnología adecuada a bajo costo tomando en cuenta el entorno, las condiciones económicas y las necesidades de la zona.

3.4. Definiciones operativas para un enlace microondas

3.4.1. Indicadores cualitativos

Son indicadores basados en encuestas o entrevistas realizadas a los usuarios, permitiendo recaudar información sobre aspectos no contemplados en los indicadores cuantitativos. Estos indicadores son necesarios para el análisis global de la investigación.

- **Nivel de satisfacción del usuario.** Se especifican los parámetros del servicio brindado al usuario, este puede comprobar dichos parámetros y determinar el

grado de satisfacción con el servicio recibido. Algunos de los parámetros por ejemplo son: tiempo de propagación, velocidad de transferencia, éxito en la conexión, calidad de audio y video, velocidad de transferencia de los paquetes y la disponibilidad de la red.

- **Prestaciones funcionales de las redes comprometidas.** Son las especificaciones técnicas de la red que deben ser conocidos por el usuario cuyo cumplimiento se ven relacionados con la calidad de servicio antes mencionada. El cumplimiento de las prestaciones funcionales pueden ser reflejadas por ejemplo en los indicadores de pérdidas de paquetes, tiempo de propagación que son parámetros que deben ser medidos por los operadores o prestadores del servicio.

3.4.2. Indicadores cuantitativos

Son todos aquellos parámetros que se pueden expresar numéricamente, pueden ser ordenados de mayor a menor y por lo tanto ser comparados,

- **Velocidad promedio de conexión.** Es la velocidad promedio de transferencia de datos por parte del usuario, esta velocidad puede estar en el orden de los kilobits por segundo (Kbps) o Mega bits por segundo (Mbps), dependiendo del tipo de servicio y el congestionamiento de la red.
- **Costo de acceso a la red.** Son los costos necesarios para hacer uso de los servicios y medios de transmisión. Pueden ser generados por una empresa de telefonía pública (PSTN) o por medio de un enlace privado.
- **Costo de mantenimiento del sistema.** Hace referencia a los gastos necesarios para el mantenimiento y soporte técnico para un período dado de los equipos y

sistemas instalados, con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento del servicio.

- **Máxima distancia de transmisión.** Es la máxima longitud de transmisión entre dos puntos sin usar equipos repetidores, esta distancia depende de las características de los medios de transmisión.

3.5. Características del enlace de comunicaciones

3.5.1. Tráfico del enlace

El enlace de comunicaciones deberá soportar los servicios de videoconferencias, telefonía IP, acceso a Internet y transferencia de datos de manera simultánea, para el cual determinaremos el tráfico generado de acuerdo a los requerimientos técnicos y estándares definidos para la prestación de los servicios antes mencionados.

a) Videoconferencias y telefonía IP

Un factor determinante en la prestación de servicios que involucren audio y video es la sensibilidad de los datos a ser alterados por el tiempo de latencia producida por cada uno de los equipos del enlace de comunicaciones; por ello, para el dimensionamiento del tráfico del enlace de comunicaciones usamos el estándar H.323 por tratarse de una red IP.

El estándar H.323 es un conjunto de especificaciones definidas por la ITU que determinan las normas y protocolos (algoritmos de compresión y descompresión de

voz, datos y video) de funcionamiento de los equipos de comunicaciones sobre redes no orientadas a la conexión (redes IP).

Los protocolos de compresión de audio (CODEC) definidos por el estándar H.323 son: G.711, G722, G723, G728 y G729.

En la tabla 3.1 se presenta el ancho de banda utilizado por llamada de acuerdo a los protocolos antes mencionados.

Estándar	Ancho de banda de audio	(Índice de transmisión)
G.711	3.4 Khz	80 kbps
G.722	3.4 Khz	80 kbps
G.723	3.4 Khz	24 kbps
G.728	3.4 Khz	16 kbps
G.729	3.4 Khz	24 kbps

Tabla 3.1 Índices de transmisión para telefonía IP según el estándar H.323

Determinamos el ancho de banda generado por la telefonía IP considerando que el Hospital ESSALUD de Urubamba contará con tres teléfonos IP, al igual que el Hospital ESSALUD de Cusco. El protocolo utilizado para el servicio de voz será el G.728 con un índice de transmisión de 16 kbps, este índice es el adecuado para la transferencia de datos con prioridad de voz porque es bajo y la calidad del servicio es óptima.

Teléfonos IP (Hospital ESSALUD Urubamba)	Teléfonos IP (Hospital ESSALUD Cusco)	Ancho de banda total
3	3	48Kbps

Los protocolos de compresión de video (CODEC) son el H.262 y H263.

Utilizaremos el protocolo H.263, el cual permite la digitalización y compresión de video utilizado para video conferencias con alta calidad, este protocolo utiliza tasas de transferencia múltiplos de 64kbps.

Se realizará un enlace entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba con un ancho de banda de 384 kbps para garantizar la calidad del servicio, este será orientado a prestar servicios de telemedicina y videoconferencias.

b) Acceso a Internet

El Hospital ESSALUD de Urubamba cuenta con una red LAN de 6 computadoras. Para el cálculo del tráfico generado por este servicio, consideramos que el ancho de banda utilizado por computadora debe ser de 10 Kbps como valor mínimo, para efectos de diseño y considerando que es una conexión punto a punto con un número reducido de computadoras conectadas a la red, le asignamos a cada una un ancho de banda de 15 Kbps para mejorar la calidad del servicio. En la siguiente tabla se tiene el tráfico generado:

Computadoras conectadas a la red LAN (Hospital ESSALUD de Urubamba)	Ancho de banda asignado por computadora	Total
6	15 Kbps	90 Kbps

El índice de transferencia mínimo que debe soportar el enlace de comunicaciones se precisa en la tabla 3.2.

Servicio	Índice de transmisión
Telefonía IP	48 kbps
Video conferencias	384 kbps
Internet	90 kbps
Transferencia de datos	32 kbps
Total	554 kbps

Tabla 3.2. Índice de Transferencia mínimo para el enlace de comunicaciones

En consecuencia, el enlace debe garantizar un índice de transferencia de 554 kbps como mínimo.

3.5.2. Estándar para el enlace de comunicaciones

Se utilizará el estándar de comunicaciones IEEE 802.11 b por los siguientes motivos:

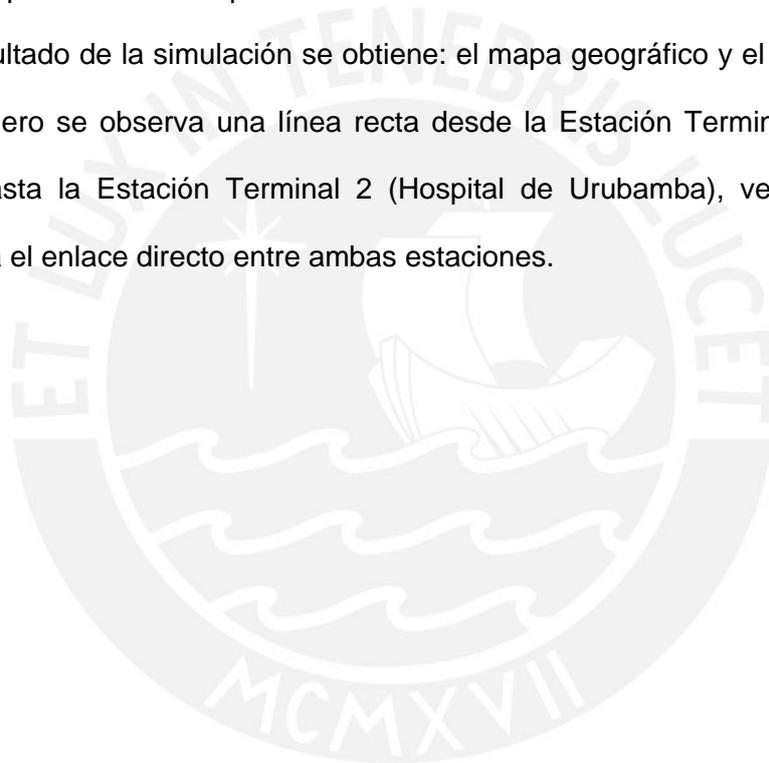
- Soporta velocidades de 11Mbps (CCK), 5Mbps (CCK), 2Mbps (DQPSK), 1Mbps (DBPSK); estas velocidades son mayores que el mínimo valor requerido por el enlace (554 Kbps).
- La implementación de redes microondas con esta tecnología resulta más económica que utilizar el estándar IEEE 802.11a o IEEE 802.11g, los equipos que operan bajo el estándar IEEE 802.11 b son los más comerciales (ver tablas 4.6 y 4.7)
- Opera en la frecuencia no regulada de 2.4 GHz
- El estándar IEEE 802.11g con una velocidad de transferencia de 54 Mbps mantiene compatibilidad con el estándar IEEE 802.11b, lo que permite migrar a esta tecnología si se requiere un mayor tráfico.

Es importante mencionar que el enlace de comunicaciones debe operar a la máxima velocidad de transmisión (11 Mbps) por las siguientes razones:

- El cálculo del margen de señal se realizará con ésta velocidad, lo que implica tener un factor de seguridad en caso que la señal transmitida sea atenuada por factores atmosféricos (velocidad y dirección del viento, lluvia, granizo, altas o bajas temperaturas) o mecánicos (variación en la alineación de las antenas). En caso que la señal sea atenuada se podrá transmitir con velocidades menores evitando la caída del enlace.
- Incremento del tráfico debido al crecimiento gradual de la red microondas.

3.5.3. Definición de las rutas para establecer el enlace privado entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba

Las coordenadas geográficas obtenidas con el sistema de posicionamiento global (GPS) GARMIN 12XL de las Estaciones Terminales ubicadas en los Hospitales de ESSALUD en Cusco y Urubamba son ingresadas al programa Radiomobile para analizar la posibilidad de implementación de un enlace directo entre estas estaciones. Como resultado de la simulación se obtiene: el mapa geográfico y el perfil topográfico. En el primero se observa una línea recta desde la Estación Terminal 1 (Hospital de Cusco) hasta la Estación Terminal 2 (Hospital de Urubamba), ver figura 3.1, que representa el enlace directo entre ambas estaciones.



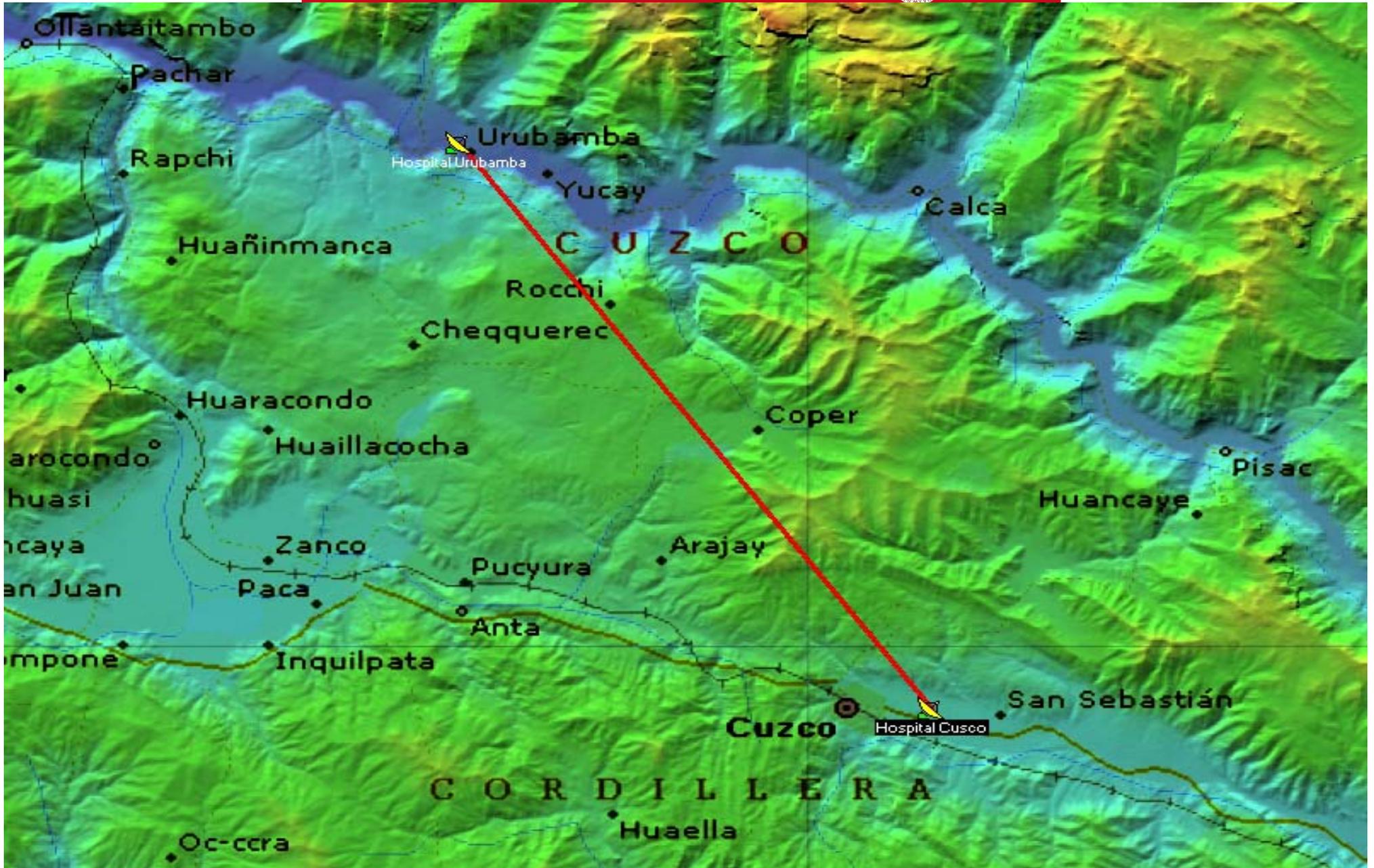


Figura 3.1 Mapa geográfico: enlace de comunicaciones entre los Hospitales ESSALUD de Cuzco y Urubamba.

Por otro lado, también podemos observar el perfil topográfico entre las dos estaciones (figura 3.4)



Figura 3.2 Principales obstáculos topográficos comprendidos entre los hospitales ESSALUD De Cusco y Urubamba



Figura 3.3 Línea de vista existente entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba

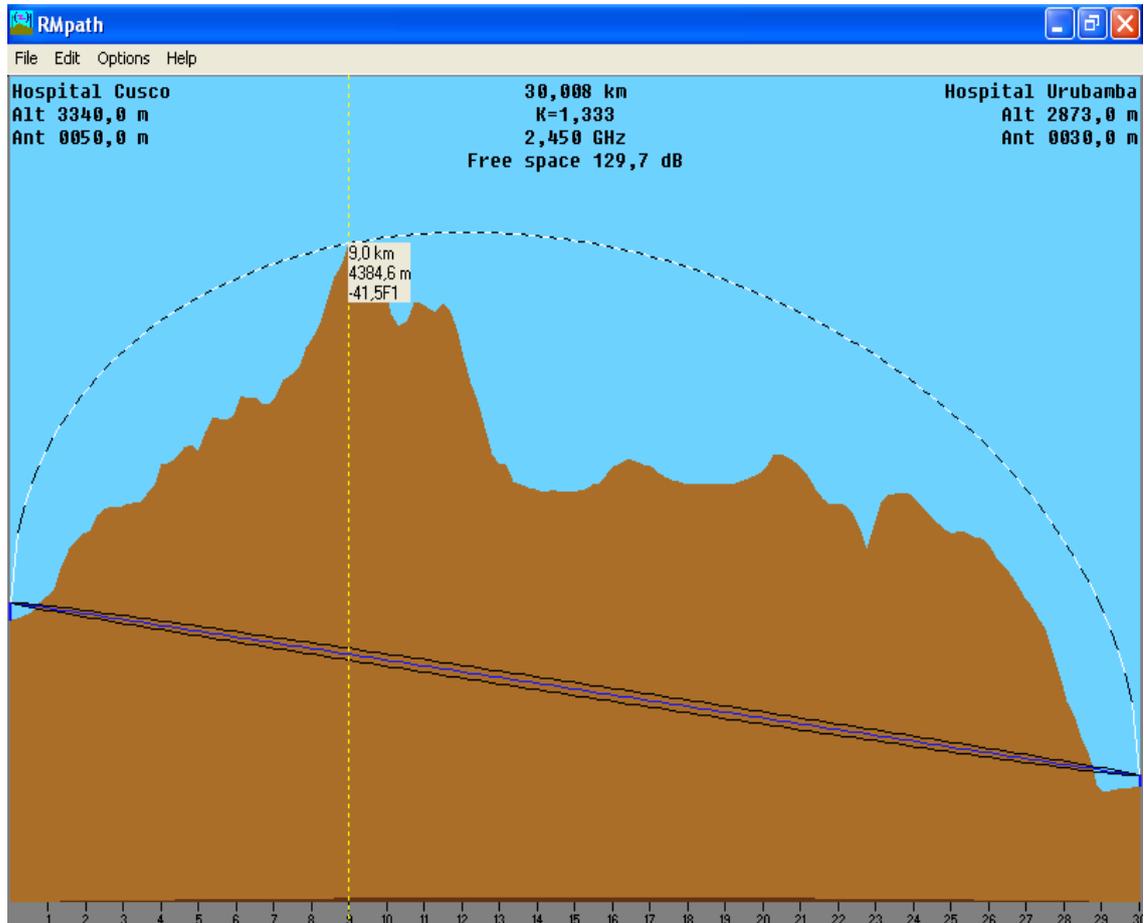


Figura 3.4 Perfil topográfico entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba

En la figura 3.4 se observa la presencia de obstáculos (figura 3.2 y figura 3.3) ubicados entre las Estaciones terminales de los Hospitales de Cusco y Urubamba. El valor negativo: $-41,5F_1$ (Claridad mínima) indica que no existe línea de vista entre las estaciones. Teniendo en consideración que para la implementación de un enlace microondas se tiene como condición fundamental la existencia de LOS además de garantizar el 60% como mínimo de la primera zona de fresnel según la recomendación de la ITU, no existe la posibilidad técnica de implementar un enlace microondas directo entre ambas Estaciones Terminales.

Por ello, se plantea como solución la elaboración de un plan de enrutamiento alternativo con el uso de estaciones repetidoras que permitan cumplir con la condición de LOS entre dos estaciones consecutivas.

Para la elección de la ruta óptima se tomó en cuenta los criterios de diseño de un enlace microondas (mencionados en el Capítulo 2) y cumpliendo con los objetivos específicos, el enlace microondas estará constituido por 2: Estaciones Terminales (cada estación ubicada en un Hospital) y 2 Estaciones Repetidoras ubicadas entre las Estaciones Terminales. Para la ubicación de las Estaciones Repetidoras se tomaron como puntos de partida las coordenadas geográficas del Hospital ESSALUD de Cusco y el Hospital ESSALUD de Urubamba y mediante la herramienta “Polar radio coverage” del programa Radiomobile se determinó las posibles ubicaciones de las estaciones repetidoras 1 y 2 verificando la existencia de línea de vista entre dos estaciones consecutivas siguiendo la ruta: Estación Terminal 1 (Hospital Cusco) - Estación Repetidora 1 (figura 3.5), Estación Repetidora 1 - Estación Repetidora 2 (figura 3.6), Estación Repetidora 2 – Estación Terminal 2 (Hospital Urubamba) (figura 3.7).

Por otro lado, para determinar la altitud y coordenadas geográficas reales de cada Estación Repetidora, se utilizó nuevamente el GPS GARMIN 12XL, las coordenadas geográficas de cada estación fueron ingresadas al programa radio mobile para obtener los perfiles topográficos entre estaciones consecutivas según el plan de enrutamiento. Estos perfiles se presentan a continuación:

1. Perfil topográfico: Estación Terminal 1 (Hospital de Cusco) - Estación Repetidora 1.

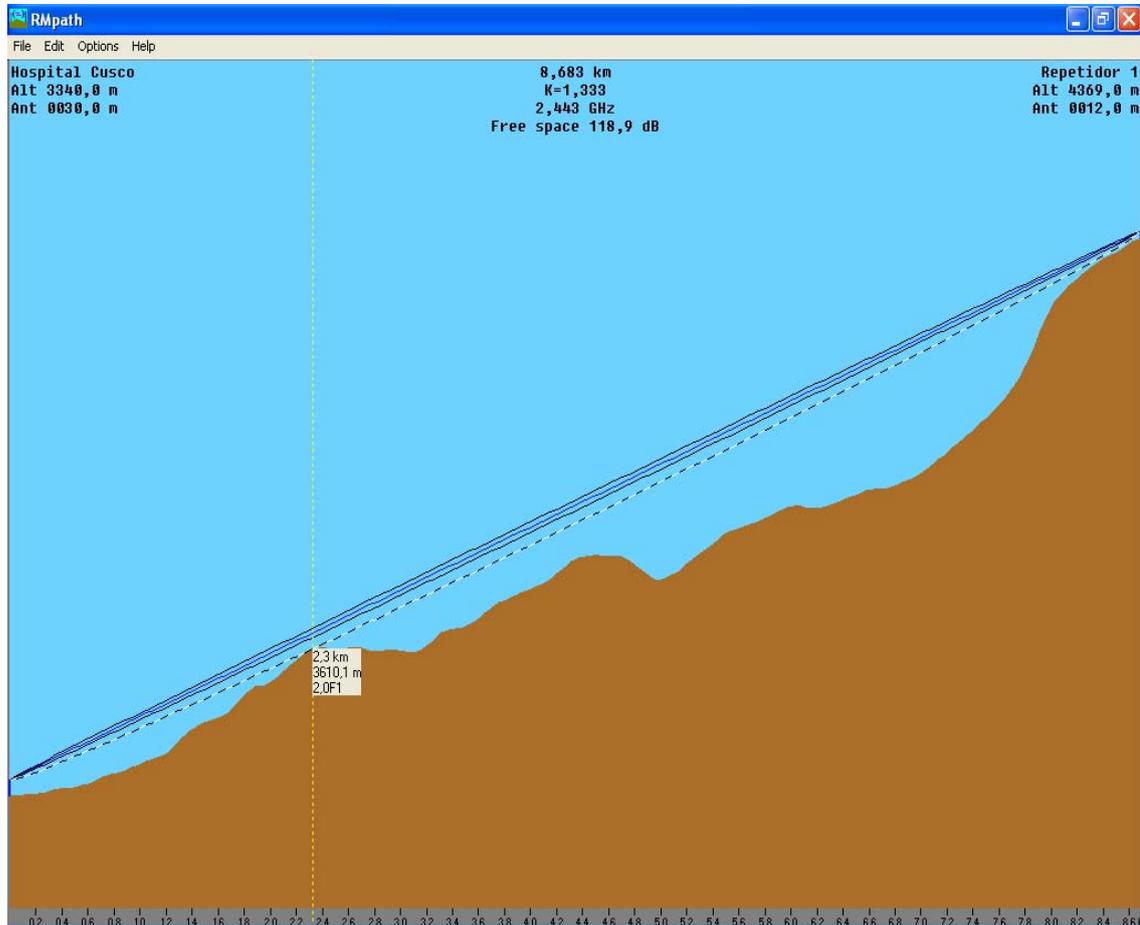


Figura 3.5 Perfil topográfico del Hospital de Cusco y la Estación Repetidora 1

De acuerdo a la figura 3.5, la línea recta que une la Estación Terminal 1 (Hospital de Cusco) con la Estación Repetidora 1 no se cruza con ningún obstáculo (montañas), en consecuencia, existe línea de vista (LOS) entre ambas estaciones. Por otro lado, la claridad para el obstáculo más cercano a la línea recta (Claridad menor) es mayor en 0.6 veces la primera zona de Fresnel (F_1) e igual a $2.0 F_1$.

La existencia de línea de vista y el valor de la claridad garantizan el funcionamiento óptimo del enlace de comunicaciones entre ambas estaciones.

2. Perfil topográfico: Estación Repetidora - Estación Repetidora 2.

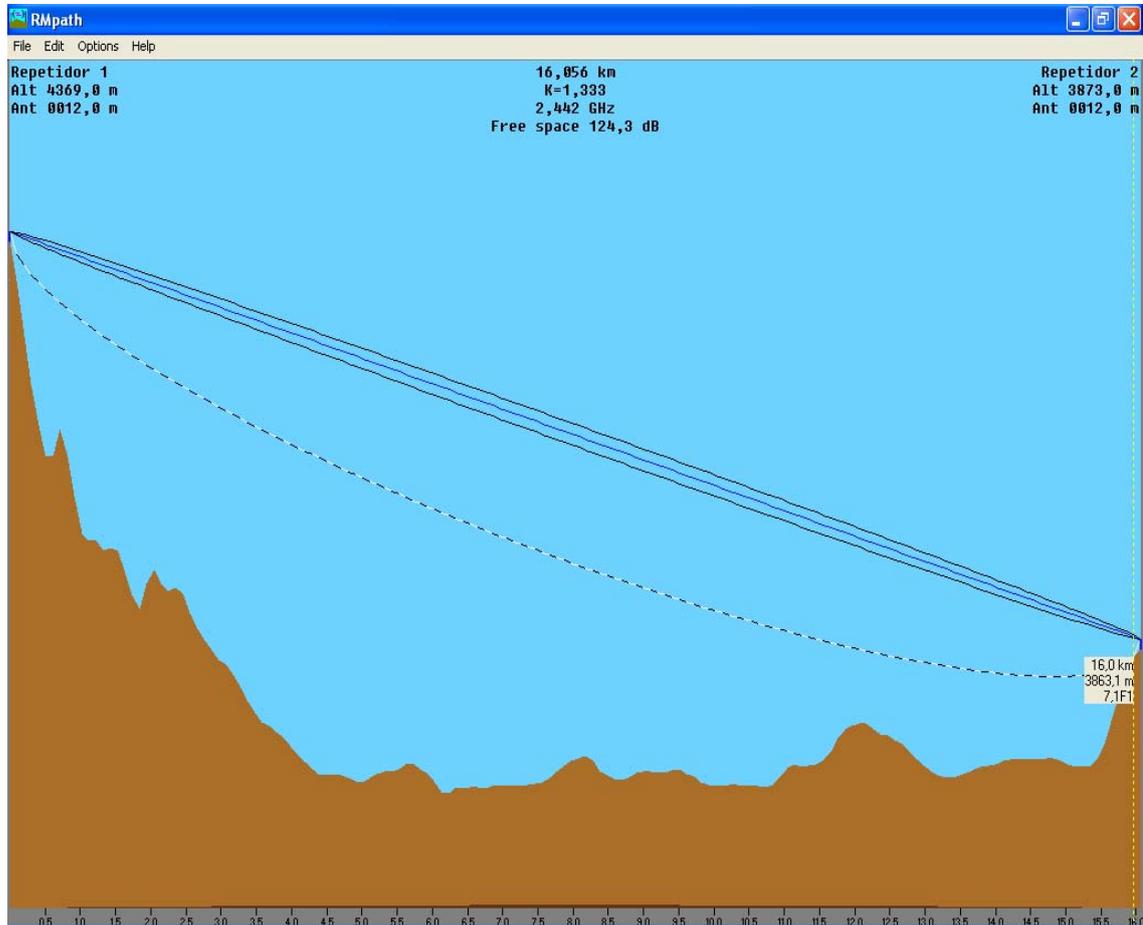


Figura 3.6 Perfil topográfico desde la ubicación de la Estación Repetidora 1 hacia la Estación Repetidora 2

En la figura 3.6 se observa la existencia de LOS entre la Estación Repetidora 1 y la Estación Repetidora 2. Por otro lado, el valor de la claridad menor es de $7.1 F_1$ (mayor a $0.6 F_1$), estas características garantizan el funcionamiento óptimo del enlace entre ambas estaciones.

3. Perfil topográfico: Estación Repetidora 2 - Estación Terminal 2 (Hospital de Urubamba).

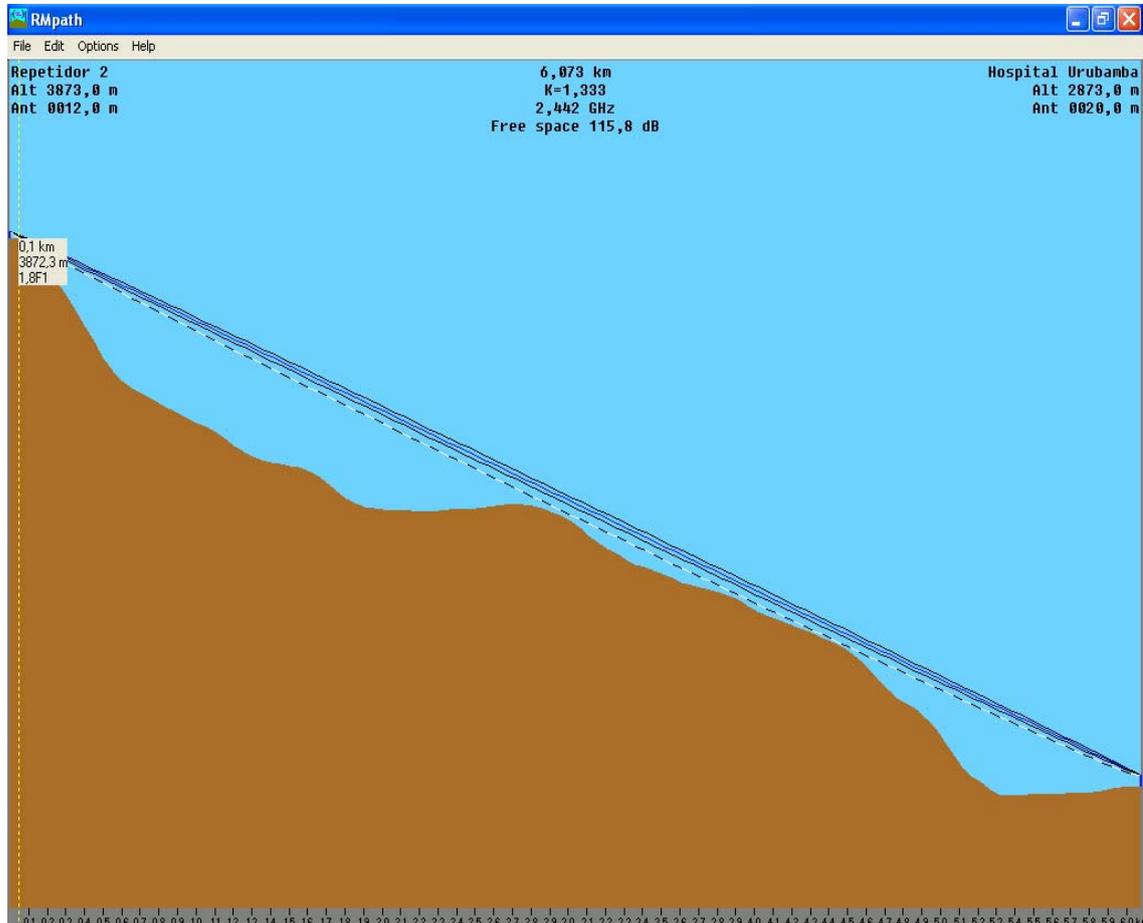


Figura 3.7 Perfil topográfico desde la ubicación de la Estación Repetidora 2 hacia la Estación Terminal del Hospital de Urubamba

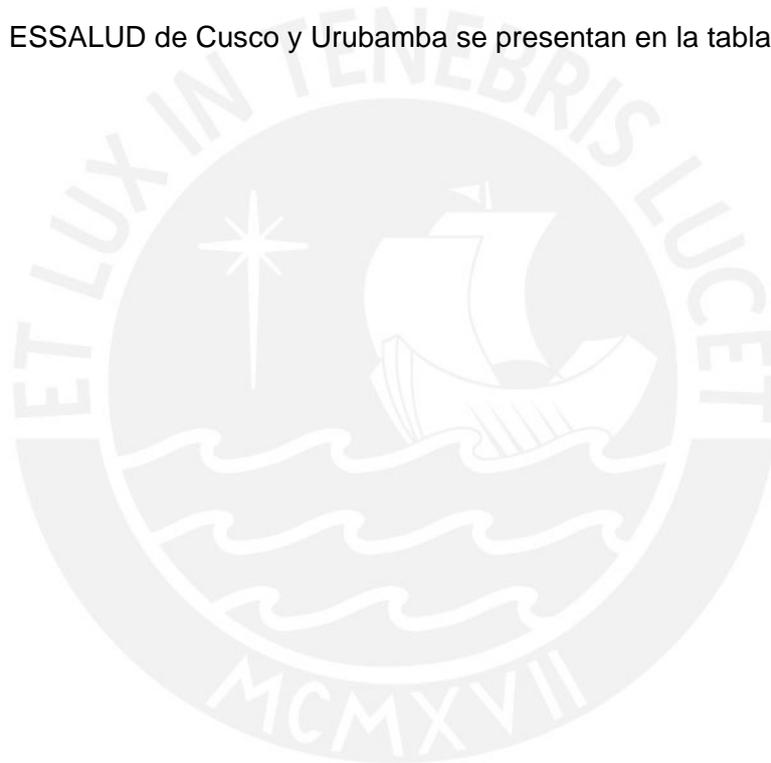
Al igual que en los casos anteriores; en la figura 3.7 se observa la existencia de línea de vista entre la Estación Repetidora 2 y la Estación Terminal 2 (Hospital de Urubamba). El valor de la claridad menor es de $1.8F_1$ (mayor a $0.6 F_1$), estas características satisfacen los requerimientos para un enlace entre ambas estaciones.

Es preciso mencionar que el LOS para cada uno de los enlaces (Estación Terminal 1 – Estación Repetidora 1, Estación Repetidora 1 – Estación Repetidora 2, Estación Repetidora 2 – Estación Terminal 1) se verificó utilizando un catalejo en las

respectivas coordenadas geográficas como parte del reconocimiento físico del plan de enrutamiento.

En la figura 3.8 se observa el plan de enrutamiento para el radio enlace digital entre Los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba.

Los datos obtenidos de cada una de las estaciones que conforman el enlace entre Los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba se presentan en la tabla 3.3.



Estación	Depart.	Provincia	Distrito	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud (m)	Vía de acceso	Suministro de energía eléctrica	Seguridad
Estación Terminal 1 (Hospital Categoría 4 ESSALUD Cusco)	Cusco	Cusco	Cusco	13°31'18.8" S	71°57'29.2" W	3370	Zona urbana	Cuenta con suministro de energía eléctrica.	Los equipos de comunicaciones se encuentran ubicados en el piso 5 del Hospital.
Estación Repetidora 1	Cusco	Anta	Cachimayo	13°27'30.8" S	72°01'07.6" W	4263	Vía carretera asfaltada hasta el kilómetro 16 de la carretera Cusco - Cachimayo con un tramo final de carretera afirmada en buen estado.	Cuenta con suministro de energía eléctrica.	En la zona se encuentran equipos y torres de comunicaciones. Cuenta con seguridad privada las 24 horas.
Estación Repetidora 2	Cusco	Urubamba	Maras	13°21'14.7" S	72°06'30.4" W	4460	Vía carretera asfalta Cusco Urubamba.	Cuenta con suministro de energía eléctrica.	En la zona se encuentran equipos y torres de comunicaciones. Cuenta con seguridad privada las 24 horas.
Estación Terminal 2 (Hospital Categoría 1 ESSALUD Urubamba)	Cusco	Urubamba	Urubamba	13°18'20.6" S	72°06'38.7" W	3314	Zona urbana	Cuenta con suministro de energía eléctrica.	Cuenta con seguridad por parte del Hospital.

Tabla 3.3 Coordenadas geográficas, vías de acceso, seguridad y suministro de energía de las Estaciones Terminales y Estaciones Repetidoras.

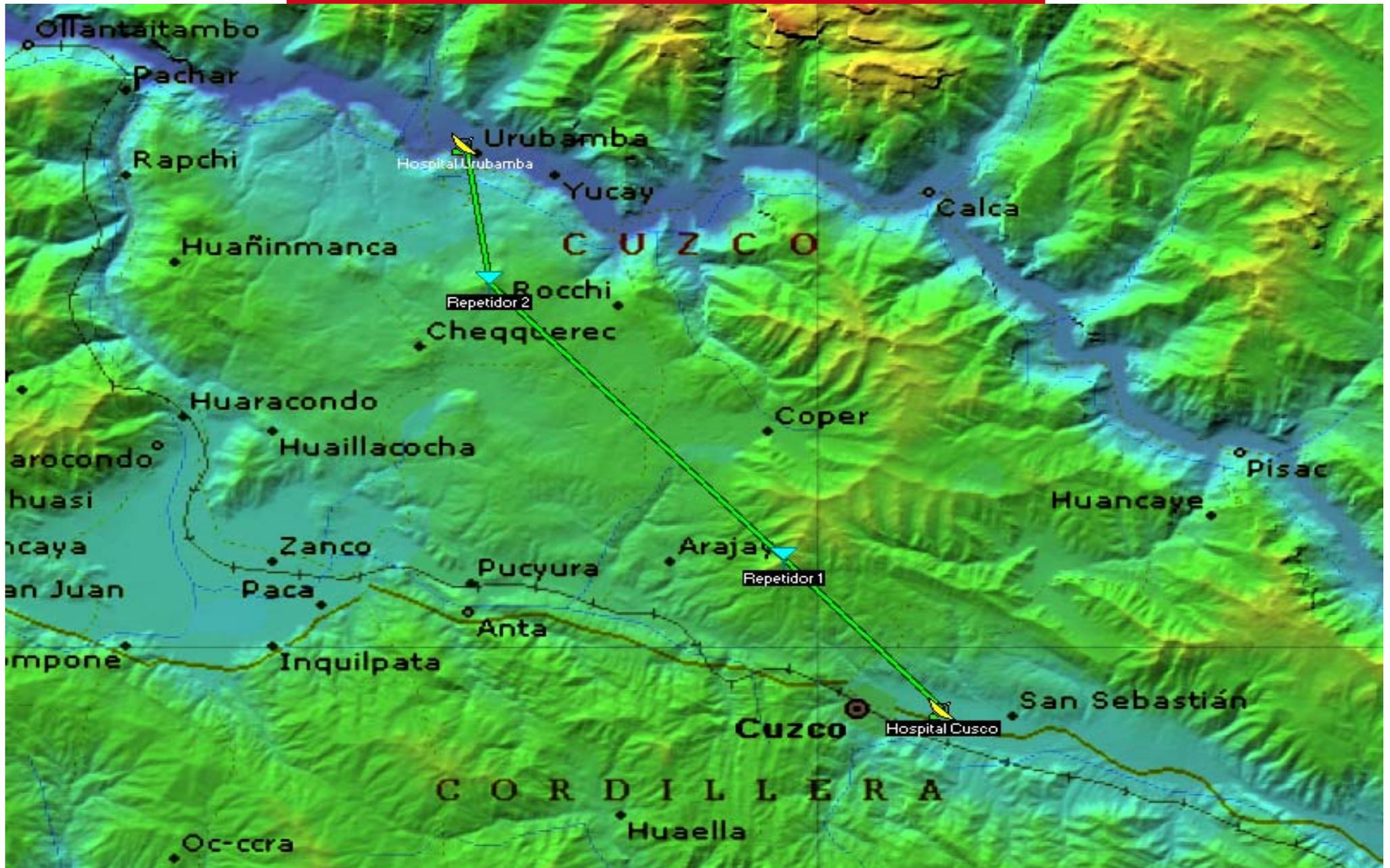


Figura 3.8 Mapa geográfico: plan de enrutamiento para el radio enlace digital entre los Hospitales ESSALUD de Cuzco y Urubamba.

3.5.4. Sistema de protección eléctrica

La estación Terminal 1 (Hospital de Cusco) y la Estación Terminal 2 (Hospital de Urubamba) cuentan con un sistema de protección para las descargas atmosféricas (rayos), cada uno de estos está conformado por una varilla tetrapuntal, ubicada en la parte superior de una torre (por encima de las antenas), y conectada a un pozo a tierra mediante un cable de cobre.

Por otro lado, las Estaciones Repetidoras 1 y 2 no cuentan con un sistema de protección eléctrica para descargas atmosféricas, lo que las hace vulnerables a estos fenómenos. En consecuencia, es necesario considerar un sistema de protección para cada estación, el cual estará constituido al igual que el de las Estaciones Terminales, por una varilla tetrapuntal conectada a un pozo a tierra por medio de un cable de cobre (ver anexo 1: Planos). Es preciso mencionar que este pozo únicamente será utilizado para este fin, ya que los niveles de voltaje son elevados y podrían dañar los equipos de comunicaciones.

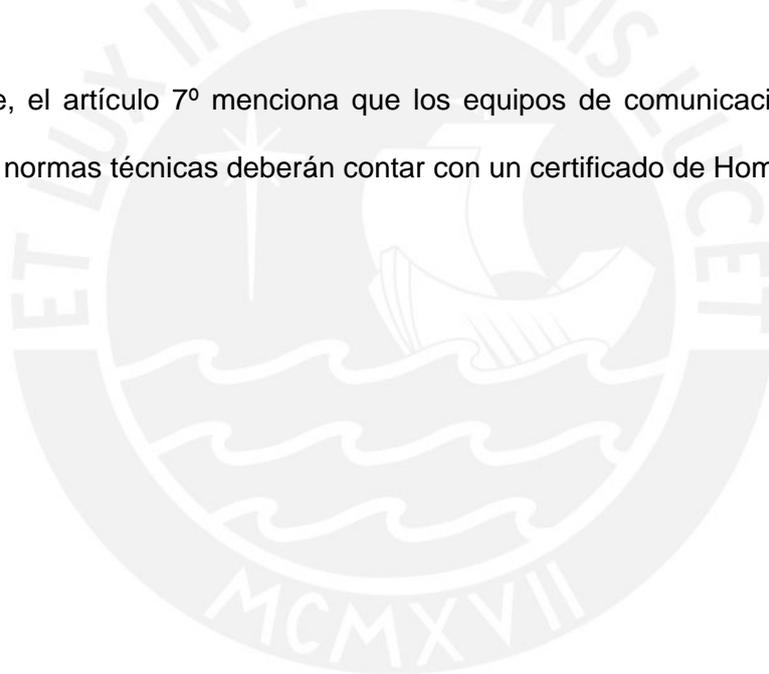
3.6. Normativa para el uso de frecuencias y equipos

Las condiciones de operación y normas técnicas de los servicios cuyos equipos operan en las bandas de 902 – 928 MHz, 2400 – 2483.5 MHz y 5725 – 5850 Mhz se encuentran en la Directiva N° 003-98-MTC/15.19 que fue aprobada mediante resolución Directoral N° 003-98-MTC/15.19 . (ver anexo 3: Normas legales)

Esta Directiva menciona en el artículo 3º las siguientes características técnicas de funcionamiento:

- La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) para un espacio abierto debe ser $4W / 36dBm$ como valor máximo (incluyendo amplificadores).
- La potencia pico máxima de salida de un transmisor no debe exceder de $1 W$ ($30dBm$) para espacios abiertos.
- El transmisor deberá estar instalado en un ambiente de fácil acceso para facilitar la supervisión por parte del Ministerio
- Para enlaces punto a punto: las antenas deben ser direccionales, con un ancho de lóbulo no mayor de 30° .

Finalmente, el artículo 7º menciona que los equipos de comunicaciones que operan bajo estas normas técnicas deberán contar con un certificado de Homologación.



CAPITULO 4

PROPUESTA DE DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES

4.1. Diseño del enlace

Con los datos obtenidos en el capítulo anterior determinaremos el valor de los parámetros del enlace. Como primer parámetro se determinará la altura de las torres de cada estación, ya que estas soportarán las antenas en la parte superior. Por otro lado, procedemos con el cálculo de la potencia necesaria del transmisor, se debe garantizar un margen de señal por encima de los 20 dBm para cada enlace, este valor permitirá que los enlaces operen a la máxima tasa de transferencia sin caídas o interrupciones.

De acuerdo a los datos obtenidos seleccionaremos los equipos, los cuales deberán cumplir con los parámetros de diseño calculados, garantizar su funcionamiento de acuerdo a las características atmosféricas de la zona y cumplir con las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Finalmente se realizará el cálculo del costo total por Estación, este incluye los equipos de telecomunicaciones, sistemas de protección, pozo a tierra, mantenimiento del enlace, mano de obra y accesorios.

4.1.1. Cálculo de la altura de las torres

Para dimensionar la altura de las torres, primero calculamos el radio de la primera zona de fresnel con la siguiente relación matemática:

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}} \qquad \lambda = \frac{300}{f(MHz)}$$

f : Frecuencia de operación (Mhz)

λ : Longitud de onda (m)

d_1 : Distancia entre el obstáculo y la estación Terminal (m)

r_1 : Radio de la primera zona de Fresnel

d_2 : Distancia entre el obstáculo y la siguiente estación (m)

El cálculo matemático lo realizaremos para el enlace: Estación Terminal 1 (Hospital de Cusco) - Estación Repetidora 1. Del trazado de perfiles con el programa radiomobile obtenemos los siguientes datos: $f = 2.4$ GHz, $d_1 = 2.3$ Km, $d_2 = 6.383$ Km, $D = 8.683$ Km y C (Claridad mínima) = 28.59 m; finalmente se obtiene: $r_1 = 14.53$ m.

Según la ITU se debe asegurar como mínimo el 60% de la 1ra zona de Fresnel, es decir, $C \geq 0.6 r_1$, $C = 1.96 r_1$ (Cumple la condición de diseño). El valor de C obtenido por el programa radiomobile es $2.0 r_1$ (Ver figura 3.5), en conclusión, se observa una buena aproximación de los valores de C hallados matemáticamente y con el programa, por consiguiente evitaremos los cálculos matemáticos y usaremos la herramienta radiomobile.

En la tabla 4.1 se presentan las alturas de las torres ubicadas en las Estaciones Terminales y Repetidoras, es importante mencionar que la claridad mínima de cada enlace cumple con la recomendación de la ITU, garantizando el óptimo funcionamiento de los enlaces.

Estación	Consideraciones de diseño	Altura (m)	Radio de Fresnel (m)	Claridad real
Estación Terminal 1	El Hospital de Cusco cuenta con torres para el anclaje de antenas.	30	14.53 (E. Terminal 1 – E. Repetidora 1)	$C_R = 2.0 r_1$ (E. Terminal 1 – E. Repetidora 1)
Estación Repetidora 1	Se considera un margen de seguridad de 10 m por la altura de árboles y 2 m por crecimiento.	12	2.61 (E. Repetidora 1- E. Repetidora 2)	$C_R = 7.1 r_1$ (E. Repetidora 1- E. Repetidora 2)
Estación Repetidora 2	Se considera un margen de seguridad de 10 m por la altura de árboles y 2 m por crecimiento	12	3.5 (E. repetidora 2 – E. Terminal 2)	$C_R = 1.8 r_1$ (E. repetidora 2 – E. Terminal 2)
Estación Terminal 2	Asegurar la existencia de línea de línea de vista con la Estación Repetidora 2, se considera un margen de seguridad de 10 m por edificaciones.	20		

Tabla 4.1 Altura de las torres para las Estaciones Terminales y Estaciones Repetidoras.

4.1.2. Cálculo de la potencia necesaria en el transmisor

4.1.2.1. Configuración del programa radiomobile

Para proceder con la simulación de los enlaces de comunicaciones, asignamos valores a los parámetros del programa; y los clasificamos en dos grupos: características del terreno y características técnicas de funcionamiento. La configuración de las características del terreno permitirá obtener una mejor aproximación del comportamiento ideal (matemático) con el comportamiento real que tendrán los enlaces de comunicaciones.

a) Características del terreno

Debido a que todos los enlaces de comunicaciones se realizan en zonas rurales utilizaremos las características de un terreno promedio (Conductividad del terreno = 0.005, permitividad relativa = 15 y refractividad de la superficie = 301), estos valores son obtenidos de la siguiente tabla ubicada en la ayuda del programa:

Característica del terreno	Conductividad del terreno	Permitividad relativa
Terreno promedio	0.005	15
Terreno árido	0.001	4
Buen terreno	0.02	25
Agua dulce	0.01	25
Agua de mar	5	25

Tabla 4.2 Valores de conductividad y permitividad para un determinado tipo de terreno

No se considera pérdidas por ciudad ni forestales por ser zona rural, seleccionamos un clima con temperatura continental y un modo de variabilidad del tipo “spot” con valores del 50% para cada uno de los parámetros (tiempo, localizaciones y situaciones).

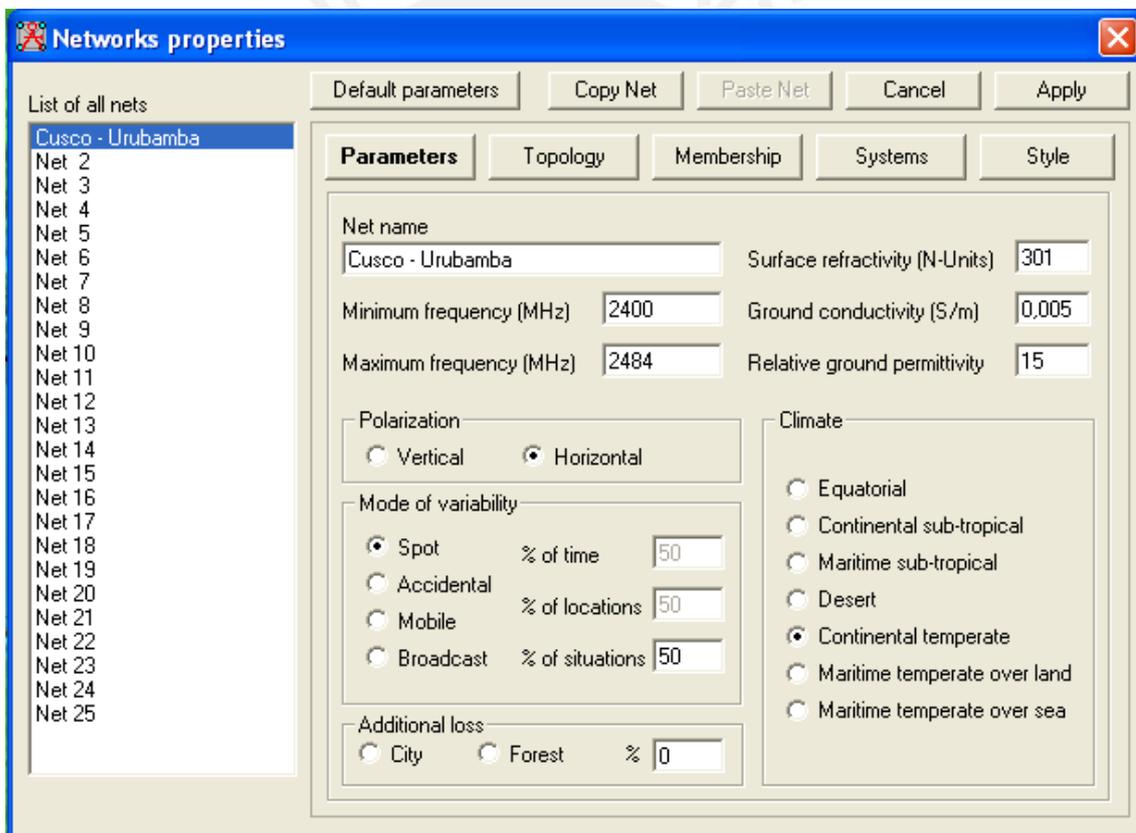


Figura 4.1 Configuración del programa radiomobile: características del terreno

b) Características técnicas de operación

Los valores de frecuencia, potencia del transmisor, sensibilidad del receptor, pérdidas en cables, filtros y protectores para cada estación se muestran a continuación:

- La frecuencia de operación para cada uno de los enlaces (Estación Terminal 1 – Estación Repetidora 1, Estación Repetidora 1 – Estación Repetidora 2, Estación Repetidora 2 – Estación Terminal 2) esta dada por el estandar IEEE 802.11b, en consecuencia se trabajará dentro del rango 2.4 – 2.484 GHz.
- La potencia del transmisor para cada una de las estaciones será de 200 mW (23 dBm), la sensibilidad de los receptores será de -81 dBm, la ganancia de cada una de las antenas ubicadas en las Estaciones Terminales (1 antena) y Estaciones Repetidoras (2 antenas) será de 24 dB. Estos valores fueron seleccionados en base a los cálculos y pruebas realizados en el trabajo de investigación: “Diseño de una red de telecentros rurales con un acceso satelital compartido” [8], donde los parámetros: distancias entre estaciones y características geográficas y atmosféricas de la zona son similares al trabajo de investigación que se esta desarrollando.
- Se utilizará un protector de rayos modelo AL6-NMNFB (ver figura 4.6) el cual introduce una atenuación de 0.5 dB. Este valor es ingresado al campo de perdidas adicionales en cables.
- El cable coaxial utilizado será el BWC – 400, este introduce una pérdida de 0.2231 dB/m. Las pérdidas por cables en cada una de las estaciones se presentan a continuación.

a) Estación Terminal 1: La altura a la cual se instalará la antena es de 30m sobre el nivel del suelo, sin embargo, la distancia entre la antena y la tarjeta controladora será aproximadamente de 10 m. La longitud del cable coaxial tendrá una magnitud de 12.1 m según valores comerciales [7]. En consecuencia, la atenuación generada será de 2.7 dB. En la figura 4.2 se presenta la configuración del programa radiomobile con las características técnicas de operación para la Estación Terminal 1.

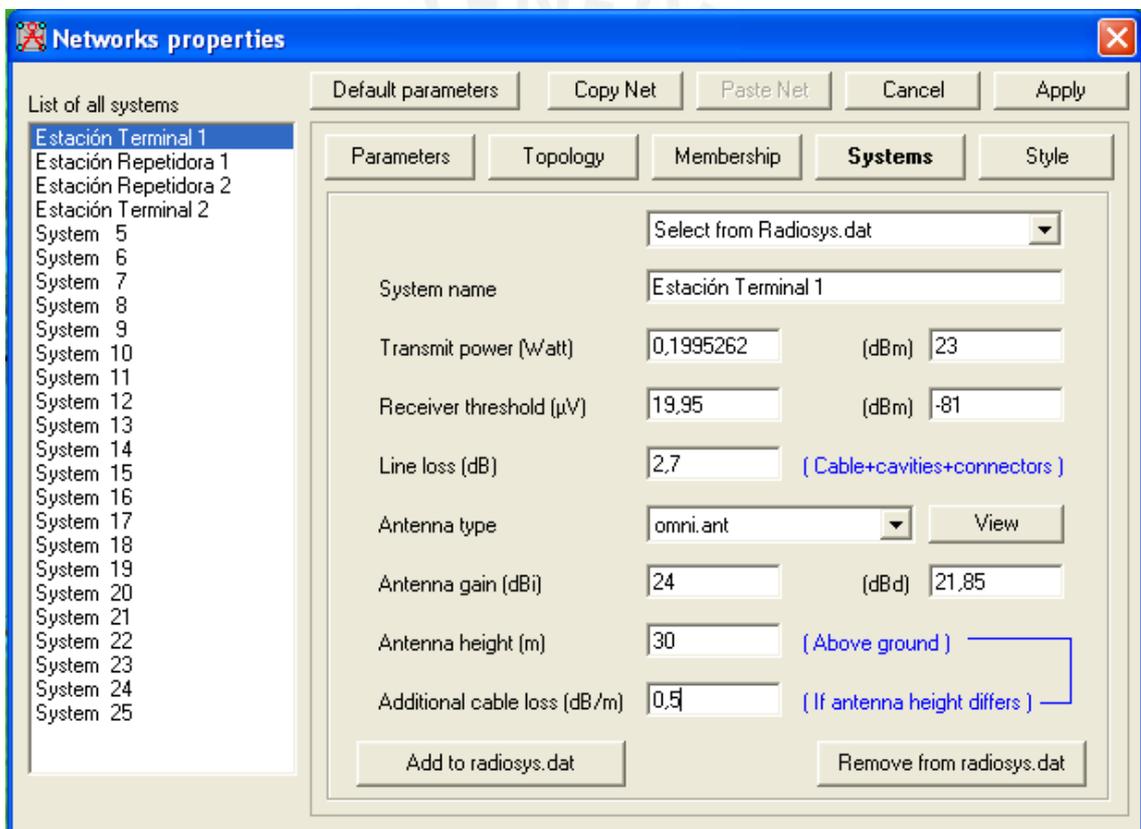


Figura 4.2 Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Terminal 1

b) Estación Repetidora 1 y 2: Ambas estaciones tienen torres con una altura de 12 m, los equipos de comunicaciones (Tarjeta controladora y accesorios) serán instalados en la misma torre para evitar pérdidas significativas por la atenuación generada por el cable coaxial. Además los equipos de comunicaciones estarán lo mas próximos con sus respectivas antenas. La longitud seleccionada según valores comerciales [7] es de

0.6 m, generando una pérdida de 0.15 dB. En la figura 4.3 y 4.4 se presentan las configuraciones del programa radiomobile con las características técnicas de operación para las Estaciones Repetidoras 1 y 2.

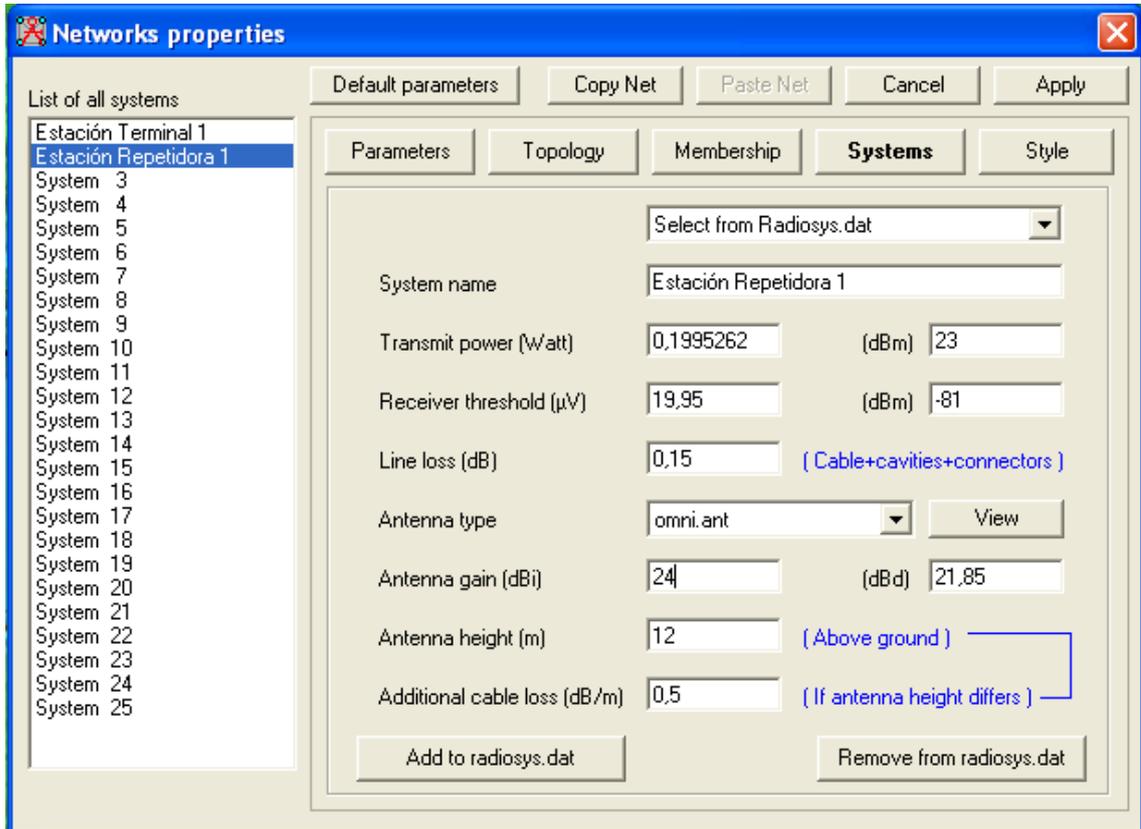


Figura 4.3 Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Repetidora 1

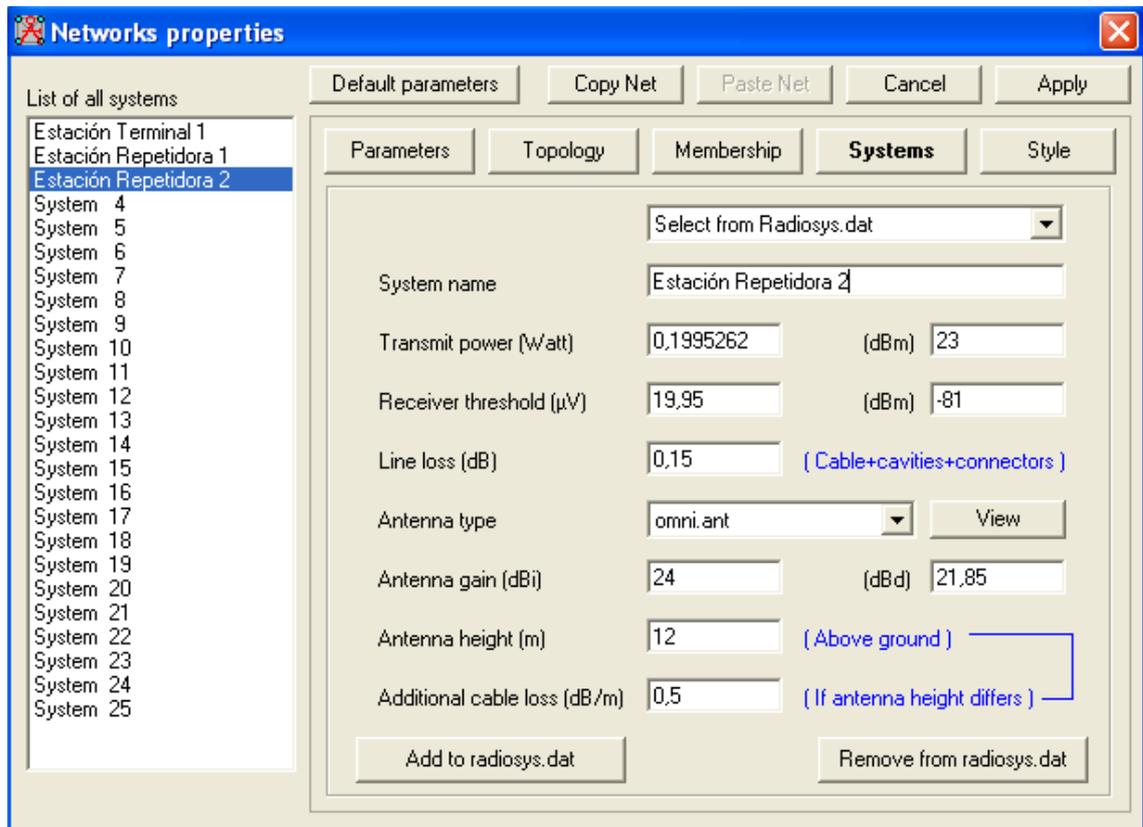


Figura 4.4 Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Repetidora 2

c) Estación Terminal 2: Se tiene una torre con una altura de 20 m sobre el nivel del suelo, los equipos de comunicaciones (tarjeta controladora y accesorios) estarán instalados en una caseta ubicada al nivel del suelo. Por lo tanto la longitud del cable coaxial será de 22.9 m según valores comerciales [7], en consecuencia este cable introduce una pérdida de 5.1 dB. En la figura 4.5 se presenta la configuración del programa radiomobile con las características técnicas de operación para la Estación Terminal 2.

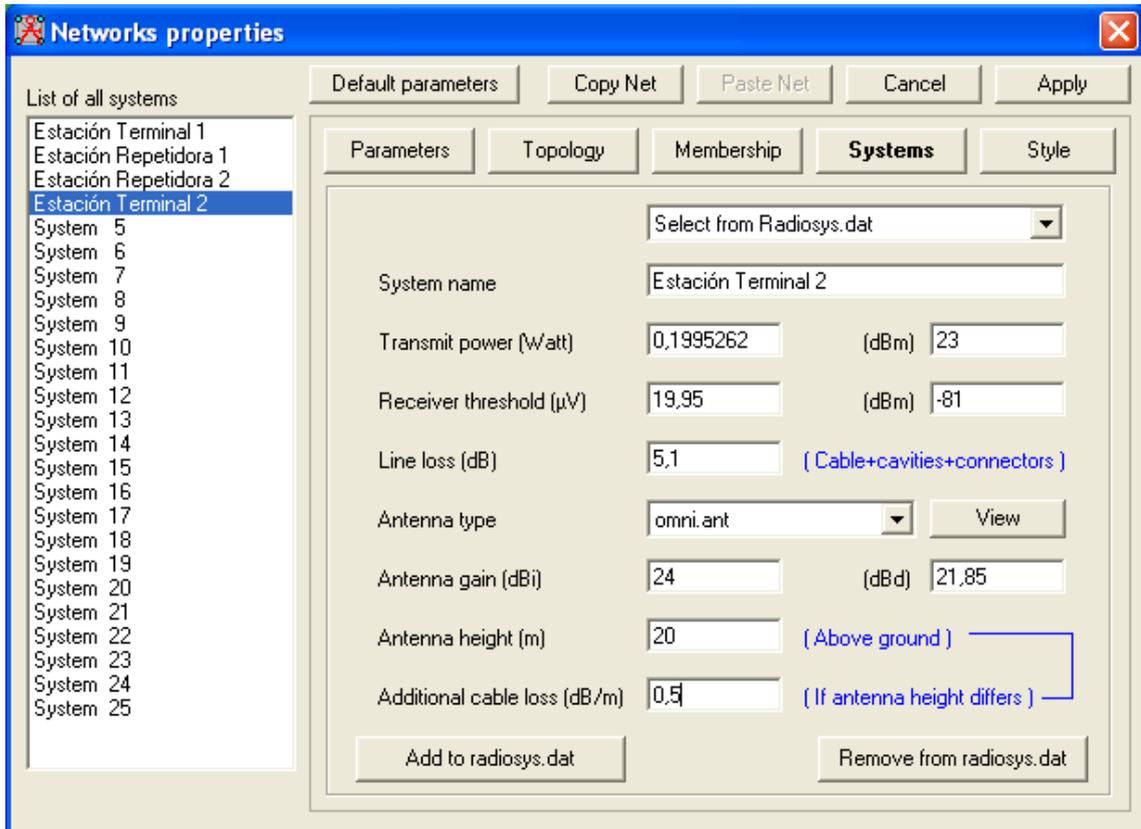


Figura 4.5 Configuración del programa radiomobile: características técnicas de operación de la Estación Terminal 2

4.1.2.2. Simulación de los enlaces de comunicaciones

La relación matemática utilizada por el programa radio mobile para determinar el margen de señal es la siguiente:

$$M \text{ (dB)} = \text{Señal recibida (dBm)} - R \text{ (dBm)}$$

$$M \text{ (dB)} = (T - L1 + A1 - P + A2 - L2) - R$$

Donde:

T (dBm) = $10 \log_{10}$ (Potencia en el transmisor) + 30

A1 (dBi) = Ganancia de la antena en el transmisor.

L2 (dB) = Pérdidas en cables (receptor)

R (dBm) = $20 \log_{10}$ (Umbral de receptor en micro voltios) - 107

P (dB) = Pérdidas por radio propagación incluyendo margen de desvanecimiento (modelo de Longley-Rice)

L1 (dB) = Pérdidas en cables (transmisor)

A2 (dBi) = Ganancia de la antena en el receptor

Con los parámetros configurados procedemos con la simulación de los enlaces: (Estación Terminal 1 – Estación Repetidora 1, Estación Repetidora 1- Estación Repetidora 2, Estación Repetidora 2 – Estación Terminal 1), los valores obtenidos de cada simulación se muestran a continuación:

1. Enlace: Estación Terminal 1 (Hospital de Cusco) - Estación Repetidora 1.

Distance between Hospital Cusco and Repetidor 1 is 8,7 km (5,4 miles)

True North Azimuth = 318,6°, Magnetic North Azimuth = 322,1°, Elevation angle = 6,5985°

Terrain elevation variation is 1028,9 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 2,0F1 at 2,3km

Average frequency is 2442,000 MHz

Free Space = 118,9 dB, Obstruction = 3,6 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB,

Statistics = 0,0 dB

Total propagation loss is 122,6 dB

System gain from Hospital Cusco to Repetidor 1 is 148,3 dB

System gain from Repetidor 1 to Hospital Cusco is 148,3 dB

Worst reception is 25,6 dB over the required signal to meet

50,000% of time, 50,000% of locations, and 50,000% of situations

2. Enlace 2: Estación Repetidora 1 - Estación Repetidora 2.

Distance between Repetidor 1 and Repetidor 2 is 16,1 km (10,0 miles)

True North Azimuth = 318,1°, Magnetic North Azimuth = 321,6°, Elevation angle = -1,8405°

Terrain elevation variation is 674,8 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 7,1F1 at 16,0km

Average frequency is 2442,000 MHz

Free Space = 124,3 dB, Obstruction = 5,0 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB,

Statistics = 0,0 dB

Total propagation loss is 129,2 dB

System gain from Repetidor 1 to Repetidor 2 is 151,0 dB

System gain from Repetidor 2 to Repetidor 1 is 151,0 dB

Worst reception is 21,5 dB over the required signal to meet

50,000% of time, 50,000% of locations, and 50,000% of situations

3. Enlace: Estación Repetidora 2 - Estación Terminal 2 (Hospital de Urubamba).

Distance between Repetidor 2 and Hospital Urubamba is 6,1 km (3,8 miles)

True North Azimuth = 351,5°, Magnetic North Azimuth = 354,9°, Elevation angle = -9,2991°

Terrain elevation variation is 1016,8 m

Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 1,8F1 at 0,1km

Average frequency is 2442,000 MHz

Free Space = 115,8 dB, Obstruction = -1,8 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB,

Statistics = 0,6 dB

Total propagation loss is 114,6 dB

System gain from Repetidor 2 to Hospital Urubamba is 145,9 dB

System gain from Hospital Urubamba to Repetidor 2 is 145,9 dB

Worst reception is 31,1 dB over the required signal to meet

50,000% of time, 50,000% of locations, and 50,000% of situations

En la tabla 4.3 se presentan las características técnicas para cada uno de los enlaces así como los resultados obtenidos con el programa radiomobile.

Características	Estación terminal 1 (A) – Estación repetidora 1 (B)	Estación Repetidora 1 (A) – Estación Repetidora 2 (B)	Estación Repetidora 2 (A)– estación Terminal 2 (B)
Frecuencia de operación	2400 Mhz – 2484 Mhz	2400 Mhz– 2484 Mhz	2400 Mhz– 2484 Mhz
Capacidad del sistema	11 Mbps	11 Mbps	11 Mbps
Longitud del enlace (Km)	8.7 Km	16.1 Km	6.1 Km
Tipo de antena A	Direccional	Direccional	Direccional
Tipo de antena B	Direccional	Direccional	Direccional
Altura de la estación A (m)	30	12	12
Altura de la Estación B (m)	12	12	20
Longitud del cable coaxial A (m)	12.1	0.6	0.6
Longitud del cable coaxial B (m)	0.6	0.6	22.9
Atenuación del cable coaxial A (dB)	2.7	0.15	0.15
Atenuación del cable coaxial B (dB)	0.15	0.15	5.1
Atenuación de filtros y protectores A (dB)	0.5	0.5	0.5
Atenuación de filtros y protectores B (dB)	0.5	0.5	0.5
Pérdida por espacio libre (dB)	118.9	124.3	115.8
Total de pérdidas	122.6	129.2	114.6
Potencia del transmisor	200mW	200mW	200mW
Ganancia de antena A (dB)	24	24	24
Ganancia de antena B (dB)	24	24	24
Sensibilidad o umbral del receptor (dBm)	-81	-81	-81
Potencia recibida (dBm)	-55.4	-59.5	-49.9
Margen de señal (dBm)	25.6 > 20	21.5 > 20	31.1 > 20

Tabla 4.3 Valores de sensibilidad, potencia recibida y margen de señal para cada uno de los enlaces de acuerdo al plan de enrutamiento.

Los valores utilizados de potencia de transmisión y ganancia de las antenas, satisfacen los requerimientos de diseño según se observa en la tabla 4.3, ya que el margen de señal obtenido en cada uno de los enlaces tienen magnitudes positivas y mayores a 20 dB. Este margen de señal garantiza que el índice de transferencia sea el máximo (11 Mbps) según el estándar IEEE 802.11b y el óptimo funcionamiento de cada enlace.

Por otro lado, si el margen de señal resultante hubiera sido menor de 20 dB para cualquier enlace, entonces sería necesario incrementarlo hasta un valor adecuado de

diseño (mayor a 20dB) mediante el uso de tarjetas inalámbricas PCMCIA de mayor potencia; antenas direccionales tipo grid con mayor ganancia; cables coaxiales con menor factor de atenuación o colocar los equipos de comunicaciones (tarjeta controladora y tarjetas inalámbricas) en la misma torre que soporta las antenas, donde, la distancia entre estos debe ser lo mas corta posible para evitar pérdidas introducidas por el cable coaxial.

A modo de comprobación determinaremos matemáticamente el margen de señal para el enlace: Estación Terminal 1– Estación Repetidora1 con las siguientes ecuaciones:

a) Margen de desvanecimiento:

$$Fm = 30\log D + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70$$

Fm : margen de desvanecimiento (dB)
D : Distancia en kilómetros
F : Frecuencia (GHz)

R: confiabilidad
1-R: objetivo de confiabilidad

A : Factor de rugosidad	B: Factor de conversión
4: Sobre agua o terreno muy parejo 1: Sobre un terreno normal 0.25: Sobre un terreno montañoso muy disparejo.	1: disponibilidad anual a una base para el peor mes 0.5: para Áreas calientes y húmedas 0.25: Áreas normales tierra adentro 0.125: Áreas montañosas o muy secas

Tabla 4.4 Factores de rugosidad y conversión para una determinada área y terreno.

Tomamos un factor de rugosidad de 1 y un factor de conversión de 0.25

b) Pérdida por espacio libre: $L_p = 20\log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)dB$

c) Nivel de recepción:

$$P_R = 10\log P_T - L_b(dB) - L_f(dB) + G_T(dB) + G_R(dB) - 20\log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)$$

En la tabla 4.5 observamos que los valores calculados matemáticamente (margen de señal=24dB) son muy aproximados a los valores determinados por el programa radiomobile (Margen de la señal = 25.6dB).



Potencia de transmisión:Pt (dBm)	23,00												
Pérdidas en guías de Onda:Lf (dB)	3,7												
Perdidas en ramificaciones: Lb (Db)	1												
Ganancia: Antena del transmisor: Gt(dB)	24,0												
Ganancia: Antena del receptor: Gr(dB)	24,0												
Distancia de transmisión: D (KM)	8,7												
Factor de rugosidad: A (Terreno normal)	1,0												
Factor de conversión: B (Terreno normal)	0,25												
Confiabilidad: R	0,9999												
Frecuencia de operación(GHz)	2,442												
Margen de desvanecimiento: Fm (dB)	30logD	+	10log(6*A*B*f)	-	10log(1-R)	-	70						
	28,19	+	5,64	-	-40	-	70						
	3,82												
Pérdida por trayectoria: Lp (dB)	92,4	+	20logf(GHz)	+	20logD(Km)								
	92,4	+	7,75	+	18,79								
	118,95												
Potencia de recepción: Pr (dB)	10logPt	-	Lb(dB)	-	Lf(dB)	+	Gt(dB)	+	Gr(dB)	-	Lp	-	Fm
	23,00	-	1,0	-	3,7	+	24,0	+	24,0	-	118,95	-	3,82
	-57												
Sensibilidad o umbral del Receptor (dBm)	-81												
Margen de señal (dBm)	24												

Tabla 4.5 Cálculo de la potencia recibida, sensibilidad y margen de señal para el enlace: Estación Terminal 1 – Estación Repetidora 1.

4.2. Propuesta del enlace de comunicaciones

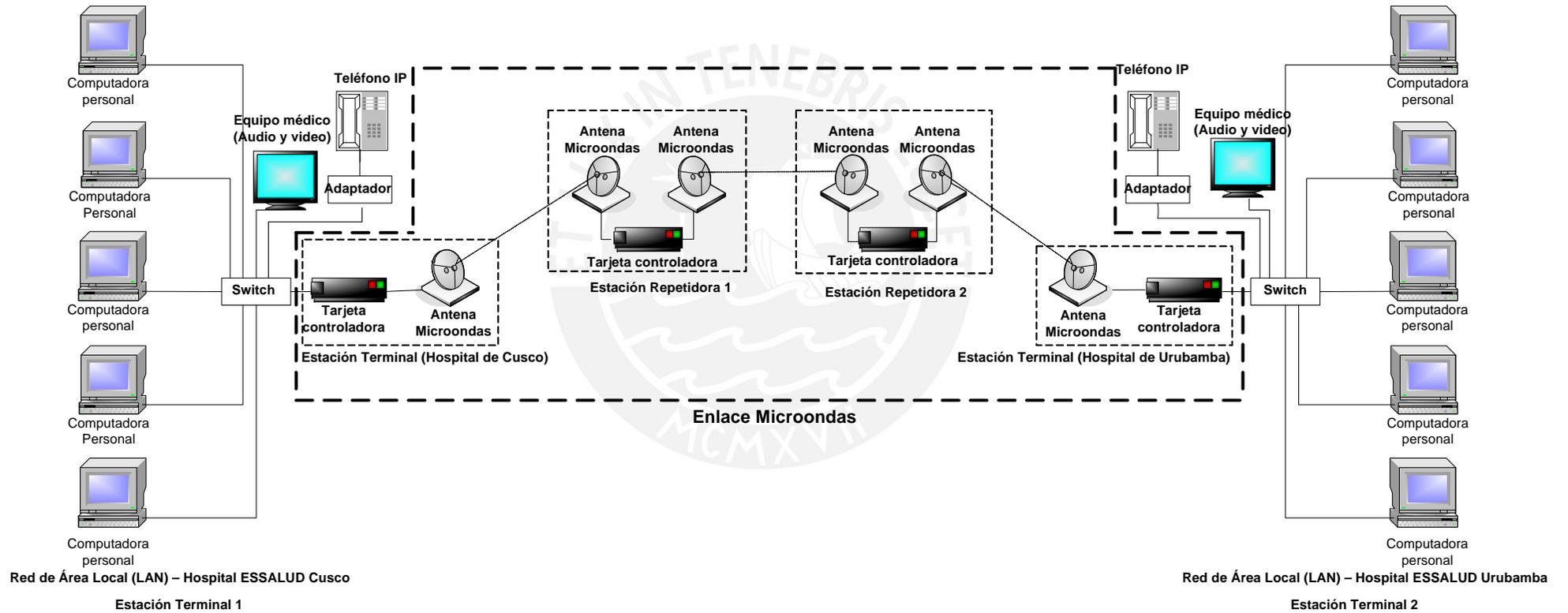


Figura 4.6 Propuesta de un enlace microondas entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba

De acuerdo a la figura 4.6, el enlace de comunicaciones estará constituido por dos Estaciones Terminales: Estación Terminal 1 ubicada en el Hospital ESSALUD de Cusco y la Estación Terminal 2 ubicada en el Hospital ESSALUD de Urubamba.

Cada Estación Terminal estará constituida por una tarjeta controladora y una antena para microondas.

- La tarjeta controladora debe ser un dispositivo electrónico digital que permita detectar una señal débil (bajo nivel de potencia), filtrar, amplificar y retemporizar la transmisión y recepción de las señales digitales.
- La antena ubicada en cada estación terminal permitirá incrementar el nivel de la potencia de la señal transmitida o recibida con elevados niveles de ganancia.

Según el plan de enrutamiento; se utiliza 2 Estaciones Repetidoras, cada una tiene la capacidad de recibir y retransmitir una señal de radio, estas deberán contar como mínimo con una antena por cada dirección. Las frecuencias de transmisión y recepción por cada canal deben estar lo suficientemente espaciadas para evitar que las señales de transmisión con elevados niveles de señal interfieran con las señales de recepción (bajos niveles de potencial), así como, los acoples entre ambos sentidos de transmisión.

Las estaciones repetidoras tendrán las siguientes funciones:

- Incrementar la cobertura del enlace para cubrir la distancia entre ambos hospitales.
- Salvar la inexistencia de línea de vista entre dos estaciones terminales o repetidoras consecutivas.

- Redireccionar la señal sin degradación o con una degradación tolerable

Como en el caso de una Estación Terminal, las Estaciones Repetidoras estarán constituidas por una tarjeta controladora y antenas.

- La tarjeta controladora de una estación repetidora además de cumplir con las funciones de una tarjeta para Estaciones Terminales debe tener la capacidad de retransmitir la señal recibida con una potencia o nivel mas alto
- La función de las antenas será la misma que para el caso de una Estación Terminal.

4.3. Selección de equipos

Para la selección de los equipos se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Los equipos de comunicaciones deben cumplir con las características técnicas que satisfagan los requerimientos de diseño del enlace y las normas establecidas por el ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).
- Los equipos deben ser compatibles con el estándar 802.11 b; el índice de transmisión requerida por el sistema es de 554 kbps, este valor es menor al índice de transmisión del estandar 802.11b (1 Mbps, 2 Mbps, 5 Mbps y 11Mbps) garantizando que el enlace de comunicaciones no colapse por el uso simultáneo de todos los servicios.
- Facilidad de instalación y mantenimiento, se busca un sistema modular que permita realizar mejoras o ampliaciones futuras.

- Tecnología apropiada para zonas rurales que operen bajo condiciones climáticas críticas (temperaturas bajas, altas, humedad)

Para la implementación del enlace de comunicaciones se utilizarán los siguientes equipos:

a) Tarjetas controladoras Soekris Engineering net 4521 y net 4511

En la tabla 4.6 observamos las características de algunos equipos Access Point utilizados en la implementación de sistemas inalámbricos con los estándares 802.11 a/b/g, las más importantes de estas para la selección de una tarjeta controladora son: la potencia máxima de transmisión y la posibilidad de conexión con antenas externas para lograr un enlace de comunicaciones entre dos estaciones.

Los Access Point que no cuentan con antenas desmontables (cobertura máxima de 500 m cuando los equipos trabajan en un área abierta; “outdoor”) son excluidos del diseño porque no permiten la conexión de antenas externas con gran ganancia (24dB o 30dB), lo que imposibilita realizar enlaces de comunicaciones a grandes distancias (Km).

Por otro lado, los Access Point con conectores para antenas desmontables pueden ser reemplazadas por antenas de mayor ganancia, las cuales cumplen con los requisitos de diseño, sin embargo, los costos de estos equipos (“outdoor”) están por encima de los 500 dólares, lo que implica una gran inversión. Así mismo, estos equipos no tienen flexibilidad en la programación limitando el crecimiento y modularidad de la red microondas. Por lo tanto, no resulta conveniente la utilización de los Access Point para el diseño de la red.

Las tarjetas controladoras Soekris Net 4521 (figura 4.7) y Soekris Net 4511 (figura 4.8) permiten la conexión con antenas externas de gran ganancia (24dB o 30dB), además de contar con la potencia necesaria de transmisión para cada enlace (requerimientos de diseño). Es preciso mencionar que el costo de estas tarjetas es menor y tiene una gran flexibilidad en la programación a diferencia de lo que podemos observar en los equipos Access Point con antenas desmontables. En consecuencia, para el diseño del enlace utilizaremos estas tarjetas con las siguientes características:

Poseen un procesador de clase 486 AMD y una velocidad de 133Mhz, dos puertos Ethernet (conectores RJ-45) 10/100 Mbit (Eth0 y Eth1) que permiten conectarse a redes LAN's independientes, una interface MiniPCI y un slot para una memoria Compact Flash (CF) que permite el almacenamiento del programa que administrara el funcionamiento de los puertos Ethernet y las tarjetas PCMCIA con gran flexibilidad en la programación.

La tarjeta Soekris net 4521 cuenta con dos interfaces PCMCIA y la Soekris net 4511 cuenta con una sola interface. Las tarjetas PCMCIA cuentan con un conector que permite incrementar la ganancia de la potencia de salida, mediante un pigtail, cable coaxial y una antena externa. Para mayor detalle ver anexo 4: Hojas técnicas.

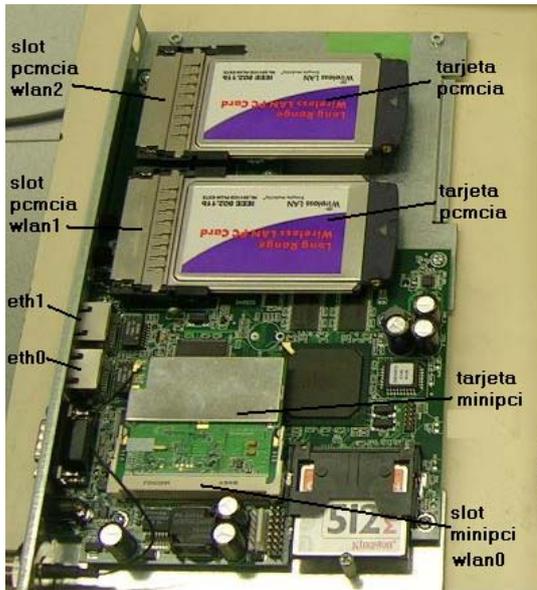


Figura 4.7 Tarjeta Soekris net 4521

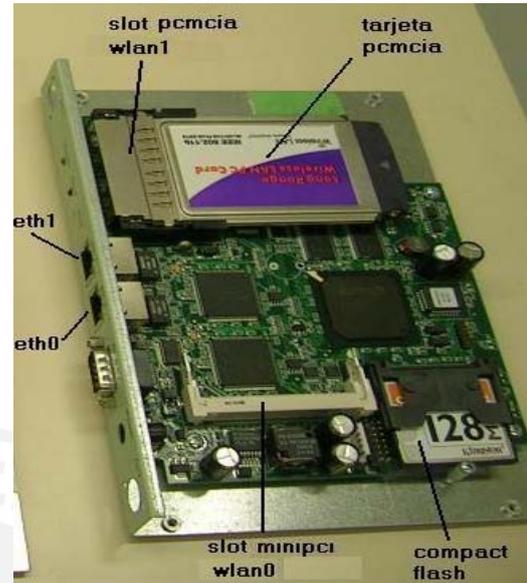
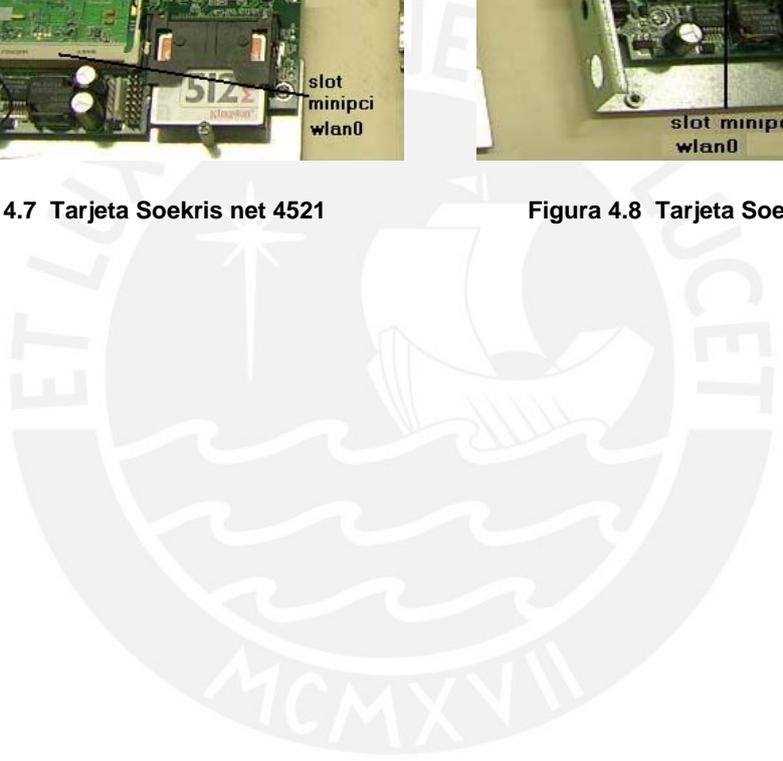


Figura 4.8 Tarjeta Soekris net 4511

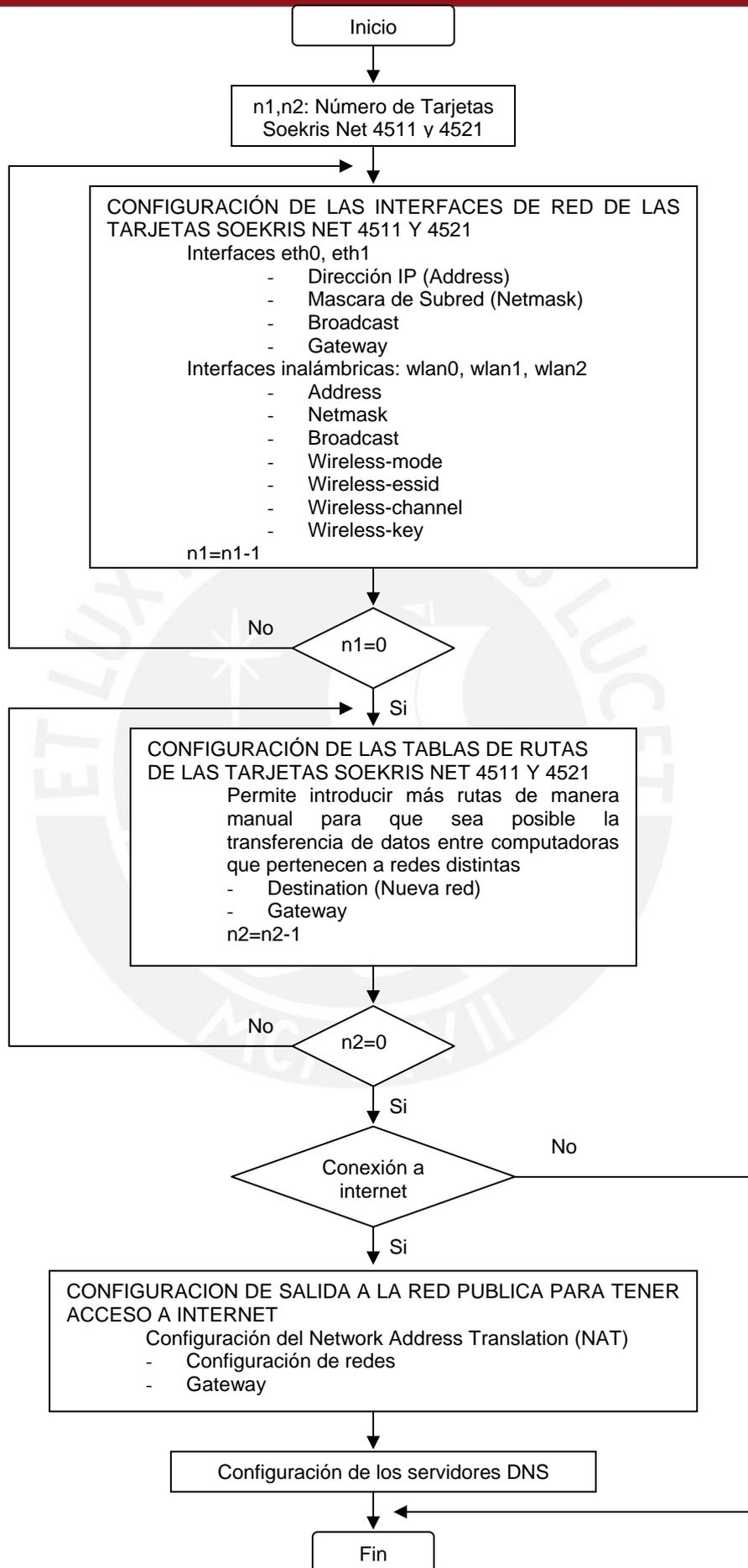


Modelos de Access Point

MARCA	MAXIMA POTENCIA	CONECTOR A ANTENA EXTERNA	MODOS DE OPERACION	ESTANDAR	RADIO FRECUENCIA	PRECIO
D-LINK DWL 2700AP	200	Antena monopolo de 5dBi de ganancia	-Access point -Access point client -Repeater -WDS point to point -Point to multipoint	IEE 802.11 g/11b	2.4 – 2.4835 GHz	1060
D-LINK DWL 7100AP	63	Dos antenas externas no desmontables	Access point	IEE 802.11 a/b/g	5.120 – 5.875 GHz 2.4 – 2.48350 GHz	150
D-LINK DWL 8200AP	100	-----	Access Point	IEE 802.11 a/b/g	2.4 – 2.4835 5.15 – 5.35 GHz 5.725 – 5.825 GHz	550
D-LINK DWL 3200AP	100	Dos antenas dipolo con diversidad RSMA	-Access Point -Point to point bridge -Point to multipoint bridge	IEEE 802.11 g/11b	2.4 – 2.4835 GHz	390
D-LINK DWL 2100AP	100	Externa desmontable con conector RSMA	-Access Point -Wireless Bridge -Point to point -Point to multipoint -Client access point	IEEE 802.11 g/b	2.4 – 2.4835 GHz	120
D-LINK DWL – AG132	50	Antena integrada	-----	IEEE 802.11 a/b/g	-2.4835 -5.725 -5.35	90
DWL – G700AP32	32	Antena dual con 2dB de ganancia	-----	IEEE 802.11 g/11b	2.412-2.462	70
D-LINK DWL – 7700AP	200	Antena monopolo con 5dBi de ganancia	Wireless access point y bridge	IEEE 802.11 a/b/g	2.4 – 2.4835 5.15 – 5.35 GHz 5.725 – 5.825 GHz	1200
CISCO AIRONET 1240AG	100	-2.4 GHz: Dos conectores RP-TNC -5GHz: Dos conectores RP-TNC	Access point	IEEE 802 a/b/g	-2.4 GHz -5 GHz	600
Aironet 1230AG	100	-2.4 GHz: Dos conectores RP-TNC -5GHz: Dos conectores RP-TNC	Access point	IEEE 802 a/b/g	-2.412 – 2.462 GHz -5.15 – 5.35 GHz -5.725 - 5.825	694

Tabla 4.6 Modelos y características de equipos Access Point (AP)

Diagrama de flujo para la programación de las tarjetas Soekris Net 4511 y 4521



Para mayor detalles acerca de los comandos de configuración de las tarjetas Soekris Net 4521 y 4511 ver el anexo 2 (Comandos de configuración (EHAS))

b) Tarjeta PCMCIA : Senao NL-2511CD PLUS EXT2 200mW PCMCIA WiFi

En la tabla 4.7 se observan las características de algunas tarjetas inalámbricas; el modelo Senao NL-2511CD PLUS EXT2 200mW (figura 4.9) fue seleccionado como parte de la Tarjeta Soekris Net 4511 y 4521 por los siguientes motivos:

- El nivel de potencia satisface los requerimientos del sistema para cada uno de los enlaces de acuerdo a los cálculos realizados en el diseño (200mW).
- Cuentan con una interface PCMCIA permitiendo ser instaladas en la tarjeta Soekris Net 4511 y 4521
- Posee dos conectores (MMCX) que permiten amplificar la señal mediante antenas externas con ganancias elevadas. Las tarjetas Soekris net 4521 tendrán instaladas dos tarjetas PCMCIA y las tarjetas Soekris net 4511 una tarjeta PCMCIA.
- Soporta el estándar IEEE 802.11 b.
- El chipset PRISM versión 2.5 es totalmente compatible con Linux.
- Estas tarjetas ya han sido debidamente probadas en proyectos desarrollados por el EHAS obteniendo resultados satisfactorios.

Para mayor detalle ver anexo 4: Hojas técnicas.



Figura 4.9 Tarjeta inalámbrica Senao NL-2511CD PLUS EXT2 200mw



MODELOS DE TARJETAS INALÁMBRICAS

Tarjeta	Tipo de conector	Potencia Máxima (mW)	Conector para antena externa	Chipset	Controladores	Estándares	Rango de frecuencias	Técnica de modulación	Precio (Dólares)
TEW 441 PC	Card Bus	50	Antena integrada	-----	Windows	IEEE 802.11b/g	2.412 - 2.48 GHz	802.11b: CCK (11 y 5,5Mbps), DQPSK (2Mbps), DBPSK (1Mbps) 802.11g: OFDM	-----
TEW 301 PC	PCMCIA type II	63	Antena integrada	-----	Windows	IEEE 802.11b	2.4-2.486 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	-----
Dlink DWL - G630	32-bit Card Bus	32	Antena integrada	-----	Windows	IEEE 802.11b/g	2.4-2.462 GHz	802.11b: CCK (11 y 5,5Mbps), DQPSK (2Mbps), DBPSK (1Mbps) 802.11g: OFDM	48
Dlink DWL - G680	Card Bus	100	Antena integrada	-----	Windows	IEEE 802.11b/g		802.11b: CCK (11 y 5,5Mbps), DQPSK (2Mbps), DBPSK (1Mbps) 802.11g: OFDM	70
3e – 110 WLAN PC card	Card Bus	200	Antena integrada	PRISM 2, 2.5	Windows	IEEE 802.11b/g	2.4-2.484 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	60
SMC2532W – B80	16-bit PCMCIA Type II	200	2 Conectores MMCX	PRISM 2	Windows/Linux	IEEE 802.11b/1x	2.4-2.56 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	62
MikroTik 2G/PAC	PCMCIA	200	2 conectores MMCX	PRISM 2.5	Windows/Linux	IEEE 802.11b	2.4-2.484 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	
Senao NL-2511CD PLUS EXT 2	PCMCIA type II	200	2 conectores MMCX	PRISM 2.5	Windows/Linux	IEEE 802.11b	2,4-2,484 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	59
Senao NL-2511CF mercury	Compact Flash Card	20	Antena integrada	PRISM 2	Windows/Linux	IEEE 802.11b	2,412-2,462 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	65
Demarc DT-RWZ-300mW - WC	PCMCIA type II (16 bit)	300	2 Rp - MMCX(male)	PRISM 2.5	Windows/Linux	IEEE 802.11b	2,4-2,484 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	100
Demarc DT-RWZ-200mW - WC	PCMCIA type II (16 bit)	200	3 Rp - MMCX(male)	PRISM 2.6	Windows/Linux	IEEE 802.11b	2,4-2,484 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	130
UBIQUITI SRC 300mW	PCMCIA type II (16 bit)	300	2 Conectores MMCX	ATHEROS 5004	Windows/Linux	IEEE 802.11a/b/g	-----	-----	126
Abocom WB 1500S	PCMCIA		2 conectores MMCX	PRISM 2/2.5/3	-----	IEEE 802.11b	2,4-2,484 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	
Cisco / Aironet AIR-LMC352	PCMCIA		2 conectores MMCX	Aironet	Linux	IEEE 802.11b	2,4-2,484 GHz	CCK(11, 5.5 Mbps), DQPSK(2mBPS), DBPSK(1Mbps)	150

Tabla 4.7 Modelos y características de tarjetas inalámbricas

c) Pigtail MMCX to N-Male, 100-Series Cable

Permitirá la conexión de la tarjeta PCMCIA con el protector de pararrayos.



Figura 4.10 Pigtail MMCX to N-Male

d) Protector de rayos Modelo AL6-NMNFB (N-female a N-male)

Este protector (figura 4.11) es utilizado con equipos que operan bajo los estándares IEEE 802.11 a/b/g, opera con frecuencias en el rango de 0 a 6 GHz; las señales que estén por encima de este rango serán suprimidas; asimismo, esta implementado con un tubo de gas cuyo voltaje de ruptura es de $90 \text{ V} \pm 20 \%$ que permite proteger los equipos electrónicos de descargas atmosféricas con voltajes y corrientes elevados. El conector N-female (protector de rayos) se instalará con el conector N-male (pigtail). El conector N-Male (Protector de rayos) se instalara con el conector N-Female (cable coaxial). Para mayor detalle ver anexo 4: Hojas técnicas.



Figura 4.11 Lightning Protector Model AL6-NMNFB (N-female a N-male)

e) Cable coaxial BWC- 400 & BWC – 400R

El cable presenta los siguientes niveles de atenuación de acuerdo a la frecuencia de operación:

Frecuencia (MHz)	dB/m
2000	0.1968
2500	0.2231

El cable coaxial tendrá conectores tipo “N” Male (figura 4.12) y tipo “N” Female (figura 4.13) que permitirá la conexión entre el protector de rayos (conector N-Male) y el cable de la antena (conector N-female). Para mayor detalle ver anexo 4: Hojas técnicas.



Figura 4.12 Conector tipo “N” Male



Figura 4.13 Conector tipo “N” Female

f) Wireless LAN Antenna: Modelo HG2424G (24 dB) - Model: HG2419G (19 dB)

Estas antenas trabajan en la banda de 2400 – 2500 Mhz (ISM) y soportan los estándares de la IEEE 802.11b y 802.11g con las siguientes aplicaciones: sistemas WiFi, punto a punto, punto a multipunto y puentes inalámbricos.

El uso de estas antenas para sistemas microondas es ampliamente usado en zonas rurales debido a la existencia de vientos que producen movimientos oscilatorios sobre las antenas y torres. El diseño tipo grid reduce el área de contacto de los vientos con la antena y por lo tanto la posición de la misma es mas estable incrementando la confiabilidad y solidez del sistema.



**Figura 4.14 Antena tipo grid
Model: HG2419G (19 dB)**



**Figura 4.15 Antena tipo grid
Model: HG2424G (24 dB)**

El cable coaxial de cada antena tiene una longitud de 24 cm con un conector tipo “N” female. Para mayor detalle ver anexo 4: Hojas técnicas.

En la figura 4.16 y 4.17 se puede observar el diagrama de conexiones con mayor detalle de las Estaciones Terminales y Repetidoras.

Equipos y partes de las estaciones terminales y repetidoras

Estación	Tarjeta Soekris	Tarjeta PCMCIA (Interface 1)	Tarjeta PCMCIA (Interface 2)	Memoria CF	Pigtail	Cable coaxial	Antena 1	Antena 2	Lightning surge arrestor
Estación terminal 1	Soekris net 4511	Senao NL-2511CD PLUS EXT2	-----	128MB	MMCX to N-Male	WBC-400 (Conectores tipo "N" female y male) 15.2 m	HG2419G (24 dB)	-----	Protector Model AL6-NMNFB
Estación Repetidora 1	Soekris net 4521	Senao NL-2511CD PLUS EXT2	Senao NL-2511CD PLUS EXT2	128MB	MMCX to N-Male	WBC-400 (Conectores tipo "N" female y male) 0.6 m	HG2419G (24 dB)	HG2419G (19 dB)	Protector Model AL6-NMNFB
Estación Repetidora 2	Soekris net 4521	Senao NL-2511CD PLUS EXT2	Senao NL-2511CD PLUS EXT2	128MB	MMCX to N-Male	WBC-400 (Conectores tipo "N" female y male) 0.6 m	HG2419G (24 dB)	HG2419G (19 dB)	Protector Model AL6-NMNFB
Estación terminal 1	Soekris net 4511	Senao NL-2511CD PLUS EXT2	-----	128MB	MMCX to N-Male	WBC-400 (Conectores tipo "N" female y male) 15.2 m	HG2419G (24 dB)	-----	Protector Model AL6-NMNFB

Tabla 4.8 Partes y equipos utilizados para la implementación de las Estaciones Terminales y Estaciones Repetidoras.





4.4. Estructura de costos

De acuerdo a los precios de las partes: tarjeta PCMCIA [7], cable coaxial BWC-400 [7], pigtail [7], antena modelo HG2424G (24dB) [7], lightning protector (pararrayos) [7], tarjeta Soekris net 4511 y 4521 (EHAS), memoria compact flash (EHAS) y considerando los costos de pozo a tierra, instalación, mano de obra y mantenimiento como referenciales, ya que, estos dependen principalmente de las características geográficas de la zona, ubicación de las estaciones Terminales, Repetidoras y equipos, la estructura de costos por estación se detalla a continuación.

a) Estación Terminal 1 (Hospital de Cusco)

Equipos	Costos (Dólares)
1 Tarjeta Soekris net 4511	350
1 Tarjetas PCMCIA	90
1 Memoria Compact Flash	50
1 Cable coaxial BWC- 400 (12.1 m)	50
1 Pigtail	11
1 Antena modelo HG2424G (24 dB)	105
1 Lightning protector (Pararrayos)	40
1 Pozo a tierra	200
Costos de instalación y mano de obra	1500
Mantenimiento	50
Accesorios	200
Total	2646

Tabla 4.9 Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Terminal 1.

b) Estación Repetidora 1

Equipos	Costos (Dólares)
1 Tarjeta Soekris net 4521	350
2 Tarjeta PCMCIA	180
1 Memoria Compact Flash	100
2 Cable coaxial BWC- 400 (0.6 m)	60
2 Pigtail	22
2 Antenas modelo HG2424G (24 dB)	210
2 Lightning protector (Pararayos)	80
1 Pozo a tierra	200
Costos de instalación y mano de obra	1500
Mantenimiento	50
Accesorios	200
Total	2952

Tabla 4.10 Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Repetidora 1.

c) Estación Repetidora 2

Equipos	Costos (Dólares)
1 Tarjeta Soekris net 4521	350
2 Tarjeta PCMCIA	180
1 Memoria Compact Flash	100
2 Cable coaxial BWC- 400 (6 m)	60
2 Pigtail	22
2 Antenas modelo HG2424G (24 dB)	210
2 Lightning protector (Pararayos)	80
1 Pozo a tierra	200
Costos de instalación y mano de obra	1500
Mantenimiento	50
Accesorios	200
Total	2952

Tabla 4.11 Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Repetidora 2.

d) Estación Terminal 2 (Hospital de Urubamba)

Equipos	Costos (Dólares)
1 Tarjeta Soekris net 4511	350
1 Tarjetas PCMCIA	90
1 Memoria Compact Flash	50
1 Cable coaxial BWC- 400 (15.2 m)	50
1 Pigtail	11
1 Antena HG2424G (24 dB)	105
1 Lightning protector (Pararayos)	40
1 Pozo a tierra	200
Costos de instalación y mano de obra	1500
Mantenimiento	50
Accesorios	200
Total	2646

Tabla 4.12 Estructura de costos para la implementación y mantenimiento de la Estación Terminal 2.

Costo total del enlace de comunicaciones: \$ 11502



CONCLUSIONES

1. Evaluación económica y social

- a) El costo total aproximado del enlace de microondas entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba, incluyendo equipos, partes y accesorios, sistemas de protección, costos de instalación y mantenimiento, asciende a 11,502 dólares. La población del Hospital ESSALUD de Urubamba (5,505) y la población del Hospital ESSALUD de Cusco (19,317) hacen un total de 24,822 asegurados, por lo tanto, el costo promedio que debería aportar un asegurado resulta de la división del costo total del enlace de microondas con el total de asegurados, siendo este costo de 0.46 dólares. Esto demuestra que el proyecto es económicamente viable.
- b) El enlace microondas entre los Hospitales ESSALUD de Cusco y Urubamba, permitirá brindar los servicios de telemedicina, teleeducación, telefonía IP, transferencia de datos e internet, con lo cual, se logrará un incremento en la cobertura de atención médica, mejoramiento de la calidad del servicio de salud, incremento de la eficiencia en el manejo administrativo y la actualización del personal médico y técnico del Hospital ESSALUD de Urubamba.

2. Tecnológicas

- a) El diseño de un enlace de microondas con tecnología adecuada y económicamente viable, permitirá poner fin al estado de aislamiento de los centros asistenciales de salud ubicados en zonas distantes y remotas.

- b) Para determinar un plan de enrutamiento definitivo para un enlace de comunicaciones es necesario elaborar varias rutas alternativas con costos menores y garantizando la confiabilidad de los enlaces .
- c) Para el diseño y posterior implementación de enlaces digitales (microondas) ; el reconocimiento físico de los planes de enrutamiento determina el éxito o fracaso de la red.
- d) La distancia, línea de vista (LOS), tipo de área y resistividad del terreno entre dos estaciones son los parámetros mas importantes que determinan la elección de equipos de telecomunicaciones entre ellos tenemos por ejemplo antenas directivas que permiten incrementar la distancia entre estaciones o tarjetas inalámbricas con una alta potencia de transmisión, equipos de comunicaciones que soporten las condiciones climáticas de la zona.

Un parámetro importante es la temperatura; es necesario aislar térmicamente los equipos electrónicos para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos y por lo tanto la estabilidad del enlace.
- e) Las antenas y torres ubicadas en las Estaciones Terminales o Estaciones Repetidoras deben ser muy estables frente a fenómenos atmosféricos ya que los enlaces microondas son sensibles a los movimientos, para reducir los movimientos de las antenas debido a la fuerza del viento se utilizan antenas directivas del tipo grid.
- f) El programa radio mobile es una herramienta práctica y versátil para el diseño de redes de comunicaciones complejas, los valores obtenidos matemáticamente y los obtenidos con el programa son muy aproximados, las coordenadas geográficas de los puntos obtenidos con el programa fueron comparados con valores reales obtenidos con un GPS 12XL con márgenes de error muy pequeños así como el relieve del terreno.

- g) Para efectos de diseño se debe considerar un margen de señal de 20 dB como valor mínimo que garantice la estabilidad del sistema frente a los cambios producidos por los fenómenos atmosféricos, vientos o desalineamientos de las antenas.
- h) La tarjeta controladora y accesorios deben estar lo más próximos a la antena externa; esto es necesario para reducir las pérdidas en los cables coaxiales, lo óptimo es que la antena de elevada ganancia este directamente conectada con la tarjeta controladora.



RECOMENDACIONES

1. Para el adecuado funcionamiento de los servicios de telefonía IP, Telemedicina, Teleconferencias, transferencias de datos e Internet, es recomendable implementar el sistema de comunicaciones con equipos que satisfagan los requerimientos técnicos y estándares mencionados.
2. Para el óptimo funcionamiento del enlace de microondas es preciso efectuar un mantenimiento integral y mensual a las Estaciones Terminales y Repetidoras. Para efectos de reducción en costos de mantenimiento por parte de servicios privados, se deberá capacitar al personal técnico encargado de realizar estas funciones.
3. Para el uso adecuado y aprovechamiento de los recursos y servicios brindados por el enlace de microondas, es necesario la capacitación del personal administrativo, médico y técnico de ambos Hospitales.
4. Las Estaciones Terminales y Repetidoras pueden ser reutilizadas para la interconexión de todas las sedes de ESSALUD en el departamento de Cusco. Las sedes que carecen de interconexión con el Hospital ESSALUD de Cusco son: Espinar, Quillabamba, Sicuani, Acomayo, Calca, Urcos, Huyro y Machu Picchu, por lo que, siendo éstas de categoría inferior, se encontrarían beneficiadas con los servicios de Telemedicina, Teleconferencias, transferencia de datos, Internet y telefonía IP, al igual que el Hospital ESSALUD de Urubamba.

FUENTES

- [1] I CONFERENCIA MUNDIAL DE DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES
2002 Resolución 41 - Cibersalud (Telesanidad/Telemedicina) [en línea]
Estambul, Turquía.
<http://www.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA56/sa5645.pdf>
- [2] SOFTWARE PARA ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE ENLACE PARA COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE.
<http://140.148.3.250/u_dl_a/servlet/mx.udlap.ict.tales.html.Block?The%20sis=lem110115&Type=O>
- [3] FREEMAN, Roger L.
1997 Radio System design for telecommunications. 2a. ed.
New York : Wiley
- [4] SERVICIOS MULTIMEDIOS PARA ZONAS RURALES MEDIANTE TECNOLOGÍAS IP INALÁMBRICAS.
http://rds.yahoo.com/;_ylt=AhZAz53Ain_8rMrX0q3L0o1XNyoA;_ylu=X3oDMTE2c3VuNzZ1BGNvbG8DZQRsA1dTMQRwb3MDMgRzZWMDc3IEdnRpZANGNTYxXzcz/SIG=12mc8dvme/EXP=1127443911/**http%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Fitunews%2Fissue%2F2001%2F07%2Fdev-es.html
- [5] COMER, Douglas E.
1996 Redes globales de información con Internet y TCP/IP. Principios básicos, protocolos y arquitectura. 2a. ed.
D.F (México) : Prentice Hall
- [6] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
1998 <http://www.itu.int/ITU-D/study_groups/SGP_1998-Documents/2000/179S3.doc>
- [7] HYPERLINK TECHNOLOGIES
<www.hyperlinktech.com>

- [8] ESPINOZA AGUILAR, David Segundo.
2005 Diseño de una red de telecentros rurales con un acceso satelital compartido. Tesis (Ing.). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima. 99 p.
- RODRÍGUEZ ARROYO, Fernando Javier
2001 Diseño de una red nacional de video conferencia usando RDSI y su aplicación en la telemedicina. Tesis (Ing.). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima. 127 p.
- SAYRE, Cotter W.
2001 Complete wireless design
New York : McGraw-Hill
- ALVARADO MARTÍN, Javier Rodrigo
2005 Elección y diseño de una red de comunicaciones para la región Loreto. Tesis (Ing.). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima. 140 p.
- COMISIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
<[http://www.citel.oas.org/sp/ccp3/VSAT_report_2.asp#CARACTERIS
TICAS%20DE%20LAS%20REDES%20VSAT](http://www.citel.oas.org/sp/ccp3/VSAT_report_2.asp#CARACTERISTICAS%20DE%20LAS%20REDES%20VSAT)>
- MINISTERIO DE SALUD
<<http://www.minsa.gob.pe/portal/>>
- ORGANISMO SUPERVISOR DE INVERSIÓN PRIVADA EN
TELECOMUNICACIONES
<www.osiptel.gob.pe>

ABREVIACIONES

AP	: Punto de acceso
BPF	: Filtro pasa banda
CATV	: Televisión por cable.
CDMA	: Acceso múltiple por división de códigos.
CCK	: Modulación por Cambios de Código Complementarios
CODEC	: Protocolo de compresión de datos
DBPSK	: Codificación por desplazamiento diferencial de fase binario
DQPSK	: Codificación por desplazamiento diferencial de fase en cuadratura
EIA	: Asociación electrónica de industrias
ETC	: Equipo Terminal de Datos
ETCD	: Equipo terminal de circuitos de datos
FDMA	: Acceso múltiple por división de frecuencia.
FOT	: Frecuencia Optima de Trabajo
HF	: Altas frecuencias
HPA	: Amplificador de alta potencia (High power amplifier)
IEEE	: Instituto de Ingenieros eléctricos y electrónicos
ISO	: International standard organization
ITU	: Unión Internacional de Telecomunicaciones
ITU-T	: Sector de estandarizaciones de las telecomunicaciones de la ITU
LAN	: Red de área local.
LNA	: Amplificador de bajo ruido
LOS	: Línea de vista
M.A.R.	: Multiacceso Radial
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MUF	: Máxima Frecuencia Utilizable
OMS	: Organización mundial de la salud.
OFDM	: Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales
OPS	: Organización Panamericana de la Salud
PRONIEM	: Programa Nacional de Infraestructura, Equipamiento y Mantenimiento
PSK	: Modulación digital por desplazamiento de fase
PSTN	: Red conmutada de telefonía pública.
QAM	: Modulación digital de amplitud por cuadratura

- QPSK** : Modulación por desplazamiento de fase por cuadratura
- RCVR** : Receptor
- RDSI** : Red digital de servicios integrados.
- RF** : Radio frecuencia.
- SHF** : Super altas frecuencias
- SNR** : Relación señal a ruido
- SS/DS-CDMA** : Señal de espectro ensanchado en secuencia directa
- TCP/IP** : Protocolo de control de transmisión / Protocolo de Internet.
- TDMA** : Acceso múltiple por división de tiempo.
- TDM** : Multiplexación por división de tiempo.
- UHF** : Ultra altas frecuencias
- VHF** : Muy altas frecuencias.
- VSAT** : Terminales de muy pequeña apertura.
- WEP** : Protocolo de Privacidad Equivalente a Cable
- XMTR** : Transmisor

GLOSARIO

- **MAR:** Permite la implementación de sistemas de comunicaciones con enlaces microondas especialmente en zona rurales, las topologías de esta red pueden ser: lineal, derivación o radial.
- **MODEM:** Dispositivo electrónico que permite adaptar las señales digitales a un medio de transmisión analógico (canal analógico).
- **PCMCIA:** Es un estándar de tarjetas para computadoras personales de la Asociación Internacional. Las tarjetas PCMCIA de 16 bits reciben el nombre de PC Card y las de 32 bits son denominadas Card Bus.
- **TCP/IP:** Es un estándar usado para la conexión de dispositivos de una red. El protocolo IP asegura la correcta transferencia de datos entre dos direcciones IP. Por otro lado el TCP es el que administra la transferencia de datos (establecimiento, corte, retransmisión y corrección de los paquetes).
- **Telefonía IP:** Permite la transferencia de voz por redes basadas en el protocolo IP (conmutación de paquetes), la voz es convertida en paquetes de datos que son transmitidos con alta prioridad.
- **Telemedicina:** Permite a los especialistas de la salud: la evaluación, diagnóstico y tratamiento de pacientes a distancia (zonas distantes o remotas). Este proceso se realiza por medio de sistemas de telecomunicaciones.
- **VSAT:** Sistema de comunicaciones que permite la comunicación punto a punto o punto a multipunto con transmisiones a pequeña, mediana o gran distancia sin la necesidad de existencia de línea de vista entre el transmisor y receptor. Entre los elementos mas importantes del sistema se tienen las estaciones terminales (usuarios) y satélites.

- **WEP:** Es un “esquema de encriptación” opcional que permite proteger los datos transmitidos (asignación de llaves a las estaciones) entre los usuarios y los puntos de acceso según el estándar IEE 802.11.



INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS

ANEXO 2: COMANDOS DE CONFIGURACION (EHAS)

ANEXO 3: NORMAS LEGALES

ANEXO 4: HOJAS TÉCNICAS

- Hoja Técnica 1 (Antena 24 dB)
- Hoja Técnica 2 (Antena 19 dB)
- Hoja Técnica 3 (Soekris Engineering net 4521)
- Hoja Técnica 4 (Soekris Engineering net 4511)
- Hoja Técnica 5 (Cable coaxial WBC-400R)
- Hoja Técnica 6 (Cable coaxial WBC-600R)
- Hoja Técnica 7(Tarjeta PCMCIA Senao NL-2511CD PLUS EXT2 200mw PCMCIA WiFi 802_11b)
- Hoja Técnica 8(Tarjeta PCMCIA Senao WiFi 802.11b 802.11g)
- Hoja Técnica 9 (Lightning arrestor)

