



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO, ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y SIMULACIÓN DE UN  
SISTEMA DE INGENIERÍA DE COMUNICACIONES PARA  
LLEVAR TELEEDUCACIÓN AL CENTRO POBLADO DE  
CHACAYA DE LA PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ HACIENDO  
USO DE LA RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA**

**PRESENTADO POR**

**NICOLAS HUMBERTO LUNA VICTORIA FARIAS**

**JUAN CARLOS VASQUEZ CARRERA**

**ASESOR**

**ELVIS RIVERA RIVERA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**LIMA – PERÚ**

**2016**



**Reconocimiento - No comercial - Compartir igual  
CC BY-NC-SA**

Los autores permiten transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO, ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y SIMULACIÓN DE UN  
SISTEMA DE INGENIERÍA DE COMUNICACIONES PARA  
LLEVAR TELEEDUCACIÓN AL CENTRO POBLADO DE  
CHACAYA DE LA PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ HACIENDO  
USO DE LA RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

**LUNA VICTORIA FARIAS, NICOLAS HUMBERTO**

**VASQUEZ CARRERA, JUAN CARLOS**

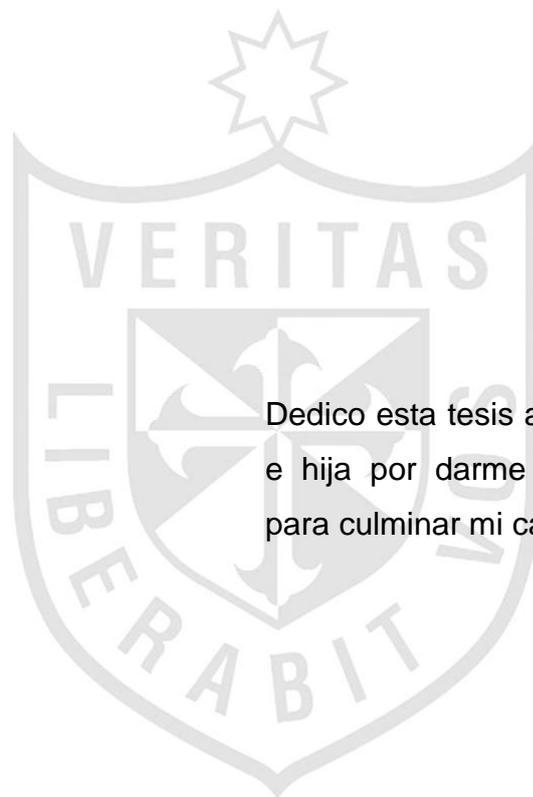
**LIMA – PERÚ**

**2016**



Dedico la presente tesis a mi querida familia por su apoyo incondicional.

Nicolás



Dedico esta tesis a mis padres, esposa e hija por darme la fuerza necesaria para culminar mi carrera profesional.

Juan Carlos



## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	viii
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b>	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Bases Teóricas	14
1.3. Definición términos básicos	47
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	
2.1 Métodos	49
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	
3.1 Diseño del enlace microondas	68
3.2 Diseño de la arquitectura de red	71
3.3 Diseño del sistema de videoconferencia	72
3.4 Diseño del sistema de energía	73

<b>CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	
4.1 Validación del sistema propuesto	77
4.2 Configuración del WANem	80
4.3 Desarrollo de las pruebas de la clase virtual	80
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y APLICACIONES</b>	
5.1. Análisis de aplicación.	84
<b>CONCLUSIONES</b>	85
<b>RECOMENDACIONES</b>	86
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	87
<b>ANEXOS</b>	89



## RESUMEN

En la actualidad, las poblaciones ubicadas en zonas rurales, donde no suelen haber gran cantidad de pobladores se encuentran en su mayoría olvidadas por el gobierno, sufriendo de diferentes problemas que no solo afectan a la población, sino al país entero. Entre estos problemas se encuentra la educación, pilar importante de cualquier nación para su desarrollo y es el presente trabajo de investigación que lo enfoca, diseñando un sistema de comunicaciones para dar teleeducación al poblado de Chacaya, ubicado en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima, el cual no cuenta con un centro de enseñanza.

Haciendo uso del reciente despliegue del Proyecto de Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO), se hizo uso de la misma, para llevar comunicaciones con el ancho de banda necesario para abordar esta problemática. La teleeducación es una gran opción para llevar capacitación, no solo a los menores, sino también al poblado en general, dado que estadísticamente el Perú se encuentra en los últimos lugares de educación en América Latina.

La presente investigación abordó el diseño de un sistema de comunicaciones para llevar teleeducación en el centro poblado de Chacaya, enfrentando la problemática del dinero, el difícil acceso al poblado y la falta de energía eléctrica en el mismo. Adicionalmente, se puede aprovechar el medio de comunicaciones para llevar algún otro servicio del cual se pueda beneficiar la población.

## **ABSTRACT**



At present, the populations located in rural areas where there are not usually large numbers of inhabitants are mostly forgotten by the government, they face different problems that affect not only them but the whole country. Among these problems is the lack of education; that is why this research is focused on designing a communication system to bring teleeducation to Chacaya town, a place where there is not a school and which is located in Huarochirí province, Lima department.

Taking into account that Peru is in the last place of education in Latin America and teleeducation is a great option to bring training, not only to the children but also to all the residents of the town, the National Dorsal Fiber Optic Network Project (RDNFO, by its Spanish acronym) was used to get communications with the necessary bandwidth to make possible teleeducation in Chacaya town.

This research addressed the design of a communication system to bring the Chacala's residents teleeducation and other services inherent to this system and beneficial to the people. Likewise, the research faced economic problems, lack of electricity and difficult access to the town.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las telecomunicaciones cumplen un rol fundamental en el desarrollo de un país y su población; la constante evolución de las Tecnologías de Información y Comunicaciones facilitan el desarrollo de actividades económicas, educativas, sociales, entre otras más.

La teleeducación surge como una solución importante para reducir aquellas dificultades en cuanto a la oportunidad de tener acceso a una educación de calidad. En las visitas realizadas al centro poblado de Chacaya, lugar de nuestra investigación, se observó carencias relacionadas con la infraestructura educativa: el colegio no está funcionando, eso hace que los niños del centro poblado realicen alrededor de dos horas de caminata acompañados de sus padres para llegar al distrito de Matucana.

Dada la problemática de enseñanza, se optimizó la infraestructura tecnológica elaborando un diseño de comunicaciones con el menor costo posible y de esta manera contribuir a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de no solo los escolares, sino del poblador en general de Chacaya, a partir de aprovecharse la cercanía de un nodo de distribución perteneciente al Proyecto Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO), desplegado en esa zona entre los años 2015 y 2016.

Los operadores de telefonía y redes apuntan a las zonas donde la densidad poblacional es mayor, excluyendo a las zonas que, geográficamente, no presentan un mercado rentable; tal es el caso de Chacaya.

El objetivo general es elaborar un estudio de factibilidad, con base científica, técnica y económica que demuestre la viabilidad para llevar a cabo un proyecto de teleeducación al centro poblado de Chacaya haciendo uso de la RDNFO.

Los objetivos específicos son:

- Diseñar un canal de comunicaciones eficiente y a un bajo costo que sea capaz de soportar requerimientos técnicos (BW, latencia) para transportar un sistema de videoconferencia aplicada a la teleeducación en el centro poblado de Chacaya.
- Diseñar un sistema de videoconferencia que no requiera de un gran ancho de banda, con aplicaciones enfocadas a la educación.
- Realizar un diseño económicamente viable para llevar teleeducación al poblado de Chacaya.
- Investigar acerca de la legislación respecto a teleeducación.
- Investigar los requisitos para ingresar un Proyecto al gobierno regional.
- Realizar un estudio de campo en el poblado de Chacaya, para conocer la realidad del poblado, terreno donde está ubicado, tomar coordenadas y conocer posibles puntos de conexión para los enlaces microondas.
- Realizar un diseño de red adecuado para llevar teleeducación, usando la RDNFO.
- Diseñar un sistema adecuado de energía para mantener alimentados los equipos de telecomunicaciones.

Esta tesis se justifica porque contrarrestaría el que la información, el conocimiento científico y tecnológico estén lejos del alcance de los niños, adolescentes, jóvenes y personas adultas en Chacaya. El 24 de julio de 2010, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, publicó el Decreto Supremo N° 034-2010-MTC que establece como Política Nacional la implementación de una red dorsal nacional de fibra óptica (RDNFO) para facilitar a la población el acceso a Internet de banda ancha y promover la competencia en la prestación de este servicio.

La presente tesis toma como referencia un pueblo en específico, pero puede servir de ejemplo para llevar comunicación a las poblaciones más olvidadas del país. Con esta propuesta, la población de Chacaya tendrá un crecimiento cultural y socioeconómico. Es por ello que esta investigación, tendrá un gran impacto tecnológico en la población que no contaba con ninguna clase de tecnología digital.

Asimismo, tendrá un gran impacto económico en Chacaya: con una debida capacitación virtual pues los pobladores podrán tener conocimiento del manejo adecuado del suelo, control de plagas y técnicas de riego; por último, se les posibilita la búsqueda virtual de mercados fuera de su localidad.

El impacto medio ambiental es inofensivo, pues las tecnologías implementadas no perjudicarán el medio ambiente del centro poblado. Por otro lado, la presente tesis tiene un gran aporte social porque beneficia a toda la sociedad de Chacaya en el desempeño de sus actividades y en la integración a una red de comunicaciones.

En cuanto a la educación, se verifica que la realidad del poblado de Chacaya, en temas de educación es nula, es por ello que al implementar un sistema de telecomunicaciones al servicio de la teleeducación, será de gran importancia para combatir la ausencia de colegio e incluir al poblado en el plan nacional de educación.

Finalmente, en el aspecto de la salud, el centro poblado de Chacaya no cuenta con una posta médica y con un medio de comunicación que podrían desarrollar servicios incluyentes de e-Salud directamente relacionados con las mejoras de gestión (expediente clínico electrónico) y de servicios (telemedicina). Es por ello que, se llega a la conclusión que el aprovechamiento de las Tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son fundamentales para la eficacia de la educación brindada en todos los centros educativos.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo abordaremos las diferentes tecnologías existentes para el diseño de un medio de comunicación, de energía y de red. Se realizará la comparación de las mismas y se elegirá la más adecuada, tomando en cuenta las necesidades técnicas sin dejar de lado el costo de su implementación.

#### **1.1 Antecedentes**

La presente tesis realizó una red de teleeducación que conectó el único centro de enseñanza en Chacaya con la nube. El diseño de la red para este proyecto se efectuó basándose en la nueva red de accesos a la banda ancha proporcionada por la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO).

Mediante esta red de teleeducación, el docente especializado llevó a cabo cursos didácticos con alumnos del centro poblado de Chacaya mediante los dispositivos terminales, estudios científicos y el análisis de diseño de red, para que puedan dar seguimiento al alumnado con una educación de manera más efectiva y didáctica en su aprendizaje.

Los beneficios que se pueden dar son diversos; los cuales se podrían ampliar y brindar futuros servicios para la comunidad. Esta tesis queda como un antecedente para futuros proyectos en teleeducación en otros centros poblados que tienen un índice de pobreza muy alto y que no

están cerca de los centros urbanos donde están los docentes especializados.

El distrito de Matucana, es uno de los treinta y dos distritos de la provincia de Huarochirí y está ubicado en el departamento de Lima, bajo la administración del Gobierno Regional de Lima – Provincias. El centro poblado de Chacaya está conformado aproximadamente por 200 personas. En la figura 1 se presenta el mapa político de la provincia de Huarochirí donde se puede apreciar el distrito de Matucana.



Figura N° 1: Mapa de la Provincia de Huarochirí  
Fuente: Mapa Provincia de Huarochirí [INEI2007]

### 1.1.1 Estado del arte de la tecnología

- Estadísticamente, en el Perú se exhibe uno de los índices de penetración de banda ancha fija por hogar más bajos en América Latina (17,95% al 2do. trimestre de 2012), muy por debajo de lo que marca este indicador a nivel regional el cual supera el 30% en el mismo período.
- Los resultados de la Encuesta Nacional de hogares indican que el 46,20% de hogares rurales del Perú, tiene al menos un miembro de la familia que utiliza un teléfono celular, esta cifra es cercana a

cuatro veces la cifra de los hogares rurales con acceso a telefonía móvil registrados por INEI en 2007. Del mismo modo, se esperaba que para fines del 2011 se alcance una penetración cercana al 51%.

- Las autoridades del MTC, luego de revisar los estudios de Información y Comunicación para el desarrollo 2009: Ampliar el alcance y aumentar el impacto, por parte del Banco Mundial, en la cual señalan que la Banda Ancha incrementa la productividad y contribuye al crecimiento económico, que con un incremento del 10% en las conexiones de Banda Ancha, el país tendrá un crecimiento económico, en un 1,3%. Es por ello que se establecieron políticas en desarrollo de las TIC con la implementación y comisión multisectorial permanente para que el país cuente con una Red Dorsal de Fibra Óptica.
- Según la Encuesta Nacional de Hogares (2011-I), en Lima, solo cuatro de diez familias cuenta con una computadora en su vivienda, y de ellas aproximadamente el 78% cuenta con Internet en la vivienda.

La situación en el resto de zonas urbanas es aún más extrema, en ellas solo un 45% de los hogares con computadora cuenta con acceso a Internet en la vivienda. En las zonas rurales la disponibilidad de computadoras es de 3.3 por cada 100 hogares, y de estos, solo el 6% cuenta con una conexión a Internet en la vivienda.

En la Figura 2, se puede apreciar que en todos los casos, las cifras de conexiones a Internet en los hogares son inferiores a los demás servicios públicos de telecomunicaciones, tales como telefonía fija, móvil y televisión por suscripción.

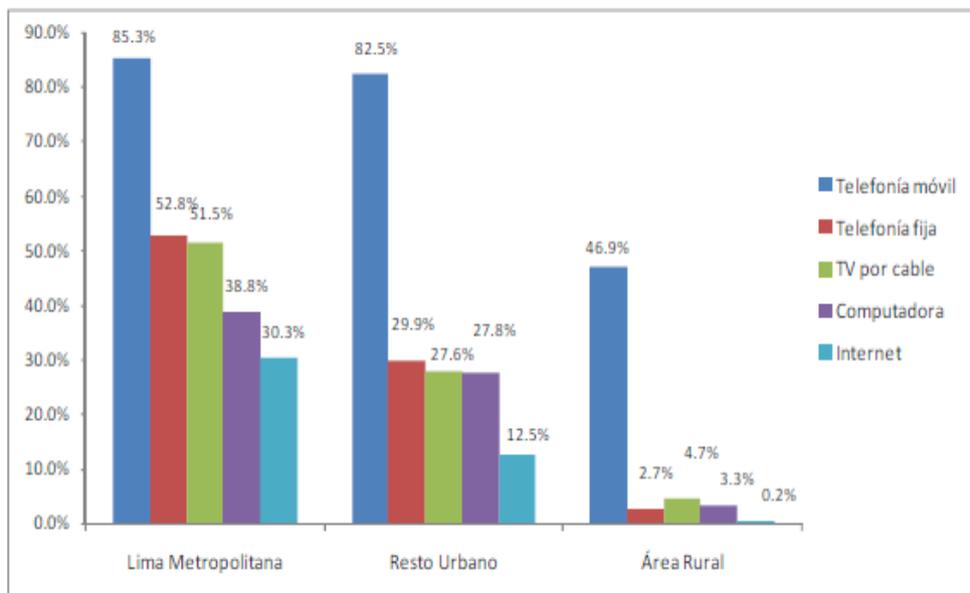


Figura N° 2: Acceso a computadoras y servicios de Telecomunicaciones (% de Hogares)  
Fuente: Censo del INEI - 2011

- El gobierno de Humala presentó en el año 2012 el Plan Nacional de Gobierno Electrónico 2013 - 2017, como una apuesta por la modernización informática e inclusión digital de los peruanos. En este sentido, la Oficina Nacional de Gobierno Electrónico e Informática (ONGEI) es la encargada de su implementación en las entidades de la administración pública. El Plan Nacional de Gobierno Electrónico tiene como fin que el Estado sea más eficiente, inclusivo, transparente y proactivo, de modo que el ciudadano de a pie, de todas las regiones y ámbitos socioculturales, tenga acceso a los servicios e información que brinda el Estado.
- Informes del BID (García Zevallos y López-Rivas, 2011), establecen un incremento del 10% en el número de suscriptores de banda ancha por cada cien habitantes y tiene como consecuencia en ALC: i) un incremento del 3,19% en el PIB, ii) un incremento del 2,61% de la productividad y iii) la creación de 67.016 empleos. En este sentido, es importante conocer la

incidencia económica de la banda ancha y el uso de las TIC en Perú y la región.

- Por otro lado, el Centro de Investigación de las Telecomunicaciones de Colombia, citando los resultados de las investigaciones *Effects of Broadband Deployment on Output and Employment (Efectos del Desarrollo de la Banda Ancha en la Producción y en la Generación de Empleos, realizada por el Instituto Brooglings)* y *The Economic Impact of Stimulating Broadband Nationally (El Impacto Económico de Estimular la Banda Ancha en el País, desarrollada por la ONG Connected Nations)*, concluye que existe una correlación de hasta un 0,3% de empleos generados para cada 1% de crecimiento en la penetración de la Banda Ancha.
- Del mismo modo, la Declaración de Sao Paulo emitida en el I Foro Iberoamericano para el Impulso de la Banda Ancha organizado por la Asociación Iberoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones - AHCIEET, se reconoce la importancia de la Banda Ancha, como infraestructura esencial para el desarrollo socio-económico de los países y su enorme potencial para la reducción de las desigualdades económicas, regionales y sociales y la democratización de las oportunidades de acceso a la información y al conocimiento.
- Luego de revisar, el documento *Building Broadband: Strategies and Policies for the Developing World (Construyendo la Banda Ancha: Estrategias y Políticas para el Mundo en Desarrollo)* indica que el incremento en la penetración de la Banda Ancha en 10% en un año específico, está correlacionado con el incremento en la productividad del trabajo en 1.5% por los próximos cinco años.
- Finalmente, estando acorde con un reporte de la FCC Chairman Tom Wheeler, el 53% de zonas rurales en Estados Unidos no tiene acceso a internet de alta velocidad (25 Mbps como mínimo).
- Un ejemplo, se dio con **El Proyecto Huascarán** que fue creado en el 2001 en nuestro país, fue concebido como un plan para

modernizar la educación peruana mediante el uso de la computación y la internet, del cual no llegó a concretar sus fines, pero tuvo como principales objetivos: a) Interconectar telemáticamente a las entidades del Estado para optimizar los servicios educativos que este presta a la comunidad. b) Incrementar la oferta de educación de calidad en zonas rurales, de selva y de frontera, en el marco de una política intercultural y bilingüe.

c) promover la capacitación y el perfeccionamiento de los docentes en el uso de las tecnologías de información y comunicación. d) Garantizar la conectividad de los centros educativos con criterio de equidad y facilitar las prestaciones técnicas en función de sus necesidades educativas.

e) Atender servicios de educación a distancia, de redes educativas, portales educativos y otros que tengan como soporte el uso de nuevas tecnologías de información y comunicación. f) Garantizar la actualización tecnológica y operativa de los sistemas de información y comunicación implementados. g) Integrar o brindar soporte a proyectos de otros sectores y proyectos multisectoriales que tengan fines educativos. h) Propiciar y garantizar el acceso de los docentes a los sistemas telemáticos.

- En la Tabla 1 se aprecia la Cobertura y total de Nodos, según el Contrato de Concesión entre el Estado Peruano y la empresa Azteca Comunicaciones Perú SAC para el despliegue de la RDNFO, se distribuirá en:

- Los Nodos Core y de Agregación están ubicados en Capitales de Región.
- Los Nodos de Distribución están ubicados en Capitales de Provincia.
- Los Nodos de Conexión están ubicados en Distritos y Localidades.
- Los Nodos de Conexión Internacional están ubicados en Localidades de Frontera, para conexión con Brasil (Iñapari), Chile (Tacna), Bolivia (Desaguadero) y Ecuador (Suyo).

Tabla N° 1: Cobertura y Total de Nodos de la RDNFO

Fecha de Entregas	Capitales de Provincia a atender	Km de Fibra a desplegar
Marzo 2015	7 (Huancavelica)	453
Junio 2015	23 (Apurímac, Ayacucho e Ica)	1,811
Setiembre 2015	14 (Huánuco y Pasco)	993
Diciembre 2015	70 (Ancash, Arequipa, Cusco, Junín, Lima Provincias, Moquegua, Tacna y Ucayali)	5,591
Marzo 2016	49 (Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Madre de Dios, Piura y Puno)	3,612
Junio 2016	17 (Amazonas, Loreto y San Martín)	1,047
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>13,507</b>

Fuente: Azteca Comunicaciones - <http://www.aztecomunicaciones.com>

- Por otro lado, la **Red de Banda Ancha de Fibra Óptica que se está desarrollando en la India** para las Zonas Rurales con un plan para conectar 600 millones de ciudadanos rurales, Actualmente el distrito de Iduki del Estado de Kerala - India, es considerado como el primer distrito en la India para ser conectado a la Red Nacional de Fibra Óptica (NOFN) - marcando el comienzo de una nueva era para la India digital, adoptando programas de e-alfabetización para el gobierno.

Comenzó con la creación de centros de Akshaya o ciberalfabetización en 2002. Ahora cada distrito en el estado es un "e-distrito" y la gente es cada vez más cómodos usando computadoras, del cual sus pobladores comentan que tiene una

mejor conexión, serán capaces de proporcionar sus servicios a nivel máximo y prever de forma rápida a sus clientes.

El proyecto es considerado como único en la historia del país - en cuanto a la gran cantidad de trabajo, la distribución geográfica, la cantidad de cable de fibra óptica que necesita que se establezcan y el costo. El NOFN Utiliza la *tecnología Gigabit Passive Optical Network*, lo que permite una única fibra óptica para conectar varios consejos de los pueblos y la red de fibra óptica ofrecerá velocidades de hasta 100 megabits por segundo. El gobierno espera para completar la red antes de marzo de 2017.

- El 04 de abril del 2011 la **empresa Telmex** inicio un proceso de restructuración bastante agresivo para ofrecer sus servicios de telecomunicaciones e interconexión en zonas predominantemente rurales, buscando alcanzar una densidad de 14.8 habitantes por línea con 1.5 millones de líneas, en 10,453 localidades sin presencia de la competencia.
- **Broadband 4 Rural North** es un proyecto innovador para llevar internet de banda ancha a negocios y lugares domésticos a zonas rurales en *Lancashire*, en el noroeste de Inglaterra. *Broadband 4 Rural North* fue registrada como una sociedad benéfica para la comunidad, recauda fondos para llevar a cabo sus proyectos, sin embargo la mano de obra viene muchas veces voluntarios locales, quienes son recompensados con una conexión para sus hogares. Por otro lado, los agricultores y dueños de tierras también son beneficiados al permitir el paso de fibra por sus terrenos.
- **El Proyecto Loon** es desarrollado por la división X de Google y tiene como objetivo proveer de internet a los dos tercios de habitantes del planeta que aún no cuentan con este servicio. El método para lograr esto es con globos que navegan en la estratosfera que con la ayuda de estaciones de internet en tierra, rebotarán la señal hacia estos globos. Cada globo puede proporcionar 4G para un diámetro de 80 kilómetros.
- **Guifi.net** es una red telecomunicaciones, con predominio de red inalámbrica. Los nodos se encuentran ubicados en España para

proveer de Internet a algún pueblo remoto, generalmente mediante un enlace inalámbrico en banda libre, proveniente de una locación que sí cuente con internet. Muchas veces la población misma ha solventado su propia infraestructura.

- Mark Zuckerberg (2016) el proyecto ***Aquila de Facebook*** tiene el objetivo de brindar conectividad a puntos en lugares remotos, de modo que la población no se halle desatendida del servicio de acceso a Internet. La idea es lograr dicha conectividad mediante una red de drones provistos de paneles solares para darles autonomía de vuelo por meses. Estos volarán a gran altura de forma geoestacionaria. A la vez estarán en comunicación con satélites láseres y equipos en tierra; todo para llevar conexión a internet de forma gratuita haciendo la labor de repetidoras para las zonas donde sobrevuela, a más de 50 kilómetros en cualquier dirección.
- **BGAN:** Es una red mundial de Internet por satélite con telefonía usando terminales portátiles de fácil, a diferencia de otros servicios de Internet por satélite que requieren antenas voluminosas y pesadas. La red es proporcionada por *Inmarsat* y utiliza tres satélites geoestacionarios llamados I-4 para proporcionar una cobertura casi global. Las velocidades del BGAN están por encima de los 492 Kbps.

Finalmente, si bien se debe revisar caso a caso, VSAT podría resultar mejor que BGAN para una instalación permanente que necesita mucho ancho de banda; por ejemplo, para dar servicio Internet a muchos usuarios a la vez en un centro minero, en una plataforma petrolera, etc. BGAN en cambio casi siempre resulta más apropiado para uso eventual o móvil: prospecciones mineras, equipos de emergencia, vehículos militares en mar y tierra, se benefician de los menores costos de instalación y fácil movilidad.

- Como medio de transporte la fibra óptica es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consiste en un hilo muy fino de

material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.

Las fibras ópticas también cuentan con algunas desventajas:

- a. Necesidad de un alto grado de precisión cuando se conectan cables, terminales o conectores.
  - b. Los empalmes de fibra resultan ser complicados de realizar.
  - c. Necesidad de tener en cuenta la resistencia mecánica de las fibras y la necesidad de asegurar que las curvas que dan los cables tengan radios suficientemente grandes para minimizar las pérdidas o la posibilidad de daños a las fibras.
  - d. Las fibras son frágiles
- Otra tecnología utilizada son los radioenlaces por microondas. Algunos de estos pueden resultar bastante baratos y sencillos de utilizar. Su velocidad de transmisión puede superar los 100Mbps. Dependiendo de la frecuencia en uso, este puede implicar un costo de canon, por el uso del espectro radioeléctrico, pero también se puede hacer uso de frecuencias en la banda no licenciada, con la problemática de tener mucha interferencia que haga insostenible la buena comunicación entre dos puntos. Otra desventaja es que requiere línea de vista.
  - La energía solar no es contaminante puesto que no necesita ningún otro tipo de carburante para funcionar, es totalmente autónoma. Su instalación es sencilla y es económica. Una vez en funcionamiento se calcula un plazo de amortización de 6 a 10 años.
  - La red eléctrica es una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores. Consiste de tres componentes principales, las plantas generadoras que producen electricidad, ya sea a partir de combustibles fósiles (carbón, gas natural, biomasa) o ya de combustibles no fósiles (eólica, solar, nuclear, hidráulica); las líneas de transmisión que llevan la electricidad hacia los centros de demanda y los transformadores que reducen el voltaje para que

las líneas de distribución puedan entregarle energía al consumidor final.

- Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Generalmente se usa como fuente de energía secundaria, ante alguna contingencia. Usarlo como fuente de energía primaria elevaría los costos de mantenimiento del grupo electrógeno, además de mayores gastos de combustible y una mayor contaminación, puesto que usa combustibles fósiles.
- Las TIC pueden contribuir a la consecución de la enseñanza universal, a través de la enseñanza y la formación de profesores, y la oferta de mejores condiciones para el aprendizaje continuo, que abarquen a las personas que están al margen de la enseñanza oficial, y el perfeccionamiento de las aptitudes profesionales. Es por ello que la Teleeducación, es una necesidad para las zonas rurales y distantes.
- El constante desarrollo de las TIC ha permitido mejora el acceso hacia y desde lugares remotos del planeta. Otra aplicación es Tele-medicina. *Clinic Cloud*, presta los servicios de medicina a distancia cuyas aplicaciones van desde la asistencia a paciente a distancia hasta el intercambio de información entre hospitales. Desarrollando la Tele-asistencia, Tele-consulta. Tele-radiología.
- El cibergobierno es la forma y la manera en que las instituciones del sector público (gobiernos) utilizan las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para prestar servicios y dar información al público. Como ejemplos de estos servicios pueden citarse el pago de impuestos y facturas de luz y agua en línea; notificaciones de cambio de dirección, nacimiento, matrimonio y defunción en línea.
- Otra forma para garantizar el acceso con Banda Ancha a grandes velocidades, se logró en los municipios, en donde se pretende fomentar el uso de las Nuevas Tecnologías y potenciar el desarrollo social y económico de las zonas rurales. Es entonces

que el Tele-trabajo aparece como una solución para que los pueblos rurales no se extingan, y ofrezcan nuevas y diferentes oportunidades a sus habitantes; efectivamente, el tele-trabajo puede favorecer el desarrollo de zonas aisladas o marginadas.

- La ciberagricultura nos va a permitir difundir, toda información con la agricultura, ganadería, piscicultura, silvicultura y alimentación por medio de las TIC, con la finalidad de proporcionar rápidos accesos a conocimientos e información completos, actualizados y detallados, especialmente en las zonas rurales. De este modo los pobladores, se beneficiarían para poder ofrecer sus productos a un mercado con nuevas oportunidades.
- Del mismo modo el Estado Peruano, ejecutó el Plan Nacional para el Desarrollo de la Banda Ancha en el Perú, del cual se diagnosticó y se evaluó el estudio de mercado para los servicios públicos de telecomunicaciones. Asimismo, se desarrollaron plataformas tarifarias y terminales de accesos a internet de Banda Ancha. También se desarrollaron mucho énfasis en los proyectos de telecomunicaciones en zonas rurales y de preferente interés social que involucran el tendido de la fibra óptica nueva para la red de transporte, del cual se aprecia que técnicamente solo una pequeña parte de los hilos será utilizada para atender proyectos FITEL.
- Para la ejecución de proyectos en Banda Ancha en zonas rurales, los Estados Unidos de Norteamérica, desarrolló su Plan Nacional de Banda Ancha. El ente comisionado fue *The Federal Communications Commission* (FFC), dando mucho énfasis a estas zonas asegurándose que los consumidores de las áreas rurales y los mercados más pequeños retengan el servicio de las comunicaciones y no se vean muy afectados a las nuevas tendencias.
- Autoridades del MTC, luego de los estudios de “Información y Comunicación para el desarrollo 2009: Ampliar el alcance y aumentar el impacto” por parte del Banco Mundial, en la cual señalan que la Banda Ancha incrementa la productividad y

contribuye al crecimiento económico, que con un incremento del 10% en las conexiones de Banda Ancha, el país tendrá un crecimiento económico, en un 1,3%. Es por ello que se establecieron políticas en desarrollo de las TIC con la implementación y comisión multisectorial permanente para que el país cuente con una Red Dorsal de Fibra Óptica.

- Se estimaron el número de hilos de fibra óptica para el Estado, que se instalaran en cumplimiento del D.S N°034-2010-MTC, es así, que se revisaron conceptos para los sistemas de transmisión y tecnologías en FO, proyección de la población para el año 2030 que se estima alcanzar niveles de penetración y cobertura sobre la mayor parte de los hogares y la población. Es por ello que se hicieron los cálculos de velocidad de las conexiones de banda ancha, niveles de *overbooking*, redundancia en el número de hilos de fibra óptica y capacidades por par de hilo de fibra óptica. Asimismo, posterior a ello con RM N° 468-2011-MTC/03 se dispuso que el número de hilos de fibra óptica a favor del Estado que se instalarán en las redes de energía eléctrica e hidrocarburos sería de dieciocho (18).
- Las potencialidades de la Banda Ancha como instrumento dinamizador del desarrollo y la competitividad, han sido reconocidas por diferentes países, organismos y foros internacionales. Así, el Banco Mundial en el Estudio Información y Comunicación para el desarrollo 2009: Ampliar el alcance y aumentar el impacto, refiere que la Banda Ancha incrementa la productividad y contribuye al crecimiento económico, y, por lo tanto, merece un rol central en las estrategias de desarrollo de los estados: con un 10% de aumento de las conexiones de Banda Ancha se incrementa el crecimiento económico de un país en un 1,3%, lo que convierte a este servicio como el de mayor incidencia en este crecimiento.
- En concordancia, los concesionarios de los servicios públicos de energía eléctrica e hidrocarburos proveerán el acceso y uso de su infraestructura a los concesionarios de servicios públicos de

telecomunicaciones para el despliegue de redes de telecomunicaciones necesarias para la provisión de Banda Ancha. Asimismo, los concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones asumirán las siguientes obligaciones específicas:

- a. Adoptar las acciones necesarias a fin de garantizar que no se afecte la prestación de otros servicios, ni se generen daños a la infraestructura de uso público ni a la de terceros.
  - b. Asumir la responsabilidad por los daños y perjuicios que se ocasionen como consecuencia de la instalación y operación de infraestructura necesaria para la expansión de la Banda Ancha.
- Del mismo modo, la conectividad para la RDNFO, será contratada por concurso público a las operadoras de servicios públicos de telecomunicaciones, ellas se encargarán de proveer a las entidades públicas, en ámbitos regionales, el acceso de la Banda Ancha y servicios de Telco (telecomunicaciones), contratando los servicios del operador. Las condiciones técnicas, económicas y legales de la contratación de la RDNFO, serán determinadas por la Secretaría Técnica de FIDEL incluyendo el pago que corresponda al operador por el uso de la Red Nacional.
  - Por el lado de la alimentación eléctrica, los concesionarios de servicios públicos de energía eléctrica e hidrocarburos proveerán el acceso y uso de su infraestructura a los concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones para el despliegue de redes de telecomunicaciones necesarias para la provisión de Banda Ancha.

## **1.2 Bases teóricas**

Como medios de comunicación se comparan de dos tipos: fibra óptica y enlace microondas.

### **1.2.1 Fibra óptica**

Si se tuviese que elegir el mejor medio por sus prestaciones de ancho de banda, indudablemente un medio de fibra óptica

sería el mejor, pero existen diversas variables que se deben tomar en cuenta para su elección.

La fibra óptica es costosa, cuanto mayor distancia se cubra, mayor es el costo. Aparte requiere de postes para anclarse; de no existir, estos deben ser instalados, incrementándose los costos. Si la zona en donde se quiere instalar el poste es de difícil acceso, se incrementaría el costo aún más.

Para este caso se analizaron las ventajas y desventajas de transportar la data usando un medio de fibra óptica, desde el poblado de Chacaya hasta el nodo de la RDNFO ubicado en el distrito de Matucana.

Para elegir el tipo de cable de fibra óptica a utilizar, hay que tomar en cuenta diversas variables, entre ellas tenemos:

#### **a. Tipo de fibra óptica**

Las fibras multimodo se usan para aplicaciones en corta distancia, para enlaces que no excedan los 2 km de longitud. Como transmisor usan emisores de led.

Las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias, dado que utilizan un emisor láser de alta intensidad y también permiten transmitir grandes tasas de información.

Para nuestro caso, la fibra multimodo no podría ser utilizada, dado que, como veremos más adelante, tenemos un enlace de aproximadamente 10 km, superando largamente los 2 km de distancia, por lo tanto, queda descartado el uso de fibra multimodo.

Dentro de las fibras ópticas monomodo existen dos categorizaciones: la OS1 y la OS2. Las fibras monomodo OS1 son compatibles con los estándares ITU-T G.652A o ITU-T G.652B. Las fibras *low-water-peak* también vienen definidas por los estándares ITU-T G.652C o ITU-T G.652D. Es decir, las fibras OS1 son compatibles con las especificaciones de la ITU-T G.652.

Las fibras OS2 solo son compatibles con la ITU-T G.652C o ITU-T G.652D, esto quiere decir que las fibras OS2 se aplican estrictamente para fibras *low-water-peak*.

Aparte de las normas, las fibras OS1 y OS2 difieren en la construcción de la misma. La construcción de la fibra OS1 es de estructura ajustada, la cual normalmente se usa en interiores. La construcción de la fibra OS2 es de estructura holgada, el cual está diseñado para uso en exteriores, como para cableado en postes. Este tipo de fibra tiene un recubrimiento exterior más resistente que el del otro tipo.

En la Tabla 2, obtenido por la FIA (*The Fiberoptic Industry Association*) podemos observar las atenuaciones para los dos tipos de fibra.

Tabla N° 2: Atenuaciones para los dos tipos de fibra

Categoría de Cable de fibra óptica	Fibra óptica de BS EN/IEC 60793-2-50	Máxima atenuación (dB/Km)		
		1 300 nm	1 383 nm	1 550 nm
OS1 (EN)	B1.3, B6_a	1,0	1,0	1,0
OS1 (ISO/IEC)	B1.1, B1.3, B6_a	1,0	-	1,0
OS2	B1.3	0,4	0,4	0,4

Fuente: FIA (*The Fiberoptic Industry Association*)

Como podemos observar, la atenuación con el cable de fibra OS1 es como máximo 1dB/km, más del doble que el cable de fibra OS2 que tiene como máximo 0.4dB/km de atenuación.

Podemos intuir que el cable de tipo OS2 es más costoso que el de tipo OS1 por lo que su construcción es más resistente, tiene menor atenuación y es para distancias más largas.

Entre estos dos tipos de fibra podemos descartar la fibra OS1, dado que su construcción está diseñada para interior; por lo tanto, se utilizó la fibra óptica de tipo OS2, que cumpla con las especificaciones de la ITU-T G.652D, que tiene menor atenuación y buenas prestaciones en la segunda ventana de 1310 nm, como se aprecia en la siguiente tabla. (Ver tabla 3)

Tabla N°3: Rendimiento de la fibra de modo único

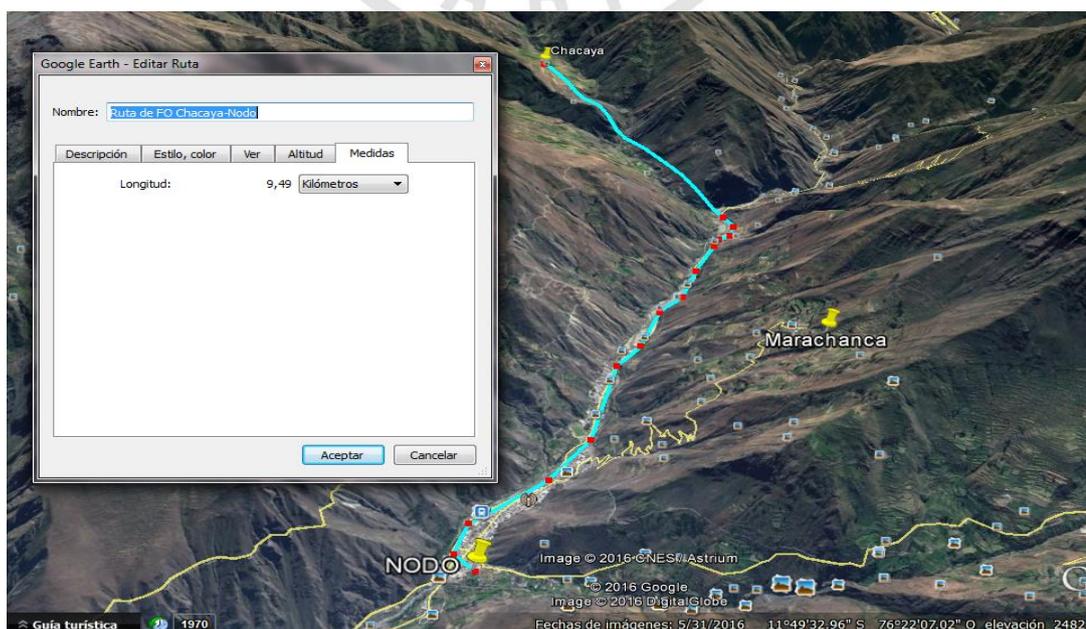
<b>ITEMS</b>	<b>UNITS</b>	<b>SPECIFICATIONS</b>
<i>Attenuation</i>	dB/km	$\leq 0.36$ at 1310nm $\leq 0.36$ at 1383nm $\leq 0.22$ at 1550nm $\leq 0.25$ at 1625nm
<i>Chromatic Dispersion</i>	ps/nm.km	$\leq 3.5$ at 1285 nm ~ 1330nm $\leq 18$ at 1550nm
<i>Zero Dispersion Wavelength</i>	nm	1300 ~ 1324
<i>Zero Dispersion Slope</i>	ps/nm <sup>2</sup>	$\leq 0.092$
<i>Polarization Mode Dispersion (PMD)</i>	ps/(km) <sup>1/2</sup>	$\leq 0.2$ (20 section link)
<i>Cut-off Wavelength (<math>\lambda_{cc}</math>, Cabled fiber)</i>	nm	$\leq 1260$
<i>Attenuation vs. Bending (60mm dia x 100turns)</i>	dB	$\leq 0.1$ at 1550nm

<i>Mode Field Diameter</i>	$\mu\text{m}$	9.2 $\pm$ 0.5 at 1310nm 10.4 $\pm$ 0.8 at 1550nm
<i>Core-Clad Concentricity Error</i>	$\mu\text{m}$	$\leq$ 0.6
<i>Cladding Diameter</i>	$\mu\text{m}$	125 $\pm$ 1
<i>Cladding Non-circularity</i>	%	$\leq$ 1
<i>Coating Diameter</i>	$\mu\text{m}$	240 $\pm$ 15
<i>Proof Test Level</i>	Gpa	$\geq$ 0.69

Elaboración: los autores

### b. Distancia total del cable

Para calcular la cantidad de fibra necesaria para cubrir la distancia desde el poblado de Chacaya hasta el nodo Matucana, se simulará el recorrido haciendo uso del *Google Earth*. (Ver Figura



3)

Figura N° 3: Mapa Cartográfico para cálculo de FO en Chacaya

Elaboración: los autores

Como podemos observar, tenemos una distancia de 9.49 kilómetros desde el poblado de Chacaya hasta el nodo ubicado en el distrito de Matucana. Si se deja un margen para reserva de cable u otros imprevistos, se puede redondear la cantidad de cable a 12 Km. En conclusión, la cantidad de cable necesario para enlazar mediante fibra óptica el poblado de Chacaya al nodo Matucana es de 12 Km.

### **c. Tamaño y distancia entre postes**

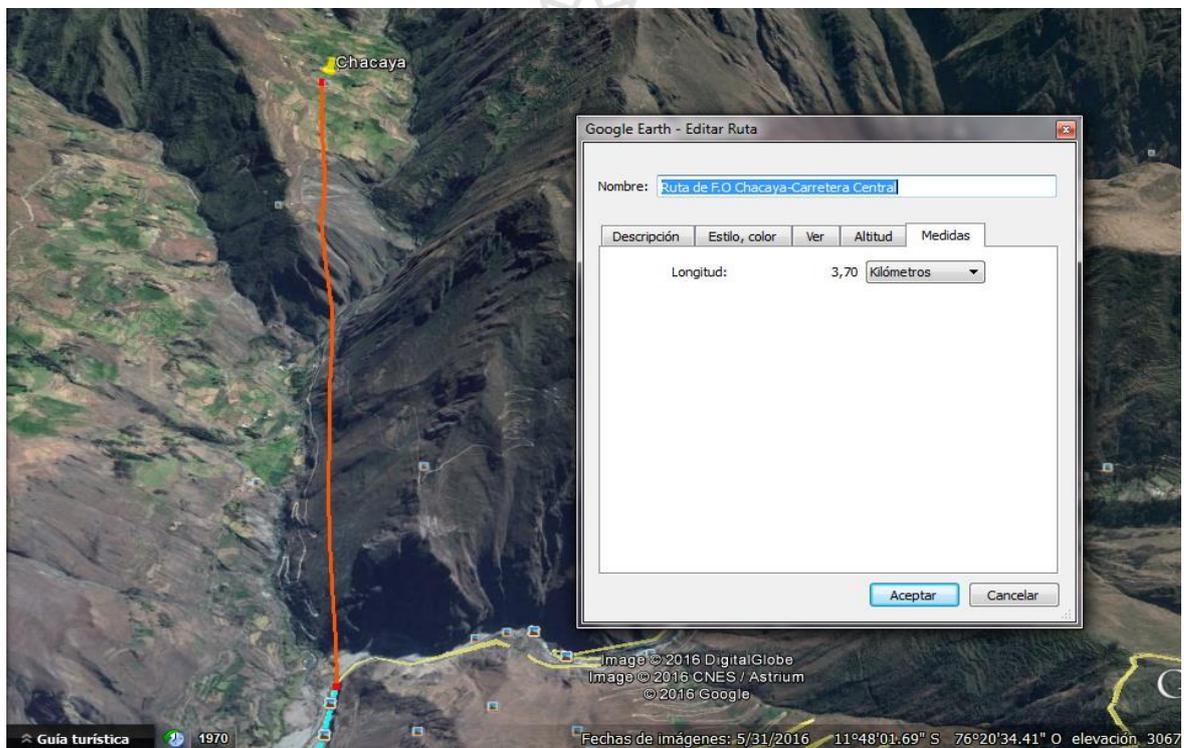
Se requiere determinar la ruta por donde se realiza el tendido de la fibra. Para esto, se debe analizar el terreno y determinar qué vano de cable es el más conveniente. El vano es la distancia máxima que puede soportar un determinado tipo de cable de fibra óptica, sin requerir de un punto de apoyo. Cuanto mayor es el vano, mayor es la tensión y el peso ejercido en el cable.

En el mercado existen vanos de 100, 200, 400, 800, 1000 metros; cuanto mayor sea el vano más costoso es el cable. El criterio a seguir es el siguiente: si es una ciudad o carretera, no se pueden instalar vanos de más de 100 metros, porque la distancia entre postes no es mayor a 40 metros. Si es zona montañosa, se pueden instalar vanos más largos, como de 400 a 600 metros, incluso más; depende si se deben atravesar quebradas, ríos, carreteras, vías ferroviarias, etc. Para nuestro caso, hay una combinación de los dos escenarios.

c.1 En primer lugar, se debe descender desde Chacaya por zona montañosa, pues se encuentra a 3200 msnm aproximadamente. Se debe llegar hasta la Carretera Central que se ubica a 2500 msnm. En este tramo se puede utilizar

vanos de 400 metros, dado que se deben cruzar quebradas y zonas montañosas. Al llegar a la Carretera Central ya se sigue un camino establecido a lo largo de la pista, con tramos más cortos.

Como se observa en la Figura 4, desde Chacaya hasta la Carretera Central hay una distancia de aproximadamente 3700 metros en línea recta. Del mismo modo, apreciamos que el perfil del terreno está en descenso y de acuerdo a ello se



realizan los cálculos para hallar la distancia.

Figura N° 4: Mapa Cartográfico para cálculo de postes en Chacaya

Elaboración: los autores

Cálculo simple haciendo uso del teorema de Pitágoras, para el perfil del terreno.

X= distancia del cable de fibra óptica

Distancia vertical= 700 metros

Distancia horizontal= 3700 metros

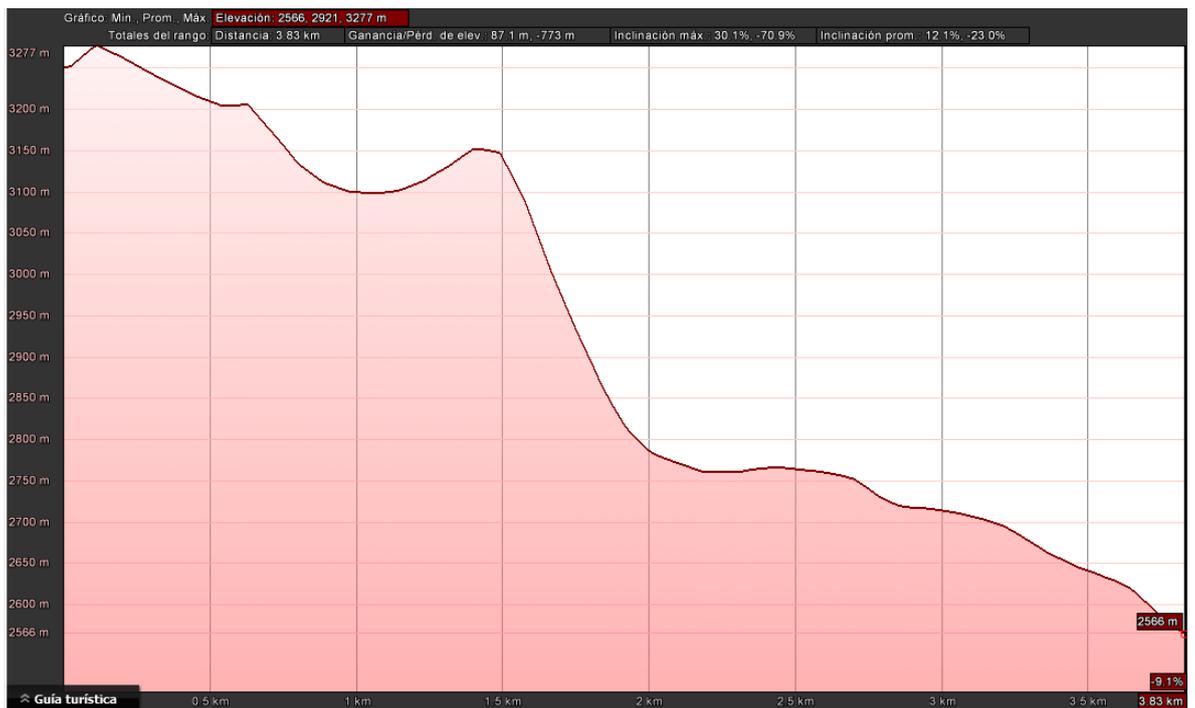
De la ecuación 1.1, aplicaremos Pitágoras:

$$X^2 = (\text{Distancia vertical})^2 + (\text{Distancia horizontal})^2 \quad \dots\dots (1.1)$$

$$X^2 = (700)^2 + (3700)^2$$

$$X = 3765.63 \approx 3800 \text{ m}$$

En la siguiente Figura 5 se mostrará como es el perfil del terreno desde el centro poblado de Chacaya hacia la carretera Central.



Central.

Figura N° 5: Perfil del terreno desde Chacaya hacia Carretera Central

Fuente: Software - Google Earth

En ese sentido, al tener la distancia del cable de fibra óptica a instalar, se debe definir el vano que se va a utilizar; esto depende del terreno.

En la Figura 6 se observa que el terreno permite el uso de vanos largos. Se puede instalar cable de fibra óptica SPAN 400, con postes de 12 metros con doble retenida, para asegurar su capacidad de poder soportar el peso del cable. Los

postes se colocarán como mínimo a 200 metros, esto para asegurar que los 12 m sean capaces de soportar la carga vertical del cable de fibra óptica.



Figura N° 6: Vista del terreno del poblado de Chacaya  
Elaboración: los autores

Para cubrir los 3800 metros, colocando postes cada 200 metros, se requerirán 19 de 12 metros. Como conclusión, para el descenso desde Chacaya hasta la Carretera Central se requerirán:

- 3800 metros de cable de fibra óptica SPAN 400
- 19 postes de 12 metros

c.2 Para el caso del tendido de cable de fibra óptica desde la Carretera Central hasta el nodo ubicado en Matucana,

tenemos una distancia de 5.82 km aproximadamente, como podemos apreciar en la Figura 7.

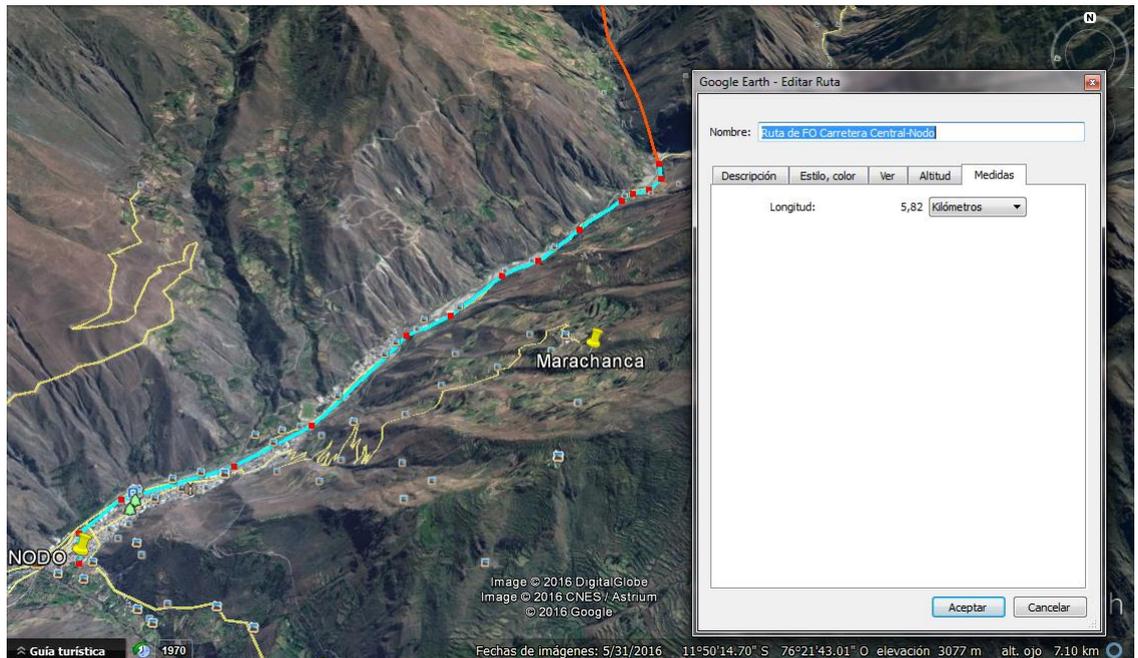


Figura N° 7: Mapa de cálculo de postes desde: Carretera Central – Matucana.

Elaboración: los autores

En la Carretera Central se puede usar un vano más corto que en la bajada del cerro y colocar más postes, dado que es una ubicación con más obstáculos y se tiene que seguir un trayecto ya definido.

Para el recorrido de los 5.82 km se utilizaron postes de 10 metros colocados cada 80 metros como máximo. Los postes de 10 m se colocan para soportar la carga vertical del cable fibra óptica, con el vano indicado. En total se utilizaron 75 postes hasta llegar al nodo Matucana. Se redondeará a 80 para tener un cálculo más holgado. En total, desde la Carretera Central hasta el nodo se requerirán:

- 5820 metros de cable de fibra óptica SPAN 100
- 80 postes de 10 metros

Finalmente, se requerirá lo siguiente, según la tabla a continuación:

Tabla N°4: Cuadro de requerimiento final para la instalación de fibra óptica

Ítem	Descripción	Características	Cantidad	Unidad de medida
1	Cable de Fibra Óptica	SPAN 400	3800	Metros
2	Cable de Fibra Óptica	SPAN 100	5820	Metros
3	Poste	12 metros	19	Unidad
4	Poste	10 metros	80	Unidad

Elaboración: los autores

Como la fibra óptica se vende por carretes de 4 kilómetros se requerirán tres: 1 carrete de SPAN 400 y 2 carretes de SPAN 100.

**d. Medio ambiente en donde se instalará el cable**

El medio ambiente donde se desea hacer el tendido de fibra óptica tiene un clima tipo sierra. Esto quiere decir que es un clima seco, montañoso, de difícil acceso, con lluvias frecuentes. Hay iluminación solar la mayor parte del día, de noche la temperatura descende. Es susceptible a descargas por rayos eléctricos.

Como podemos ver en la Figura 8 y Figura 9 se aprecia una zona montañosa, de difícil acceso y sin obstáculos de por medio. Del mismo como en la figura 10, la trayectoria plana en la carretera central.



Figura N° 8: Vista del Centro Poblado de Chacaya  
Elaboración: los autores



Figura N° 9: Vista de las chacras del Centro Poblado de Chacaya  
Elaboración: los autores



Figura N° 10: Vista C. Central desvío al poblado de Chacaya

Fuente: Google Earth

Analizamos cuatro tipos de cable de fibra óptica y definiremos cual se adapta mejor a nuestras necesidades.

**Cable de fibra óptica para interiores:** Este tipo de cable se utiliza para un cableado interno; también puede usarse para un cableado de edificio a edificio, por una ductería. No está diseñado para condiciones exteriores exigentes.

**Cable ADSS (*All Dielectric Self Supported*):** Ofrece una buena ventaja para tramos largos, como atravesar ríos o carreteras; además, ofrece una ventaja en costo y facilidad de instalación, ya que carecen de elementos metálicos que son inmunes a interferencias eléctricas y no son susceptibles a la caída de rayos. Resulta idóneo para instalar en postes con líneas de transmisión y/o en zonas donde el medio ambiente lo amerite.

**Cable OPGW (*Optical Ground Wire*):** El cable OPGW reemplaza al cable de guarda existente en una red de transmisión eléctrica, de esta manera se optimizan los recursos.

El cable tipo OPGW puede resultar costoso y operativamente complicado instalarlo en una red ya construida, dado que requeriría quitar la tensión para trabajar en ella. Por el tema de costo, el precio del cable en sí y el costo de instalación son superiores a los demás.

**Cable lashed:** Los cables lashed son totalmente dieléctricos, y están diseñados para ser instalados en conductos bajo tierra. A veces también se instalan para vanos cortos y dentro de edificaciones. Este tipo de cable no cuenta con un elemento de tracción, por ese motivo no es adecuado para instalación en vanos largos. Su instalación es más lenta y costosa a comparación de los cables auto-sustentados. El precio de cable es menor, debido a su construcción más simple y menor desempeño que los cables auto-sustentados.

Se concluye que dada la necesidad el cable más apropiado es del tipo ADSS, ya que cumple con las características necesarias para la zona en donde se va a instalar; como por ejemplo, cruce de tramos largos. Chacaya se encuentra a 3200msnm, mil metros por encima que la Carretera Central; para bajar de cerro en cerro se utilizarán vanos largos.

En el tramo se pueden encontrar cruces con líneas de transmisión eléctrica, la composición del cable tipo ADSS carece de elementos metálicos, lo hace inmune a interferencias eléctricas. En la zona también puede haber descargas eléctricas causadas por rayos.

Además de ser de tipo ADSS tiene que cumplir con las especificaciones de la ITU-T G. 652D por su menor atenuación y buen rendimiento en la segunda y tercera ventana de funcionamiento.

Se utilizaría un cable de 12 hilos, en transmisión unidireccional, es decir, un hilo para transmisión y otro hilo para recepción. Los hilos restantes pueden quedar de reserva para un crecimiento futuro.

**e. Cálculos de atenuación**

Unas de las principales ventajas que tiene la fibra óptica, es que tiene inmunidad al ruido eléctrico, característica que en un medio de cobre es difícil alcanzar. Pero esto no quiere decir que sea el medio perfecto; la fibra óptica es susceptible a otros factores que pueden causar un cierto nivel de atenuación en su señal.

Para el cálculo de atenuación se tomó como referencia las bobinas de 4 km cada una, longitud de onda de 1310nm y se consideró un coeficiente de atenuación promedio con las especificaciones y experiencias encontradas en el mercado y en el campo.

Se tomó la siguiente ecuación 1.2:

$$AT = (L \times AL) + (Ne \times Ae) + (Nc \times Ac) \dots\dots\dots (1.2)$$

Dónde:

AT: Atenuación total	Ae: Atenuación por empalme = 0.2 dB
AL: Coeficiente de atenuación = 0.36 dB/km	Nc: Número de conectores = 2
L: Longitud del cable = 12km	Ac: Atenuación por conector = 0.5 dB
Ne : Número de empalmes = 3	Ar: Atenuación de reserva
PT : Potencia del transmisor = 15 dB	Me: Atenuación de reserva

$$AT = (12 \times 0.36) + (3 \times 0.2) + (2 \times 0.5)$$

$$AT = 4.32 + 0.6 + 1$$

$$AT = 5.92 \text{ dB}$$

**f. Tecnologías de acceso para la fibra óptica**

Se analizó cinco diferentes tecnologías usadas para transportar la comunicación, aprovechando el medio de fibra óptica y la necesidad requerida. Entre ellas tenemos *ATM*, *Frame Relay*, *SDH*, *MetroEthernet*, *DWDM*. El detalle de estas tecnologías se encuentra en el anexo A.

Para hacer la elección de la tecnología que se debe usar para el caso específico de la presente tesis, se tomó las necesidades más básicas.

Para acceder al Nodo de Distribución, según especificaciones de concurso de la RDNFO, deberá tener una conexión de subida de 1Gbps. Esta velocidad es mayor a la necesaria para llevar servicios al poblado de Chacaya, pero se tomó como referencia para descartar tecnologías y para tener una capacidad reservada para futuras expansiones.

En la siguiente tabla se muestra el comparativo de las velocidades de las tecnologías *ATM*, *Frame Relay*, *Metro Ethernet*, *SDH* y *DWDM*

Tabla N°5: Comparativo de velocidades de las tecnologías de acceso

	<b>DWDM</b>	<b>SDH</b>	<b>Metro Ethernet</b>	<b>Frame Relay</b>	<b>ATM</b>
<b>Escalabilidad</b>	10G a 1.6T	155M a 40G	10M a 10G	56K a 45M	1.5M a 622M

Elaboración: los autores

Según la Tabla N° 5 se puede observar que *Metro Ethernet*, *SDH* y *DWDM* cumplen con la velocidad requerida. Las otras tecnologías son cada vez menos usadas y son reemplazadas por tecnologías más recientes, por lo que se descartarán.

*DWDM* se usa para interconectar redes de larga distancia y con una gran necesidad de ancho de banda. Normalmente, lo usan los operadores para unir redes de área metropolitana. Se requieren

equipos adicionales, como los EDFA, para poder regenerar la señal y transmitirla a larga distancia. Las prestaciones son resaltantes, pero el equipamiento resulta costoso. Para este caso en particular, no amerita usar *DWDM*, ya que el enlace de fibra óptica es de 12 kilómetros y las necesidades de ancho de banda pueden ser cubiertas por otra tecnología.

En la Tabla 6, muestra una comparación entre las tecnologías *SDH* y *Metro Ethernet*.

Tabla N°6: Comparativo de SDH vs *Metro Ethernet*

	<b>SDH</b>	<b><i>Metro Ethernet</i></b>
Redundancia	<i>Switching automático</i> (50ms) <i>Link capacity adjustment scheme (LCAS) for virtual concatenation.</i>	<i>Fast spanning tree</i> (de 10ms a 1s, depende de la topología) <i>Link Aggregation</i> <i>MPLS fast reroute</i> (<50ms)
Operación, administración, mantenimiento (OAM)	<i>SDH OAM framework</i>	<i>Metro Ethernet Forum service OAM</i>
Detección de fallas	Error seccionalizado/monitoreo de defectos e indicaciones remotas Monitoreo de performance	Detección de falla de <i>link</i> remoto Monitoreo remoto con umbrales propietarios.
Ingeniería de tráfico	<i>Virtual concatenation (VC)</i>	<i>MPLS label-switched paths</i>
Escalabilidad	Hasta 40G	Hasta 10G
Especialidad	Voz	Data

QoS	Determinístico	Calidad del servicio al propietario
	<b>SDH</b>	<b><i>Metro Ethernet</i></b>
Robustez	99.999% <i>uptime</i> BER = 10-12	<i>Uptime</i> basado en la redundancia de implementada
Flexibilidad de topologías	Anillo	Anillo Malla Árbol Bus
Costo de equipamiento	Costoso	Económico
Costo por puerto	\$\$	\$
Costo de escalabilidad	\$\$	\$
Mantenimiento	Alto	Bajo

Elaboración: los autores

Las ventajas de *SDH sobre Metro Ethernet* están basados en su robustez y alta escalabilidad. Sin embargo, lo elegiremos como protocolo de capa 2, debido a varios factores.

*Metro Ethernet* es más flexible, puesto que pueden implementarse diversas topologías como anillo, malla, bus, etc. esto quiere decir que pueden realizarse diversos cambios en el diseño y nos brinda más opciones.

El *hardware* de *SDH* es más complejo y costoso porque la configuración, operación y mantenimiento de estos equipos incrementarían los costos, ya que se necesitaría personal especializado para su manejo. Si se desea repotenciar la red se

debe adicionar un puerto lo que resultaría más costoso que el caso de *SDH*.

En conclusión, debido a que no se requerirá más de 1 Gbps y por la mayor flexibilidad y menor costo posible, se elige ***Metro Ethernet*** como protocolo de capa 2 a utilizar.

### **1.2.2 Enlace microondas**

Los sistemas microondas vienen desarrollando nuevas tecnologías en los que se consiguen cada vez mayores velocidades, lo que determina que sigan en vigencia.

Los enlaces microondas dan solución a problemas de comunicación en zonas donde el acceso es difícil, en donde llegar por fibra óptica es inviable técnicamente o muy costoso.

La base teórica se encuentra en el anexo A; en este capítulo solo se describirá las razones por las cuales se elegirá un parámetro en lugar de otro.

#### **a. Banda de frecuencias**

Usualmente los equipos microondas para radioenlace punto a punto comerciales trabajan en las bandas de 2.4 GHz. y 5.8 GHz. en banda libre y de 4 a 42 GHz. en banda licenciada.

Las ventajas de usar banda libre radican en el costo. Al ser bandas liberadas no requieren el pago de canon, pero su principal problema es la interferencia del espectro radioeléctrico, ya que al ser bandas libres, otro enlace podría usar la misma frecuencia de operación.

Por el contrario, al usar una frecuencia en banda licenciada se asegura exclusividad de operación en la frecuencia designada, pero esto conlleva al pago de un canon anual por el uso de esta frecuencia.

Para el caso de la presente tesis, las zonas del poblado de Chacaya, Marachanca y Matucana son alejadas y con poca población, por lo tanto, el uso de una frecuencia en banda libre no

se ve afectado por interferencias; sin embargo, se usó banda licenciada, debido a que se trata de un proyecto social que será llevado a cabo con inversión del Estado, por lo que está prohibido hacer el uso de banda libre.

**b. Modulación**

En la siguiente tabla, se observa una comparación entre los distintos métodos de modulación y la velocidad a la que se puede transmitir.

Tabla N°7: Comparación de modulaciones y velocidades

Modulation	Units	Bits/Baud	Baud rate	Bit Rate
<b>ASK, FSK, 2-PSK</b>	<b>Bit</b>	<b>1</b>	<b>N</b>	<b>N</b>
<b>4-PSK, 4-QAM</b>	<b>Dibit</b>	<b>2</b>	<b>N</b>	<b>2N</b>
<b>8-PSK, 8-QAM</b>	<b>Tribit</b>	<b>3</b>	<b>N</b>	<b>3N</b>
<b>16-QAM</b>	<b>Quadbit</b>	<b>4</b>	<b>N</b>	<b>4N</b>
<b>32-QAM</b>	<b>Pentabit</b>	<b>5</b>	<b>N</b>	<b>5N</b>
<b>64-QAM</b>	<b>Hexabit</b>	<b>6</b>	<b>N</b>	<b>6N</b>
<b>128-QAM</b>	<b>Septabit</b>	<b>7</b>	<b>N</b>	<b>7N</b>
<b>256-QAM</b>	<b>Octabit</b>	<b>8</b>	<b>N</b>	<b>8N</b>

Elaboración: los autores

Se observa que el más eficiente de todos es el QAM. A partir de su versión 16-QAM su ventaja comparativa con PSK se despega.

Se observa que mientras mayor sea la modulación en QAM, se pueden enviar más bits en un periodo determinado. Por ejemplo, si utilizamos una modulación de 64-QAM podemos enviar 6 bits en una unidad de tiempo de transmisión. En 256-QAM podemos enviar 8 bits en el mismo tiempo de transmisión.

Aprovechando la ventaja de tener una mayor tasa de transferencia por segundo, lo más adecuado fue utilizar una modulación QAM, siempre y cuando se tenga un nivel de

recepción adecuado para este tipo de modulación. Para este caso, la tasa de velocidad requerida no fue muy alta por lo que se tuvo que utilizar un PSK, el cual brinda una mayor robustez en el enlace de datos.

### c. **Sistemas de diversidad**

Los sistemas de diversidad nos ayudan para darle mayor robustez al enlace microondas ante una posible caída del sistema. Por su extensión, el marco teórico lo ubicamos en el **Anexo A**.

La zona donde se encuentra el poblado de Chacaya y Matucana carecen de gran cantidad de antenas, por lo tanto se deduce que el espectro no está saturado, como en gran parte de Lima. Esto nos da la seguridad de poder usar una frecuencia libre de interferencias, sumado a que no hay ningún trayecto donde el enlace atravesase un mar o río que pueda ocasionar problemas por multitrayectoria o desvanecimiento de la señal.

Por estos motivos solo se requerirá un enlace 1+0, sin diversidad de ningún tipo.

### d. **Tipos de antenas**

El marco teórico sobre antenas se encuentra en el **Anexo A**

- Para el caso de un enlace microondas se usa un tipo de antena para microondas terrestres.
- En caso se use una femtocelda, se usará una antena sectorial.

## **1.2.3 Modelamiento de última milla**

### a. **Femtocelda**

Una femtocelda es una estación base de baja potencia para el uso de servicios móviles en el hogar o en el negocio. Normalmente, esta estación base se integra a la red móvil mediante una conexión de banda ancha que puede ser ADSL,

fibra óptica; por lo tanto, el usuario tendrá su propia cobertura de red celular.

Las femtoceldas tienen interesantes características, como que son capaces de configurarse automáticamente. Por ejemplo, si se detecta una interferencia con la macrocelda la femtocelda es capaz de bajar la potencia automáticamente para eliminarla.

Las femtoceldas soportan alrededor de 5 usuarios si es una femtocelda para el hogar y alrededor de 16 usuarios si es para empresa.

En la Figura 11, se visualiza la arquitectura comúnmente utilizada en la implementación de una femtocelda.

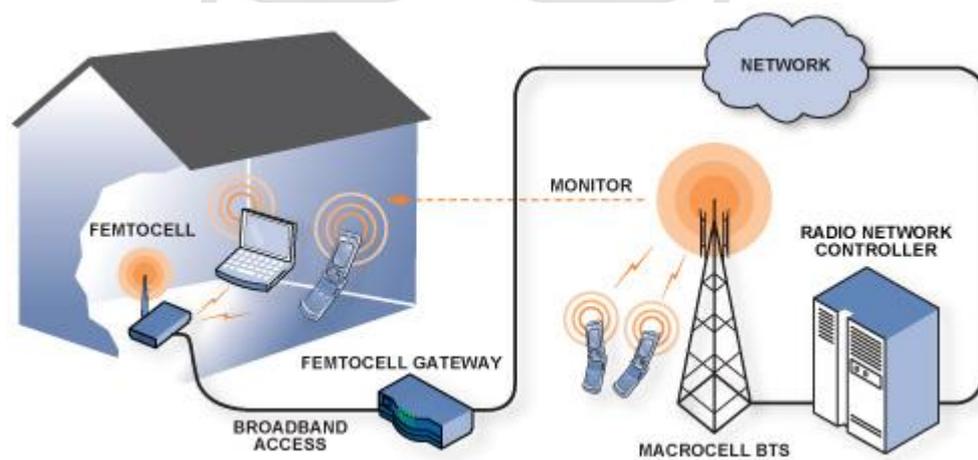


Figura N°11: Arquitectura de una femtocelda  
Fuente: *Analog Dialogue* - <http://www.analog.com>

## b. Wi-Fi

Wifi es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite conectar a internet equipos electrónicos, como computadoras, tablets, smartphones o celulares, etc., mediante el uso de radiofrecuencias o infrarrojos para la transmisión de la información.

Wifi o Wi-Fi es originalmente una abreviación de la marca comercial *Wireless Fidelity*, que en inglés significa 'fidelidad sin cables o inalámbrica'. En español, lo aconsejable es escribir wifi

sin guion, en minúscula y sin cursivas. Además, se puede emplear de igual modo en masculino o femenino, dependiendo de la preferencia y del contexto: la (zona) wifi, el (sistema) wifi.

En este sentido, la tecnología wifi es una solución informática que comprende un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11, lo cual asegura la compatibilidad e interoperabilidad en los equipos certificados bajo esta denominación.



Figura N° 12: Diagrama de Wi-Fi  
Fuente: Redes Informáticas - <https://www.emaze.com>

A continuación se realizará una comparativa entre la tecnología con femtoceldas y Wi-Fi.

Tabla N°8: Comparativo Femtocelda Vs Wi-fi

	Femtoceldas	Wi-Fi
Banda de frecuencia	2.3 GHz –WCDMA/HSPA 700Mhz, 800MHz, 1.8Ghz, 2.6Ghz LTE/LTE Advanced 2.3 Ghz - WiMAX	2.4 GHz IEEE 802.11 b/g/n 5 GHz IEEE 802.11 a/n/ac
Ancho de banda	3G – 5MHz por portadora 4G – Hasta 20MHz por	5MHz, 10MHz, 20MHz 40MHz /802.11n

	portadora	80MHz, 160MHz /802.11ac
	<b>Femtoceldas</b>	<b>Wi-Fi</b>
Velocidad de transferencia	WCDMA – 384kbps, HSDPA 14.4Mbps(DL)  LTE-A & WiMAX – Hasta 1Gbps	Hasta 450Mbps (802.11n)  Hasta 7Gbps (802.11ac)
Rango de alcance	Hasta 50m	Hasta 100m
Espectro usado	Banda licenciada	Banda libre
Cobertura indoor	De 10 a 30m (1mW a 100mW)  El nivel de potencia dependerá de la macrocelda	Hasta 100m (1W)  La potencia de WiFi es mayor a la de las femtoceldas.
Interferencias	Interferencia co-canal con macrocelda Técnicas de evasión de interferencias serán necesarias (Self Organized Networks-SON)	Puede haber interferencia con otros dispositivos que utilicen banda libre
Planeación de red	El planeamiento de frecuencias debe ser cuidadoso para evitar las interferencias, lo cual es muy complicado por su movilidad.	No se requieren esfuerzos especiales para el planeamiento de la red

	<b>Femtoceldas</b>	<b>Wi-Fi</b>
QoS	Como es banda licenciada, el QoS es administrado por el operador.	El operador no tiene control sobre el QoS en una red WiFi.
Soporte de dispositivos	Sin especial consideraciones en el dispositivo	El dispositivo necesita WiFi (como la mayoría de smartphones)

Elaboración: los autores

Las femtoceldas son normalmente desplegadas para mejorar la señal de la red celular, requiere de un considerable planeamiento, mientras que las redes WiFi no requieren tanto esfuerzo, se disponen de altas velocidades y son redes baratas.

Sin embargo, las femtoceldas dan la posibilidad de tener acceso a la red celular y acceso a internet, y es la arquitectura que usualmente usan los operadores para llevar comunicación a las zonas rurales, donde no se cuenta con gran volumen de usuarios. La velocidad sin embargo es limitada a lo que nos ofrece una red 3G celular.

De acuerdo a los diversos sistemas estudiados, tecnologías existentes y revisando los modelos que habitualmente se usan para llevar comunicaciones a zonas rurales, y con la ayuda de las referencias brindadas en el estado del arte se puede definir dos topologías para llevar a cabo las comunicaciones al poblado de Chacaya.

En términos generales se puede decir que la comunicación se lleva por dos medios: enlace microondas y fibra óptica.

## 1.2.4 Modelamiento para videoconferencia

### a. Códec de video

A continuación se muestra en la siguiente tabla el comparativo de los códec H.263, H.264 y H.265.

Tabla N°9: Comparativo de códec de video

<b>Categoría</b>	<b>H.263 / H.263+</b>	<b>H.264 / AVC</b>	<b>H.265 / HEVC</b>
Nombre	Evolución H.261	MPEG 4 , AVC	MPEG-H, HEVC
Factor de compresión	50% del MPEG-2	50% del H2.63	50% del H.264
Resoluciones	SQCIF (128 x 96) 4CIF (704x576), 16CIF (1408 x 1152)	Soporta solo hasta 4K. (4096 x 2304)	Soporta hasta 8K UHDTV (8192x4320)
	Soporta 30 fps	Soporta 59,94 fps	Soporta hasta 300 fps.
Carga Computacional	Media	Media	Alta

Elaboración: los autores

De la tabla comparativa se observa mayor eficiencia del códec H.265 sobre el H.264. Sin embargo, el H.265 aún no es altamente difundido, dado que requiere una gran carga computacional de los equipos a utilizar.

Para nuestra aplicación no se requiere llevar una extrema calidad de video, por lo tanto se elegirá el códec H.264 para el diseño de la videoconferencia. Además, está mayormente difundido en todas las clases de equipos existentes.

### b. Códec de audio

Para realizar los cálculos se debe elegir el códec de voz adecuado, que sirve para muestrear la voz analógica y

comprimirlo en paquetes de datos que serán enviados por la red de datos.

Es por ello que se realizó la Tabla 10, en el que se hizo el comparativo de los diversos codificadores de voz, donde se analizó y consideró al códec OPUS, como idóneo para el proyecto a realizar; porque tiene una alta calidad de voz, funciona bien en altas y bajas tasas de transmisión y tiene un bajo retardo. Se descarta el códec G.729 porque se requiere de una licencia para su funcionamiento y al mismo tiempo se descarta el códec G.711 dado a su alta tasa de bit.

Tabla N° 10: Comparativo de Códec de Voz

<b>Categoría</b>	<b>OPUS</b>	<b>G.711</b>	<b>G.729</b>
Bit-rate (Kbit/s)	6 - 510	64	8
Retardo (ms)	5	20	20
Frecuencia de muestreo (KHz)	8	8	8
Algoritmo	SILK (Skype Technologies)	PCM (Pulse Codec Modulation)	CS-ACELP (Conjugate Structure Algebraic CELP)
Aplicaciones	VoIP y Videoconferencias Música / Video streaming y almacenamiento	Servicios de alta calidad del habla a través de redes de banda ancha	VoIP (telefonía IP), incluyendo teléfonos IP, teléfonos VoIP

Elaboración: los autores

### c. Sistemas de videoconferencia

Para realizar el diseño de videoconferencia se tomó en cuenta el costo y la movilidad, por lo cual tenía que ser una solución basada

en software y no en hardware. Después de realizar la investigación y descartar varias opciones, se realizó la comparativa entre dos software, el Webex y el GoToMeeting. La comparativa está descrita en la Tabla 11.

Tabla N° 11: Comparativo de Alternativas de Videoconferencia

	<b>Webex</b>	<b>GoToMeeting</b>
<b>Estándar de video</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H.264</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G2M5</li> <li>• MPEG-4</li> </ul>
<b>Códecs de audio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OPUS: El códec OPUS tiene mayor pérdida de ocultación de paquetes (PLC) y (FEC) es más resistente a la pérdida de paquetes. Como resultado, proporciona una mejor calidad de audio en condiciones menos ideales.</li> <li>• MP4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G.711</li> <li>• G.729</li> <li>• G.729</li> </ul>
<b>Conexión</b>	H.323	H.323
<b>Ancho de banda</b>	63 kbps (multipoint) 64 kbps (P2P) 180 kbps (multipoint) 180 kbps (P2P) hasta 1 Mbps	Cámara = 700 Kbps Pantalla compartida = 40 Kbps Audio = 40 Kbps
<b>Costo Anual</b>	\$\$	\$\$

Elaboración: los autores

De estos dos sistemas de videoconferencia, se trabajó con Webex de Cisco, siendo un sistema muy completo, además de ser simple para una aplicación como este proyecto en el cual tiene una buena calidad de imagen y no se tiene que usar un gran ancho de banda. Por lo tanto, gracias a lo mencionado a su buena calidad proporcionada, escalabilidad movilidad y simplicidad se decide que Webex es la mejor opción.

## 1.2.5 Elección del sistema de comunicaciones

### a. Sistema por enlace microondas

En la siguiente figura se puede observar el esquema de comunicación por enlace microondas.

#### SISTEMA DE COMUNICACIONES – OPCIÓN 1

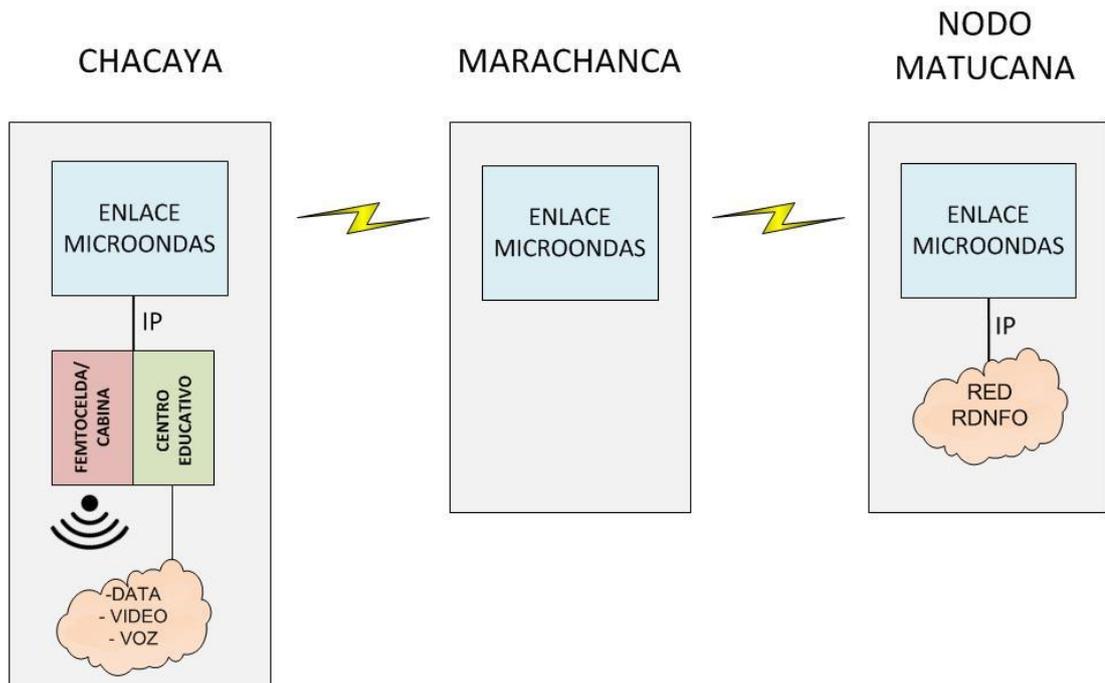


Figura N° 13: Comunicación por enlace microondas.  
Elaboración: los autores

Para poder realizar una comunicación vía microondas, se necesita de dos enlaces, ya que no existe línea de vista desde el nodo Matucana hasta el poblado de Chacaya, como se observa en la Figura 14.

La diferencia de altura del obstáculo en línea recta es de más de 1200 metros de altura y se encuentra a distancia de 4.81 kilómetros.

De acuerdo al análisis de campo, el poblado de Marachanca es un buen lugar para colocar el punto de repetición y evitar el obstáculo de interferencias; puesto que el equipamiento se encontraría cerca al poblado, donde hay acceso vehicular hasta el

punto y puede usarse esta ubicación para extender la comunicación hacia otros poblados aledaños que no cuenten con ella.



Figura N° 14: Línea de vista directa con obstáculo entre Chacaya y Nodo Matucana  
Elaboración: los autores

En el nodo Matucana bajará un cable ethernet, el cual se conectará al punto de acceso proporcionado por la RDNFO.

En el poblado de Chacaya se conectará a una femtocelda y/o a una cabina y al centro educativo, de manera cableada. A nivel capa 2 se utilizará Methoethernet, que es la opción elegida luego de analizar las distintas opciones y hacer una comparativa realizada líneas arriba.

Para la capa de red se utilizará MPLS, debido a que es el protocolo que maneja la RDNFO en los equipos de comunicaciones de su red. Por el lado de energía el esquema propuesto es el que se muestra en la siguiente Figura 15.

## SISTEMA DE ENERGÍA CON ENERGÍA SOLAR Y GRUPO ELECTRÓGENO DE RESPALDO

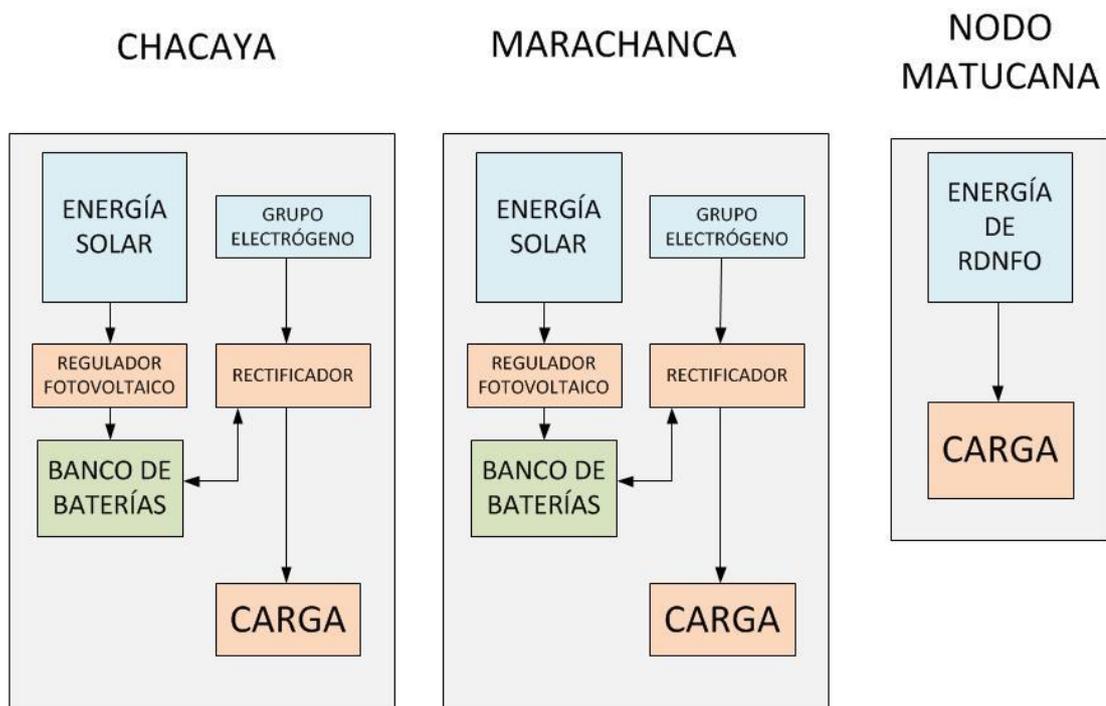


Figura N°15: Sistema de energía solar  
Elaboración: los autores

Debido a que ningún poblado cuenta con energía eléctrica comercial, se propone un esquema energético alimentado por celdas solares. El esquema es el mismo en el caso de Marachanca y Chacaya.

**b. Sistema por enlace de fibra óptica**

La siguiente opción de comunicaciones es mediante fibra óptica y es la que se muestra en la Figura 16.

**SISTEMA DE COMUNICACIONES – OPCIÓN 2**

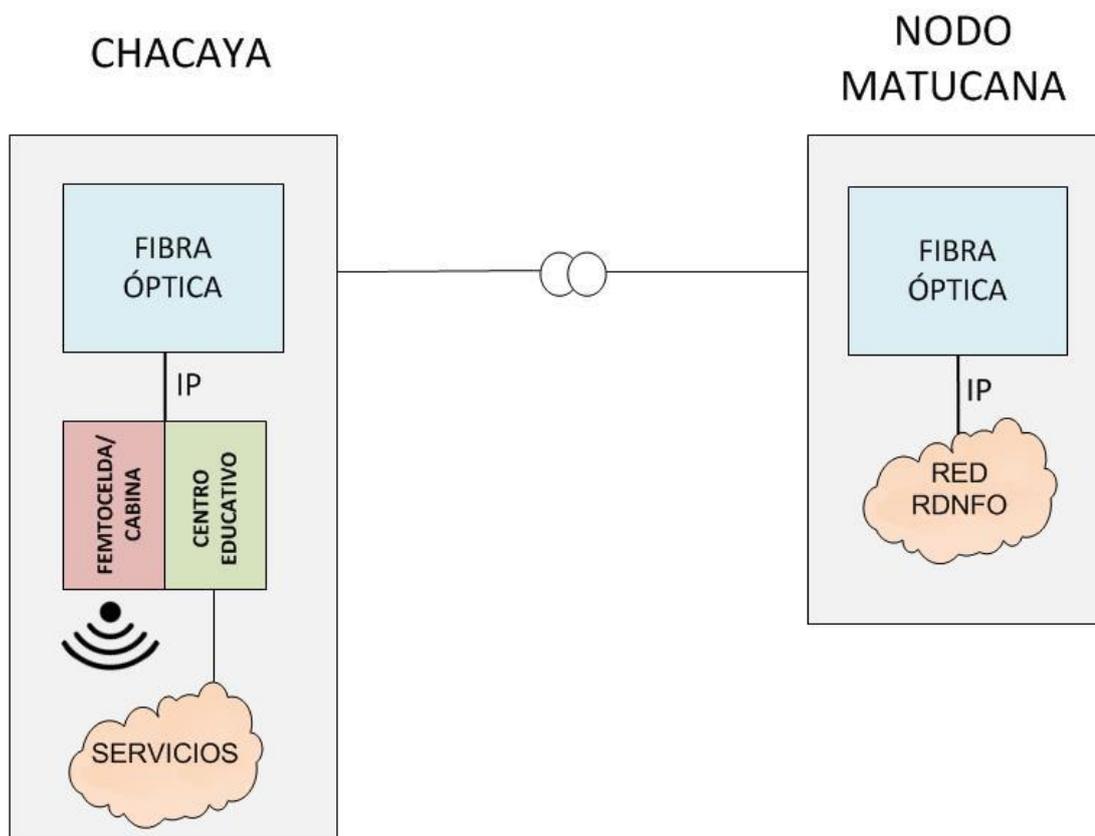


Figura N° 16: Comunicación por fibra óptica.  
Elaboración: los autores

Como se puede observar, la comunicación por fibra óptica es más simple y conlleva a las ventajas que nos ofrece esta, como es la velocidad de datos. Sin embargo, los requerimientos de este último, para llevar teleeducación no son exigentes, y el principal problema para la instalación de una fibra óptica a comparación de otros medios, es el precio.

Al hacer una comparación de precios (ver **anexo B**) con la otra opción que es un enlace mediante microondas, se observa que el precio de instalación de la fibra óptica casi duplica el precio de hacerlo por radioenlace. Al realizar la visita de campo, nos encontramos con un problema adicional que agrega más peso al uso de un radioenlace, el factor climático.

El poblado de Chacaya se encuentra en la ruta de paso de los huaycos que afectan a la zona en temporada de lluvias, entre los

meses de diciembre y marzo. De acuerdo a lo conversado con los pobladores, el último huayco que afectó el camino los dejó aislados por dos semanas. En la Figura 17 se observa la ruta de acceso al poblado. La caída del huayco puede afectar los postes y la ruptura de la fibra óptica, ocasionando pérdidas de comunicación y económicas.



Figura N°17: Ruta de acceso al Centro Poblado de Chacaya  
Elaboración: los autores

Se concluye que la mejor opción para llevar teleeducación al poblado de Chacaya es mediante radioenlaces, basándonos en la necesidad técnica principal que es el ancho de banda requerido y el factor económico, lo que prima en este tipo de proyectos.

### **c. Comparación económica entre los sistemas propuestos**

A continuación se muestra el cuadro comparativo de los costos de inversión entre las dos opciones propuestas. Los cuadros detallados se ubican en el anexo B.

Tabla N°12: Comparativo de costos de los sistemas de comunicaciones

<b>Sistemas de Comunicaciones</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Sistema por enlace microondas	89,110
Sistema por enlace de fibra óptica	141,700

Elaboración: los autores

### 1.3 Definición términos básicos

**Banda Ancha:** para efectos de la presente Ley, entiéndase por Banda Ancha a la conectividad de transmisión de datos principalmente a Internet, en forma permanente y de alta velocidad que le permite al usuario estar siempre en línea, a velocidades apropiadas para la obtención y emisión interactiva de información multimedia y para el acceso y utilización adecuada de diversos servicios y aplicaciones de voz, datos y contenidos audiovisuales.

**OSIPTEL:** Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones.

**FITEL:** Fondo de Inversión en Telecomunicaciones

**TUO:** Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones

**ITU:** Informe mundial sobre el desarrollo de las telecomunicaciones

**TIC:** Tecnologías de la Información y Comunicaciones

**CAC:** Comité Administrativo de Coordinación de las Naciones Unidas

**PMA:** Países menos adelantados.

**USO:** Obligación de Servicio Universal

**CEPRI-Telecom:** Comité Especial para la Privatización de sector Telecomunicaciones

**MTC:** Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

**CAPEX:** Gastos de Capital

**OPEX:** Gastos de Operación

- ARPU:** *Average revenue per user* o ingreso promedio por usuario
- O&M:** Costos de operación y mantenimiento
- TUP:** Teléfono de Uso público
- OBA:** Ayuda basada en Resultados o Subsidio Basado en la entrega del Servicio (o el mantenimiento de la capacidad para prestar el servicio)
- FU:** Fondo Universal
- CEPES:** Confederación Empresarial Española de la Economía Social
- Intelecon:** Consultora americana en temas de telecomunicaciones
- TdP:** Telefónica del Perú
- RT:** Rural Telecom
- GTH:** Gilat to Home
- VSAT:** Es el acrónimo de "*Very Small Aperture Terminal*", y es definido, por tanto, como una pequeña estación terrestre con una antena de diámetro no superior a 2'4m.
- EBITDA:** *Es un indicador financiero representado mediante un acrónimo que significa en inglés "Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization".*
- SKA:** "*Sender Keeps All*", llamadas bajo en acuerdo.



## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 Métodos

##### 2.1.1 Propuesta general

Se demostró que mediante las herramientas utilizadas, medios de acceso y las técnicas de transmisión para una buena calidad de voz y video de alta calidad, puede ser ejecutable nuestro sistema de Teleeducación en la ciudad de Chacaya.

Se diseñó las etapas finales en la última milla, utilizando los códec adecuados, equipos de comunicaciones y los modelamientos para una transmisión del canal digital a ser soportados, ya que debemos estar acorde con lo proporcionado por la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.

Se debe aprovechar el nivel de alcance de cobertura para una Femtocelda, la velocidad de transmisión de video de alta calidad y su aplicación en Teleeducación con grandes alcances para la red móvil en la zona rural.

Se utilizó las técnicas de codificación, análisis matemático para una red de telecomunicaciones (BW, zonas de fresnel, etc), cálculos para los sistemas de energía.

## 2.1.2 Cálculo del ancho de banda

### a. Cálculo de anchura de banda - Audio

En esta etapa se describió el cálculo del ancho de banda del audio para el sistema de videoconferencia.

En el modelamiento se hizo la comparativa de los diversos sistemas de videoconferencia existentes en el mercado. Se definió usar el software Webex.

Webex utiliza el códec para audio Opus, el cual trabaja con los siguientes parámetros:

Velocidad de muestreo : 8 - 48Khz.  
Bitrate : 6 – 510kbps.  
Tamaño de la trama : 2.5 – 20ms.

A manera comparativa, se hará un análisis utilizando el G.711, sabiendo que tiene parámetros más exigentes que el Opus.

Los datos del códec G.711 son los siguientes:

Tasa de transmisión : 64kbps  
Tamaño del bloque (bytes) / duración del bloque (ms): Entre 10 y 30 ms  
Frecuencia de envío : 33 paquetes/seg o 50 paquetes/seg

- Se elegirá 50 pq/seg y calcularemos de la ecuación 1.3, el peso de un paquete

$$x = \frac{64000 \text{ bit/seg}}{50 \text{ pq/seg}} = 160 \text{ bytes/pq} \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

- Calculamos de la ecuación 1.4 la duración de un paquete:

$$Duración\ de\ 1\ paquete = \frac{1pq \times 1000ms}{50pq} = 20ms \quad \dots (1.4)$$

La ITU, G.114 dice que para una transmisión en tiempo real usando un medio no satelital el retardo del audio tiene que ser **menos a 150 ms.**

Se verifica que el retardo del audio para este caso es de 20ms, por lo tanto está dentro de los parámetros para ser considerado una transmisión en tiempo real.

- El tamaño del bloque que va a enviar el códec es de 160 bytes/pq, pero a esto le tenemos que adicionar el peso que añaden las cabeceras en las capas de nivel superior.

Para esto se necesita saber el peso de las tramas en la capa 2, 3 y 4. En las siguientes tablas se aprecia los pesos que añaden cada capa.

Trama L3:

Tabla N°13: Pesos en la Capa 3

<b>Header 20 bytes</b> IPv4	<b>PAYLOAD</b>		
	HL4 - RTP 12 bytes	HL4 - UDP 8 bytes	160 bytes

Elaboración: los autores

Trama L2:

Tabla N° 14: Pesos en la Capa 2

<b>Preámbulo</b>	MAC origen 6 bytes	MAC destino 6 bytes	T/L 2 bytes	DATA MTU 64-1500 bytes	FCS 4 bytes
------------------	--------------------------	---------------------------	-------------------	------------------------------	-------------------

Elaboración: los autores

Se observa que en la L3 se agregan 20 bytes más los que vienen de la L4 que son  $12 + 8 = 20$  bytes. En la L2 se adicionan  $6+6+2+4 = 18$  bytes.

Por lo tanto tenemos, la ecuación 1.5:

$$T_{am\ pq} = T_{codec} + TL4 + TL3 + TL2 \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

$$T_{am\ pq} = 160 + 20 + 20 + 18$$

$$T_{am\ pq} = 218\ bytes/pq$$

Luego de esto se convierte a bytes/seg con la ecuación 1.6:

$$Tx = T_{am\ pq} \times \frac{\#pq}{seg} = 218 \frac{bytes}{pq} \times 50 \frac{pq}{seg} \times 8 \frac{bits}{byte} = 87.2\ kbps \quad \dots (1.6)$$

Se concluye que la tasa de transmisión, adicionando el peso de las cabeceras de las demás capas es de **87.2 kbps**.

**b. Cálculo de anchura de banda – Video**

- Se realizó el cálculo para en ancho de banda sin compresión que ocuparía una transmisión de video, con resolución de 640 x 480.
- Luego se realizó la comparación del ancho de banda, que ocuparía la transmisión del mismo video pero comprimido con el codec H.264

**Cálculo el ancho de banda sin compresión:**

$$Tx - Original = M \times N \times 24\ bits \times 30\ fps \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

$$Tx - Original = 640 \times 480 \times 24 \times 30 = 281.184\ Mbps.$$

Con esta resolución, utilizando el códec H.264 se logró una tasa de transmisión máxima de 2Mbps. Como se observa, el factor de compresión es por lo menos 100 mil veces.

### c. Cálculo de ancho de banda total (Kbps) - Videoconferencia

Ya calculado el ancho de banda para audio y video de la videoconferencia, se asignará un ancho de banda para que se pueda navegar en internet de al menos 2Mbps y 1Mbps para telefonía celular, mostrada en la ecuación 1.8:

$$BW_{total} = BW_{video} + BW_{voz} + Bw_{internet} + Bw_{celular} \quad \dots$$

(1.8)

$$BW_{total} = 2048 + 87.2 + 2048 + 1024 = 5\,207.2 \text{ Kbps} = 5.085 \text{ Mbps.}$$

Redondeando, se obtiene un valor de **5 Mbps**.

### 2.1.3 Cálculo de los radio enlaces

#### a. Ubicación de las estaciones

En la presente tesis se debe llevar la red del operador, proporcionada por la RDNFO hasta el poblado de Chacaya. Como se observa en el modelamiento, la tecnología para llevar a cabo este fin fue usando radioenlaces. Desde Chacaya no existe línea de vista con Matucana, lugar donde se encuentra ubicado la RDNFO, por lo tanto se tuvo que realizar un salto adecuado en el que se utilizó el Google Earth. Según esta herramienta, un posible punto estaba en el poblado de Marachanca, ubicado en las alturas de Matucana, a 40 minutos de recorrido en mototaxi el cual se visitó para corroborar esta información y tener un mejor panorama y coordenadas más exactas.

En las Figuras 18 a y b podemos apreciar las vistas de los poblados de Matucana y Chacaya desde el punto de apoyo en Marachanca.



Figura N° 18a: Vista del pueblo de Matucana  
Elaboración: los autores



Figura N° 18b: Vista del poblado de Chacaya  
Elaboración: los autores

En la figura 19, se observa la ubicación geográfica de los tres p



Figura N° 19: Vista geográfica de Matucana, Marachanca y Chacaya  
Fuente: Google Earth

Con la visita de campo a estos tres lugares se tomaron las coordenadas exactas haciendo uso del GPS de un celular, marca Sony modelo Xperia Z3 y apoyándonos en la aplicación para Android GPS Status.

Con la información recolectada, se puede realizar la siguiente tabla con las coordenadas geográficas de las ubicaciones.

Tabla N° 15: Tabla de coordenadas de *sites*

Lugar	Referencia	Latitud	Longitud
Matucana	Nodo de distribución RDNFO	11°50'54.3"S	76°23'17.1"S
Marachanca	Punto de apoyo	11°49'48.7"S	76°21'32.6"S
Chacaya	Colegio de Chacaya	11°46'40.7"S	76°21'37.9"S

Elaboración: los autores

#### b. Cálculo de los radio enlaces

##### - Cálculo para radio enlace Nodo RDNFO – Marachanca

Para realizar los cálculos del radio enlace se tomó en cuenta las fórmulas de pérdida de espacio libre y zona de *Fresnel* que están detalladas en el compendio teórico.

Para agilizar los cálculos se hizo uso del software simulador *Path Loss*, de esta manera se demostrará la viabilidad del enlace entre estos dos puntos, así como el performance que tiene el enlace y conocer los requerimientos mínimos necesarios que deberá tener el equipo a utilizar.

Para realizar la simulación se tomó los valores más exigentes, de acuerdo a las características técnicas de las diversas marcas de radios microondas existentes en el mercado. No se propondrán marcas ni modelos en específico, debido a que es un plan de factibilidad que será sometido a concurso, solo se pedirán requisitos mínimos de equipamiento para que cumplan con el

objetivo deseado. Por lo tanto, los valores que se utilizaron para el cálculo fueron los siguientes:

Potencia de transmisión : 20 dB

Ganancia de las antenas : 36.6 dBi

Pérdida en conectores : 1.5 dB

Altura de las antenas : 20 metros

La siguiente figura nos muestra el perfil del enlace. Se puede observar un cerro que obstaculiza el trayecto de la señal muy cercano, pero como se comprobará en el reporte brindado por el software más adelante, no afecta la primera zona de *Fresnel*, lo cual hace viable el enlace.

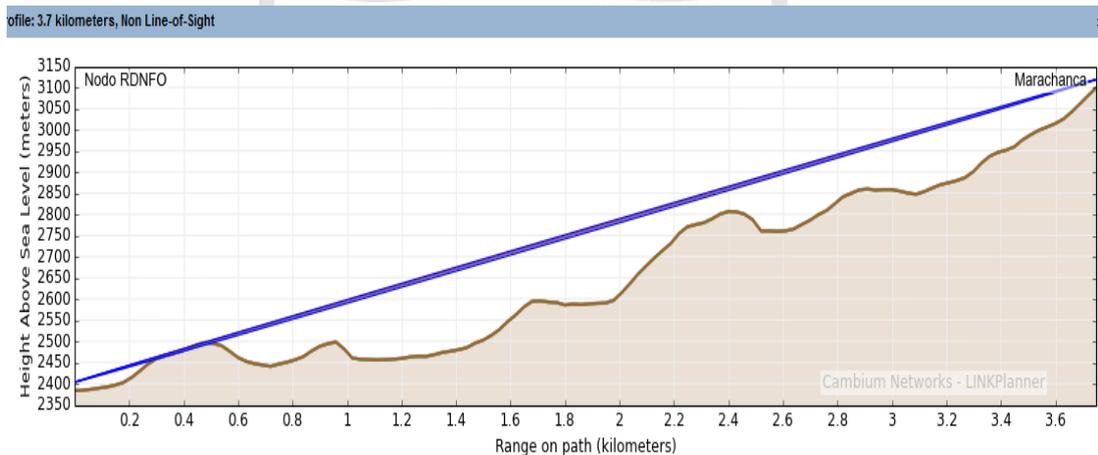


Figura N° 20: Perfil del enlace Matucana – Marachanca  
Fuente: *Software Path Loss*

La Tabla 16 muestra el reporte brindado por el Path Loss sobre la viabilidad del enlace.

Entre los parámetros más resaltantes es que el nivel de señal esperado en la recepción es de -37.65 dBm que nos brinda un considerable *fade margin*, parámetro importante cuando el enlace sufre alguna pérdida de la señal, ya sea por factores climáticos o problemas de hardware.

El tener un importante nivel de señal permite elegir una mayor modulación que da la posibilidad de tener un mayor ancho de

banda; sin embargo, para el presente caso, fue para tener una

	RDNFO	Marachanca
Elevación (m)	2386.46	3105.01
Latitud	11 50 54.00 S	11 49 48.72 S
Longitud	076 23 17.06 W	076 21 32.63 W
Azimuth Verdadero (°)	57.60	237.60
Ángulo Vertical (°)	10.85	-10.88
Modelo de Antena	SLC0615DS6	SLC0615DS6
Altura de Antena (m)	20.00	20.00
Ganancia de Antena (dBi)	36.60	36.60
Pérdida en Conectores (dB)	1.50	1.50
Frecuencia (MHz)	15000.00	
Polarización	Vertical	
Longitud de la Trayectoria (km)	3.74	
Pérdidas de Espacio Libre (dB)	127.46	
Pérdidas de Absorción Atmosférica (dB)	0.33	
Pérdidas Netas del Enlace (dB)	57.58	57.58
Modelo de Radio	AS15-ALPlus2 11M 4QAM	AS15-ALPlus2 11M 4QAM
Potencia de Transmisión (w)	0.10	0.10
Potencia de Transmisión (dBm)	20.00	20.00
PIRE (dBm)	55.10	55.10
Designador de Emisor	7M00D7WET	7M00D7WET
TX Channels	7498.0000V	7652.0000V
Criterio de Umbral de Recepción	BER 10-6	BER 10-6
Nivel de Umbral (dBm)	-88.50	-88.50
Señal Recibida (dBm)	-37.58	-37.58
Margen de Desv. - Térmico (dB)	50.92	50.92
Factor Geoclimático	5.72E-05	
Inclinación del Trayecto (mr)	189.63	
Fade occurrence factor (Po)	4.74E-07	
Temperatura Anual Promedio (°C)	25.00	
Fuera de Servicio del Peor Mes por Multitrayecto (%)	100.00000	100.00000
(sec)	1.02e-05	1.02e-05
Fuera de Servicio Anual por Multitrayecto (%)	100.00000	100.00000
(sec)	4.60e-05	4.60e-05
(% - sec)	100.00000 - 0.00	
Región de Precipitación	ITU Region N	
0.01% Intensidad de Lluvia (mm/hr)	95.00	
Margen de Desv. - Plano por Lluvia (dB)	50.92	
Intensidad de Lluvia (mm/hr)	248.75	
Atenuación por Lluvia (dB)	50.92	
Fuera de Servicio Anual por Lluvia (%-sec)	99.99985 - 47.73	
Total Anual (%-seg)	99.99985 - 47.73	

mayor escalabilidad, dado que los requerimientos no son exigentes.

Tabla N° 16: Reporte del software Path Loss

Fuente: *Software Path Loss*

## - Cálculo para radioenlace MARACHANCA – CHACAYA

El cálculo de este enlace se hará con la misma metodología del caso anterior. Es por ello que se utilizará los mismos parámetros:

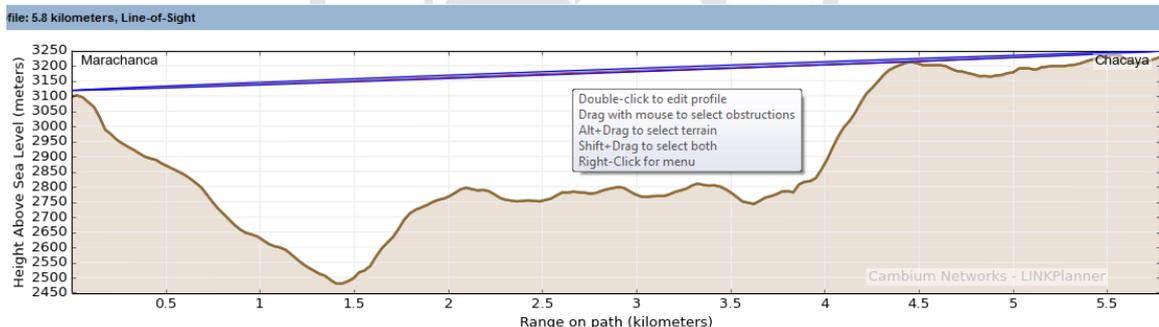
Potencia de transmisión : 20dB

Ganancia de las antenas : 36.6 dBi

Pérdida en conectores : 1.5 dB

Altura de las antenas : 20 metros

La siguiente Figura 21 muestra el perfil del enlace. Se puede observar que no existen obstáculos considerables que



obstaculicen la primera zona de *Fresnel*.

Figura N° 21: Perfil del enlace Marachanca – Chacaya.

Fuente: Software Path Loss

A continuación, la Tabla 17 muestra el reporte brindado por el Path Loss, en el que se observa la viabilidad del enlace.

Entre los parámetros más resaltantes es que el nivel de señal esperado en la recepción es de -41.68 dBm que nos brindó un considerable *fade margin*, parámetro importante cuando el enlace sufre alguna pérdida de la señal, ya sea por factores climáticos o problemas de hardware.

Al tener un importante nivel de señal, nos permite elegir una mayor modulación, que dará la posibilidad de tener un mayor ancho de banda; sin embargo, para el presente caso, sería para tener una mayor escalabilidad, dado que nuestros requerimientos no son exigentes.

Tabla N° 17: Reporte del *software Path Loss*

	Marachanca	Chacaya
Elevación (m)	3110.63	3229.01
Latitud	11 49 48.00 S	11 46 37.00 S
Longitud	076 21 32.00 W	076 21 37.00 W
Azimuth Verdadero (°)	358.52	178.52
Ángulo Vertical (°)	1.14	-1.18
Modelo de Antena	SLC0315DS6	SLC0615DS6
Altura de Antena (m)	20.00	20.00
Ganancia de Antena (dBi)	36.60	36.60
Pérdida en Conectores (dB)	1.50	1.50
Frecuencia (MHz)	15000.00	
Polarización	Vertical	
Longitud de la Trayectoria (km)	5.87	
Pérdidas de Espacio Libre (dB)	131.36	
Pérdidas de Absorción Atmosférica (dB)	0.51	
Pérdidas Netas del Enlace (dB)	61.68	61.68
Modelo de Radio	AS15-ALPlus2 11M 4QAM	AS15-ALPlus2 11M 4QAM
Potencia de Transmisión (w)	0.10	0.10
Potencia de Transmisión (dBm)	20.00	20.00
PIRE (dBm)	55.10	55.10
Designador de Emisor	7M00D7WET	7M00D7WET
TX Channels	7498.0000V	7652.0000V
Criterio de Umbral de Recepción	BER 10-6	BER 10-6
Nivel de Umbral (dBm)	-88.50	-88.50
Señal Recibida (dBm)	-41.68	-41.68
Margen de Desv. - Térmico (dB)	46.82	46.82
Factor Geoclimático	5.72E-05	
Inclinación del Trayecto (mr)	20.16	
Fade occurrence factor (Po)	5.20E-05	
Temperatura Anual Promedio (°C)	25.00	
Fuera de Servicio del Peor Mes por Multitrayecto (%)	100.00000	100.00000
(sec)	2.85e-03	2.85e-03
Fuera de Servicio Anual por Multitrayecto (%)	100.00000	100.00000
(sec)	0.01	0.01
(% - sec)	100.00000 - 0.03	
Región de Precipitación	ITU Region N	
0.01% Intensidad de Lluvia (mm/hr)	95.00	
Margen de Desv. - Plano por Lluvia (dB)	46.82	
Intensidad de Lluvia (mm/hr)	193.56	
Atenuación por Lluvia (dB)	46.82	
Fuera de Servicio Anual por Lluvia (%-sec)	99.99931 - 217.32	
Total Anual (%-seg)	99.99931 - 217.35	

Fuente: *Software Path Loss*

### 2.1.4 Cálculo de energía

Debido a que los poblados visitados (Marachanca y Chacaya) no cuentan con red eléctrica se ha diseñado un sistema basado en energía solar.

El esquema siguiente muestra lo propuesto.

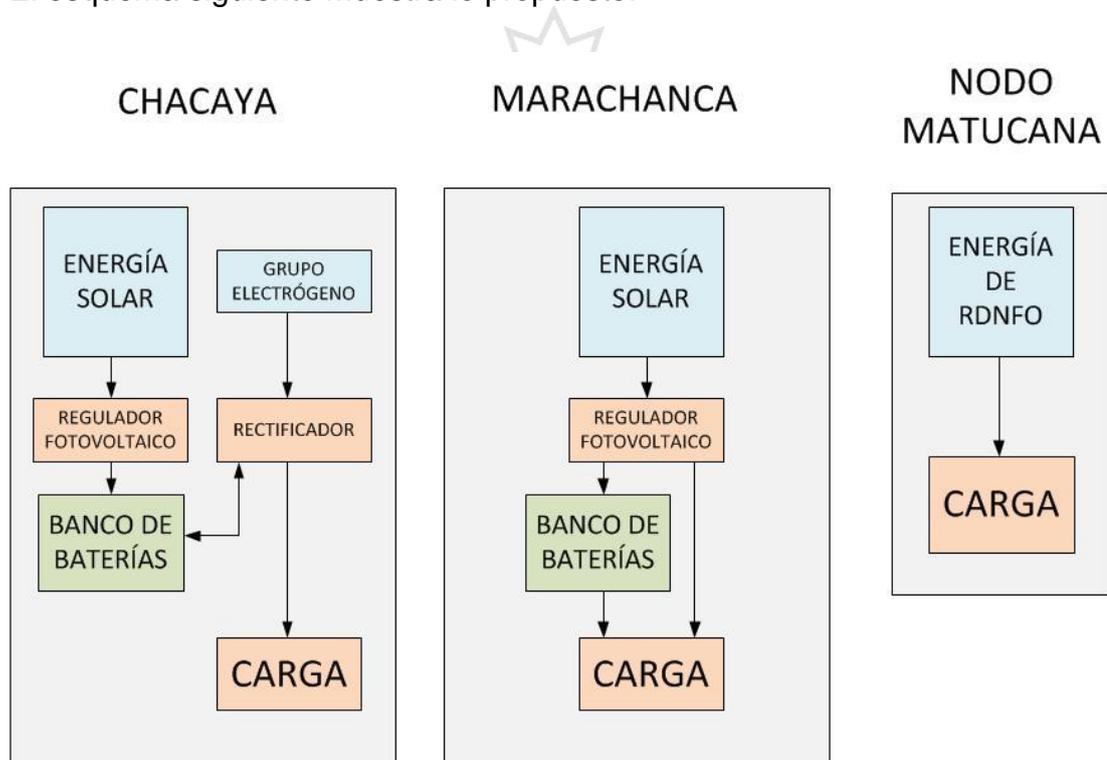


Figura N° 22: Sistema de energía  
Elaboración: los autores

### a. Cálculo de la energía - MARACHANCA

En el siguiente cuadro se detalla el equipamiento a utilizar:

Tabla N° 18: Dimensionamiento de equipos que se utilizó

Cantidad	Equipo	Potencia (W)	Potencia total (W)	Horas usadas al día	Consumo (Wh/d)
2	Microondas FODU	40	80	24	1920
2	Focos led	10	20	2	40
1	Regulador fotovoltaico	1	1	24	24
1	Sobredimensionamiento	30	30	24	720
				<b>TOTAL</b>	2704

Elaboración: los autores

Se obtuvo un consumo total de 2704 Watts/hora por día

Para realizar el cálculo de la capacidad del banco de baterías a dimensionar se necesitará algunas variables.

Tabla N° 19: Variables para cálculo de baterías

DESCRIPCIÓN	VALOR
Tensión del sistema	48 Vcc
Porcentaje de descarga batería	75%
Días de autonomía	1
Irradiancia de referencia	4

Elaboración: los autores

### ✓ Cálculo del banco de baterías

Potencia diaria : 2704 W/h

Rendimiento de baterías (75%):  $2704 / 0.75 = 3605 \text{ W}$

Cálculo de la capacidad de la batería:  $3605 / 48\text{V} = 75.1 \text{ A-H}$

Para una autonomía de 1 día:  $75.1 \times 1 = 75.1 \text{ A-H}$

Se observa que para la autonomía de un día se necesitó una fuente de energía de 75.1 A-H. Comercialmente existen baterías de 90, 100, 130 A-H.

- Al elegir un banco de 100 A-H se tuvo:

$100 \text{ A-H} \times 1 = 100 \text{ A-H}$

- Con 1 banco de baterías, arreglo de 4 baterías de 12V en serie, cubrimos la necesidad del sistema.

#### ✓ **Cálculo de los Paneles Solares**

A pesar de que el Atlas de radiación solar en el Perú nos da un margen de irradiancia de al menos 5.5 W/m<sup>2</sup> para la zona de sierra por encima de los 2500 msnm, para nuestros cálculos utilizamos un factor de 4 W/m<sup>2</sup>.

Los datos que requerimos fueron los siguientes:

Potencia diaria (P) : 2704 W/h

Irradiancia (Is) : 4 W/m<sup>2</sup>

Factor de compensación de pérdidas (Fp): 1.2

Luego se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia de paneles} = (Fp \times P) / Is$$

$$\text{Potencia de paneles} = (1.2 \times 2704) / 4$$

$$\text{Potencia de paneles} = 811.2 \text{ Wp}$$

Finalmente, se calculó el número de paneles necesarios, dividiendo la potencia pico entre la potencia de los paneles a utilizar.

Comercialmente se fijó paneles solares de 300 Wp. Por lo tanto:

$$811.2/300 = 2.704 \approx 3 \text{ celdas solares.}$$

#### ✓ **Cálculo del Regulador Fotovoltaico**

La potencia requerida en los paneles es de 811.2 Wp. Pero se utilizó tres paneles de 300 Wp. Por lo tanto la potencia total es de 900 Wp:

$$\text{Capacidad del regulador} = 900\text{W} / 48\text{V}$$

$$\text{Capacidad del regulador} = 18.75 \text{ A}$$

Se consideró un regulador de al menos 18.75 A, redondeando a la capacidad comercial superior existente.

### b. Cálculo de la energía - CHACAYA

En el siguiente cuadro se detalla el equipamiento a utilizar en AC:

Tabla N° 20: Dimensionamiento de equipos a utilizar en AC

Cantidad	Equipo	Potencia (W)
1	Laptop	65
2	Focos led	10
1	Proyector	340
	<b>TOTAL</b>	315

Elaboración: los autores

Se considera el uso de una laptop, ya que tiene la cuarta parte del consumo de una PC de escritorio.

La potencia necesaria es de 315W, por lo tanto, se debe buscar un inversor con al menos 500W de potencia. En el siguiente cuadro se detalla el equipamiento utilizado en DC:

Tabla N° 21: Dimensionamiento de equipos a utilizar en DC

Cantidad	Equipo	Potencia (W)	Potencia total (W)	Horas usadas al día	Consumo (Wh/d)
1	Microondas FODU	40	40	24	960
2	Focos led	10	20	2	40
1	Regulador fotovoltaico	1	1	24	24

1	Inversor (500w)	600	600	8	4800
1	Switch	15	15	24	360
1	Router	10	10	24	240
	<b>Equipo</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Potencia total (W)</b>	<b>Horas usadas al día</b>	<b>Consumo (Wh/d)</b>
1	Femtocelda	30	30	24	720
1	Sobredimensionamiento	30	30	24	720
	<b>TOTAL</b>	736		<b>TOTAL</b>	7864

Elaboración: Los autores

Obtenemos un consumo total de 7864 Watts/hora por día. Para realizar el cálculo de la capacidad del banco de baterías a dimensionar, se necesita algunas variables.

Tabla N° 22: Variables para cálculo de baterías

DESCRIPCIÓN	VALOR
Tensión del sistema	48 Vcc
Porcentaje de descarga batería	75%
Días de autonomía	1
Irradiancia de referencia	4

Elaboración: los autores

#### ✓ Cálculo del Banco de Baterías

Potencia diaria: 7864 W/h

Rendimiento de baterías (75%):  $7864 / 0.75 = 10485.3 \text{ W}$

Cálculo de la capacidad de la batería:  $10485.3 / 48V = 218.44 \text{ A-H}$

Para una autonomía de 1 días:  $218.44 \times 1 = 218.44 \text{ A-H}$

Se observa que para una autonomía de un día, se necesitará una fuente de energía de 218.44 A-H. Comercialmente existen baterías de 90, 100, 130 A-H.

- Si elegimos baterías de 100 A-H:  $100 \text{ A-H} \times 4 = 400 \text{ A-H}$

- Con 3 bancos de baterías, arreglo de 4 baterías de 12V en serie, se cubre la necesidad del sistema.

$$300 \text{ A-H} > 218.44 \text{ A-H}$$

#### ✓ **Cálculo de paneles solares**

A pesar de que el Atlas de radiación solar en el Perú nos da un margen de irradiancia de al menos 5.5 W/m<sup>2</sup> para la zona de sierra por encima de los 2500 msnm, para los cálculos se utilizará un factor de 4 W/m<sup>2</sup>.

Los datos que se requieren fueron los siguientes:

$$\text{Potencia diaria (P)} : 7864 \text{ W/h.}$$

$$\text{Irradiancia (Is)} : 4 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{Factor de compensación de pérdidas (Fp)}: 1.2$$

Luego se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia de paneles} = (Fp \times P) / Is$$

$$\text{Potencia de paneles} = (1.2 \times 7864) / 4$$

$$\text{Potencia de paneles} = 2359.2 \text{ Wp}$$

Finalmente, se calculó el número de paneles necesarios, se dividió la potencia pico entre la potencia de los paneles utilizados.

Comercialmente, se fijó paneles solares de 300 Wp. Por lo tanto:

$$2359.2/300 = 7.864 \approx 8 \text{ celdas solares}$$

#### ✓ **Cálculo del regulador fotovoltaico**

La potencia requerida en los paneles es de 2359.2 Wp. Pero se utilizaron 8 paneles de 300 Wp. Por lo tanto la potencia total es de 2400 Wp.

$$\text{Capacidad del regulador} = 2400\text{W} / 48\text{V}$$

Capacidad del regulador = 50 A

Se consideró un regulador de al menos 50 A, redondeando a la capacidad comercial superior existente.

✓ **Cálculo del Rectificador**

La potencia sumada de los equipos que utilizamos fue de 736W.  
Se necesitó al menos un rectificador con 1000W de potencia.



## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

En esta etapa se describe el proceso del diseño para llevar teleeducación, ingresando los parámetros de codificación, cálculos de propagación, bajo la estructura del modelo OSI. Es por ello que se identifica los parámetros fijos de funcionamiento para la teleeducación en Chacaya y se calcula según nuestra necesidad.

#### **3.1 Diseño del enlace microondas de Matucana hacia Chacaya**

Para las especificaciones de diseño del enlace microondas, se tomarán en cuenta los cálculos realizados en la etapa de análisis, así como también diversas especificaciones comerciales y de algunas marcas de fabricantes.

Para el caso de los enlaces Matucana - Marachanca y Marachanca – Chacaya, se tomarán las mismas especificaciones de diseño que se detallan a continuación:

- El enlace de microondas deberá trabajar en la banda de 7Ghz
- El ancho RF deberá ser de 7Mhz con 161Mhz de separación de duplexer
- El enlace nos deberá asegurar una velocidad de al menos 5Mbps
- Deberá tener una modulación de al menos 4QAM
- El enlace debe tener un *fade margin* de al menos 40dbm
- Deberá ser del tipo FODU (*full outdoor*) que nos permite ahorrar en equipos de comunicaciones.

- Deberá soportar funcionalidad MEF o ser transparente
- Deberá soportar MPLS o ser transparente
- El voltaje de operación de los equipos deberán ser de -48VDC
- Las antenas deberán tener una ganancia de al menos 36.60 dBi y no deben exceder los 0.60 m de diámetro.
- Las antenas deberán ser instaladas a una altura de al menos 20 m para alcanzar el nivel deseado.

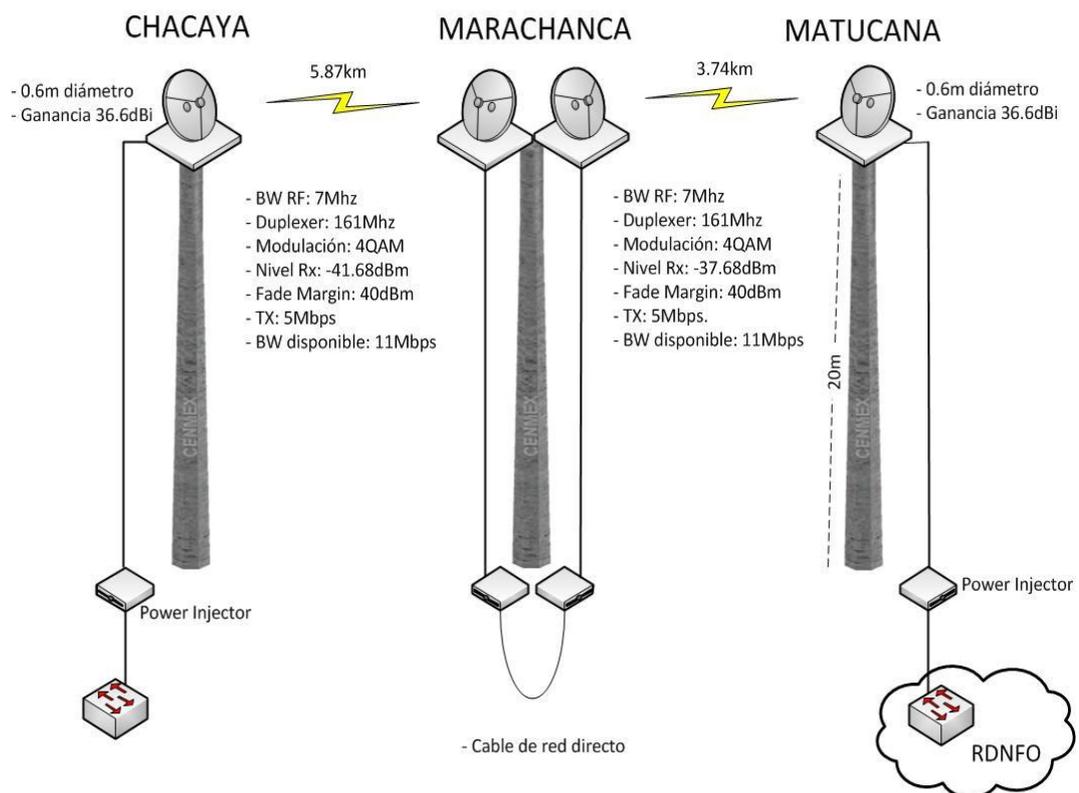
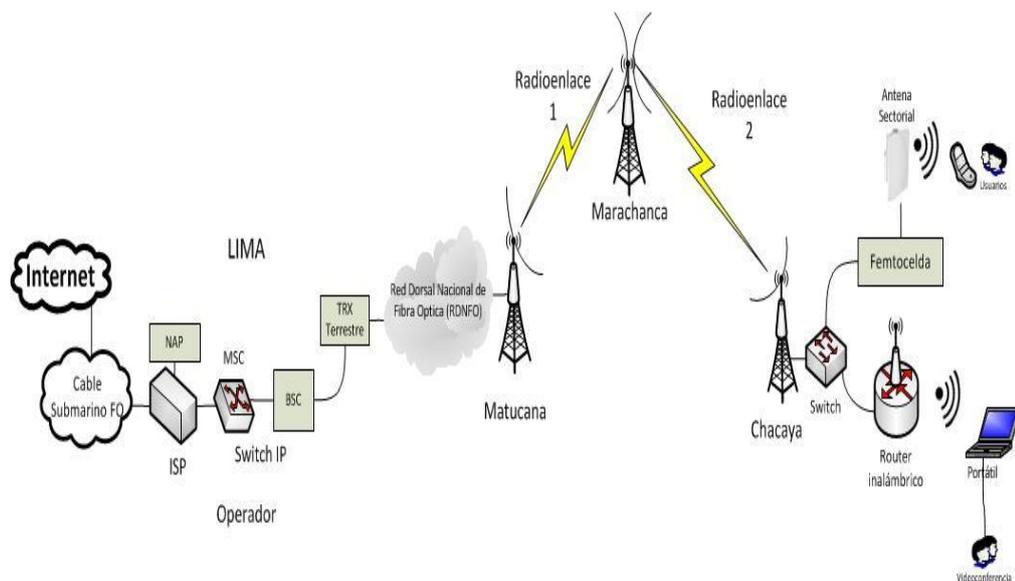


Figura N° 23: Diseño de la red microondas  
Elaboración: los autores

El diseño de la red microondas tiene el siguiente funcionamiento:

- La RDNFO nos brinda un punto de acceso para transportar la información, a través de un punto de acceso ubicado en el *switch* de su nodo de distribución.
- El *switch* se conecta directamente a la microondas, en el puerto del *power injector*, la señal es modulada por la microondas e irradiada a través de la antena con dirección a Marachanca.

- La velocidad requerida para nuestro propósito es de 5Mbps. Tomaremos el ejemplo del *datasheet* (Anexo D) del fabricante SIAE como referencia para nuestro diseño. SIAE nos ofrece una velocidad de 10.5Mbps con un ancho de banda en RF de 7Mhz, con una modulación de 4QAM y con un MTU de 512 bytes, muy superior al requerido.
- La señal de recepción recibida esperada según los cálculos realizados es de -37dBm para el enlace Matucana - Marachanca. Esta señal nos asegura un buen *fade margin* ante cualquier complicación en la propagación de la señal. Según el *datasheet* de referencia utilizado (Anexo C), el umbral de la radio microondas es de -93dBm. Esto quiere decir que si la señal recibida es -94dBm, la comunicación será interrumpida. El *fade margin* calculado es de 56dBm.
- Las microondas trabajan en la banda de 7Ghz, la frecuencia de operación es solicitada al MTC.
- No habrá complicaciones en que asignen una frecuencia, ya que en la zona existen muy pocos radioenlaces y por lo tanto debe haber disponibilidad de frecuencias.
- En Marachanca la señal es demodulada y es enviada a través de un cable *Ethernet* hacia el *power* inyector de la microondas con dirección a Chacaya.
- Se ha considerado el uso de microondas FODU (*full outdoor unit*), además el uso de equipos diferenciados (IDU-ODU) puede traer complicaciones en la IDU, ya que habitualmente usan ventiladores, que atraen bastante el polvo. Las FODU tienen nivel de protección IP66, tienen la ventaja de estar en una misma unidad.
- El *power* inyector se encarga de brindar energía a través de los hilos 4, 5, 7 y 8, la data es enviada por los hilos 1, 2,3 y 6.
- Una vez más la señal entra al modulador de la microondas con dirección a Chacaya y es irradiada por la antena.
- En Chacaya el nivel de recepción según lo calculado es de -42dBm, brinda un *fade margin* de 51dBm. La señal es recibida y demodulada y es entregada al *switch* de manera digital, el cual se encargará de darle destino según sea el caso.



### 3.2 Diseño de la arquitectura de red

Figura N° 24: Arquitectura de la red  
Elaboración: los autores

El funcionamiento es el siguiente:

- En el aula de clases se inicia la sesión de videoconferencia, el encargado de dar el punto de acceso es el router inalámbrico proporcionado por el operador. El router será programado por el operador, entre los cuales deberá soportar enrutamiento MPLS, que es el que hace uso la RDNFO.
- La conexión atraviesa el *switch*, que es el encargado de designar un cierto ancho de banda (para la conexión a internet (4Mbps), usada en la videoconferencia y para la femtocelda (1Mbps), que permite el acceso a la red celular.
- La data llega por el medio de transporte hasta el punto de acceso en el nodo de distribución de la RDNFO. En ella se lleva a cabo el enrutamiento del operador hasta llegar a Lima, donde su ISP.
- De similar manera el esquema muestra como es la conexión de la femtocelda, que nos da acceso mediante el RRU, la cual requiere llegar al BBU ubicado en Lima y que forma parte del BSC, el cual nos da acceso a la red celular.

### 3.3 Diseño del sistema de videoconferencia

A continuación, se detallan las siguientes especificaciones para videoconferencia:

- Se usó códec H.264 para video
- El audio preferentemente debe usar el códec G.711 o uno similar de mejores prestaciones para voz
- Debe soportar video en HD como mínimo
- El ancho de banda utilizado no puede exceder los 2Mbps
- Debe permitir movilidad a los usuarios
- Debe soportar compartir pantalla
- Debe soportar control dinámico de resolución de imágenes y *frame rate*

Del mismo modo, en la siguiente figura 25 se aprecia el diseño de la videoconferencia a implementar.

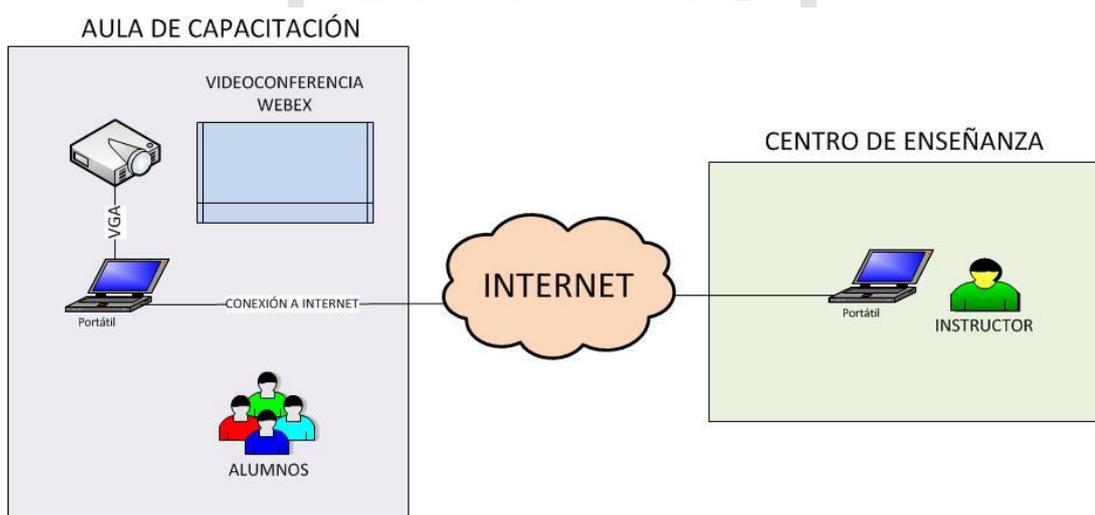


Figura N° 25: Diseño del sistema de videoconferencia  
Elaboración: los autores

El sistema de videoconferencia funcionará del siguiente modo:

- El organizador o encargado en la escuela programará una sesión de videoconferencia usando el Webex.
- La sesión es enviada por correo electrónico al instructor que dictará el curso.

- Haciendo uso del internet, se iniciará la videoconferencia, el instructor podrá compartir la pantalla para mostrar contenido.
- El contenido de la pantalla del instructor podrá reflejarse al alumnado mediante el proyector instalado en la escuela.
- En la videoconferencia se transmite voz e imágenes en tiempo real, es así que el organizador se encargará de dirigir la clase y permitir la intervención en la misma.

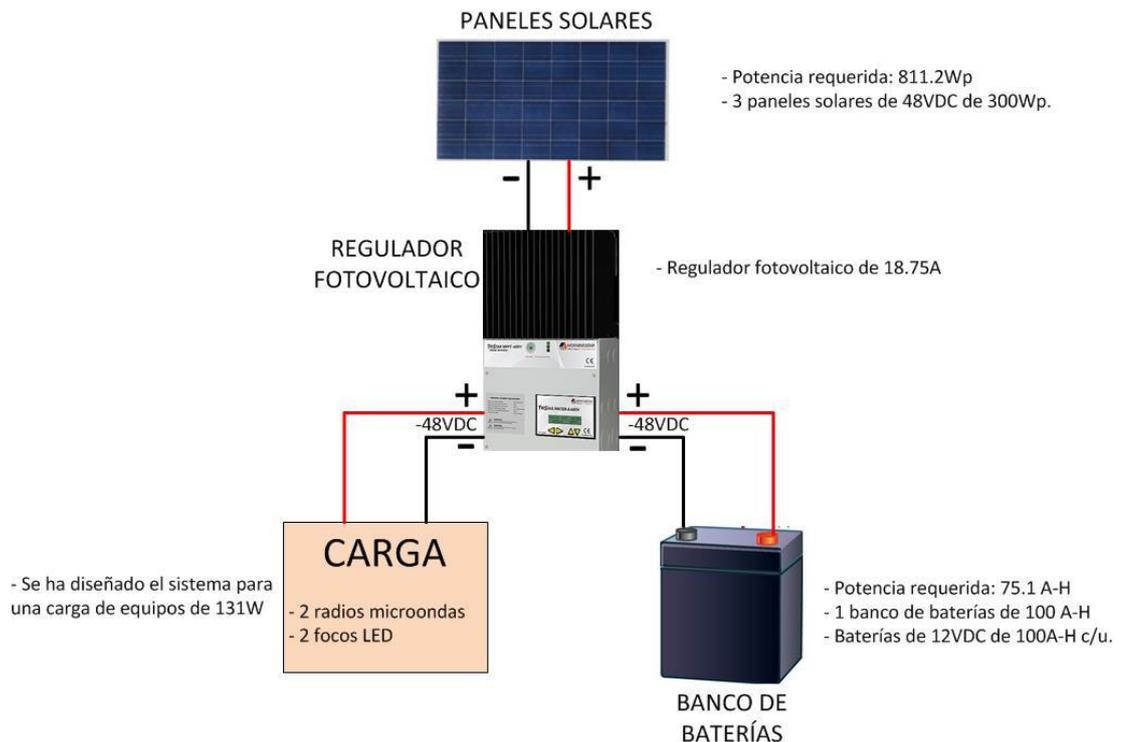
### **3.4 Diseño del sistema de energía**

#### **3.4.1 Especificaciones para Marachanca**

- La carga de los equipos es de 131W
- La alimentación de los equipos debe ser a -48VD
- Se requiere un banco de baterías de 48VDC con una capacidad de 100A-H. Estas deben ser de tipo gel y libre mantenimiento. El arreglo debe ser de 4 baterías de 12VDC. El sistema estará diseñado para un día sin autonomía.
- Se deben utilizar 3 paneles solares de 100Wp cada uno, para cubrir la necesidad de energía de 811.2Wp
- El regulador fotovoltaico debe soportar al menos 16.9 A

El diseño de energía tiene el siguiente funcionamiento:

- La energía solar es recibida por los paneles solares, según los cálculos, se necesitan tres paneles solares para poder alimentar la carga de equipos.
- Los paneles solares transfieren el voltaje hacia el regulador. Los paneles solares entregan energía no estabilizada, el regulador se encarga de estabilizarla en su salida, entregando 48VDC.
- El regulador fotovoltaico durante el día alimentará a la carga de equipos y mantendrá cargadas las baterías.
- Durante la noche donde no existe brillo solar, las baterías son las encargadas de mantener a los equipos operativos.



En la figura se detalla el diseño de energía en Marachanca

Figura N° 26: Diseño del sistema de energía en Marachanca  
Elaboración: los autores

### 3.4.2 Especificaciones para Chacaya

- La carga de los equipos es de 736W
- La alimentación de los equipos debe ser de -48VDC
- Se requiere un banco de baterías de 48VDC con 300A-H. Estas deben ser de tipo gel y libre mantenimiento. El arreglo es de tres bancos con arreglos de 4 baterías de 12VDC. El sistema está diseñado para un día de autonomía.
- Se usaron ocho paneles solares de 300Wp, para cubrir la necesidad de energía de 2359.2Wp.
- El regulador fotovoltaico soporta al menos 49.15A
- El rectificador es de una potencia de al menos 800W

En la siguiente figura se detalla el diseño de energía en Chacaya.

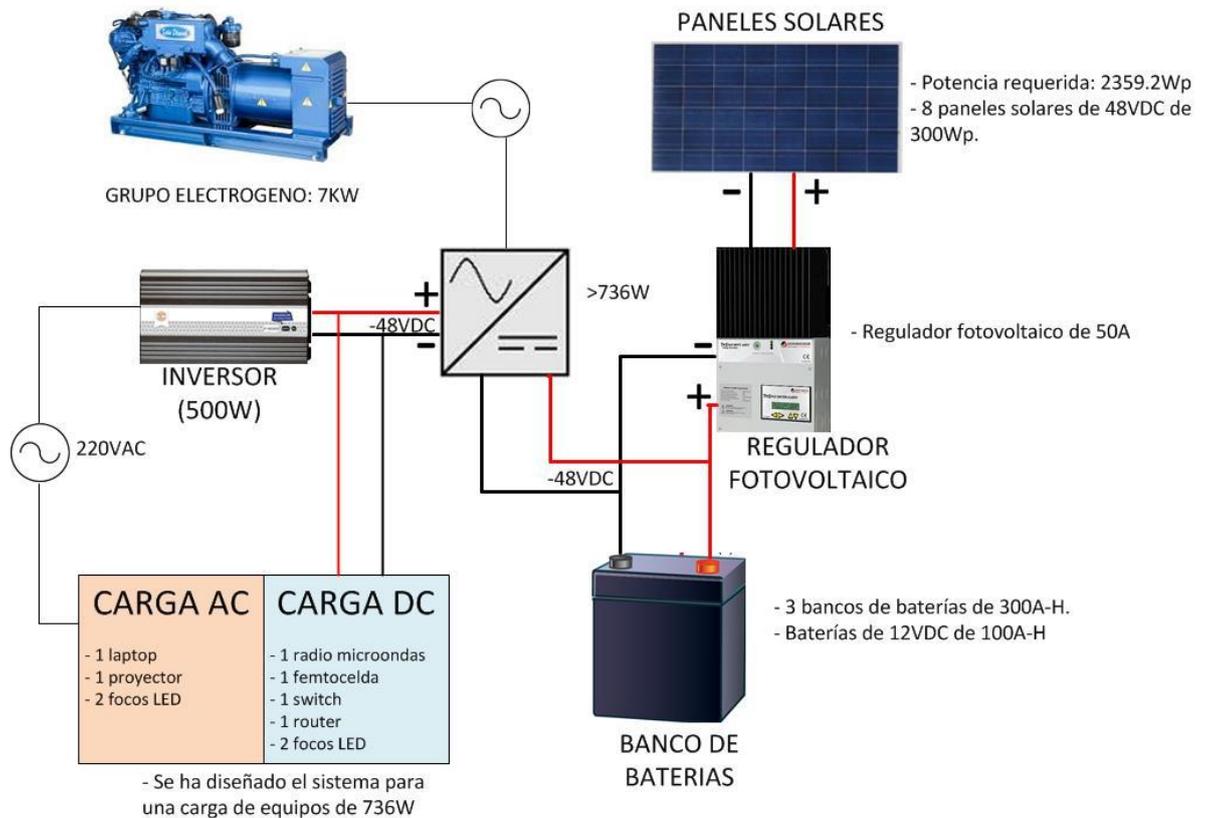


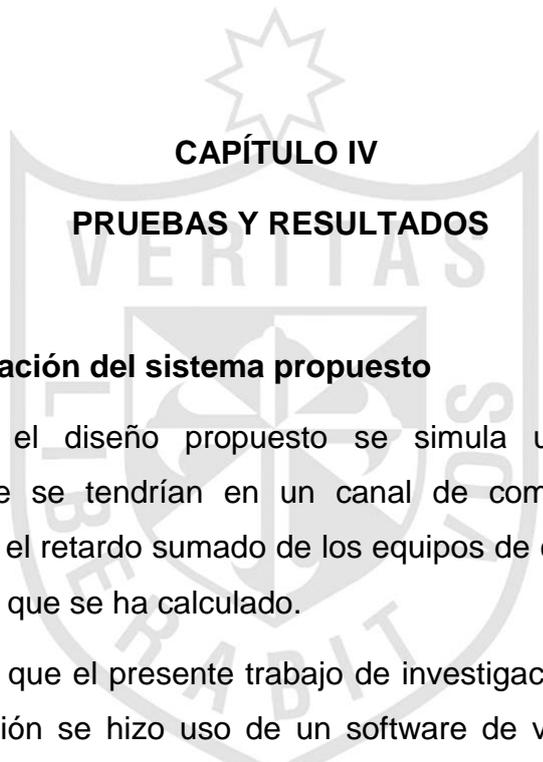
Figura N° 27: Diseño del sistema de energía en Chacaya  
Elaboración: los autores

El diseño de energía tiene el siguiente funcionamiento:

- La energía solar es recibida por los paneles solares, según los cálculos, se necesitan 8 paneles solares para poder alimentar la carga de equipos.
- Los paneles solares transfieren el voltaje hacia el regulador. Los paneles solares entregan energía no estabilizada, el regulador se encarga de estabilizarla en su salida, entregando 48VDC.
- El regulador fotovoltaico durante el día alimenta a la carga de equipos y mantiene cargadas las baterías.
- Durante la noche donde no existe brillo solar, las baterías se encargan de mantener a los equipos operativos.

- En caso de que el sistema falle, se tiene como contingencia el grupo electrógeno.
- El grupo electrógeno encenderá cuando el relé de mínima tensión detecte una caída de voltaje.
- El grupo electrógeno alimentará el rectificador, el cual cargará las baterías y mantendrá encendido los equipos.
- Cuando se llegue a un nivel cierto nivel de voltaje, el grupo electrógeno se apagará y las baterías asumirán la carga.





## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 Validación del sistema propuesto

Para el diseño propuesto se simula una WAN con las características que se tendrían en un canal de comunicaciones en un ambiente real, con el retardo sumado de los equipos de comunicaciones y el ancho limitado a lo que se ha calculado.

Dado que el presente trabajo de investigación está enfocado a brindar teleeducación se hizo uso de un software de videoconferencia; se realizó la simulación de una clase piloto, en el que se utilizó el software propuesto *Webex*. Se simuló el canal de comunicaciones, al hacer uso de una herramienta llamada WANem.

El WANem es un software basado en Linux, que tiene como finalidad emular una WAN para un ambiente de pruebas, como es este caso. Con el WANem se puede emular parámetros como el ancho de banda de un canal, el retardo, el jitter, pérdida de paquetes, desconexiones, etc. En esta oportunidad se utilizó el WANem en una máquina virtual, haciendo uso del *VmWare Workstation* y dos tarjetas de red.

A continuación, se detallan el software y hardware utilizado para la simulación y validación del sistema propuesto:

- 2 computadoras con sistema operativo Windows
- 1 laptop que alberga el software WANem con tarjeta de red de 100Mbps
- 1 tarjeta de red usb de 100Mbps
- 1 Switch de 8 puertos 10/100Mbps
- Software para máquinas virtuales “VmWare Workstation”
- Software WANem
- Software para medir el consumo de ancho de banda “Real-Time Bandwidth Monitor”
- Sesión en Webex

El esquema con el que se validará la clase virtual es el mostrado en la Figura 28:

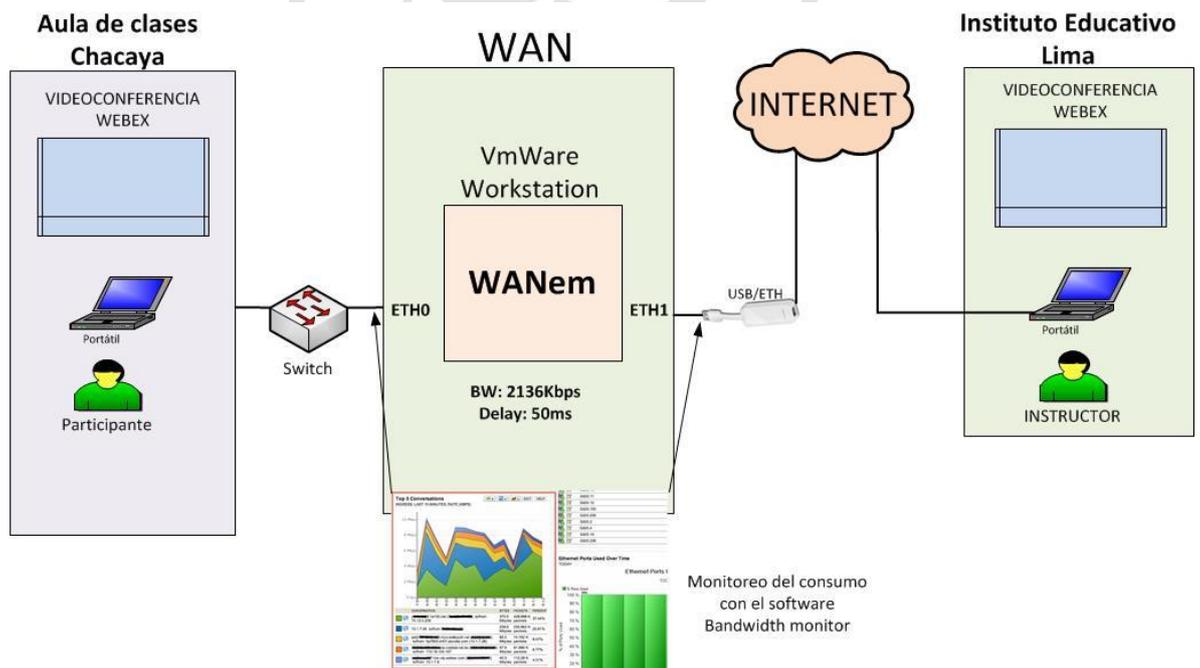


Figura N° 28: Esquema de simulación y validación de la clase virtual  
Elaboración: los autores

La simulación se realizó del siguiente modo:

- En la laptop que simula la WAN se instala en WANem, por intermedio del *VmWare Workstation*.
- Se configura las interfaces del VmWare para que funcione por el lado del puerto USB/ETH como un NAT (eth1) y por el lado del puerto de red nativo de la laptop como *Bridge* (eth0).
- En el lado del Bridge, se crea un dominio de red, distinto al de la red de la Universidad que nos brinda Internet.
- Una vez que se verifica que la PC en el aula de Chacaya tiene conectividad a internet, se corrobora que salga a través del WANem, para que este último haga las funciones de limitación de ancho de banda y *delay*.
- Del lado del Instituto ubicado en Lima se crea una sesión utilizando el Webex y se envía la solicitud a la PC en el aula de clases.
- Una vez establecida la sesión, se inicia la simulación de la clase virtual, transmitiendo audio y video, compartiendo la pantalla del expositor para una presentación en el lugar remoto, del cual se comparte el audio y video del emisor.
- Paralelamente con el *Real-time Bandwidth Monitor* se verifica el consumo de ancho de banda en tiempo real, mientras vemos la calidad con la que se está desarrollando la clase virtual.

## 4.2 Configuración del WANem

En la Figura 29 se muestra la programación del WANem.

Figura N° 29: Configuración del *Switch*  
Fuente: *Software WANem*

The screenshot shows the WANem configuration interface. At the top, there is a navigation bar with the TATA logo and the text 'TATA CONSULTANCY SERVICES Performance Engineering Research Centre'. The main title is 'WANem The Wide Area Network Emulator'. Below the navigation bar, there is a status bar with the text 'WANem commands successfully created'. The main content area shows the configuration for two interfaces: 'Interface: eth1' and 'Interface: eth0'. Each interface has a 'Bandwidth(BW)' section with a 'Choose BW' dropdown menu set to 'Other', an 'Other: Specify BW(Kbps)' input field with the value '2136', and a 'Delay' section with a 'Delay time(ms)' input field set to '25'. Below the configuration fields, there are buttons for 'Apply settings', 'Reset settings', and 'Refresh settings'. There is also a checkbox labeled 'Display commands only, do not execute them' which is currently unchecked, and a 'Check current status' button.

Como podemos observar, se limita el ancho de banda al calculado (2136kbps). Cualquier exceso de ese tráfico, el WANem lo descartará, limitando el canal de comunicaciones.

El *delay* se establece en 50ms, calculado para una distancia de Lima hacia la ciudad de Huancayo que se encuentra en la sierra central.

### 4.3 Desarrollo de las pruebas de la clase virtual

#### 4.3.1 Compartición de pantalla

En la figura 30 el instructor en el Instituto Educativo realiza la exposición de una presentación en *Power Point*. Se verifica que la presentación cambia de láminas sin problemas y la voz se transmite fluidamente. En la figura 31 se observa que el ancho de banda consumido, a lo largo de la presentación en *Power Point* acompañado de una exposición de audio, no excede los 1Mbps. El consumo es variable, puesto que no hay muchas variaciones en la imagen. La calidad del video (rostro del instructor) no tiene una resolución óptima, pero las diapositivas pueden verse adecuadamente, así como la voz, que es lo más importante en una exposición.

Visualizando la pantalla de juan vasqu...

juan vasquez carrera's Pantalla

Visualizando la pantalla de juan vasqu...

juan vasqu... (Organizador)

### FDD / TDD

- Time Division Duplex on two Frequencies =
- Frequency Division Duplex in Half-duplex

DS = 3410-3424

UpS = 3510-3524

Single Intermediate Frequency = 440MHz

1.6Mbit/s net rate capacity = Up-stream + Down-stream

Single Intermediate Frequency = 440MHz

SU

Figura N° 30. Exposición en *Power Point*  
Elaboración: los autores

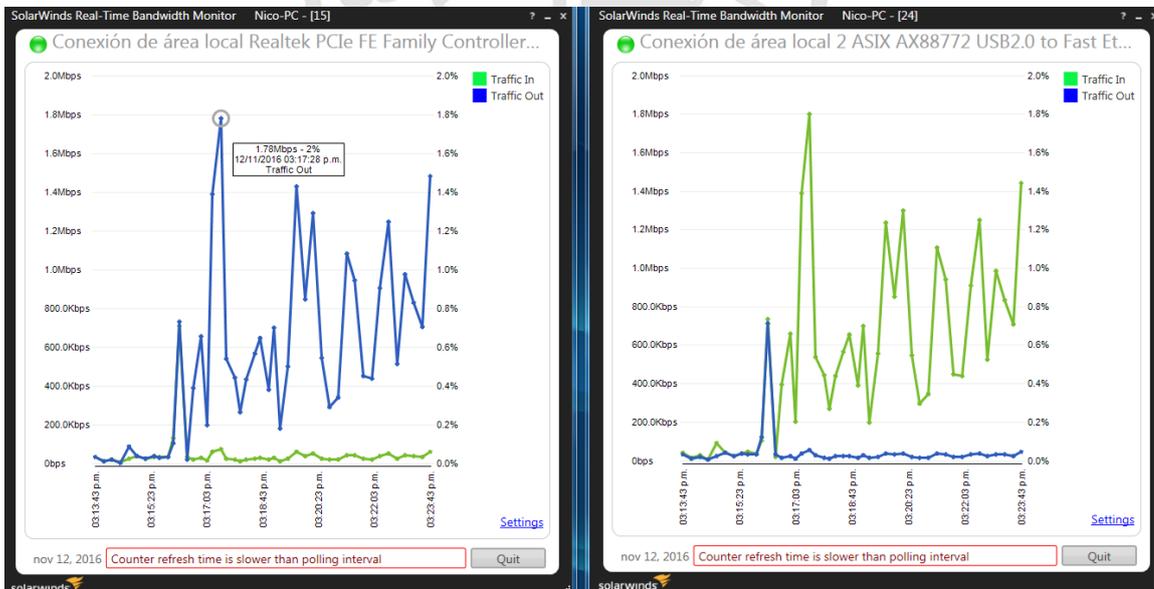
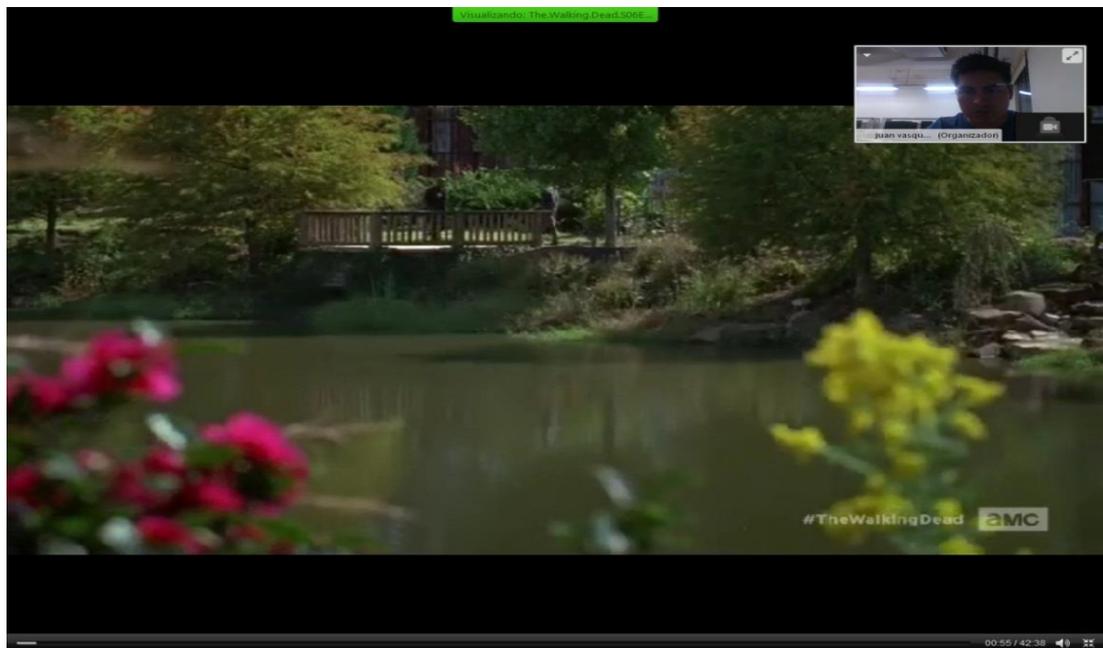


Figura N° 31: Resultado de la prueba de presentación en *Power Point*  
Elaboración: los autores

### 4.3.2 Compartición de un video

En la siguiente prueba realizada en la clase virtual, el instructor comparte un video educativo al alumnado. La figura 32, nos



muestra como lo recibe el alumnado.

Figura N° 32: Compartición de video  
Elaboración: los autores

La figura 33, muestra los resultados arrojados por el *Real-Time Bandwidth Monitor* en las dos interfaces (eth0 y eth1). Se observa que el consumo tiene picos que alcanzan los 2Mbps, pero la mayoría de su consumo es menor a 1Mbps.

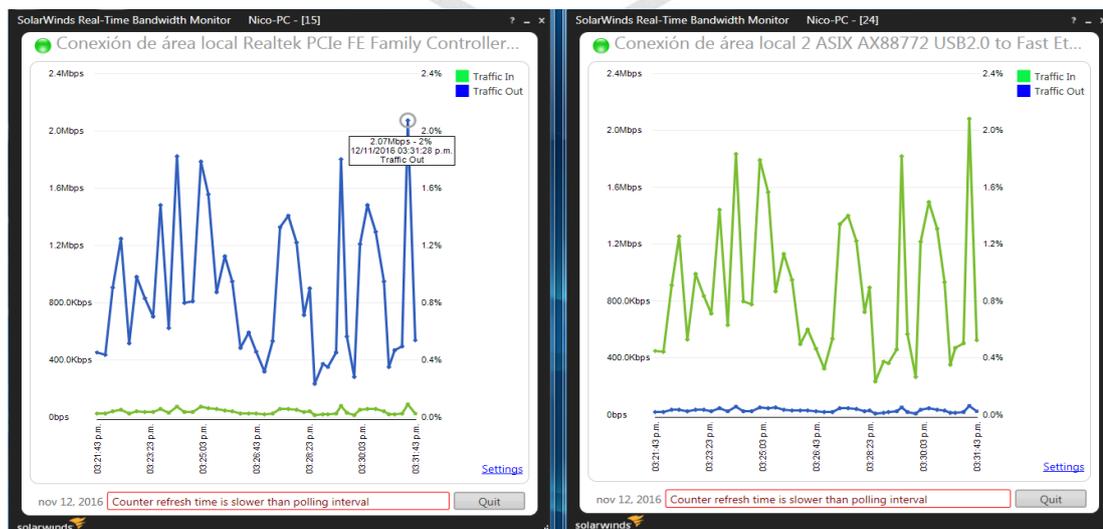
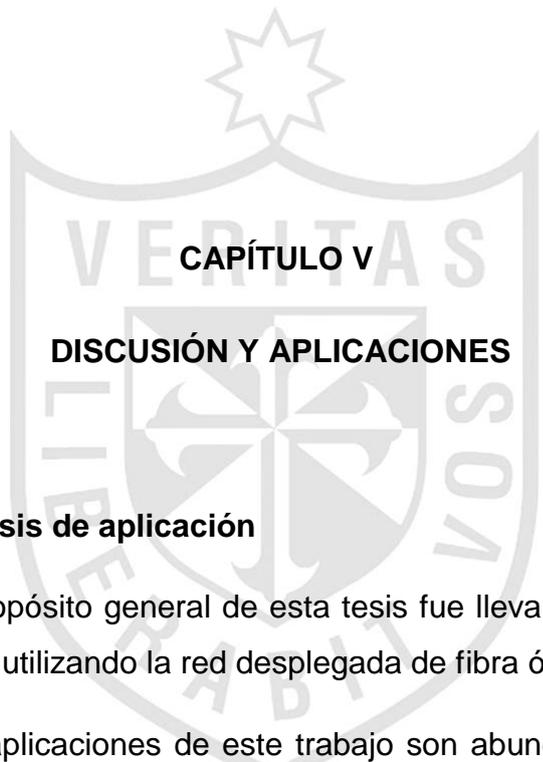


Figura N° 33: Resultado de la prueba de compartición de video  
Elaboración: los autores

De las pruebas realizadas en la transmisión de la videoconferencia en sus diferentes modos, se observa que en ninguno de los casos se excede los 2Mbps de consumo de ancho de banda.

De acuerdo a los cálculos se requerían al menos 2136Kbps como consumo máximo en el ancho de banda para videoconferencia, con estas pruebas se comprobó que el consumo pico puede acercarse a los 2Mbps y que en modo general es suficiente para llevar a cabo una clase virtual con calidad aceptable.





## **CAPÍTULO V**

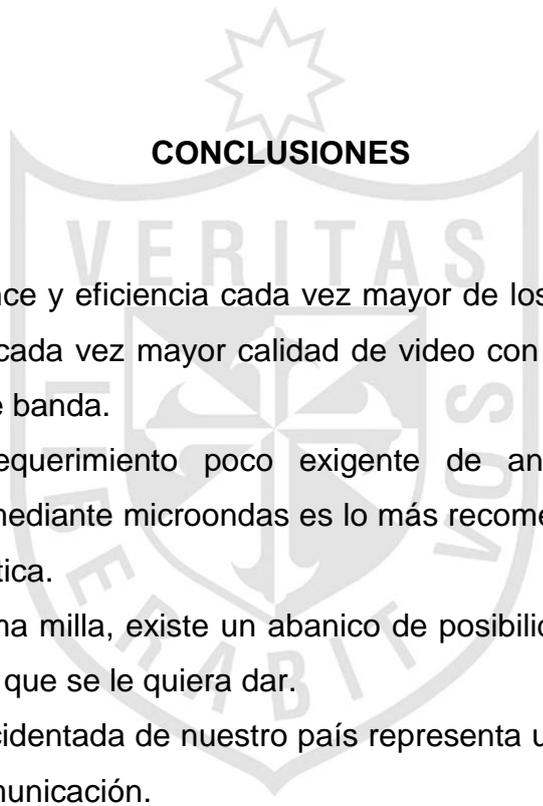
### **DISCUSIÓN Y APLICACIONES**

#### **5.1. Análisis de aplicación**

El propósito general de esta tesis fue llevar a cabo un sistema de Teleeducación, utilizando la red desplegada de fibra óptica.

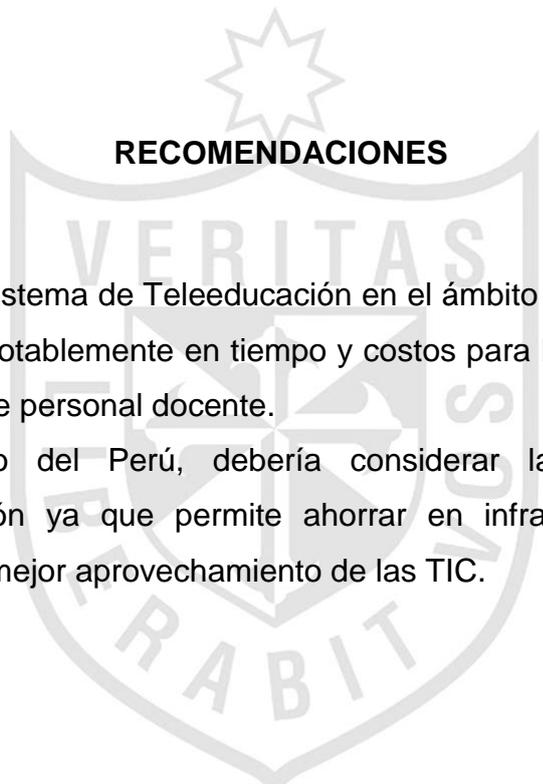
Las aplicaciones de este trabajo son abundantes en todas las regiones del país, donde las características principales son los terrenos accidentados y por consiguiente, el aislamiento de los pueblos con difícil acceso.

El modelo que se propone no solo es para llevar teleeducación, sino también se puede llevar telemedicina, internet y capacitaciones.



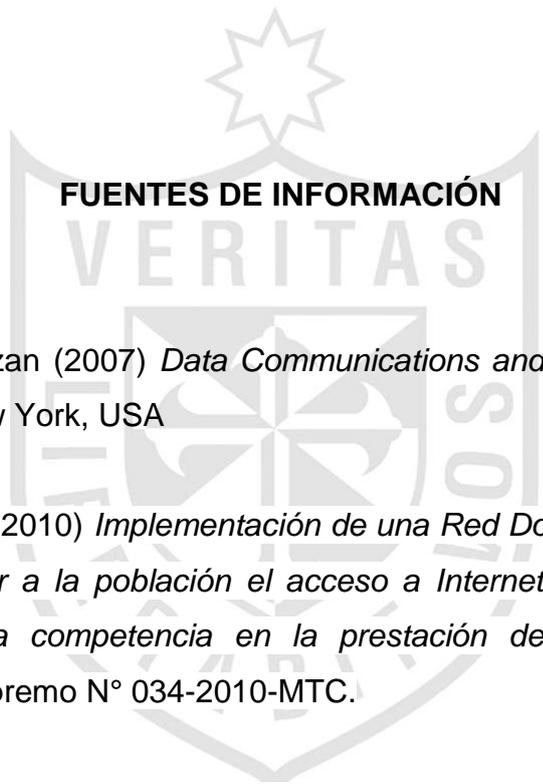
## CONCLUSIONES

1. Con el avance y eficiencia cada vez mayor de los códecs, es posible transportar cada vez mayor calidad de video con un menor consumo de ancho de banda.
2. Para un requerimiento poco exigente de ancho de banda, el transporte mediante microondas es lo más recomendable, comparado a la fibra óptica.
3. Para la última milla, existe un abanico de posibilidades, dependiendo del enfoque que se le quiera dar.
4. La zona accidentada de nuestro país representa un gran desafío para llevar la comunicación.
5. Un gran impedimento que causa incremento de costos es la falta de fluido eléctrico en las localidades.
6. La realización de los proyectos para zonas rurales tiene un gran problema: el costo-beneficio.
7. Muchos de los proyectos no se llevan a cabo por ignorancia de los gobiernos locales y regionales.
8. La falta de comunicación trae consigo atraso a las comunidades, deserción y la centralización en la capital del país.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar, el sistema de Teleeducación en el ámbito empresarial, ya que se reduce notablemente en tiempo y costos para las capacitaciones y presencia de personal docente.
2. El gobierno del Perú, debería considerar la virtualización en teleeducación ya que permite ahorrar en infraestructura física, y realizar un mejor aprovechamiento de las TIC.



## FUENTES DE INFORMACIÓN

Behrouz A. Forouzan (2007) *Data Communications and Networking, Fourth Edition*, New York, USA

Diario el Peruano (2010) *Implementación de una Red Dorsal de Fibra Óptica para facilitar a la población el acceso a Internet de banda ancha y promover la competencia en la prestación de este servicio* con Decreto Supremo N° 034-2010-MTC.

Diario el Peruano (2001) *Proyecto Huascarán*, Lima, Perú: Ministerio de Educación con Decreto Supremo N° 067-2001-ED

Diario el Peruano (2011) *Estimación del número de hilos de fibra óptica para el Estado que se instalarán en cumplimiento del Decreto Supremo N° 034-2010-MTC* con Resolución Ministerial N° 123-2011-MTC/03, Lima, Perú.

Diario el Peruano (2012) Artículo 19, *Reglamento de la Ley N° 29904*, Lima, Perú: OSIPTEL.

Diario el Peruano (2013) *Reglamento de la Ley N°29904, Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal de Fibra Óptica*. Lima, Perú con Decreto Supremo N° 014-2013-MTC.

FITEL (2013) *Servicios de Telecomunicaciones a zonas rurales y lugares de preferente interés social*. Recuperado de <http://www.fitel.gob.pe/noticias>

INEI (2011) *Las tecnologías de información y comunicación en los hogares*. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/>

ITU-T Recommendation H.264 (2010) *Advanced video coding for generic audiovisual services*, Ginebra, Suiza.

Jhon G. Proakis (2008) *Digital Communications, Fifth Edition*, New York, USA

Mark Zuckerberg (2016) *Proyecto Aquila - Facebook*, Arizona, USA

MTC (2014) *Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica*. Recuperado de [http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/proyectos/red\\_dorsal](http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/proyectos/red_dorsal)

OSIPTEL (2012) *Disposiciones Generales para la Prestación de Facilidades Complementarias al Servicio Portador de la RDNFO*. Recuperado de <https://www.osiptel.gob.pe/repositorioaps>

WAI C. CHU (2003) *SPEECH CODING ALGORITHMS Foundation and Evolution of Standardized Coders*, California, USA.

Yun Q. Shi (1999) *Image and Video Compression for Multimedia Engineering, Second Edition*, New Jersey, USA.



## ANEXOS

	Página
Anexo – A Marco teórico complementario de FO	90
Anexo – B Costos	125
Anexo – C Umbral de Sensibilidad en Modulaciones - Video	131
Anexo – D Umbral de Velocidad en Modulaciones - Video	132

## ANEXO – A

### MARCO TEÓRICO COMPLEMENTARIO DE FIBRA ÓPTICA

#### Pérdidas extrínsecas:

Las pérdidas extrínsecas pueden ser causadas por dos mecanismos externos: macrodoblado y el microdoblado, los cuales son doblados del cable en diferente escala.

#### Separación longitudinal:

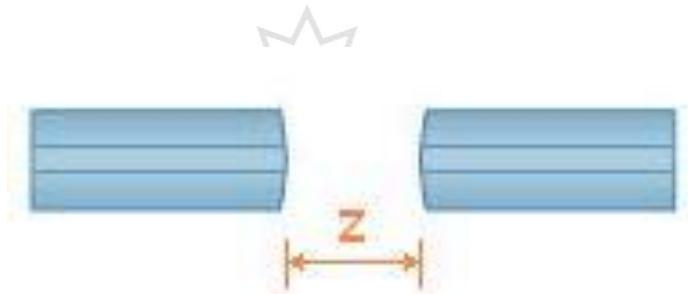


Figura N° 34: Separación longitudinal entre fibras  
Fuente: Tutorial de Comunicaciones Ópticas - <http://nemesis.tel.uva.es>

Su expresión matemática está dada por la siguiente ecuación 1:

$$Pérdidas_{LCW} = -10 \log_{10} \frac{1}{1 + \left( \frac{\lambda Z}{2\pi n_{\text{medio}} \omega^2} \right)^2}$$

.....  
(1)

Donde  $\lambda$ : longitud de onda  
 $Z$ : separación entre fibras  
medio: índice del medio entre ellas  
 $\omega$ : radio del campo modal

**Desviación lateral:**

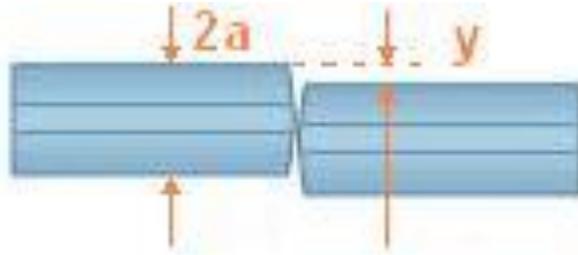


Figura N° 35: Desviación lateral entre fibras  
Fuente: Tutorial de Comunicaciones Ópticas - <http://nemesis.tel.uva.es>

Su expresión matemática está dada por la siguiente ecuación 2:

$$Pérdidas_{LAT} = -10 \log_{10} \left[ \exp \left( -\frac{y^2}{\omega^2} \right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

Donde: y: desviación lateral entre fibras  
ω: radio del campo modal

**Desviación angular:**

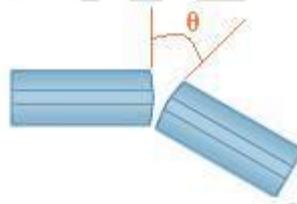


Figura N° 36: Desviación angular entre fibras  
Fuente: Tutorial de Comunicaciones Ópticas - <http://nemesis.tel.uva.es>

Su expresión matemática está dada por la siguiente ecuación 3:

$$Pérdidas_{ANG} = -10 \log_{10} \left[ \exp - \left( \frac{\pi n_{medio} \omega \text{sen } \theta}{\lambda} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (3)$$

Donde:  $\lambda$ : longitud de onda  
 $\Theta$ : desviación angular entre fibras  
 medio: índice del medio entre ellas  
 $\omega$ : radio del campo modal

**Reflexión de Fresnel:**

Esta pérdida es debida a una variación en el índice de refracción, de manera que una proporción de luz es reflejada hacia la fibra transmisora. Ver figura 4 de la reflexión de *fresnel*.

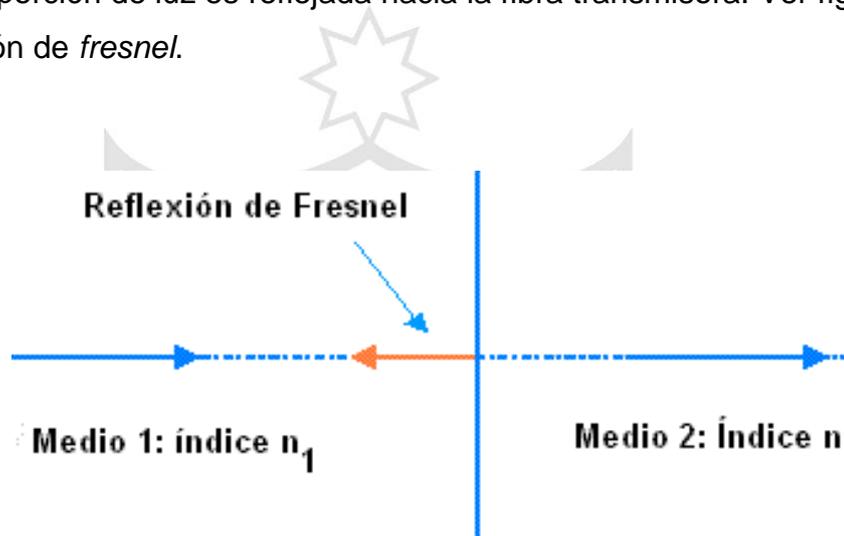


Figura N° 37: Reflexión de *Fresnel*  
 Fuente: Tutorial de Comunicaciones Ópticas - <http://nemesis.tel.uva.es>

Su expresión matemática está dada por la siguiente ecuación 4:

$$Pérdidas_{Fresnel} = -10 \log_{10}(1-r)^2 = -20 \log_{10}(1-r) \dots\dots\dots (4)$$

Donde: r: Reflectividad

$$r = \left( \frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2$$

n1 y n: índices de refracción del núcleo de las fibras y del medio entre ellas

### **Pérdidas intrínsecas:**

Las pérdidas intrínsecas son ocasionadas por las impurezas del vidrio durante el proceso de fabricación de la fibra óptica. Si el haz de luz golpea con una impureza, puede ocasionar un esparcimiento o una absorción de la señal.

### **Tecnología de acceso para fibra óptica**

#### **ATM**

Fue diseñado para llevar cinco niveles distintos de QoS. Emplea paquetes de tamaño regular llamadas células. Si la carga útil era mayor que los 48 bytes, ésta se divide y se empaqueta en otra célula. El encanto de ATM radicaba en que se podían emular circuitos directos y garantizar ancho de banda. Su desventaja era de que por cada 48 octetos de carga útil de una célula, requerían alrededor de 5 octetos de cabecera, alrededor del 10% del número total de bytes que componen una célula.

#### **FRAME RELAY**

Frame Relay es una tecnología de conmutación de paquetes para interconectar redes WAN. *Frame Relay* es un servicio de datos orientado a la conexión que establece un circuito virtual entre dos puntos finales. La eficiencia de *frame relay* radica en que sus paquetes son variables de acuerdo al tipo de información para enviar.

#### **METRO ETHERNET**

*Metro Ethernet* trabaja en el nivel 2 de referencia OSI. Está destinada a suministrar servicios de conectividad de datos en una MAN. Cuenta con mecanismos en donde se incluye RTP, Telefonía IP y Video IP.

*Metro Ethernet* es más económico que una interfaz SDH con la misma velocidad. Ofrece velocidades de 10Gbps, 40Gbps o 100Gbps.

Puede ser usado como Ethernet puro, Ethernet sobre MPLS, Ethernet sobre SDH o Ethernet sobre DWDM.

## **SDH**

Es la tecnología predominante en la mayoría de las redes metropolitanas y de larga distancia. Se refiere a un grupo de velocidades de transmisión de fibra óptica que pueden transportar señales con capacidades diferentes. Desde su aparición SDH ha mejorado enormemente el rendimiento de las redes de telecomunicaciones basados en fibras ópticas y han servido como plataformas de transporte estándar para el tráfico celular.

SDH está optimizado para hacer frente a los circuitos de voz con el máximo *uptime*, mínimo retardo y continuidad del servicio garantizado. Las diferentes velocidades que ofrece SDH son STM-1 (155Mbps), STM-4 (622Mbps), STM-16 (2.5Gbps), STM-64 (10Gbps) y STM-256 (40Gbps).

## **DWDM**

DWDM es considerada como una de las mejores tecnologías para aumentar el ancho de banda a través de una planta de fibra óptica. Le permite a uno crear múltiples "fibras virtuales" sobre una fibra física. Esto se hace mediante la transmisión de diferentes longitudes de onda. DWDM fue adaptado inicialmente para transmisiones de larga distancia, en donde los problemas de amplificación, compensación de la dispersión y regeneración de la señal generaban un incremento de los costos a los equipos SDH existentes. Aparte del agotamiento de la fibra, el volumen de tráfico es el factor económico más importante para la implementación de la tecnología DWDM en redes metropolitanas.

DWDM opera en el rango entre 1530 y 1565 nm la llamada banda C que corresponde a la ventana de baja pérdida de la fibra óptica. Este es el rango en el que el amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) es operativo. En los sistemas comerciales se pueden tener canales de 2,5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps. Cuanto mayor sea la velocidad, se necesitará mayor potencia del láser para minimizar el ruido, la separación del amplificador que debe ser reducido y la amplificación debe ser más alta. Típicamente 64 canales a 10 Gbps llegan a una distancia máxima de alrededor de 1500 km con un amplificador de separación cerca de 100 km. Sistemas de transmisión de

larga distancia superior a 1500 km y hasta 4500 km, estarán disponibles comercialmente utilizando sistemas avanzados y mucho más caros.

La capa de DWDM y la velocidad de bits son independientes, lo que significa que se puede llevar a ATM (modo de transferencia asíncrono), SONET, y / o paquetes de IP de forma simultánea.

### Estructura de un canal inalámbrico

#### Banda de frecuencia

En la Tabla 23, se muestra la frecuencia y el uso designado para comunicaciones por microondas.

Tabla N° 23: Banda de Frecuencia Microondas

Designación	Rango de frecuencia	Longitud de onda	Usos típicos
Banda L	1 to 2 GHz	15 cm to 30 cm	Telemetría militar, GPS, celulares (GSM), radio amateur
Banda S	2 to 4 GHz	7.5 cm to 15 cm	Radar climático, radar <i>maritime</i> y algunas aplicaciones (hornos microondas, dispositivos microondas, radio astronomía, celulares, <i>wireless</i> LAN, <i>Bluetooth</i> , <i>ZigBee</i> , GPS, <i>amateur radio</i> )
Banda C	4 to 8 GHz	3.75 cm to 7.5 cm	Radio telecomunicación de larga distancia
Banda X	8 to 12 GHz	25 mm to 37.5 mm	Comunicación satelital, radar, Ancho de banda terrestre, comunicación espacial, radio amateur.

Banda ku	12 to 18 GHz	16.7 mm to 25 mm	Comunicación satelital
<b>Designación</b>	<b>Rango de frecuencia</b>	<b>Longitud de onda</b>	<b>Usos típicos</b>
Banda K	18 to 26.5 GHz	11.3 mm to 16.7 mm	Radar, comunicación satelital, observación astronómica, radar automotor.
Banda ka	26.5 to 40 GHz	5.0 mm to 11.3 mm	Comunicación satelital
Banda Q	33 to 50 GHz	6.0 mm to 9.0 mm	Comunicación satelital, comunicación microondas terrestre, radio astronomía, radar automotor.
Banda V	50 to 75 GHz	4.0 mm to 6.0 mm	<i>millimeter wave radar research and other kinds of scientific research</i>
Banda W	75 to 110 GHz	2.7 mm to 4.0 mm	Comunicación satelital, <i>millimeter-wave radar research, military radar targeting and tracking applications, and some non-military applications, automotive radar</i>
Banda F	90 to 140 GHz	2.1 mm to 3.3 mm	SHF <i>transmissions</i> : Radio astronomía, dispositivos microondas, <i>wireless</i> LAN, radars modernos, comunicación satelital,

			televisión satelital, DBS, <i>radio amateur</i> .
Banda D	110 to 170 GHz	1.8 mm to 2.7 mm	<i>EHF transmissions:</i> Radio astronomía, <i>high-frequency microwave radio relay, microwave remote sensing, radio amateur, directed-energy weapon, millimeter wave scanner.</i>

Elaboración: los autores

La figura 38 nos describe un diagrama de bloques de una transmisión inalámbrica. Se describirán brevemente sus etapas.

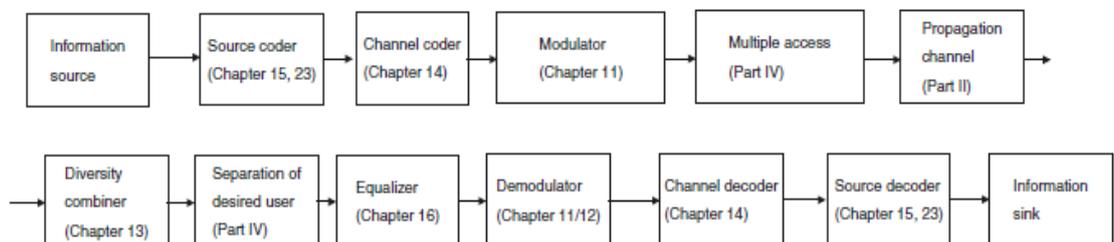


Figura N° 38: Diagrama de bloques transmisión inalámbrica  
Fuente: *Wireless Communications, Second Edition*

**Fuente de información:** Proporciona la señal que puede ser de naturaleza analógica o digital. En caso la fuente sea analógica, pasa por un ADC (conversor analógico digital), el cual se encarga de convertir la señal analógica a una digital.

**Codificación de la fuente:** El codificador de la fuente se encarga de utilizar información de los datos de origen con el fin de reducir la redundancia, esto quiere decir, los datos repetitivos, para así reducir la cantidad de información a transmitir y conseguir una mejor tasa o ancho de banda. Por ejemplo en

GSM, se reduce la data de 64 kbit/s hasta 13 kbit/s. Similar reducción es posible para música y video (MPEG standards).

**Codificación de canal:** En esta etapa se agrega redundancia controlada de tal forma que si se produce algún error en el canal de comunicaciones, este pueda ser detectado y/o corregido. Hay varios tipos de protección como lo son el código de bloques, códigos convolucionales, códigos de rejilla, etc.

El hecho de agregar redundancia aumenta el peso de la información a transmitir, por ejemplo en la codificación de una canal GSM se aumenta de 13kbps hasta 22.8kbps

**Modulador:** En esta etapa la señal es adecuada mediante un conjunto de técnicas para transportarla sobre una portadora. Esto se hace con el objetivo de transportar mayor información con el mismo ancho de banda, adicionalmente se puede mejorar la resistencia frente a interferencias.

Algunos requisitos básicos a la hora de elegir la modulación a utilizar son las siguientes:

- La eficiencia espectral del formato de modulación debe ser lo más alto posible. Esto se logra con un formato de modulación de orden más alto.
- La sensibilidad con respecto al ruido debe ser pequeña. Esto se logra en formatos de modulación de orden inferiores.
- Robustez con respecto al retardo

#### **A. ASK (*Amplitude Shift Keying*)**

Es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora.

La amplitud de la señal portadora análoga varía conforme a la corriente de bit, manteniendo la fase y frecuencia constante. El nivel de amplitud es utilizado para representar valores binarios de 0 y 1. En la Figura 39, se representa la modulación.

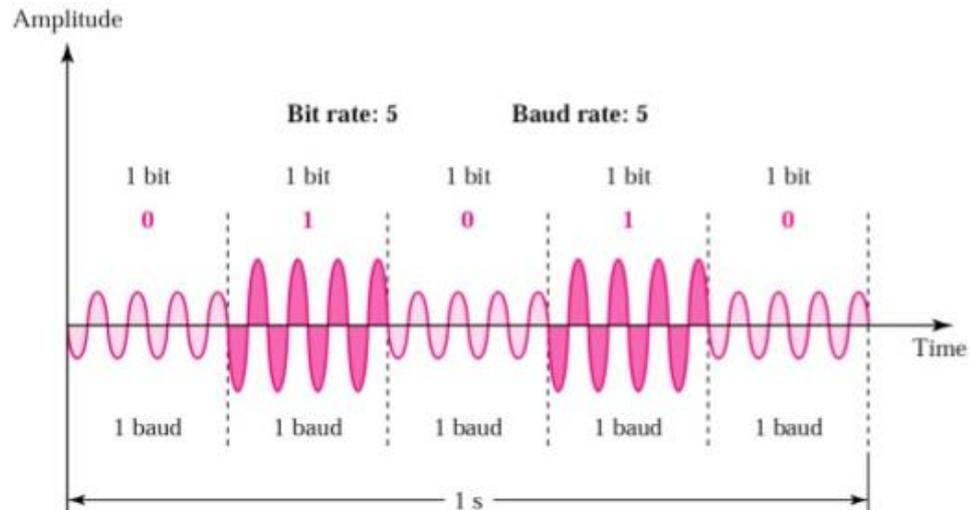


Figura N° 39: Modulación ASK  
 Fuente: *Data Communications & Networking Lecture*

El problema que tiene ASK es que es altamente susceptible al ruido.

Por otro lado tiene la ventaja de necesitar poca energía para transmitir la señal, ya que se utiliza una técnica llamada OOK (on/off keying), en la cual uno de los valores (0 o 1) es representado por la ausencia de voltaje.

### **B. FSK (*Frequency Shift Keying*)**

En FSK la frecuencia de la onda portadora varía entre 0 y 1. La frecuencia de la señal durante la duración de cada bit es constante. La amplitud y la fase permanecen constantes.

FSK evita los problemas de ruido debido a que el receptor está esperando por una frecuencia específica en un número de periodos. FSK está limitado por la capacidad física del medio.

En la modulación digital, a la relación de cambio a la entrada del modulador se le llama *bit-rate* y tiene como unidad el bit por segundo(bps).

A la relación de cambio a la salida del modulador se le llama *baud-rate*. En esencia el *baud-rate* es la velocidad o cantidad de símbolos por segundo.

En FSK,  $el\ bit\ rate = baud\ rate$ . Así, por ejemplo, un 0 binario se puede representar con una frecuencia  $f_1$ , y el 1 binario se representa con una frecuencia distinta  $f_2$ .

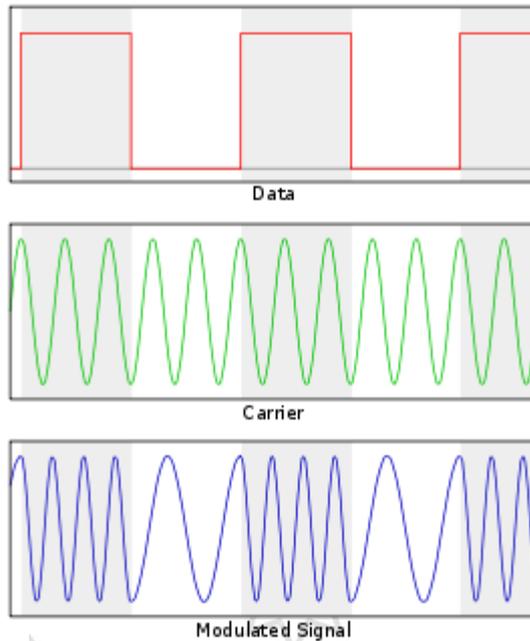


Figura N° 40: Señal modulada FSK  
 Fuente: *Data Communications & Networking Lecture*

La ecuación 5 es la expresión general de una señal FSK cuando la moduladora  $X(t)$  utiliza un código multinivel:

$$A \cdot \sin(2\pi(f + X(t)\Delta f)t) \dots\dots\dots (5)$$

El que la amplitud de la señal modulada sea constante y que la información se codifique con valores de frecuencia, hace que la señal FSK sea casi inmune al ruido aditivo del canal, dado que este afecta sobre todo a la amplitud.

La modulación ASK tiene el inconveniente de que es muy sensible al ruido que se acumula a lo largo del canal, por lo que la relación señal-ruido (S/N) a la entrada del receptor puede ser tan baja, que la probabilidad de error no sea tolerable. Esta es la causa por la que no se utiliza la modulación ASK para transmitir datos a alta velocidad a menos que el medio de transmisión garantice una adecuada S/N, como en el caso de la fibra óptica.

Sin embargo, a la modulación FSK no le afecta el ruido aditivo del canal, dado que la señal modulada codifica la información con los cambios de frecuencia; es decir, el receptor solo tiene que contar el número de cruces

por cero de la señal que recibe. Por tanto, suprime el ruido simplemente recortando la amplitud de la señal FSK, sin que ello afecte a la información.

Solo cuando el nivel de ruido es tan alto que llega a forzar el paso por cero de la señal, es cuando se producen errores. Esto es tanto como suponer que  $S/N = 0\text{dB}$ , es decir,  $S = N$ .

El comportamiento frente al ruido de las señales moduladas en frecuencia es mucho mejor que el de las señales moduladas en amplitud, pero a cambio, el ancho de banda de las señales FM es mayor que el de las señales AM.

### C. PSK (*Phase Shift Keying*)

La modulación PSK se caracteriza porque la fase de la señal portadora representa cada símbolo de información de la señal moduladora, con un valor angular que el modulador elige entre un conjunto discreto de "n" valores posibles.

Un modulador PSK representa directamente la información mediante el valor absoluto de la fase de la señal modulada, valor que el demodulador obtiene al comparar la fase de esta con la fase de la portadora sin modular. Ver Figura 41, forma de onda PSK.

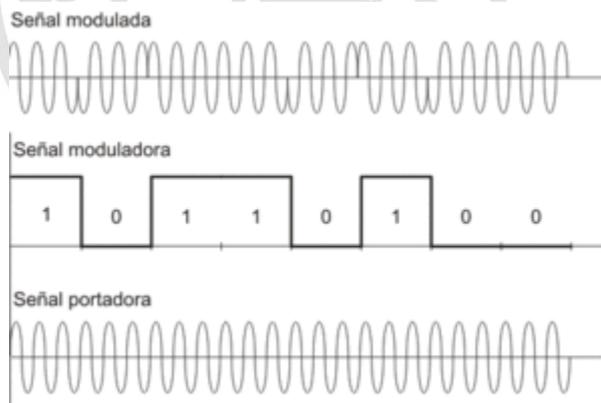


Figura N° 41: Forma de onda PSK  
Fuente: *Data Communications & Networking Lecture*

La señal modulada resultante responde a la ecuación 6:

$$A_p \cos[2\pi f t + \theta] \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

$A_p$  = amplitud

F = frecuencia

t = tiempo

$\theta$  = representa cada uno de los valores posibles de la fase, tantos como estados tenga la señal codificada en banda base multinivel.

### C.1 BPSK

Este esquema es la modulación de desplazamiento de fase de dos símbolos. También se la conoce como 2-PSK o PRK (*Phase Reversal Keying*). Es el más sencillo de todos, puesto que solo emplea 2 símbolos con 1 bit de información cada uno. Es también la que presenta mayor inmunidad al ruido, puesto que la diferencia entre símbolos es máxima ( $180^\circ$ ). Estos suelen tener un valor de salto de fase de  $0^\circ$  para el 1 y  $180^\circ$  para el 0, como se muestra en un diagrama de constelación. En cambio, su velocidad de transmisión es la más baja de las modulaciones de fase.

En presencia de un desplazamiento de fase, introducido por el canal de comunicaciones, el demodulador de BPSK es incapaz de determinar el símbolo correcto. Debido a esto, el flujo de datos es codificado en forma diferencial antes de la modulación. BPSK es funcionalmente equivalente a la modulación 2-QAM. En la siguiente Figura 42, se puede apreciar gráficamente la modulación 2-PSK.

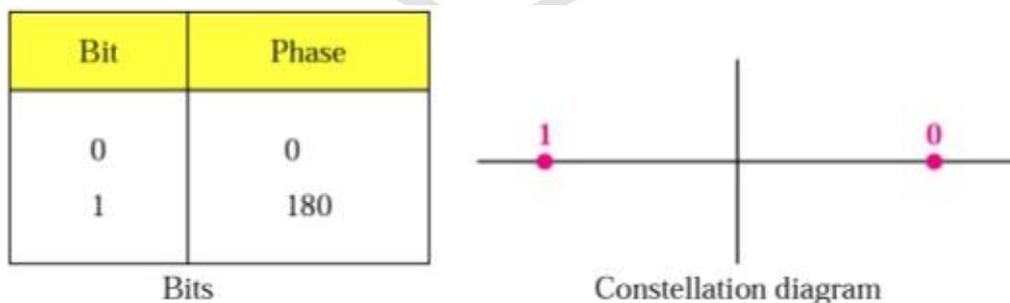


Figura N° 42: Modulación 2-PSK  
Fuente: *Data Communications & Networking Lecture*

## C.2 QPSK

Este esquema de modulación es conocido también como *Quaternary PSK* (PSK Cuaternaria), *Quadriphase PSK* (PSK Cuadrafásica) o 4-QAM, pese a las diferencias existentes entre QAM y QPSK. Esta modulación digital es representada en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas. Con cuatro fases, QPSK puede codificar dos bits por cada símbolo. La asignación de bits a cada símbolo suele hacerse mediante el código Gray que consiste que entre dos símbolos adyacentes, estos solo se diferencian en 1 bit, con lo que se logra minimizar la tasa de bits erróneos.

Respecto a un ancho de banda predeterminado, la ventaja de QPSK sobre BPSK está que con el primero se transmite el doble de la velocidad de datos en un ancho de banda determinado en comparación con BPSK, usando la misma tasa de error. Como contraparte, los transmisores y receptores QPSK son más complicados que los de BPSK, aunque con las modernas tecnologías electrónicas, el costo es muy moderado. En la Figura 43 se representa la modulación QPSK.

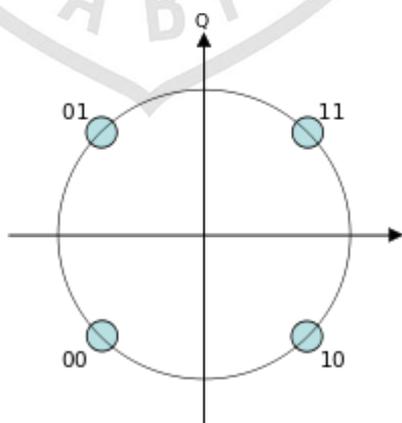


Figura N° 43: Diagrama de constelación para QPSK con código Gray  
Fuente: *Data Communications & Networking Lecture*

## C.3 QAM (Modulación en amplitud de cuadratura)

### C.3.1 Concepto

QAM es una modulación lineal que consiste en modular en doble banda lateral dos portadoras de la misma frecuencia desfasadas 90 grados.

Cada portadora es modulada por una de las dos señales a transmitir. Finalmente, las dos modulaciones se suman y la señal resultante es transmitida.

Este tipo de modulación tiene la ventaja de poder transmitir dos señales de la misma frecuencia, de modo que favorece el aprovechamiento del ancho de banda disponible.

Al utilizar distintas combinaciones de amplitud y fase, permite obtener para una misma velocidad de modulación, una mayor tasa de bits.

Proyección de una señal "en fase" (coseno) y una señal "en cuadratura" (seno) en la "constelación I-Q". Nótese que entre ellas existe un desfase de 90°, ver Figura 44.

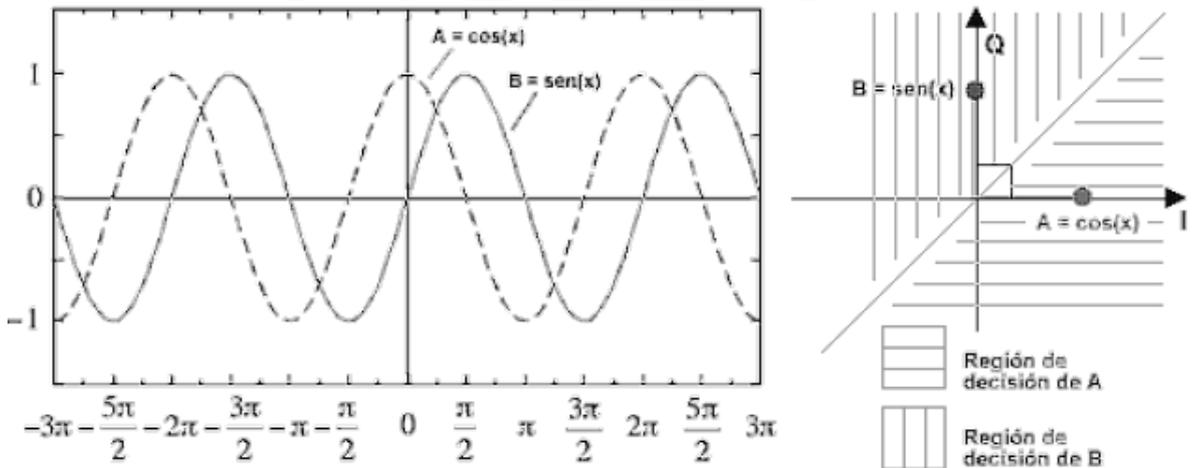


Figura N° 44: Proyección de una señal "en fase" y una señal "en cuadratura"  
Fuente: *Data Communications & Networking Lecture*

Expresión matemática en el dominio del tiempo está dada por la ecuación 7:

$$S(t) = \Re \{ [I(t) + iQ(t)] e^{i2\pi f_0 t} \}$$

$$S(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) - Q(t) \sin(2\pi f_0 t) \quad \dots \dots \dots (7)$$

Donde:  $i^2 = -1$ ,  $I(t)$  y  $Q(t)$  son señales de modulación,  $f_0$  es la frecuencia de la portadora  $\Re\{ \}$  es la parte real.

En el receptor, estas dos señales moduladoras pueden ser demoduladas usando un demodulador coherente. Tal receptor multiplica la señal recibida por separado tanto con un coseno y seno de la señal para producir las estimaciones recibidas de  $I(t)$  y  $Q(t)$  respectivamente. Debido a la ortogonalidad característica de las señales portadoras, es posible detectar las señales de modulación de forma independiente.

En el caso ideal  $I(t)$  se demodula multiplicando la señal transmitida con una señal coseno:

$$r(t) = S(t) \cos(2\pi f_0 t)$$

$$r(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) \cos(2\pi f_0 t) - Q(t) \sin(2\pi f_0 t) \cos(2\pi f_0 t) \dots\dots\dots (8)$$

Por identidades trigonométricas se puede escribir como se aprecia en la ecuación:

$$r(t) = \frac{1}{2} I(t) [1 + \cos(4\pi f_0 t)] - \frac{1}{2} Q(t) \sin(4\pi f_0 t)$$

$$r(t) = \frac{1}{2} I(t) + \frac{1}{2} [I(t) \cos(4\pi f_0 t) - Q(t) \sin(4\pi f_0 t)] \dots\dots\dots (9)$$

### C.3.2 Análisis de Fourier de QAM

En el dominio de la frecuencia, QAM tiene un patrón espectral similar a DSB-SC modulación. El uso de las propiedades de la transformada de Fourier, nos encontramos con la ecuación 10:

$$S(f) = \frac{1}{2} [M_I(f - f_0) + M_I(f + f_0)] + \frac{j}{2} [M_Q(f - f_0) - M_Q(f + f_0)] \dots\dots(10)$$

Donde  $S(f)$ ,  $M_I(f)$  y  $M_Q(f)$  son las transformadas de Fourier (representaciones de dominio de frecuencia) de  $s(t)$ ,  $I(t)$  y  $Q(t)$ , respectivamente.

Para representar los estados de modulación posibles en los distintos tipos de modulación digital, como la QAM cuantizada, se utiliza el llamado diagrama de constelación en analogía con la astronomía. Los puntos de la "constelación" están uniformemente dispuestos en una rejilla cuadrada con igual separación vertical y horizontal, aunque son posibles otras configuraciones. Puesto que en las telecomunicaciones digitales los datos

son binarios, el número de puntos del diagrama es normalmente una potencia de 2. Ya que el número de estados de modulación en QAM es generalmente un número cuadrado, las formas más comunes son de 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM. Al cambiar a una constelación de orden superior, es posible transmitir más bits por símbolo.

Usando QAM de orden superior sin aumentar la tasa de error de bits requiere una mayor relación señal-ruido (SNR) mediante el aumento de energía de la señal, reduciendo el ruido, o ambos. En las siguientes figuras, se puede apreciar cómo se representa las amplitudes y las velocidades en

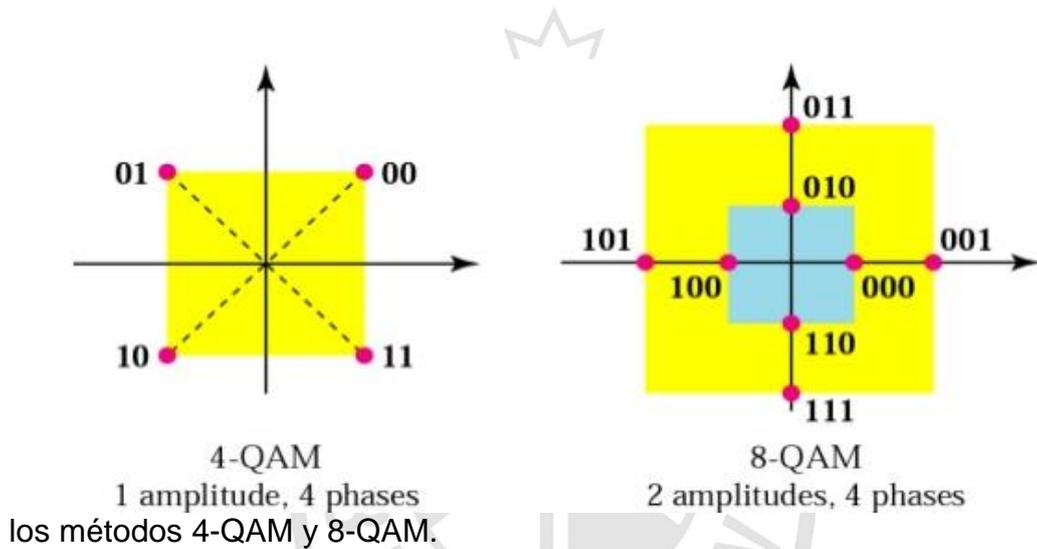
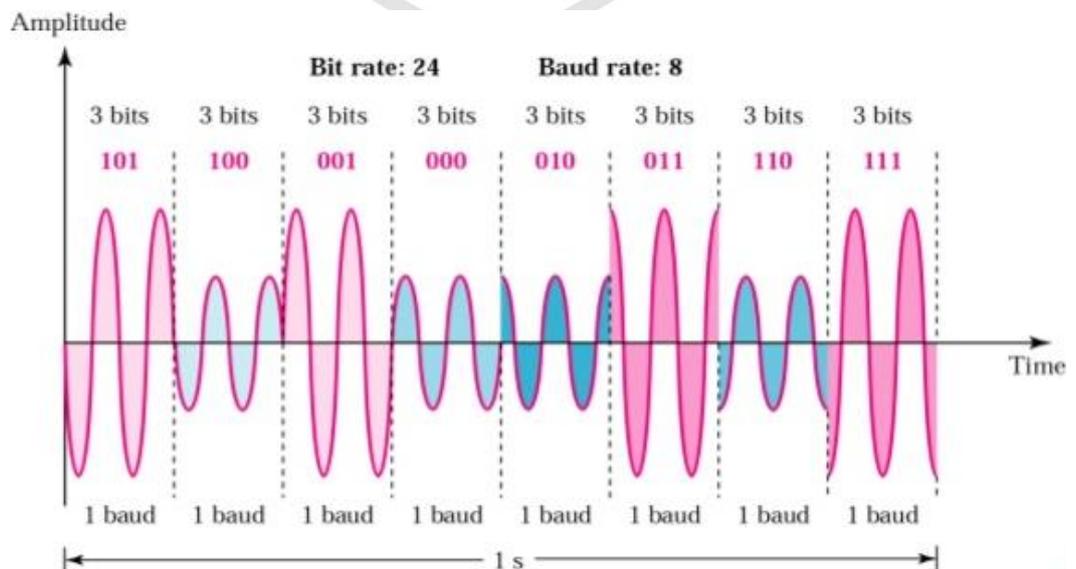


Figura N° 45: Amplitud Método 4-QAM / 8-QAM  
 Fuente: *Data Communications & Networking Lecture*



**Acceso múltiple:** Una comunicación inalámbrica usa una cierta banda de frecuencia que le es asignada para un servicio en específico. Por lo tanto, el espectro es un recurso escaso que no puede ser extendido fácilmente. Por esta razón, se debe hacer un sistema que permite múltiples comunicaciones.

Entre las diferentes técnicas tenemos a FDMA, TDMA.

**A. FDMA (*Frequency Division Multiple Access*):** Con esta técnica cada usuario es asignado a una banda o sub-banda de frecuencia. Se utiliza por ejemplo en los sistemas GSM. Es una tecnología fácil de implementar y trabaja normalmente en conjunto con FDD.

**B. TDMA (*Time Divison Multiple Access*):** Múltiples usuarios transmiten en diferentes *slots* de tiempo y pueden utilizar todo el ancho de banda disponible.

TDMA es usada en el mundo como estándar de GSM. FDMA puro es usado en celular analógico.

LTE, *WiMAX* utilizan una combinación de TDMA con FDMA.

#### **Propagación del canal:**

**A. Atenuación de espacio libre:** Es la propagación de una onda electromagnética en un medio dieléctrico isotrópico, que se puede considerar infinito en todas las direcciones. Es un método ideal, dado que no existe en la realidad, pero ayuda a conocer las pérdidas mínimas en la propagación de la señal.

Para calcular dichas pérdidas se considera dos antenas isótropas suspendidas en el espacio en un entorno libre de obstáculos y separadas una distancia  $d$ . De estas antenas, una actuará como transmisora, entregando una potencia (PTX) y la otra como receptora. La densidad de potencia radiada (PRX) por la antena transmisora estará dada en la posición ocupada por la antena receptora descrita por la ecuación 11:

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot \frac{1}{4\pi d^2} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:  $\frac{1}{4\pi d^2}$  es el área de la superficie de la esfera, considerando una antena omnidireccional; adicionándole la ganancia de la antena GTX y en área efectiva de la antena receptora.

$A_{RX} = G_{RX} \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)$  , se desglosará en una ecuación resultante conocida como ecuación de Friis, dada por la siguiente ecuación 12:

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot G_{TX} G_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

PRX: Potencia recibida (W)

PTX: Potencia transmitida (W)

GTX: Ganancia de la antena transmisora

GRX: Ganancia de la antena receptora

$\lambda$ : longitud de onda (m)

d: distancia entre antenas

Se puede expresar la ecuación 13 la fórmula de *Friis* en términos de pérdida de espacio libre en dB.

$$L_{fs}(dB) = 92.4 + 20 \log r(\text{km}) + 20 \log f(\text{km}) - G_T(\text{dBi}) - G_R(\text{dBi}) \dots (13)$$

## B. Difracción

La difracción es la dispersión de las ondas que encuentran un objeto durante su trayectoria. Para que se realice la difracción el tamaño del objeto debe ser del orden de la longitud de las ondas incidentes.

### B.1. Zona de *Fresnel*

Se considera que el transmisor está separado del receptor en el espacio libre y una pantalla obstruye el enlace con una altura efectiva h y con un ancho infinito se encuentra a una distancia d1 del transmisor y d2 del receptor, las ondas que viajan por arriba de la pantalla a una distancia mayor que si existiera una línea de vista entre las antenas transmisora y receptora. Se asume que  $h \ll d1, d2$  y  $h \gg \text{longitud de onda } \lambda$ , entonces la diferencia

entre la línea de vista y el camino difractado llamado longitud del camino en exceso ( $\Delta$ ), puede ser obtenido por la geometría de la siguiente figura que se detalla a continuación.

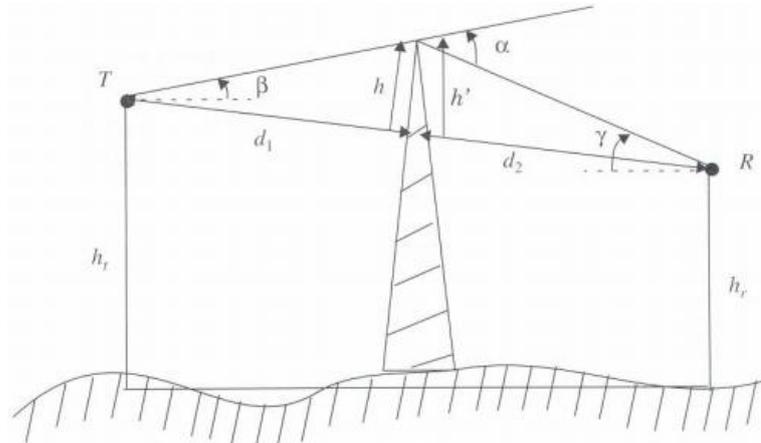


Figura N° 47: Geometría de difracción cuando el transmisor y el receptor se encuentran a la misma altura

Fuente: Radiopropagación - <http://blogradiopro.blogspot.com/>

La longitud del camino en exceso está dada por la siguiente ecuación:

$$\Delta \cong \frac{h^2}{2} \cdot \frac{(d_1+d_2)}{d_1 \cdot d_2} \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

h: altura efectiva de la pantalla

d1: distancia de la pantalla al transmisor

d2: distancia de la pantalla al receptor

$\Delta$ : longitud de la trayectoria en exceso

Los círculos concéntricos de la Figura 15, son las llamadas zonas de *Fresnel*. Las zonas de *Fresnel* posteriores tienen un efecto que alternadamente proveen interferencia constructiva y destructiva para la señal total recibida por la antena receptora. El radio del enésimo círculo de la zona de *Fresnel* denominado  $r_n$  está determinado por n,  $\lambda$ , d1, d2 mostrada en la siguiente ecuación:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

$\Lambda$ : longitud de onda

$d_1$ : distancia de la pantalla al transmisor

$d_2$ : distancia de la pantalla al receptor

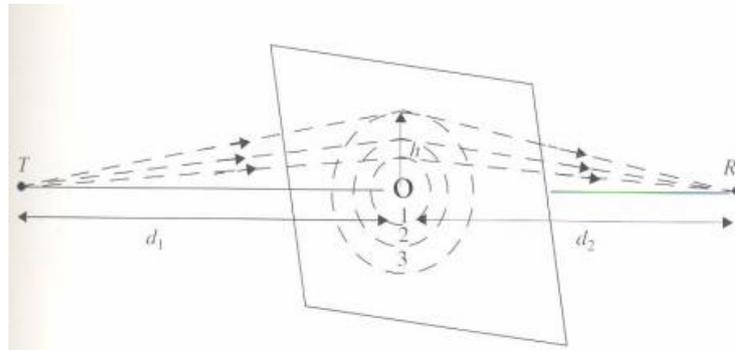


Figura N° 48: Círculos concéntricos que definen los límites de las zonas sucesivas  
Fuente: Radiopropagación - <http://blogradiopro.blogspot.com/>

Como se muestra en la siguiente Figura 49, un obstáculo puede bloquear la transmisión y un grupo de elipsoides pueden ser construidos entre el transmisor y el receptor. Los elipsoides representan las zonas de *Fresnel*. Si la obstrucción no bloquea el volumen contenido en la primera zona de *Fresnel*, las pérdidas por difracción son mínimas y los efectos de la difracción pueden ser cancelados.

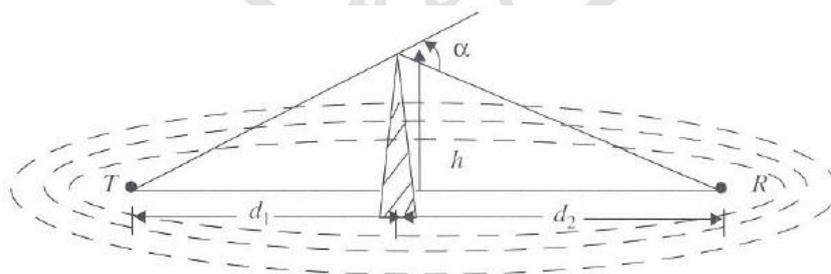


Figura N° 49: Zona de *Fresnel* donde  $\alpha$  es positiva debido a que  $h$  es positiva  
Fuente: Radiopropagación - <http://blogradiopro.blogspot.com/>

Como regla general para diseño de línea de vista, si al menos el 55% de la primera zona de *Fresnel* es librado, la alteración por difracción no es significativa.

La zona de *Fresnel* puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$F_1 (m) = 17.32 \sqrt{\frac{d_1(km).d_2(km)}{d(km).f(Ghz)}} \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

- F1 : radio de la primera zona de *Fresnel* en metros
- d1,d2 : distancia de las antenas al obstáculo en kilómetros
- d : distancia entre antenas en kilómetros
- f : frecuencia de operación del sistema en GHz

En la siguiente Figura 50 se muestra la primera zona de *Fresnel*.

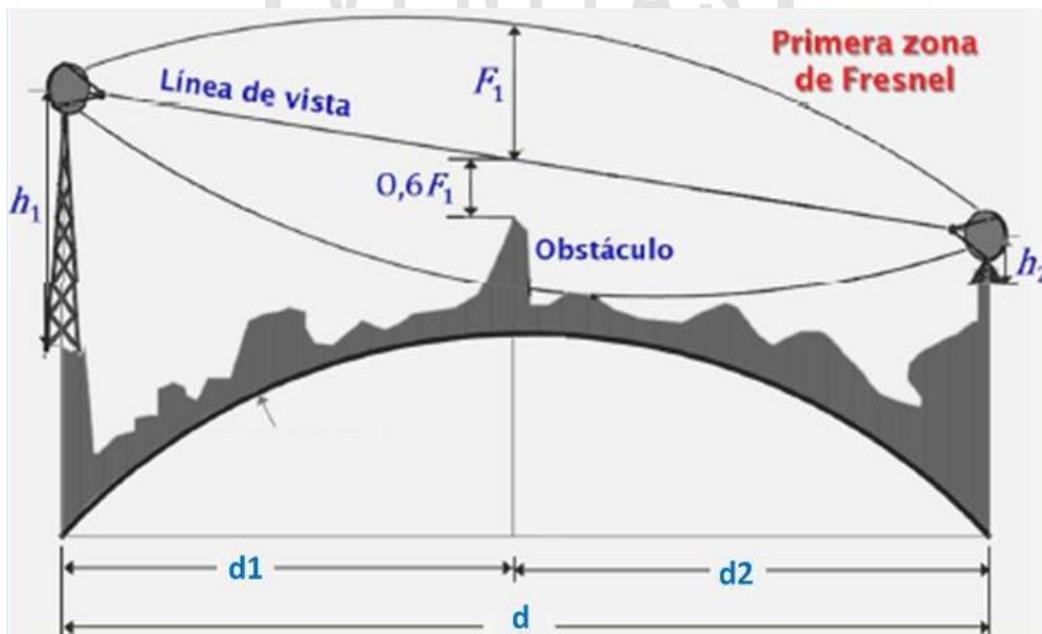


Figura N° 50: Primera zona de *Fresnel*  
 Fuente: Sistemas de Telecomunicaciones, Francisco M. (2013)

**Diversidad:**

En los radioenlaces por microondas se utilizan diversas técnicas para minimizar los efectos de desvanecimiento por multitrayectoria. El objetivo de estas técnicas es aumentar la disponibilidad y confiabilidad del sistema.

Se describirá a continuación algunas de las técnicas más utilizadas.

### **A. Diversidad de espacio**

En un sistema con diversidad de espacio existen al menos dos antenas ubicadas en la misma torre, en ambos extremos del trayecto, separadas con un equivalente a varias longitudes de onda. La señal se envía por una sola frecuencia, pero se recibe por dos o más trayectos distintos.

El sistema por diversidad de espacio funciona de acuerdo con el principio de que las dos componentes de una misma señal que corren dos caminos distintos no tendrán los mismos puntos de interferencia. Esta técnica es recomendable usarla cuando el trayecto del enlace pasa sobre el mar, ocasionando un desvanecimiento de la señal. En la siguiente figura se muestra el sistema de diversidad de espacio.

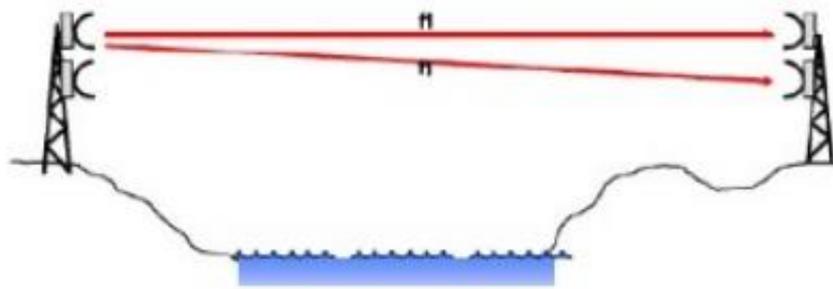


Figura N° 51: Sistema de diversidad de espacio  
Fuente: Sistemas de Telecomunicaciones, Francisco M. (2013)

### **B. Diversidad de frecuencia**

La diversidad por frecuencia consiste en modular dos portadoras de RF distintas con la misma información de FI (Frecuencias Intermedias). En el destino, se demodulan ambas portadoras y la que produzca la mejor señal de FI de mejor calidad, es la que se usa. Cuando se usa diversidad de frecuencia, la información se transmite en más de una portadora, de tal forma que señales con una separación de frecuencia mayor que determinado valor no experimenten el mismo desvanecimiento, siendo la separación en frecuencia necesaria para que los canales estén parcial o totalmente decorrelados una función del ancho de banda de coherencia del canal.

Este valor puede corresponder a una fracción importante del ancho de banda total utilizado, y por lo tanto, esta técnica tiene la desventaja de necesitar generalmente un ancho de banda significativamente mayor, con un número igual de receptores que de canales de diversidad. Sin embargo, la diversidad en frecuencia se emplea usualmente en enlaces por línea de vista que usan FDM (Multiplexación por División de Frecuencia) y para rutas críticas. La siguiente figura muestra el sistema de diversidad por frecuencia.

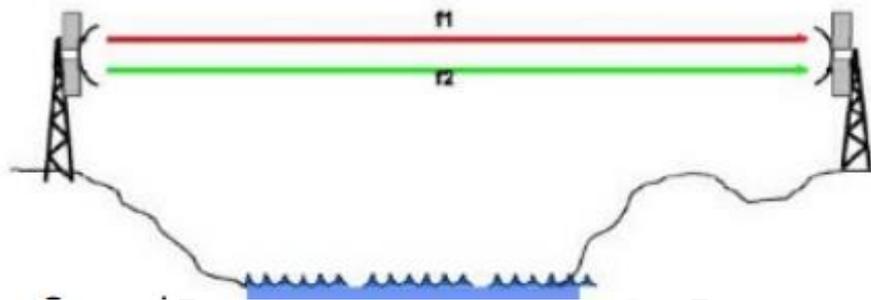


Figura N° 52: Sistema de diversidad por frecuencia  
Fuente: Sistemas de Telecomunicaciones, Francisco M. (2013)

### C. Diversidad de polarización

En este método dos señales procedentes del radiotransmisor se envían simultáneamente por dos antenas separadas, una con polarización vertical y la otra horizontal. La diversidad de polarización resulta útil para la transmisión por onda indirecta en la parte baja del espectro de frecuencias.

En cambio, este método no da resultados en la transmisión de microondas por onda espacial debido a que generalmente ambas señales polarizadas se desvanecen al mismo tiempo. En la siguiente figura se muestra la técnica de diversidad de polarización.

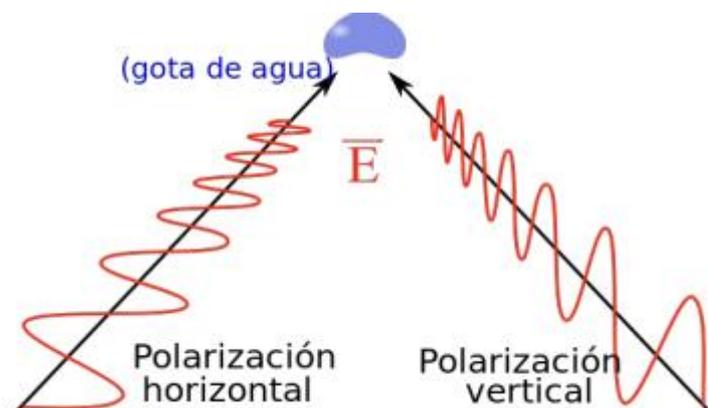


Figura N° 53: Diversidad de polarización

Fuente: Radio enlaces terrestres/microondas - <http://www.redtauros.com/Clases>

**Ecuación del canal:** es la eliminación de la distorsión de una señal transmitida a través de un canal. Esta se da en la recepción.

Cuando un canal ha sido ecualizado, los atributos en el dominio de la frecuencia de la señal en la entrada son reproducidos fielmente en la salida. La onda real de la señal transmitida debe ser preservada, no solo en su contenido de frecuencia, sino también deben descartar cualquier retardo de grupo y retardo de fase entre los diferentes componentes de frecuencia.

Entre los tipos de ecualizadores en transmisión digital tenemos:

**A. Ecualizadores lineales:** procesa la señal de entrada con un filtro lineal.

**B. Ecualizador ciego:** estima la señal transmitida sin el conocimiento de las estadísticas del canal. Solo usa las estadísticas de la señal transmitida.

**C. Ecualizador adaptativo:** es usado frecuentemente con modulaciones coherentes como PSK, mitigando los efectos de la propagación multirrayecto.

**D. Ecualizador Viterbi:** encuentra la máxima probabilidad óptima para la ecualización. Su objetivo es minimizar la probabilidad de error en toda la secuencia.

## ANTENAS

Las antenas son las encargadas de irradiar o recibir las señales electromagnéticas en un sistema de telecomunicaciones.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. El conjunto de todas las frecuencias se denomina espectro.

Para el caso de transmisiones por microondas, las bandas, frecuencias y longitudes de onda vienen llamadas como se observa en la siguiente tabla.

Tabla N° 24: Clasificación de ondas en transmisiones por microondas

Banda	frec. mínima	frec. máxima	$\lambda$ máxima	$\lambda$ mínima
L	1 GHz	2 GHz	30 cm	15 cm
S	2 GHz	4 GHz	15 cm	7.5 cm
C	4 GHz	8 GHz	7.5 cm	3.75 cm
X	8 GHz	12.4 GHz	3.75 cm	2.42 cm
Ku	12.4 GHz	18 GHz	2.42 cm	1.66 cm
K	18 GHz	26.5 GHz	1.66 cm	1.11 cm
Ka	26.5 GHz	40 GHz	11.1 mm	7.5 mm
mm	40 GHz	300 GHz	7.5 mm	1 mm

Fuente: Radio enlaces terrestres/microondas - <http://www.redtauros.com/Clases>

## PATRÓN DE RADIACIÓN

Los patrones o diagramas de radiación describen la intensidad relativa del campo radiado en varias direcciones desde la antena a una distancia constante. El patrón de radiación es también de recepción, porque describe las propiedades de recepción de la antena. El patrón de radiación es tridimensional, pero generalmente las mediciones de los mismos son una porción bi-dimensional del patrón, en el plano horizontal o vertical. Estas mediciones son presentadas en coordenadas rectangulares o en coordenadas polares. En la siguiente figura, se observa el patrón de radiación de la misma antena en diagrama rectangular y en diagrama polar.

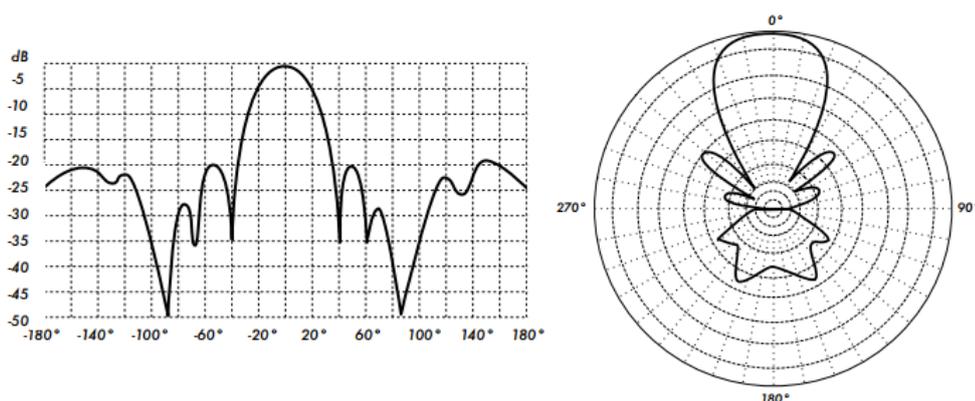


Figura N° 54: Representación de diagrama rectangular y diagrama polar respectivamente  
 Fuente: Radio enlaces terrestres/microondas - <http://www.redtauros.com/Clases>

## PARÁMETROS DE UNA ANTENA

### Directividad:

La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia; y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada.

Para antenas directivas, con un solo lóbulo principal y lóbulos secundarios de nivel despreciable, se puede obtener una directividad aproximada considerando que se produce radiación uniforme en el ángulo sólido definido a partir de los anchos de haz a  $-3\text{dB}$  en los dos planos principales del diagrama de radiación, dada por la ecuación 17:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2} \dots\dots\dots (17)$$

Para expresar la directividad en dBi, la expresamos de la siguiente manera con la ecuación 18:

$$D[\text{dBi}] = 10\log_{10}\left(\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{av}}}\right) \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

$P_{\text{max}}$ : Máxima densidad de potencia

$P_{\text{av}}$ : Densidad de potencia promedio

### Ganancia:

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una

antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

La ganancia de una antena es la eficiencia de radiación en una determinada dirección.

Está dada por la siguiente ecuación:

$$G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi) \eta \quad \dots\dots\dots (19)$$

Dónde:  $\eta$  está entre 0 y 1.

Para expresar la ganancia en dBi, la expresamos de la siguiente manera:

$$G[\text{dBi}] = 10 \log_{10} \eta \left( \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{av}}} \right) \quad \dots\dots\dots (20)$$

Donde:

$P_{\text{max}}$  : Máxima densidad de potencia

$P_{\text{av}}$  : Densidad de potencia promedio

$\eta$  : Eficiencia de la antena

El valor de ganancia de la antena es proporcionada en el *datasheet* del fabricante.

### **Polarización:**

La polarización de una antena es la polarización de la onda radiada por dicha antena en una dirección dada. La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse. Hay una serie de casos particulares. Si la figura trazada es una recta, la onda se denomina linealmente polarizada, si es un círculo circularmente polarizado.

El sentido de giro del campo eléctrico, para una onda que se aleja del observador, determina si la onda está polarizada circularmente a derechas o a izquierda. Si el sentido de giro coincide con las agujas del reloj, la polarización es circular a derechas. Si el sentido de giro es contrario a las agujas del reloj, la polarización es circular a izquierdas.

Aplicando el mismo principio, cualquier onda se puede descomponer en dos ondas polarizadas circularmente a derechas o izquierdas. En la Figura 55 se muestra los tipos de polarización que tiene una antena.

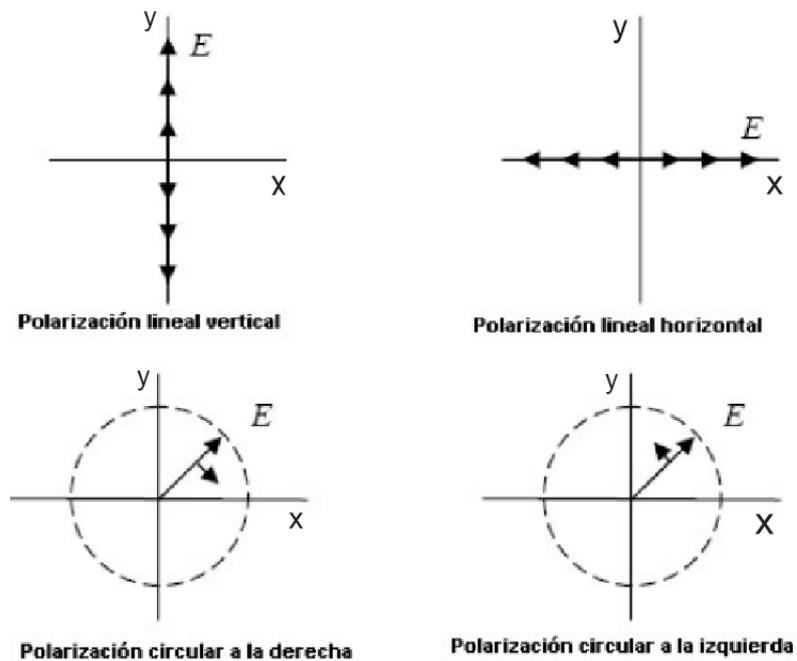


Figura N° 55: Tipos de Polarización  
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

### Impedancia:

Para una transferencia de energía eficiente, la impedancia del radio, la antena, y el cable de transmisión que las conecta debe ser la misma. Las antenas y sus líneas de transmisión generalmente están diseñadas para una impedancia de  $50\Omega$ . Si la antena tiene una impedancia diferente a  $50\Omega$ , hay una desadaptación, y se necesita un circuito de acoplamiento de impedancia. Cuando alguno de estos componentes no tiene la misma impedancia, la eficiencia de transmisión se ve afectada.

La impedancia de una antena se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de antena. La impedancia se puede expresar por la siguiente ecuación.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a \quad \dots\dots\dots (21)$$

### **VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)**

Para tener una buena transmisión de potencia entre el transmisor y la antena, es necesaria que la impedancia del transmisor sea el conjugado complejo de la impedancia de la antena.

El VSWR mide la desadaptación entre la impedancia del transmisor y la antena.

A mayor VSWR hay mayor desadaptación. Si VSWR=1 la adaptación es perfecta.

Cuando no hay onda reflejada ( $|r|=0$ ) hay una adaptación perfecta y el VSWR será igual a 1.

### **Anchura del haz**

Es la medida angular de donde aquella porción de espacio en donde la potencia irradiada es mayor o igual que la mitad de su valor máximo.

Se halla primero el pico de la intensidad de radiación y luego los puntos a ambos lados del pico a los cuales la radiación se ha reducido a la mitad. La distancia angular entre los dos puntos de media potencia se define como el ancho del haz.

Mientras más estrecho sea el ancho del haz, mayor será la ganancia, porque la energía estará enfocada con más concentración.

A mayor ganancia de la antena, menor el ancho del haz. Una antena de muy alta ganancia tendrá un ancho de haz de unos pocos grados y deberá apuntarse muy cuidadosamente para que pueda cubrir al objetivo. El valor de la anchura del haz es dado por el fabricante de la antena.

### **Ancho de banda**

El ancho de banda de una antena se refiere al rango de frecuencias en el cual puede operar de forma correcta. Este ancho de banda es el número de

hercios (Hz) para los cuales la antena va a tener una Razón de Onda Estacionaria (SWR) menor que 2:1. El ancho de banda también puede ser descrito en términos de porcentaje de la frecuencia central de la banda, como se muestra en la ecuación.

$$\text{Ancho de Banda} = 100 \times \frac{f_H - f_L}{f_o} \quad \dots\dots\dots (22)$$

Donde:

fH: Frecuencia más alta

fL: Frecuencia más baja

fo: Frecuencia central

De esta forma, el ancho de banda porcentual es constante respecto a la frecuencia. Si fuera expresado en unidades absolutas, variaría dependiendo de la frecuencia central. Los diferentes tipos de antenas tienen variadas limitaciones de ancho de banda. En la Figura 56 se muestra gráficamente el ancho de banda para una antena.

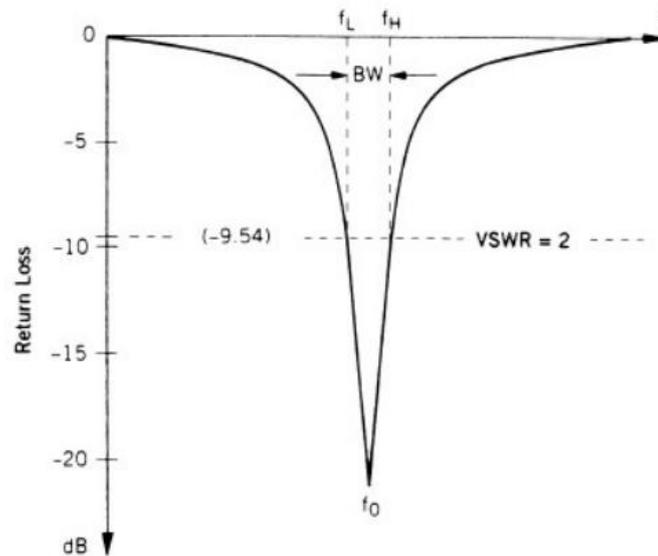


Figura N° 56: Ancho de banda de una antena  
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

## TIPOS DE ANTENA

Las antenas se puede clasificar en:

Omnidireccional: dipolo, monopolo, colineal, guía de onda ranurada.

Direccional: sectorial, patch, bobina, yagi, biquad, plato.

### A. Omnidireccional

Las antenas omnidireccionales son las que prácticamente irradian en todas direcciones.

Las antenas omnidireccionales son muy sencillas de instalar. Debido a los patrones horizontales de 360 grados, pueden incluso montarse bocabajo, colgadas de un techo en entornos de interior. Asimismo, gracias a su forma, es recomendable asociar estas antenas al producto. Por ejemplo, puede haber antenas *Rubber Duck* asociadas a AP inalámbricos.

Para obtener una ganancia omnidireccional desde una antena isotrópica, los lóbulos de energía se presionan hacia dentro desde la parte superior e inferior, y se fuerza su salida mediante un patrón con forma de rosquilla.

La antena omnidireccional suele ser normalmente una antena polarizada vertical, por lo que no puede beneficiarse del uso de la polarización cruzada frente a las interferencias.

A continuación se graficará y describirá algunas antenas de tipo omnidireccional.

#### Dipolo de media onda

Dos elementos de  $1/4 \lambda$  son fáciles de construir en una gran gama de frecuencias Omnidireccional en el plano perpendicular a los elementos de ganancia de 2 a 7 dBi Impedancia de entrada de 72 ohmios muy próxima a los 50 ohmios del cable coaxial

Es ideal para lugares pequeños. En la siguiente figura se muestra la antena dipolo.



Figura N° 57: Antena dipolo  
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

## Monopolo

Elemento vertical de  $1/4 \lambda$  requiere un buen plano de tierra. Omnidireccional en el plano horizontal 5.14 dBi ~  $36 \Omega$  de impedancia (Ver Figura 58)



Figura N° 58: Antena monopolo  
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

## B. Direccional

Las antenas direccionales son capaces de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor.

Las antenas direccionales se subdividen en antenas de alta ganancia para aplicaciones punto a punto y antenas sectoriales que normalmente tienen anchos de haz de  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  o  $120^\circ$  y que pueden ser combinadas para proveer cobertura de  $360^\circ$  desde una estación base. Las antenas sectoriales típicamente tienen mayor ganancia que las omnidireccionales con lo que ofrecen un mayor alcance.

Con las antenas direccionales se puede desviar la energía RF hacia una dirección determinada en distancias más largas. Así, puede abarcar grandes

longitudes, aunque el ancho de haz efectivo disminuye. Este tipo de antena es muy útil en coberturas de Pérdidas del espacio libre cercanas (LOS), como en vestíbulos, largos pasillos, estructuras aisladas con espacios entre ellas, etc. Sin embargo, puesto que la cobertura angular es menor, no puede cubrir grandes áreas.

A continuación se graficará y describirá algunas antenas de tipo direccional.

### **Microondas terrestres**

Rango de frecuencias entre 2-40 GHz altamente direccionales, directividad alta, ángulo de radiación bajo. Ver Figura 59.



Figura N° 59: Microondas terrestre  
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

### **Sectoriales**

Las antenas sectoriales son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Una antena sectorial es un tipo de antena de microondas direccional con un patrón de radiación en forma de sector. Los diseños más típicos son de 60°, 90° y 120°, y a menudo se utiliza un “extra” de grados cuando se requiere una cobertura más amplia o de círculo completo. El mayor uso de estas antenas es en sitios de estaciones base de telefonía celular, sin embargo también se utilizan para otro tipo de comunicaciones móviles, por ejemplo en redes WiFi y pueden abarcar alrededor de 4 a 5 kilómetros (ver Figura 60)



Figura N° 60: Antena sectorial  
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>



## ANEXO – B

Cabe resaltar que para la realización de la valorización respectiva desarrollada en los siguientes puntos de este capítulo, se utilizaron datos provistos por operadores privados. Finalmente, es pertinente mencionar que los valores descritos más adelante están expresados en dólares americanos y no incluye IGV.

### Costo de Instalación Fibra Óptica:

<b>Ruta F.O</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Cable span 400	4	1,500.00	6,000.00
Cable span 100	8	1,000.00	8,000.00
Poste de 12 m	19	230.00	4,370.00
Postes de 10 m	80	200.00	16,000.00
Mano de obra de montaje de la fibra	99	100.00	9,900.00
Ferretería	1	4,500.00	4,500.00
Mano de obra de postes	99	130.00	12,870.00
Alquiler de grúa	27	500.00	13,500.00
Alquiler de camión	5	500.00	2,500.00
Almacén	27	150.00	4,050.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	81,690.00

<b>Sistema Femtocelda</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Antena	1	1,210.00	1,210.00
BBU ( <i>Baseband Unit</i> )	1	10,000.00	10,000.00
RRU ( <i>Remote Radio Unit</i> )	1	15,000.00	15,000.00
Servicio de instalación	1	8,200.00	8,200.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	34,410.00

<b>Equipos de comunicaciones</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Router	1	500.00	500.00
Switch industrial	1	1,100.00	1,100.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	1,600.00

<b>Obra civil en Chacaya</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Construcción de caseta	1	1.00	1,100.00
Cerco perimétrico	1	1.00	900.00
Pozo de tierra	1	1.00	900.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	2,900.00

<b>Sistema de energía en Chacaya</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Celdas solares	8	400.00	3,200.00
Regulador	1	400.00	400.00
Baterías	4	250.00	1,000.00
Rectificador	1	1,600.00	1,600.00
Grupo electrógeno (7 KW)	1	12,000.00	12,000.00
Mano de obra + consumibles	1	1,500.00	1,500.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	19,700.00

<b>Videoconferencia Chacaya</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Sistema de video	1	650.00	650.00
Pantalla	1	750.00	750.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	1,400.00

**TOTAL: \$141,700.00**

Concluimos que el costo de instalación por la opción 1 (fibra óptica) asciende a la suma de \$ 141,700.00

**Costo de instalación radio enlace:**

**Nodo Marachanca:**

	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
<b>Sistema M.O</b>			
IDU, ODU, antenas, cables	1	6,000.00	6,000.00
Poste de 23 metros	1	500.00	500.00
Mano de obra enlace microondas	1	4,000.00	4,000.00
Mano de obra instalación del poste	1	500.00	500.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	11,000.00

<b>Obra civil</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Construcción de caseta	1	1,100.00	1,100.00
Cerco perimétrico	1	900.00	900.00
Pozo de tierra	1	900.00	900.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	2,900.00

<b>Sistema de energía en Marachanca</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Celdas solares	3	400.00	1,200.00
Regulador	1	400.00	400.00
Baterías	4	250.00	1,000.00
Rectificador	1	1,600.00	1,600.00
Grupo electrógeno	0	10,000.00	0.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	4,200.00

**TOTAL  
MARACHANCA: \$18,100.00**

**Nodo Chacaya:**

	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
<b>Sistema M.O Chacaya</b>			
IDU, ODU, antenas, cables	1	6,000.00	6,000.00
Poste de 23 metros	1	500.00	500.00
Mano de obra enlace microondas	1	4,000.00	4,000.00
Mano de obra instalación del poste	1	500.00	500.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	11,000.00

<b>Sistema femtocelda</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Antena	1	1,210.00	1,210.00
BBU ( <i>Baseband Unit</i> )	1	10,000.00	10,000.00
RRU ( <i>Remote Radio Unit</i> )	1	15,000.00	15,000.00
Servicio de instalación	1	8,200.00	8,200.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	34,410.00

<b>Equipo de comunicaciones</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Router	1	500.00	500.00
Switch industrial	1	1,100.00	1,100.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	1,600.00

<b>Obra civil</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Construcción de caseta	1	1,100.00	1,100.00
Cerco perimétrico	1	900.00	900.00
Pozo de tierra	1	900.00	900.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	2,900.00

<b>Sistema de energía en Chacaya</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Celdas solares	8	400.00	3,200.00
Regulador	1	400.00	400.00
Baterías	4	250.00	1,000.00
Rectificador	1	1,600.00	1,600.00
Grupo electrógeno (7 KW)	1	12,000.00	12,000.00
Mano de obra + consumibles	1	1,500.00	1,500.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	19,700.00

<b>Videoconferencia Chacaya</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Sistema de video	1	650.00	650.00
Proyector	1	750.00	750.00
		<b>SUBTOTAL:</b>	1,400.00

**TOTAL CHACAYA: \$71,010.00**

El costo total haciendo uso de la opción 2 (radio enlace) para llevar Teleeducación en Chacaya, se detalla a continuación:

TOTAL MARACHANCA	18,100.00
TOTAL CHACAYA	71,010.00
<b>COSTO TOTAL DEL RADIO ENLACE (\$)</b>	<b>89,110.00</b>

## ANEXO – C

### Umbral de Sensibilidad en Modulaciones - Video

CHANNEL SPACING [MHz]		4QAMs	4QAM	8PSK	16QAM	32QAM	64QAM	128QAM	256QAM
7	BER=10 <sup>-6</sup>	-93	-89	-86,5	-83,5	-81	-78,5	-77	-74
	BER=10 <sup>-10</sup>	-91	-87	-84,5	-81,5	-79	-76,5	-75	-72
14	BER=10 <sup>-6</sup>	-90,5	-88,5	-84,5	-82	-78,5	-76,5	-74	-71
	BER=10 <sup>-10</sup>	-88,5	-86,5	-82,5	-80	-76,5	-74,5	-72	-69
28	BER=10 <sup>-6</sup>	-87,5	-86	-80,5	-79	-75,5	-73,5	-71,5	-68,5
	BER=10 <sup>-10</sup>	-85,5	-84	-78,5	-77	-73,5	-71,5	-69,5	-66,5
56	BER=10 <sup>-6</sup>	-85	-83,5	-78	-77	-73,5	-72	-69	-65,5
	BER=10 <sup>-10</sup>	-83	-81,5	-76	-75	-71,5	-70	-67	-63,5



## ANEXO – D

### Umbral de Velocidad en Modulaciones - Video

CHANNEL SPACING [MHz]	MODULATION	FRAME SIZE [byte]					
		64	128	256	512	1024	1518
<b>7</b>	4QAMs	10.1	9.4	9.1	8.9	8.7	8.7
	4QAM	12.5	11.6	11.2	11.0	10.8	10.7
	8PSK	17.1	16.0	15.4	15.1	14.8	14.7
	16QAM	24.3	22.7	21.8	21.4	21.0	20.9
	32QAM	29.3	27.4	26.4	25.8	25.4	25.2
	64QAM	36.3	33.8	32.6	31.9	31.3	31.2
	128QAM	40.7	38.0	36.6	35.8	35.2	35.0
	256QAM	47.9	44.7	43.0	42.2	41.4	41.2
<b>14</b>	4QAMs	20.3	18.9	18.2	17.8	17.5	17.4
	4QAM	24.2	22.6	21.7	21.3	20.9	20.8
	8PSK	33.7	31.4	30.3	29.6	29.1	29.0
	16QAM	47.6	44.5	42.8	41.9	41.2	41.0
	32QAM	59.7	55.8	53.7	52.6	51.6	51.4
	64QAM	71.5	66.7	64.2	62.9	61.8	61.5
	128QAM	83.1	77.6	74.7	73.2	71.9	71.5

