

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**PLANEAMIENTO Y DISEÑO DE UN ENLACE INALÁMBRICO –
BANDA 5.8GHz**

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

**PRESENTADO POR:
CÉSAR AUGUSTO HUAMANÍ HERRERA**

**PROMOCIÓN
2006-I**

**LIMA-PERU
2010**

**PLANEAMIENTO Y DISEÑO DE UN ENLACE INALÁMBRICO –
BANDA 5.8GHz**

SUMARIO

La posibilidad de extender un Área de Red Local (LAN), establecer accesos punto a punto entre sedes de una misma empresa bajo un determinado costo-beneficio, alcanzar puntos geográficamente estratégicos a fin de brindar servicios convergentes (datos, voz y video) y/o enlazar estaciones remotas al nodo principal de una red específica, son las principales aplicaciones prácticas que tiene un enlace microonda en la banda de 5.8GHz.

El gran crecimiento en la demanda por obtener servicios de interconexión de datos, servicios de telefonía IP, servicios de telefonía digital y/o acceso a la internet requieren, en la mayoría de casos, un despliegue de conexiones físicas de cableado de fibra óptica, cobre o coaxial desde el TELCO a los clientes finales. Es factible encontrar redes tendidas de fibra, cobre o coaxial en Lima Metropolitana, el problema surge cuando se requiere llegar a zonas como los conos e inclusive dentro de Lima Metropolitana en zonas donde se presente saturación de fibra óptica, en los MDF del cableado de cobre o en la Red HFC.

La alternativa de brindar un acceso con altas funcionalidades, rápida instalación y un equilibrio entre el costo-beneficio se puede encontrar con la tecnología inalámbrica, para nuestro caso de estudio se busca documentar la planificación y el diseño de un enlace microondas en la banda de 5.8GHz.

La versatilidad del sistema para adaptarse a diferentes escenarios lo hace propicio para soluciones que requieran un rápido despliegue de cobertura y en muchos de los casos una alta confiabilidad en el servicio.

DEDICATORIA:

A mi madre, fuente inicial de voluntad,
dedicación y perseverancia.

A la vida, fuente constante de
inspiración, aprendizaje y verdad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Objetivos del trabajo	4
1.3. Evaluación del problema	4
1.4 Alcance del trabajo	4
1.5 Síntesis del trabajo	4
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Breve resumen histórico	5
2.2 Conceptos básicos de las Ondas Electromagnéticas	8
2.2.1 La Onda Electromagnética	8
2.2.2 Propiedades de las Ondas Electromagnéticas	10
2.2.3 Propagación de las Ondas Electromagnéticas	12
2.3 Enlace Microondas	18
2.3.1 Ecuación de Friis	19
2.3.2 Zona de Fresnel	20
2.3.3 Technical Site Survey	22
CAPITULO III	
INGENIERÍA DEL PROYECTO	25
3.1 Banda no licenciada 5.8GHz	25
3.1.1 Artículo 28 del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones.....	26
3.1.2 Características importantes	27
3.1.3 Equipamiento	29
3.1.4 Modelo de Equipos.....	32
3.2 Escenarios de solución.....	34
3.2.1 Enlace punto a punto.....	34
3.2.2 Enlace punto multipunto	35
3.3 Consideraciones de diseño	36
3.3.1 Planeamiento	37
3.3.2 Estudio de Maqueta.....	38

3.3.3	Estudio de Campo	41	
3.3.4	Presentación de resultados	43	
CAPITULO IV			
COSTOS DEL PROYECTO			47
4.1	Enlace punto a punto.....	47	
4.2	Enlace punto multipunto	49	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES			50
ANEXO A			
MODELO DE CHECK LIST			52
ANEXO B			
WINKLINK 1000			55
ANEXO C			
FOTOS DE EQUIPOS E INSTALACIONES REALIZADAS.....			60
ANEXO D			
GLOSARIO DE TÉRMINOS			65
BIBLIOGRAFÍA			68

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende documentar el desarrollo teórico-práctico para el establecimiento de un enlace microonda en la banda de 5.8GHz, la cual es una banda no licenciada de acuerdo al actual TEXTO ÚNICO ORDENADO DEL REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DE TELECOMUNICACIONES (DECRETO SUPREMO N° 020-2007-MTC), en adelante TUO.

La posibilidad de establecer enlaces inalámbricos facilita el acceso hasta el usuario final (cliente) en los casos donde la cobertura de la red física es limitada o nula, con la tecnología inalámbrica se ha venido implementando accesos de última milla de manera rápida, confiable y segura, teniendo como parámetros de diseño: el área a cubrir, frecuencia a utilizar, potencia máxima permitida por el MTC, duración del enlace, etc.

En la actualidad la tecnología inalámbrica se viene usando para establecer enlaces definitivos como una opción frente a los posibles costos elevados que implica brindar servicios de telecomunicaciones a sitios remotos o de difícil acceso a través de un determinado cableado (fibra, cobre), que conlleva a realizar canalización, obras civiles y tareas afines, dificultando y dilatando la instalación final.

La solución o alternativa inalámbrica no sólo se aplica para enlaces definitivos, también se desarrollan para enlaces temporales frente a los tiempos dilatados de un enlace de última milla en fibra óptica, cobre o cable coaxial, originados por la demora en los permisos vecinales, municipales o por el simple retraso en la importación de los materiales y/o equipos de última milla.

En este documento se presentarán las ventajas de optar por la banda de 5.8GHz (5.725GHz – 5.850GHz) y se desarrollará el diseño de un enlace punto a punto que es pieza clave en los diferentes escenarios que se puede tener utilizando la tecnología inalámbrica.

El primer capítulo se refiere al planteamiento del problema, la explicación del mismo, así como también, definir el objetivo central del tema desarrollado.

El segundo capítulo presenta la parte teórica necesaria para entender los aspectos técnicos tratados en el documento, mencionando las características de las ondas electromagnéticas y describiendo los términos propios de un enlace inalámbrico. El tercer capítulo considera el aspecto técnico de la implementación del acceso inalámbrico como última milla, backhaul, enlaces punto a punto y afines.

El cuarto capítulo analiza y presenta los costos involucrados en el equipamiento e implementación de diferentes escenarios que son planteados como ejemplos de solución del tema desarrollado.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

Esta sección se inicia con la definición del problema, considerando la necesidad primaria de establecer comunicación entre dos puntos o sedes extremas para su interconexión respectiva. Se delimitan los objetivos, alcances y se termina con la síntesis respectiva del trabajo.

1.1 Descripción del Problema

Se plantea como problema, en la implementación de una última milla por parte de un proveedor o en la interconexión entre dos sedes de una empresa en particular, lo siguiente:

1. Cobertura limitada o nula, por parte del proveedor de servicios, en la red de cableado física existente, generando la demora en la entrega final del servicio o en su defecto la imposibilidad de brindar el mismo.
2. Tiempos cortos para la entrega final del servicio, originado por directivas internas de la empresa dentro de un marco de objetivos comunes.
3. Costos elevados en el tendido de una nueva red cableada, por parte del proveedor o de la misma empresa que solicita el servicio.

	Fibra SM			
	\$	Días	Enlace 2Km	Enlace 5Km
Canalizado 12f/metro Lineal	45.00	30-50	90000.00	225000.00
Aéreo 12f/metro lineal	39.00	25-35	78000.00	195000.00

Tabla 1.1 Costos aproximados de material e instalación de fibra óptica

La demora en la entrega del servicio se ocasiona por los tiempos elevados en la generación de permisos municipales y/o vecinales, debido a la instalación de un nuevo tendido de cable de fibra, cobre o coaxial desde el terminal más cercano hasta la sede del cliente (acometida). Los costos elevados se relacionan con la distancia entre ambos puntos extremos que se pretenden enlazar.

La imposibilidad de brindar el servicio se genera, entre otros, por la no rentabilidad del requerimiento, debido a los altos costos que involucra tender una nueva red física de cableado a fin de llegar a la sede del cliente. Para el caso de una empresa en particular

que requiera interconectar dos sedes o más, a través de un tendido de fibra óptica, se puede ver limitado por un tema de permisos municipales.

1.2 Objetivos del trabajo

Presentar una alternativa de solución temporal y/o definitiva para la interconexión entre una o más sedes, bajo el escenario de una red corporativa en el entorno empresarial o como red de backhaul dentro de un proveedor de servicios.

1.3 Evaluación del problema

Básicamente es todo lo que se entiende por cobertura limitada o nula, ya sea de un proveedor de servicios o dentro del área de recursos de red en una empresa.

Es la escasa cobertura o el difícil acceso a un determinado punto o sede dentro del área designada como zona comercial. La implicancia que tiene el no contar con cobertura de cableado, es de aislar a una sede en particular de la tecnología convergente corporativa de una empresa. Por lo tanto, dependiendo de los aplicativos y del tráfico que se tiene entre sedes, se necesita dimensionar un BW que deberá cursar a través de los diferentes accesos instalados con la transparencia del caso hacia el usuario final, es decir no es lo mismo brindar un enlace dedicado con un BW asegurado al 90% o 100% frente a un enlace asimétrico con un BW asegurado al 10% o 20%.

Si bien es cierto que se tienen algunas limitantes debido a que la banda de 5.8GHz (5.725GHz – 5.850GHz) según el TUO es considerada banda no licenciada y por ende sujeta a interferencias de otros usuarios, no excluye el uso de esta tecnología para la interconexión de sedes y/o red backhaul hacia un nodo principal. Las soluciones inalámbricas en la banda de 5.8GHz proporcionan conectividad de gran capacidad de hasta 48Mbps, permitiendo manejar tráfico según el estándar IEEE 802.3, así como el manejo de tráfico TDM a través de la interfaz E1/T1 (G.703).

1.4 Alcance del trabajo

El presente trabajo pretende ser útil en la implementación y establecimiento de un enlace inalámbrico en la banda de 5.8GHz. Cubriendo no solo la parte técnica, sino también como texto de consulta para el afinamiento en campo de las instalaciones a realizar.

1.5 Síntesis del trabajo

Se plantea el escenario básico de un esquema punto a punto para la interconexión entre dos sedes, sobre el cual se desarrollará la parte de la planificación y diseño del enlace inalámbrico, brindando prácticas y recomendaciones para la correcta implementación del mismo. Este escenario sirve de base para cualquier enlace inalámbrico a realizar en esta banda. El equipamiento utilizado, principalmente, es de la marca RADWIN.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

El gran crecimiento de las empresas corporativas y su expansión geográfica en Lima Metropolitana y/o provincia exige una implementación dinámica y versátil de la última milla a fin de interconectarlas, formando de esta manera la red de acceso que servirá de plataforma para el tráfico de aplicaciones y servicios.

En este capítulo se revisará el marco teórico que se inicia con el resumen de la evolución de las telecomunicaciones, se explicará aspectos fundamentales de la teoría electromagnética como su propagación, características y comportamiento. También se considera importante desarrollar aspectos relacionados a un enlace microonda.

2.1 Breve resumen histórico

La necesidad de establecer comunicación siempre ha existido desde tiempos inmemoriales y el hombre ha sido partícipe en cada una de las etapas que forma la historia, desde las pinturas rupestres, pasando por las señales de humo hasta la invención del telégrafo óptico a partir de la revolución francesa, entre otras invenciones que son hitos dentro de este universos llamado Telecomunicaciones. El telégrafo óptico tuvo su desarrollo en Francia a finales del siglo XVIII, recordemos que el telégrafo óptico era un aparato para escribir a grandes distancias. El telégrafo óptico se colocaba sobre la cima de torres para que pueda ser visto desde otras torres y poder replicar las señales que eran dadas por un mecanismo especial operado por una o varias personas, una vez que se empezaba a transmitir se establecían tiempos de permanencia de cada símbolo a transmitir, siendo 20 segundos el tiempo más común.

Telégrafo	
Óptico	Eléctrico
Operado mecánicamente	Operado eléctricamente
Siglo XVII	Siglo XIX

Tabla 2.1 Telégrafo óptico y eléctrico

En 1794 se alcanzó transmitir el primer telegrama de la historia entre Lille y Paris a lo largo de 230 kilómetros y 22 torres, ayudados por los objetos ópticos que permitían tener una mejor visión a distancias mayores, reduciendo de esta manera el números de torres a utilizar. Francia de esta manera llegó a tener su primera red de telegrafía a lo largo de

casi 5000 kilómetros. Años después (1798 - 1844) se extendió a España, siendo los proyectos más trascendentales: La telegrafía óptica en España, el proyecto Betancourt, el telégrafo militar de Cádiz, la red telegráfica catalana, entre otros. El inicio de la Telegrafía eléctrica propuso el ocaso de la telegrafía óptica, y se desarrolló a mediados del siglo XIX principalmente en los países europeos, en 1851 en Francia, en 1855 en España y en los Estados Unidos empezó en 1837, a través de la entidad privada, siendo la Western Union Telegraph la más importante. A diferencia de su predecesor óptico, el telégrafo eléctrico utilizaba una batería que electrificaba la línea de transmisión tendida entre los puntos que se quería cubrir en información, con la ayuda de un manipulador o interruptor se producían las diferentes claves que en el otro extremo eran perfectamente entendidas y plasmadas en una cinta de papel. Lo que en realidad se transmitían eran claves o códigos, siendo el más usado el código Morse.

Teléfono	
Teletrófono	Teléfono
Antonio Meucci	Alexander Graham Bell & Elisha Gray
1870	1876

Tabla 2.2 Teletrófono y Teléfono

Otra invención importante en la historia de la telecomunicación es el teléfono. Apareció en 1876 y a diferencia del telégrafo puede ser operado sin necesidad de recurrir a un especialista debido a que se transmite voz humana a través de señales eléctricas cubriendo distancias muy grandes con la ayuda de la red conmutada telefónica. Se tienen las primeras redes en Europa tanto en Londres como en París en el transcurso del año 1879. En Estados Unidos ya se tienen dos empresas privadas importantes: La Western Union y Bell Telephone las cuales cubrían la parte urbana firmando un acuerdo de no intromisión entre ellas. En un inicio la red de telefonía tuvo inconvenientes cuando se trató de interconectar sedes interurbanas debido a problemas que se hallaron en el tendido de los postes y algunas características técnicas en los equipos de telefonía, encontrando solución en el estado de cada uno de los países tales como Francia y el Reino Unido en el año 1889 y 1912 respectivamente. La autoría de la invención de la radio la tiene Alexander Graham Bell al igual que Elisha Gray, sin embargo en el año 2002 (11 de Junio) los Estados Unidos aprobó una resolución (N° 269) otorgando el título de inventor a Antonio Meucci. El italiano había conseguido en 1856 construir el primer teléfono electromagnético para posteriormente inventar el teletrófono en 1870, aproximadamente 6 años antes que Bell patentará el primer teléfono. El avance de la electrónica y la invención de los tubos al vacío permitieron la creación de la radio siendo

uno de los inventos de mayor trascendencia en la comunicación masiva. Se inició a principios del siglo XX para fines de navegación y ayudó a las embarcaciones en la transmisión de señales de ayuda, en el entorno bélico tuvo un aporte importante gracias al desarrollo de la radiodifusión y con el avance de las investigaciones se descubrió la propagación ionosférica de las ondas electromagnéticas para establecer comunicaciones de magnitud intercontinental. La ventaja de la radio es que no usa un medio físico para transportar la voz, utiliza el aire o el espacio vacío para propagar las ondas electromagnéticas lo cual permite su mayor diversificación a través de un simple aparato receptor.

La radio llegó a conseguir una comunicación intercontinental al situar un repetidor en una estación satelital, recordemos que el primer satélite artificial fue lanzado por la Unión Soviética en 1957, el Sputnik 1, seguidamente por la NASA en 1960, el Echo 1. Aunque recién en 1958 se puede considerar al Score como el primer satélite de comunicaciones, posteriormente se consiguió ubicar al satélite siguiendo una órbita estacionaria (ubicada a 36000 Km de altura y con una velocidad angular igual o parecida a la de la tierra se cubría la tercera parte de la superficie terrestre), como ejemplo tenemos el Syncom 3 (permitió en 1964 la transmisión por televisión de los juegos olímpicos de Tokio). Intelsat fue la primera organización en enviar al espacio el primer satélite geostacionario con fines o propósitos comerciales.

Transistor
Apareció en 1947, siendo la primera familia los transistores de juntura o BJT, luego la familia MOSFET, siendo utilizados en amplificadores de potencia y en micro electrónica.

Tabla 2.3 El Transistor

El transistor fue uno de los inventos que permitió el desarrollo y despunte de la electrónica, apareció en diciembre de 1947 en los Laboratorios Bell de los Estados Unidos (John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Bradford Shockley fueron galardonados con el premio nobel de física en 1956 por este logro). Con esta nueva tecnología la informática apareció, naciendo la red conmutada de paquetes, ya que no se podía utilizar la misma red conmutada de circuitos de telefonía, aunque en 1969, el Departamento de Defensa, a través del ARPA creó una red experimental de conmutación de paquetes utilizando las líneas telefónicas. Posteriormente la red experimental daría los inicios a lo que hoy conocemos como la Internet. La Internet y la informática requerían una gran cantidad de canales de transmisión, canales que no podían ser provistos por la, entonces, red conmutada de circuitos de telefonía, debido a que se necesitaban transmitir señales digitales, esto pudo ser posible con la creación de la fibra óptica que permitía el

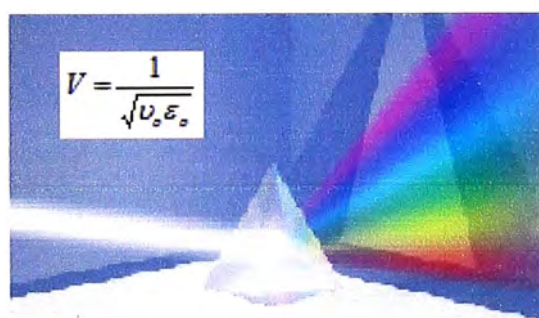
paso de la luz a grandes distancias, logrando de esta manera transmitir no sólo información conocida como datos, sino también software o aplicativos que permiten brindar nuevos servicios satisfaciendo nuevas necesidades en el mercado informático. Pronto, se descubrió y diseñó nuevas aplicaciones, como el protocolo TCP/IP, originado en la década del 60, el cual sugería una serie de pasos a seguir para el establecimiento de una comunicación confiable y segura. La internet tuvo en 1981 aproximadamente unos 213 ordenadores conectados, 1000 en los siguientes dos años, 100,000 en 1989, 1 millón en 1992 y alrededor de 56 millones antes de finalizar el siglo XX. Paralelamente al crecimiento y mejoramiento de la red fija, la red móvil se hacía presente en la comunicación por radio, tanto en aplicaciones marítimas como en aplicaciones terrestres (servicio policial), en la década del 70, tanto en Europa como en USA, apareció la tecnología celular, la primera banda de frecuencia utilizada fue 800MHz (se sub-dividió en dos mitades: Banda A, para operadores locales, y Banda B, para compañías telefónicas locales), luego se comercializarían a nivel mundial las bandas de 200MHz, 450MHz, 900MHz, 1800MHz y 1900MHz. La tecnología móvil permitió desarrollar, con la internet, un sin fin de aplicaciones personales y corporativas, ya que permitía la conexión de diferentes equipos terminales (agendas electrónicas, computadores portátiles, juegos, telefonía móvil análoga y digital) al mundo de la internet o entre otros dispositivos, permitiendo el acceso en cualquier parte de la región cubierta por la señal móvil.

2.2 Conceptos básicos de las Ondas electromagnéticas

La onda electromagnética (OEM), está regida por las ecuaciones de James Clerk Maxwell, quién investigó sobre la luz visible y propuso que está formada por OEM..

2.2.1 La Onda electromagnética

Una OEM es la agitación, perturbación o alteración de los campos eléctricos y magnéticos cuando se realiza de manera simultánea y dentro de una misma región espacial. La figura 2.1 muestra la luz atravesando un prisma, también se observa la expresión de la velocidad de la luz en el vacío.



$$\mu_0 : \text{permeabilidad magnética} = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$\epsilon_0 : \text{permeabilidad eléctrica} = 8.85 \times 10^{-12}$$

Figura 2.1 Luz atravesando un medio como el Prisma

La agitación es producida al nivel de una carga eléctrica, al provocarse la excitación de la carga se genera la onda electromagnética, la cual tiene un campo eléctrico y un campo magnético como componentes, tal y como se aprecia en la figura 2.2. Los dos campos que componen la OEM se desplazan o propagan de manera independiente y ortogonalmente entre si, ocasionando que sus propiedades y componentes nunca se combinen siendo, esto último, una característica importante. En la figura 2.3 se aprecia una tabla con el resumen de las ecuaciones de Maxwell.

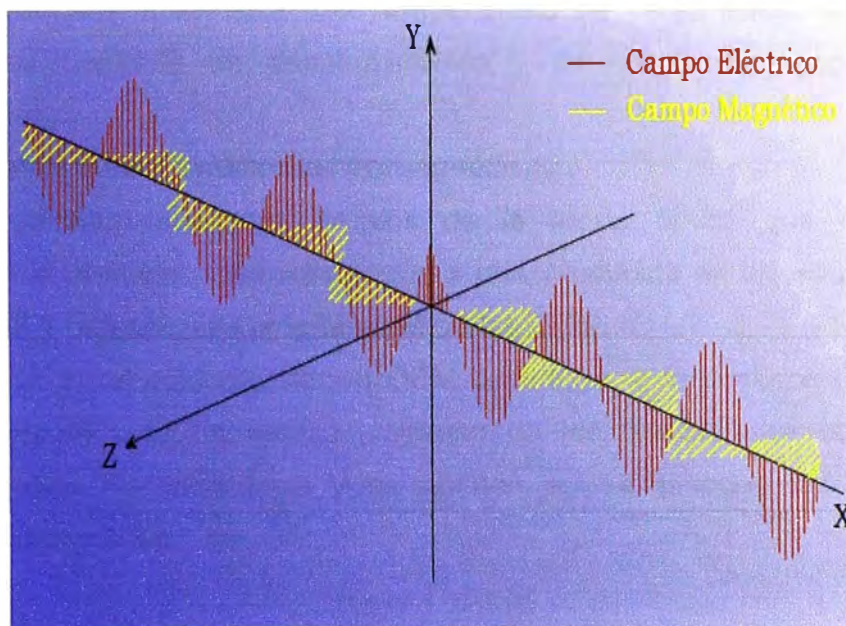


Figura 2.2 Onda Electromagnética (OEM)

Nombre	Forma diferencial	Forma integral
Ley de Gauss:	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$
Ley de Gauss para el campo magnético:	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
Ley de Faraday:	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$
Ley de Ampere generalizada:	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s}$

Figura 2.3 Ecuaciones de Maxwell

La ley de Gauss, establece que el campo eléctrico de una estática es la fuerza de acción de esta misma, las líneas de fuerza de entrada tendrán el mismo número igual a las salientes. La ley de Gauss para el campo magnético, garantiza la inexistencia de un monopolo magnético.

La Ley de Faraday indica que en un campo magnético que se desplaza en el tiempo a través de un conductor cerrado, genera en este un campo eléctrico rotacional e induce un campo magnético de menor tamaño.

La ley de Ampere, manifiesta que la intensidad de carga eléctrica en movimiento asociado a una corriente de desplazamiento y de conducción genera un campo magnético rotando.

2.2.2 Propiedades de las ondas electromagnéticas

Existen anomalías o efectos propios de la teoría óptica que diferencian una propagación en la atmósfera terrestre frente a una producida en el espacio libre y en el vacío, la figura 2.4 presenta las propiedades de las OEM.

Todo proceso en el cual intervienen OEM da a lugar a fenómenos conocidos por la teoría óptica debido a la naturaleza particular de las ondas, tales como: refracción, reflexión, difracción e interferencia y se pueden aplicar a todas las radiaciones del espectro electromagnético.

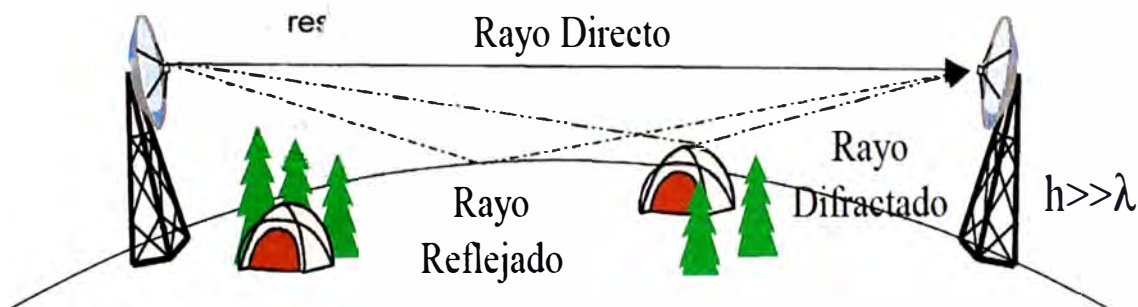


Figura 2.4 Propiedades de las ondas electromagnéticas

a. Difracción

La difracción se produce cuando una onda encuentra un obstáculo y bordea o contornea la superficie del mismo. La difracción consiste en la dispersión y curvado de las ondas cuando alcanzan o encuentran un obstáculo siempre, entendiéndose como la redistribución de la energía dentro de un frente de onda. Esto ocurre cuando la longitud de onda sea mayor o comparable a las dimensiones del objeto. Un ejemplo común es cuando se abre la puerta de un cuarto oscuro, los rayos de luz se difractan en torno a la orilla de la puerta iluminando lo que hay detrás de ella.

b. Reflexión

Cuando una onda incide sobre la superficie que separa dos medios distintos, parte o toda la energía de la onda no se propaga al segundo medio, sino que se refleja en

sentido contrario a la propagación de la onda inicial. La parte que se llega a transmitir se conoce como onda transmitida, mientras que la parte que no se propaga es llamada Onda reflejada, siendo esto último el proceso de la reflexión. Se mantiene constante la velocidad angular (frecuencia) y llega a variar la longitud de onda.

c. Refracción

El fenómeno de refracción es la desviación o cambio de dirección que experimenta una onda cuando pasa o atraviesa de un medio a otro. Esto ocurre siempre y cuando la onda que incide lo hace de manera oblicua sobre la superficie de separación de los medios y si estos poseen índices de refracción distintos. Un ejemplo común se tiene cuando se sumerge un lápiz en un vaso con agua, el lápiz parece como si estuviera quebrado o formado por dos lápices plegados.

d. Superposición e Interferencia

El resultado del encuentro y coincidencia de dos ondas en un punto o región del espacio es una nueva onda, el fenómeno producido se conoce con el nombre de superposición de ondas, el resultado de la superposición de dos o más ondas se denomina interferencia, estando sujeta al principio de superposición lineal.

Para hallar la intensidad del campo eléctrico resultante se procede a realizar la suma vectorial del campo eléctrico de cada una de las ondas que participan de la superposición. La fase resultante determina la dirección del nuevo vector del campo eléctrico, mientras que la magnitud resultante determina el valor de su intensidad, pudiendo ser mayor o menor a cualquiera de los dos vectores iniciales. De esto último, se deduce que la OEM resultante puede ser anulada o reforzada.

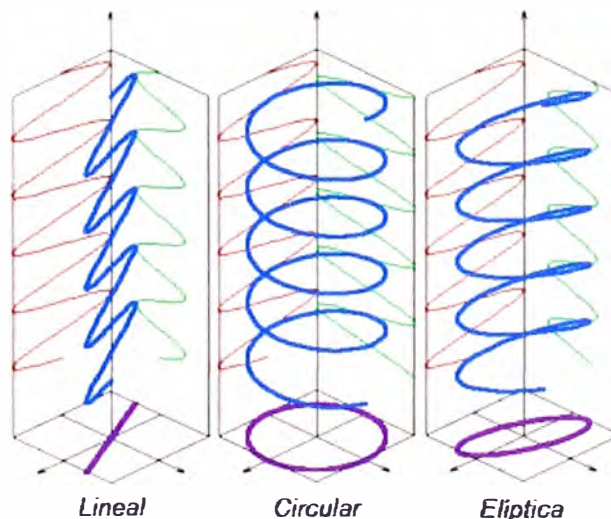


Figura 2.5 Tipos de polarización

e. Polarización

La polarización en las OEM es un fenómeno que se manifiesta a través de la oscilación del campo eléctrico en un plano determinado (Plano de polarización), este

plano estaría formado por un vector paralelo a la dirección de propagación de la onda y por otro vector perpendicular a la misma. Por convenio se decide estudiar la polarización electromagnética en base al campo de eléctrico, además por que el campo magnético es perpendicular y proporcional al campo eléctrico. Los tres tipos de polarización más conocidos: Lineal, circular y elíptica, se muestran en la figura 2.5, se aprecia claramente que la polarización se determina sobre la superficie que es perpendicular a la dirección de propagación.

2.2.3 Propagación de las ondas electromagnéticas

La de propagación de OEM se refiere al desplazamiento de las ondas en el espacio libre, entiéndase esto como el vacío o a través de la atmósfera terrestre con la introducción de pérdidas de la señal, propias de la atmósfera. La propagación de las ondas se produce al existir un sistema emisor-receptor, diseñados de acuerdo a la distancia y el nivel de señal esperado. A fin de entender como viaja una OEM el concepto de frente de onda es importante, de acuerdo al principio de Huygens, un frente de onda puede ser considerado como un número infinito de pequeñas ondulaciones secundarias, cada una radiando energía en la misma forma que la fuente primaria, así produciendo un frente de onda secundario, es decir todo punto alcanzado por una onda se comporta como un emisor de ondas. En otras palabras, el frente de onda se podría considerar como una superficie imaginaria que une todos los puntos en el espacio, que son alcanzados en un mismo instante por una onda que se propaga en un medio, por consiguiente todos los rayos que tienen la misma fase. En 1678 Huygens propuso la naturaleza ondulatoria de la luz basándose en los frentes de ondas, los rayos de propagación y las propiedades de la luz, en contraposición a la teoría corpuscular de Newton. La figura 2.6 ilustra el principio de Huygens, se puede observar que para un rayo de luz dado se tiene un clon de la fuente emisora formando de esta manera un lugar geométrico denominado onda expandida, repitiéndose para llegar del punto A al punto B.

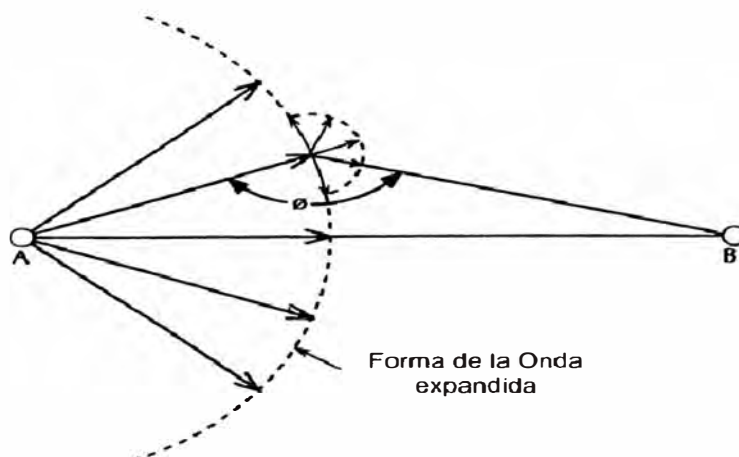


Figura 2.6 Principio de Huygens

Dependiendo de la superficie que se tiene respecto a la dirección de propagación se puede tener un frente de onda plana, frente de onda originado por una fuente puntual o un frente de onda esférico, las figuras 2.7, 2.8 y 2.9 ilustran lo mencionado.

El frente de onda esférico nos sirve para medir el frente de onda aberrado y medir el error entre la esfera gaussiana (frente de onda esférico) y el frente de onda aberrada, tal y como se aprecia en la figura 2.10.



Figura 2.7 Frente de onda plana

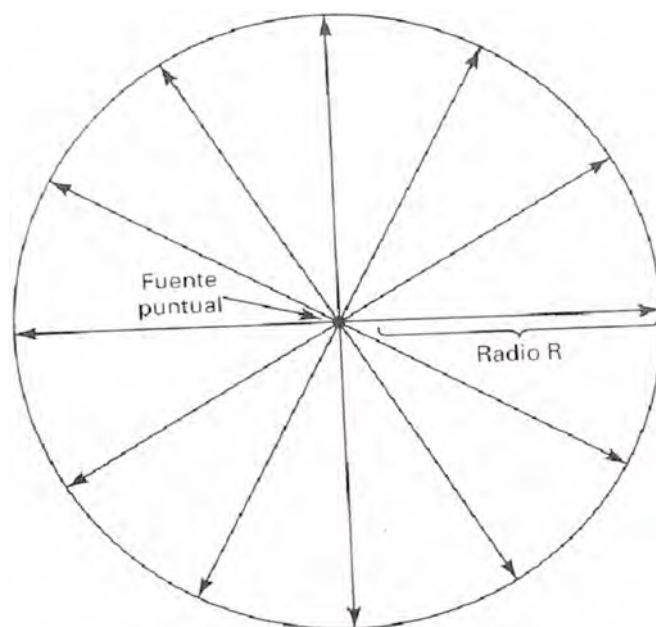


Figura 2.8 Frente de onda de una carga puntual

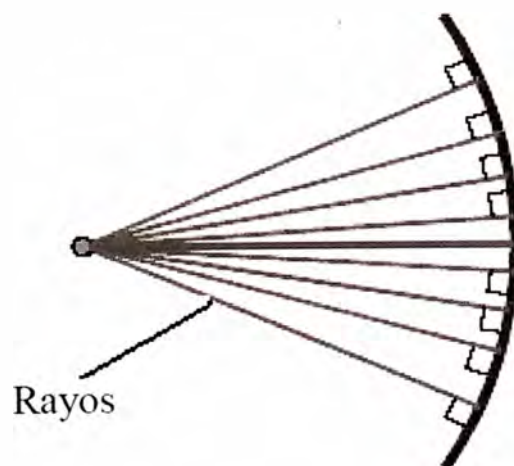


Figura 2.9 Frente de onda esférico

La OEM se propaga a través de cualquier material dieléctrico, también el aire, pero no se propagan bien a través de conductores con pérdidas como el agua de mar ya que los campos eléctricos hacen que fluyan corrientes en el material disipando con rapidez la energía de las ondas.

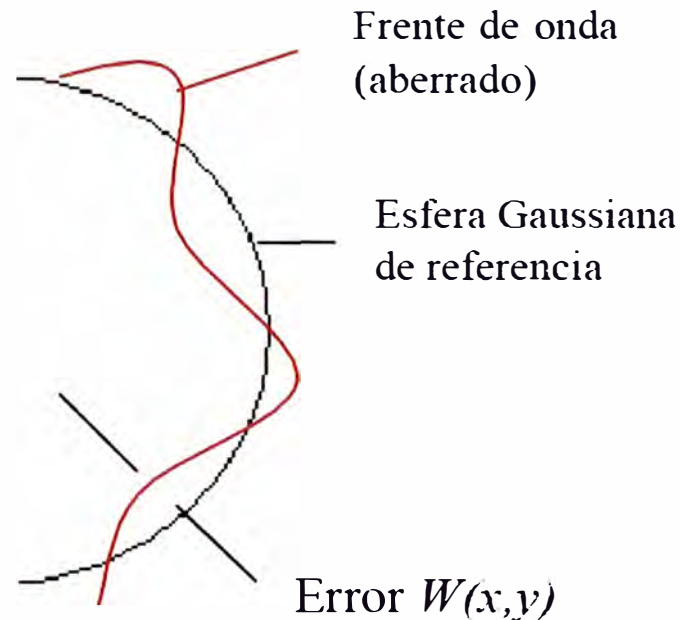


Figura 2.10 Frente de onda aberrado

Como se mencionó anteriormente, las OEM se propagan a través del espacio libre y del vacío, en el primer caso se presenta una característica importante llamada pérdida de la señal en el espacio libre. Esta pérdida se manifiesta a través de la absorción de energía por parte de las partículas que se encuentran en la atmósfera y también se presenta en la atenuación debido a la dispersión propia de las ondas cuando se propagan a través del medio.

La Ley del cuadrado inverso refleja matemáticamente la atenuación en el medio de una OEM cuando se propaga y nos indica que la densidad de potencia se reduce con la distancia hacia la fuente. Se debe entender la atenuación no como una pérdida de potencia sino como la extensión del frente de onda cada vez más sobre un área de mayor cobertura, y esto es propio de la dispersión esférica de la onda.

La absorción, como se mencionó, se produce debido a que el espacio libre está compuesto por átomos y moléculas que llegan a absorber energía de la OEM, a diferencia de la atenuación, la energía absorbida no se recupera ocasionando una reducción en la intensidad del campo eléctrico, del campo magnético y por ende en la densidad de potencia. La absorción de una onda está relacionada con su frecuencia, la figura 2.11 nos muestra que a frecuencias menores a 10GHz la absorción por el medio no es considerada, caso contrario sucede a frecuencias superiores a 10GHz, siendo los medios más perjudiciales: Lluvia, neblina y vapor de agua.

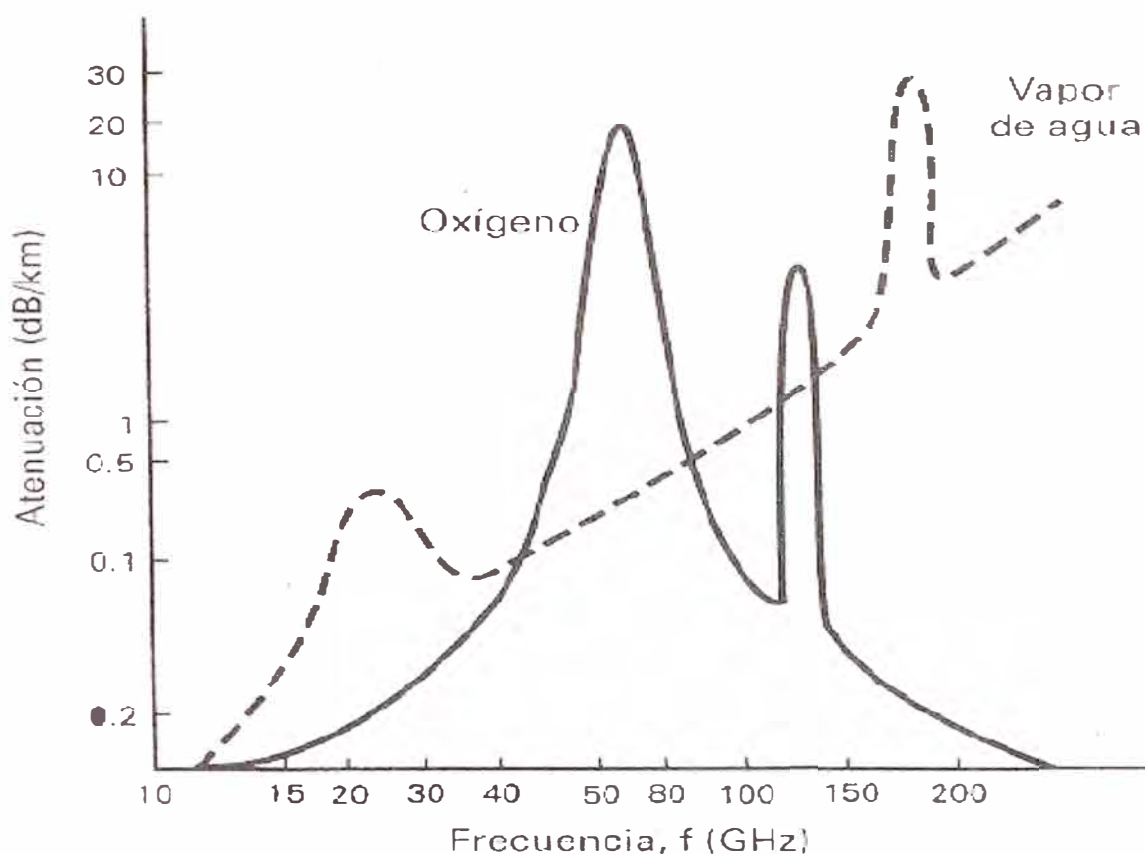


Figura 2.11 Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas

La absorción, como se mencionó, se produce debido a que el espacio libre está compuesto por átomos y moléculas que llegan a absorber energía de la OEM, a diferencia de la atenuación, la energía absorbida no se recupera ocasionando una reducción en la intensidad del campo eléctrico, del campo magnético y por ende en la densidad de potencia.

Las ondas pueden propagarse de diferentes formas, dependiendo del medio y el sistema microonda ligado al previo diseño, la figura 2.12 nos muestra las formas básicas de propagación de las OEM el cual es establecido entre dos antenas formando un enlace punto a punto.

Se pueden clasificar las formas en que se propagan las OEM en: Ondas terrestres, ondas espaciales y ondas del cielo.

A frecuencias por debajo de 1.5MHz, las ondas terrestres proporcionan una mejor cobertura (las pérdidas terrestres se incrementan con las frecuencias), para altas frecuencias se utilizan ondas del cielo, y por último aplicaciones de ondas espaciales las podemos encontrar para frecuencias muy altas o superiores.

a. Propagación terrestre

La propagación terrestre se utiliza frecuentemente para la comunicación marítima entre dos barcos o de una embarcación a tierra, como su propio nombre lo dice son ondas que viajan a través de la superficie terrestre, sólo podrán propagarse las ondas de

este tipo que se encuentren polarizadas verticalmente, a fin de evitar un corto circuito al polarizar la onda horizontalmente debido a la conductividad que presenta la tierra.

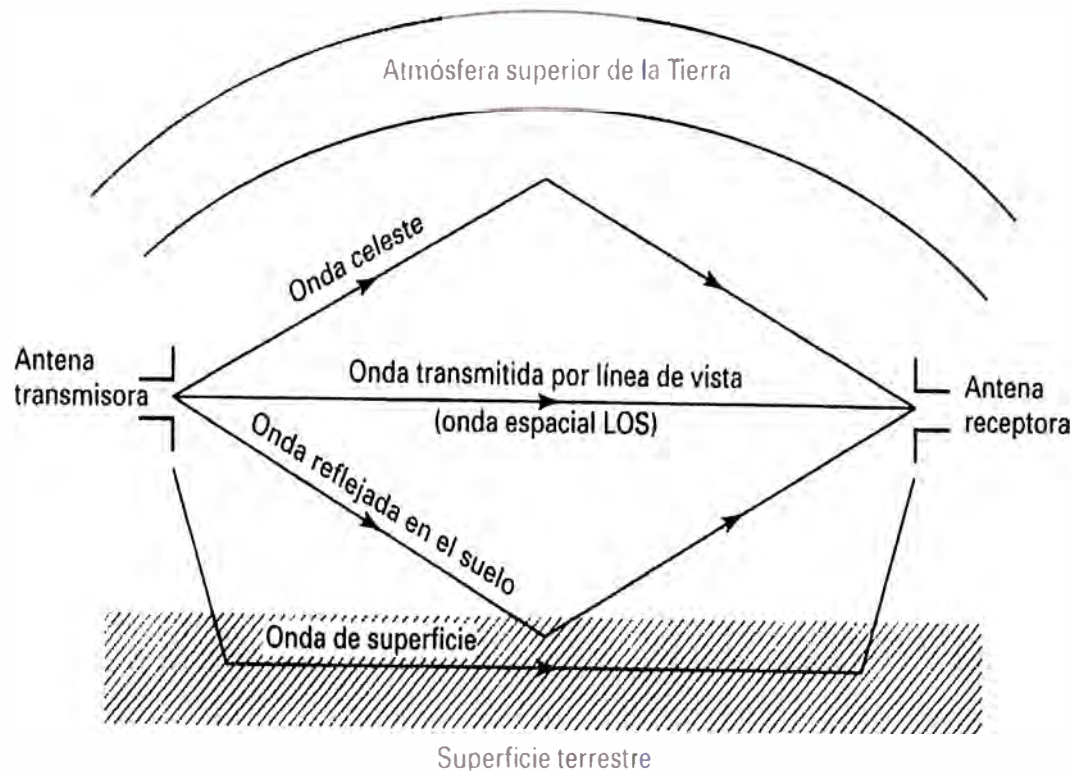


Figura 2.12 Propagación de las ondas electromagnéticas

La frecuencia utilizada se encuentra limitada en las bandas de VLF, LF y MF, siendo la máxima frecuencia a poder utilizar 2MHz.

A medida que las ondas terrestres se propagan se van atenuando debido a la resistencia y al material dieléctrico propia de la tierra, en caso se llegue a suministrar suficiente potencia, las OEM pueden ser transmitidas sin problema alguno llegando a alcanzar distancias considerables e inclusive a través de toda la superficie terrestre.

Una de las ventajas importantes es que permiten establecer comunicaciones entre dos puntos ubicados en cualquier parte del mundo, también las ondas terrestres no sufren muchos cambios debido a fenómenos climáticos o atmosféricos, su contraparte viene a ser el limitado uso en el espectro de frecuencias y las pérdidas se incrementan de acuerdo a la composición de la superficie de la tierra.

b. Propagación de ondas del cielo

También conocidas como propagación ionosférica, utiliza las capas que se encuentran en la ionósfera (región del espacio que se encuentra entre los 50 y 400Km de altura), el resultado de la interacción de la onda con los electrones libres de la ionósfera es el incremento de la velocidad de propagación y por consiguiente se produce el fenómeno de la refracción originando así la propagación de la onda a lugar muy distantes.

Como desventaja de este tipo de propagación tenemos que es posible recibir una misma onda dos veces debido a que una de ellas siguió un camino como onda de tierra y la otra como onda del cielo, esto se conoce con el nombre de efecto fading. Otro efecto conocido es el llamado "zona de oscuridad", donde no existe recepción debido a que no se ha producido la refracción, esto es ocasionado por la influencia del sol sobre la ionósfera. Se utiliza en la propagación de ondas que se encuentran en la banda de MF y HF (0.3MHz – 30 MHz). Las figuras 2.13 y 2.14 muestran la onda ionosférica y la onda terrestre.

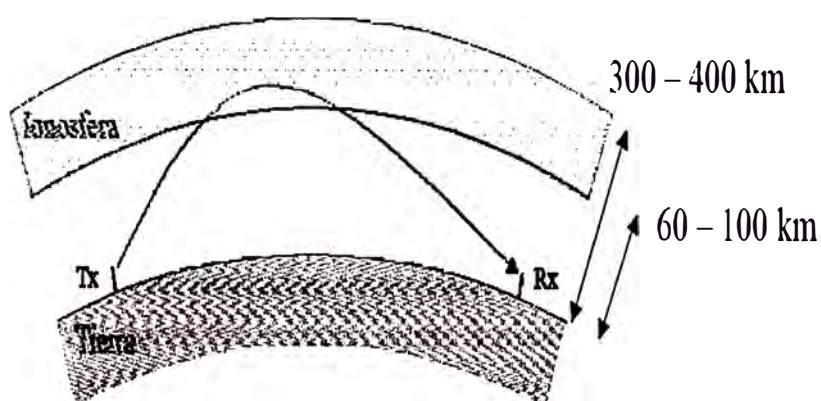


Figura 2.13 Propagación de las ondas del cielo

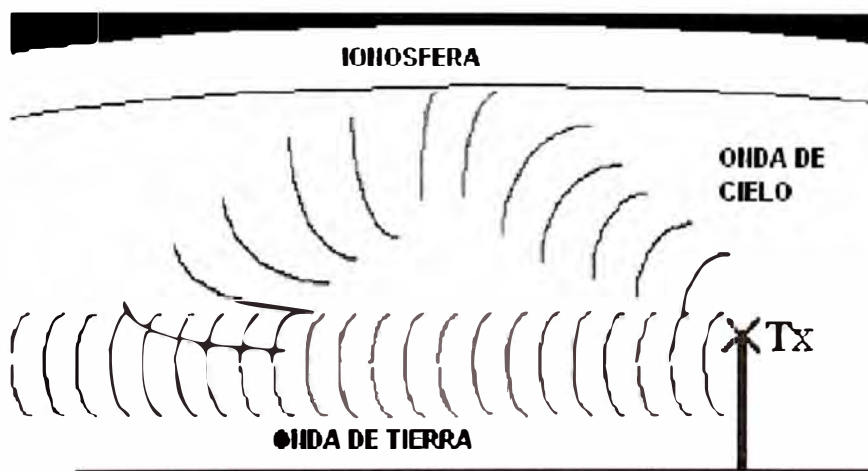


Figura 2.14 Propagación de la onda del cielo y la onda terrestre

c. Propagación de ondas espaciales

Este tipo de propagación engloba a la propagación por Línea de vista y la propagación por reflejo de tierra. Las primeras establecen enlaces directos entre dos antenas, y la condición importante es que exista línea visual y claridad entre ambas, mientras que las ondas reflejadas por la tierra, son ondas que se propagan entre las antenas por el reflejo de la tierra debido a sus propiedades dieléctricas.

La propagación de línea de vista (LOS) se muestra en la figura 2.15, se observa claramente que en caso se requiera asegurar la línea visual entre ambos puntos sólo

bastará con incrementar el tamaño de las torres o ubicar las antenas tan altas como sea posible. Se aplica para frecuencias muy elevadas (VHF) o ultraelevadas (UHF).

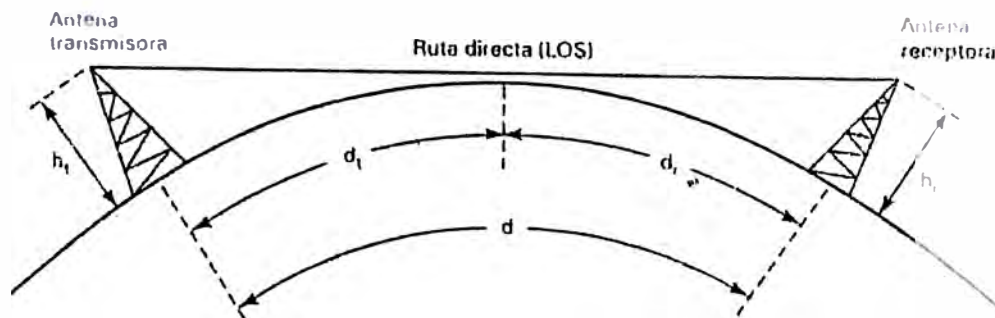


Figura 2.15 Propagación de línea de vista

2.3 Enlace microondas

Los enlaces por microondas nos permiten tener enlaces confiables, seguros y acorde al actual crecimiento mundial de los servicios de telecomunicaciones. Al igual que los enlaces por fibra pueden ser utilizados como parte de la red dorsal, backbone, backhaul y para el usuario final mediante los enlaces punto a punto, a diferencia de la fibra óptica los enlaces microonda tienen una inversión menor frente a lo costoso que puede resultar un tendido entre dos puntos, por ejemplo, separados por una loma o una huaca cultural dentro de la zona urbana. Aún más, el tiempo de implementación de un sistema microonda frente a una solución basada en fibra óptica, es menor debido a que los permisos municipales e importación de los materiales suelen dilatar la instalación sin considerar el mismo procedimiento.

La implementación y la puesta en marcha del servicio significan, para un TELCO, el inicio del ciclo de facturación y para el usuario final la interconexión de una sede remota con las demás sedes que conforman su red corporativa empresarial, esto conlleva a brindar y tener el servicio en tiempos cortos de implementación y una flexibilidad en cuanto a la instalación en caso se requiera traslado de servicios de una sede a otra.

Los sistemas de microondas, a diferencia de la conexión física por cable, tienen la versatilidad de ser re-utilizables con la mínima inversión por materiales y/o cosas afines, esto permite contar con un stock de equipos y establecer enlaces definitivos o temporales, en casos donde se planea instalar fibra óptica, por una demanda de gran capacidad de ancho de banda.

Como parte de la instalación del sistema microonda es necesario establecer una frecuencia a utilizar, esto dependerá en gran medida de la distancia separación entre los puntos y del escenario que se tiene, es decir si el enlace se brindará sobre zonas urbanas, mayormente nubladas, lluvias, terrenos desérticos y/o húmedos, geografía accidental, etc. La figura 2.16 nos muestra la asignación de frecuencias para el uso

electromagnético, se aprecia que el rango de 3 a 60GHz ha sido designado para los enlaces microondas.

Frecuencia	λ	Aplicación
10 KHz	30 Km.	Bajas frecuencias para comunicaciones submarinas.
100 KHz	3 Km.	Radiodifusión de ondas largas.
1 MHz	300 m	Radiodifusión AM
10 MHz	30 m	Ondas cortas de radio (Ionosfera)
100 MHz	3 m	Transmisión FM.
150 MHz	2 m	Radio Mobil.
300 MHz	1 m	Enlaces de microondas para difusión de TV UHF y UHF punto a punto.
3-60 GHz	10 cm - 0.5 cm	Enlaces de microondas.

Figura 2.16 Distribución de frecuencias

Notar que la longitud de onda asociada a los enlaces microondas son valores muy bajos, pudiendo ser comparables a una gota de lluvia en frecuencias superiores a los 10GHz, de acuerdo a la figura 2.11.

La figura 2.17 nos indica el uso de frecuencias en base a la distancia a cubrir, se observa que para frecuencias altas se recomienda distancias menores entre los puntos a enlazar, esto tiene relación directa con la longitud de onda equivalente y la pérdida por espacio libre.

Bandas de frecuencia del enlace	Rangos de distancias recomendados
7 GHz	30 Km < d < 60 Km
13/15/18 GHz	15 Km < d < 30 Km
23/26 GHz	5 Km < d < 15 Km
38 GHz	< 5 Km

Figura 2.17 Asignación de frecuencias para enlaces típicos

La pérdida por espacio libre y la interferencia son las principales fuentes que disminuyen la calidad de recepción en el extremo receptor de un sistema microondas.

A continuación se mencionan algunos conceptos a tener en cuenta al momento de diseñar un enlace de microondas.

2.3.1 Ecuación de Friis

El modelo de Friis es un modelo de propagación que nos permite determinar la potencia recibida en base a la distancia que separa los puntos a enlazar en un escenario de libre línea visual entre ellos, es decir sin la presencia de obstáculos. La ecuación de Friis establece la relación entre la potencia transmitida, potencia recibida, ganancias de

las antenas y la separación "r" entre los puntos a enlazar, y está representada en la fórmula 2.1, en el presente documento se hablará indistintamente de fórmula o ecuación.

$$P_r = P_t G_a G_b \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (2.1)$$

La pérdida por trayectoria (Path loss) se puede definir en base a la ecuación de Friss y se encuentran expresadas en las fórmulas 2.2 y 2.3, considerando la pérdida en dB, la distancia en kilómetros y la frecuencia en Megahertz.

$$Pérdidas = P_L = P_t - P_r = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \text{ dB} \quad (2.2)$$

$$P_L(\text{dB}) = 32.45 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) - G_T(\text{dB}) - G_R(\text{dB}) \quad (2.3)$$

Las ecuaciones mencionadas son válidas siempre y cuando, las antenas se encuentren orientadas o apuntadas en la dirección de máxima ganancia, además no debe existir pérdida por acoplamiento entre las antenas, entre el generador y el receptor respectivamente, y por último, no exista pérdidas por desajuste de polarización, es decir ambas antenas se encuentren bajo la misma polarización. Esto último es muy importante, la mayoría de pérdidas se produce por una descoordinación entre la polarización de la fuente y la polarización del receptor.

Al mismo tiempo que nos permite conocer las pérdidas por trayectoria, también nos permite realizar y guardar un equilibrio o balance de potencia entre el sistema emisor y receptor a fin de establecer un radioenlace en base a los niveles de recepción óptimos para el mismo.

2.3.2 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es el área o región del espacio comprendido entre los elementos de transmisión y recepción de un sistema microondas que debe tenerse en cuenta al momento de diseñar radioenlaces punto a punto.

Las zonas de Fresnel se definen como elipsoides concéntricos que se diferencian en el desfase que tienen las OEM y el cual no debe superar los 180°.

La figura 2.18 muestra la representación gráfica de las zonas de Fresnel, las cuales al ser interceptadas por un plano dibujan circunferencias concéntricas y asocian radios que sirven para determinar el nivel de obstrucción y la claridad del enlace. El diseño se basa en la primera zona de Fresnel como punto de referencia.

En la propagación electromagnética la primera zona de Fresnel concentra el 50% de toda la señal útil a transmitir, por lo que es muy importante asegurar que llegue al elemento receptor en su integridad.

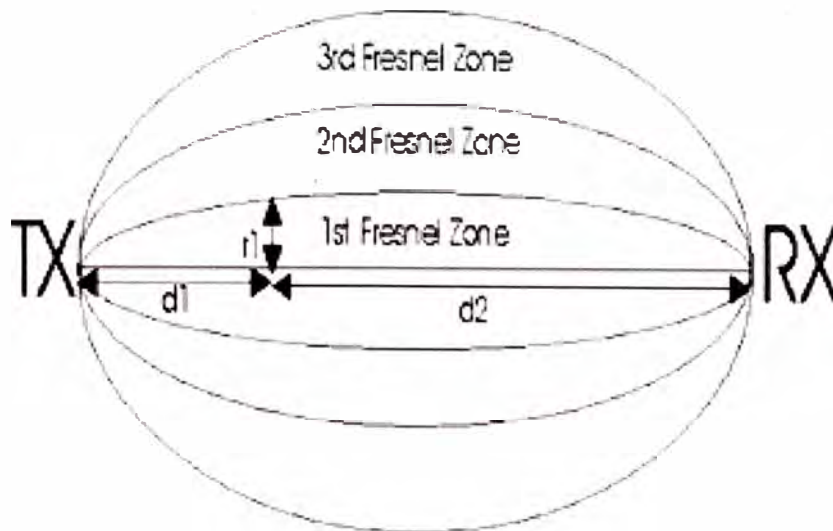


Figura 2.18 Zonas de Fresnel

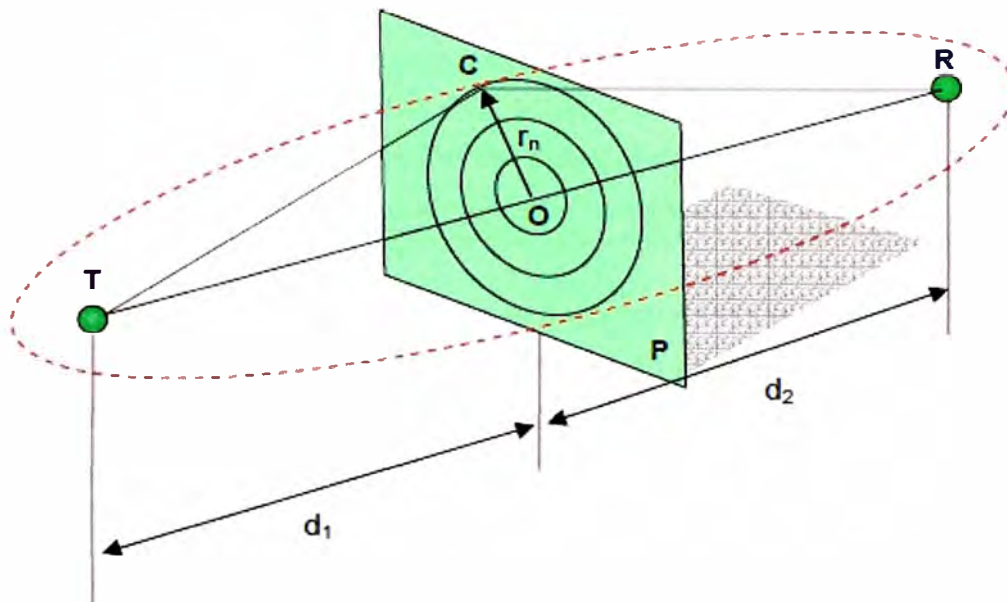


Figura 2.19 Zonas de Fresnel

De la figura 2.19, el punto "O" determina la cima del obstáculo más alto del trayecto TR, esto supone que entre el punto "T" y el punto "R" no debe existir ningún tipo de obstáculo que bloquee la línea visual directa en el trayecto TR.

La fórmula 2.4 muestra el valor del radio "Rn" para cada zona de Fresnel, siendo el valor de uno el que corresponde a la primera zona de Fresnel. La fórmula 2.5, para "n" igual a uno, nos da el valor del radio para la primera zona de Fresnel, la cual se ve directamente relacionada a la frecuencia de propagación.

$$r_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.4)$$

$$r_1 = 547.723 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}}$$

Donde:

r_1 = radio de la primera zona de Fresnel

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en km

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en km

d = distancia total del enlace en km

f = frecuencia en MHz

(2.5)

Como consideraciones de diseño se establece que la primera zona de Fresnel debe estar libre de obstáculos entre un 60% y 80% para un valor de $K=2/3$, y un 100% para un valor de $K=4/3$.

2.3.3 Technical Site Survey

El Technical Site Survey (TSS, por sus siglas en inglés) o el conocido estudio de campo es la etapa previa a la instalación del sistema de microondas. En esta parte se realiza una serie de actividades que realimentarán al diseño en maqueta en el cálculo del radioenlace.

La actividad más importante está ligada al levantamiento de información, en ella se genera un documento donde se detalla toda información relevante como paso previo a la instalación, la tabla 2.1 nos muestra una lista a consultar para aprovechar al máximo el TSS, esta lista se conoce técnicamente con el nombre de Check List.

TSS
DATOS GENERALES
Fecha de Ejecución del TSS
Ciudad
Empresa donde se instalará el sistema
Nombre del site
Dirección
Referencia
Coordenadas UTM / Geográficas
Altitud (msnm)
Contacto responsable del site
Cargo del contacto
Teléfono del contacto
Correo electrónico

TSS
INFRAESTRUCTURA Y CABLEADO
Tipo de site: Indoor / Outdoor
Acceso con personal de seguridad / Llaves
Site con sala técnica / Disponibilidad de la sala
Espacio en rack existente
Espacio para instalar rack o gabinete con puerta
Altura total de la torre
Densidad de antenas en torre
Altura solicitada de la antena desde el ras del suelo
Altura factible de la antena desde el ras del suelo
Longitud de cable IDU-ODU requerido
Tipo de torre
Perfil de torre
Escalerilla para cableado
Escalerilla para acceso a la torre
SISTEMA DE ENERGÍA Y PROTECCIÓN A IMPLEMENTAR
Energía comercial / Generador eléctrico
Pozo a tierra y pararrayo
Barra de tierra para equipos indoor y torre
Luz de Balizaje
Longitud de cable tierra desde equipos outdoor
Longitud de cable tierra desde gabinete
Longitud de cable tierra para equipo dentro de gabinete
Sub-Tablero de distribución (STD) 220VAC
Llave térmica AC disponible en STD
Distancia desde tablero AC hasta rectificador DC
Distancia desde rectificador DC hasta gabinete
Rectificador 48 VDC disponible
Disponibilidad de banco de baterías
Disponibilidad de llaves térmicas
OBRAS CIVILES
Losa de concreto disponible para gabinete y torre
Escalerilla y Sistema de puesta a tierra (SPAT)
Reforzamiento de torre existente
Mantenimiento de cable de pararrayo y pintura antioxidante

Tabla 2.4 Check list para el estudio de campo

La toma de fotos complementa el trabajo realizado en el levantamiento de información, a su vez es prueba física de lo que actualmente se encuentra en la sede del cliente. La correcta culminación de ambas actividades facilitan la elaboración de documentos de entrega final como el informe de la visita de campo, el “print layout” del espacio que se tiene en el site del cliente, etc.

A fin de realizar el TSS es necesario contar con los permisos, accesos y permanencia para que se puedan concluir todas las actividades mencionadas, esto se debe coordinar con el cliente y la contratista a cargo de la visita previa, esta última deberá contar con sus certificados de seguro de vida y salud, así como el conocido SCTR (Seguro complementario de trabajo de riesgo), llevando todos los implementos de seguridad de acuerdo a los actuales estándares de calidad. En algunos casos, para los accesos a campamentos mineros, la entidad privada realiza un curso de inducción para informar al personal de campo de las instalaciones del lugar a visitar, así como las zonas seguras, zonas de riesgo, actividades a realizar, plan de trabajo, etc.

CAPÍTULO III INGENIERÍA DEL PROYECTO

La utilización de la banda no licenciada de 5.8GHz se encuentra establecida dentro del Texto Único Ordenado del Reglamento General de Telecomunicaciones (DS 020-2007-MTC) y por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés), los cuales establecen el rango de frecuencias a utilizar dentro de esta banda conocida también como banda ICM (Industrial, Científica y Médicas). Hay que tener en cuenta que la ITU no hace referencia a esta banda como “banda no licenciada”, la denomina banda ISM (Industrial, Scientific and Medical, por sus siglas en inglés) y están destinadas a aplicaciones con fines Industriales, científicos y Médicos.

3.1 Banda no licenciada 5.8GHz

En la figura 3.1 se muestra lo que la ITU en su artículo 5 (concretamente en el punto 5.150) de sus regulaciones de radio (RR) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) establecen como bandas ICM (ISM).

Las bandas 902 – 928 MHz, 2400 – 2500 MHz y 5725 – 5850MHz están atribuidas a título secundario para los servicios fijo y/o móvil, público y/o privado. Los que hagan uso de las frecuencias mencionadas deberán sujetarse a la normativa establecida o que establezca el MTC.

13553 - 13567 KHz (Frecuencia central 13560 KHz)
26957 - 27283 KHz (Frecuencia central 27120 KHz)
40.66 - 40.70 MHz (Frecuencia central 40.68MHz)
902 - 928 MHz in Región 2 (Frecuencia central 915MHz)
2400 - 2500 MHz (Frecuencia central 2450MHz)
5725 - 5875 MHz (Frecuencia central 5800MHz), and
24 - 24.25 GHz (Frecuencia central 24.125GHz)

Figura 3.1 Bandas ICM (ISM)

3.1.1 Artículo 28 del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones

El MTC, a través del artículo 28 del Texto Único Ordenado del Reglamento General, de la Ley de Telecomunicaciones (Decreto Supremo N° 020-2007-MTC), emite toda la normativa legal respecto las bandas no licenciadas, a continuación se procede a citar el mencionado artículo:

Artículo 28°.- Bandas no licenciadas

Están exceptuados de la clasificación de servicios de la Ley, del Reglamento y de los Reglamentos Específicos que se dicten, las telecomunicaciones instaladas dentro de un mismo inmueble que no utilizan el espectro radioeléctrico y no tienen conexión con redes exteriores.

También están exceptuados de contar con concesión, salvo el caso de los numerales 4 y 5, de la asignación del espectro radioeléctrico, autorización, permiso o licencia, para la prestación de servicios de telecomunicaciones, de la clasificación de servicios de la Ley, del Reglamento y de los Reglamentos Específicos que se dicten:

1. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando el espectro radioeléctrico transmiten con una potencia no superior a diez milivatios (10 mW) en antena (potencia efectiva irradiada). Dichos servicios no podrán operar en las bandas de frecuencias atribuidas a los servicios públicos de telecomunicaciones; salvo en las bandas de frecuencias 2400-2483,5 MHz y 5725-5850 MHz.

2. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando una canalización establecida en la banda 462, 550-462, 725 MHz y 467, 550-467, 725 MHz, transmiten con una potencia no superior a quinientos milivatios (500 mW) en antena (potencia efectiva irradiada). Dichos equipos

no podrán ser empleados para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones.

3. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando las bandas de 902-928 MHz, 2400-2483,5 MHz, 5150-5250 MHz y 5725-5850 MHz transmiten con una potencia no superior a cien milivatios (100 mW) en antena (potencia efectiva irradiada), y no sean empleados para efectuar comunicaciones en espacios abiertos. Dichos servicios no deberán causar interferencias a concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones.

4. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando las bandas de 902-928 MHz, 2400-2483,5 MHz y 5725-5850 MHz transmiten con una potencia no superior a cuatro vatios (4 W) o 36 dBm en antena (potencia efectiva irradiada), en espacio abierto.

5. Aquellos servicios cuyos equipos; utilizando la banda de 5250-5350 MHz transmiten con una potencia no superior a un vatio (1 W) o 30 dBm en antena (potencia efectiva irradiada), en espacio abierto. Dichos equipos no podrán ser empleados para el establecimiento de servicios privados de telecomunicaciones.

En el caso de utilizar equipos bajo las condiciones señaladas en los numerales 4 y 5, para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, se debe contar previamente con la concesión respectiva. En este caso, los concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones que empleen dichos equipos no requerirán del permiso para su instalación y operación, ni de la asignación de espectro radioeléctrico para su uso.

Sin perjuicio de lo dispuesto en el presente artículo, aquellos que hagan uso de las frecuencias antes indicadas deberán respetar las normas técnicas emitidas o que emita el Ministerio.

Figura 3.2 Artículo 28 del TUO

Están exceptuados de la clasificación de servicios de la Ley, del Reglamento y de los Reglamentos Específicos que se dicten, las telecomunicaciones instaladas dentro de un mismo inmueble que no utilizan el espectro radioeléctrico y no tienen conexión con redes exteriores.

También están exceptuados de no contar con concesión, salvo el caso de los numerales 4 y 5, de la asignación del espectro radioeléctrico, autorización, permiso o licencia, para la prestación de servicios de telecomunicaciones, de la clasificación de servicios de la Ley, del Reglamento y de los Reglamentos Específicos que se dicten:

1. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando el espectro radioeléctrico transmiten con una potencia no superior a diez milivatios (10mW) en antena (potencia efectiva irradiada). Dichos servicios no podrán operar en las bandas de frecuencias atribuidas a los servicios públicos de telecomunicaciones; salvo en las bandas de frecuencias 2400-2483.5 MHz y 5725-5850 MHz.

2. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando una canalización establecida en la banda 462, 550-462, 725 MHz y 467, 550-467, 725 MHz, transmiten con una potencia no superior a quinientos milivatios (500mW) en antena (potencia efectiva irradiada). Dichos equipos no podrán ser empleados para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones.

3. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando las bandas de 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5150-5250 MHz y 5725-5850 MHz, transmiten con una potencia no superior a cien milivatios (100mW) en antena (potencia efectiva irradiada), y no sean empleados para efectuar comunicaciones en espacios abiertos. Dichos servicios no deberán causar interferencias a concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones.

4. Aquellos servicios cuyos equipos, utilizando las bandas de 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz y 5725-5850 MHz transmiten con una potencia no superior a cuatro vatios (4W) o 36 dBm en antena (potencia efectiva irradiada), en espacio abierto.

5. Aquellos servicios cuyos equipos; utilizando la banda de 5250-5350 MHz transmiten con una potencia no superior a un vatio (1W) o 30 dBm en antena (potencia efectiva irradiada), en espacio abierto. Dichos equipos no podrán ser empleados para el establecimiento de servicios privados de telecomunicaciones.

En el caso de utilizar equipos bajo las condiciones señaladas en los numerales 4 y 5, para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, se debe contar previamente con la concesión respectiva. En este caso, los concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones que empleen dichos equipos no requerirán del permiso para su instalación y operación, ni de la asignación de espectro radioeléctrico para su uso.

Sin perjuicio de lo dispuesto en el presente artículo, aquellos que hagan uso de las frecuencias antes indicadas deberán respetar las normas técnicas emitidas o que emita el Ministerio. Están exceptuados de la clasificación de servicios de la Ley, del Reglamento y de los Reglamentos Específicos que se dicten, las telecomunicaciones instaladas dentro de un mismo inmueble que no utilizan el espectro radioeléctrico y no tienen conexión con redes exteriores.

Banda 5.8GHz (5.725 GHz - 5.850 GHz)
Los anchos de banda de cada canal se fijan a 10 ó 20MHz, y es utilizado para aplicaciones en exteriores con niveles de potencia de radiación de hasta 4W.

Tabla 3.1 Banda 5.8GHz

3.1.2 Características importantes

La banda no licenciada 5.8GHz es el rango de frecuencias presente en la solución a los diferentes escenarios que se plantean en la sección 3.2, está comprendida, de acuerdo a la figura 3.1 entre los 5725-5875 MHz, siendo la frecuencia central de 5.8GHz.

La figura 3.1 nos muestra el rango de frecuencias cuyo uso está disponible para cualquier entidad gubernamental, empresa particular, TELCO, persona natural o jurídica

respetando lo indicado en el artículo 28 del TUO de Telecomunicaciones.

A medida que se incrementa el “tráfico” inalámbrico, en una u otra banda, se ven más susceptibles a interferencias (co-canal y canal adyacente) reduciendo la efectividad de este tipo de transmisiones. A fin de evitar la interferencia se reserva espectro de frecuencia para que pueda ser adquirido por las empresas y se puedan establecer enlaces confiables, seguros y efectivos.

En el Perú, el MTC se encarga de la concesión, autorización, permisos y licencias del espectro radioeléctrico cada vez que se cumplan los requisitos estipulados en la Sección Tercera del TUO de Telecomunicaciones (DS 020-2007-MTC).

La asignación de frecuencia está asociada a un pago o canon que recurrentemente se realiza al estado, en función de la unidad impositiva tributaria (UIT).

Las bandas no licenciadas, de la figura 3.1, se reservaron para fines de investigación y educación, en caso se requiera usarlas para brindar servicios fijo y/o móvil, público y/o privado se deberá estar sujeto a lo indicado en el artículo 28 del TUO.

La tabla 3.2 nos muestra las características más importantes de la banda no licenciada, particularmente el gran ancho de banda que se puede transmitir y la fácil administración de los equipos son sus principales ventajas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Uso de frecuencia sin licencia de las bandas ICM (ISM) 2.4 / 5.8GHz considerando las limitaciones de potencia descritas en el artículo 28 del TUO.	Ampliamente adoptadas para la banda de 2.4GHz, volviéndose ampliamente usadas para la banda de 5GHz.
Alto throughput y soporte de aplicaciones que requieren alta velocidad de transferencia (Mbps).	A frecuencias más altas el throughput disminuye.
Baja tasa de errores.	Alcance promedio
Costos relativamente bajos de equipamiento.	Uso de la banda por otros equipos de uso doméstico y empresarial: WiFi, teléfonos 5.8GHz.
Fácil instalación, configuración y monitoreo (vía http/web), permitiendo un adecuado servicio de mantenimiento	
Gran diversidad y flexibilidad en el levantamiento de diferentes escenarios: Punto a punto, punto a multipunto, Mesh, Backhaul, dorsal.	

Tabla 3.2 Ventajas y desventajas en la banda no licenciada

El equipamiento de la banda de 5.8GHz permite establecer enlaces del tipo: Backhaul, Broadband Access y Remote Sites Connectivity, que básicamente son enlaces del tipo Acceso a la Red y Acceso para sitios remotos o lejanos. La figura 3.3 muestra un

diagrama de red de una empresa en particular que tiene un enlace punto multipunto entre su sede principal y las demás sedes sucursales. La posibilidad de establecer el escenario sin verse afectado por la interferencia (co-canal y adyacente) se concreta debido a la asignación de diferentes canales (frecuencias) que se tienen disponibles en la banda de 5.8GHz, espaciadas cada 20MHz.

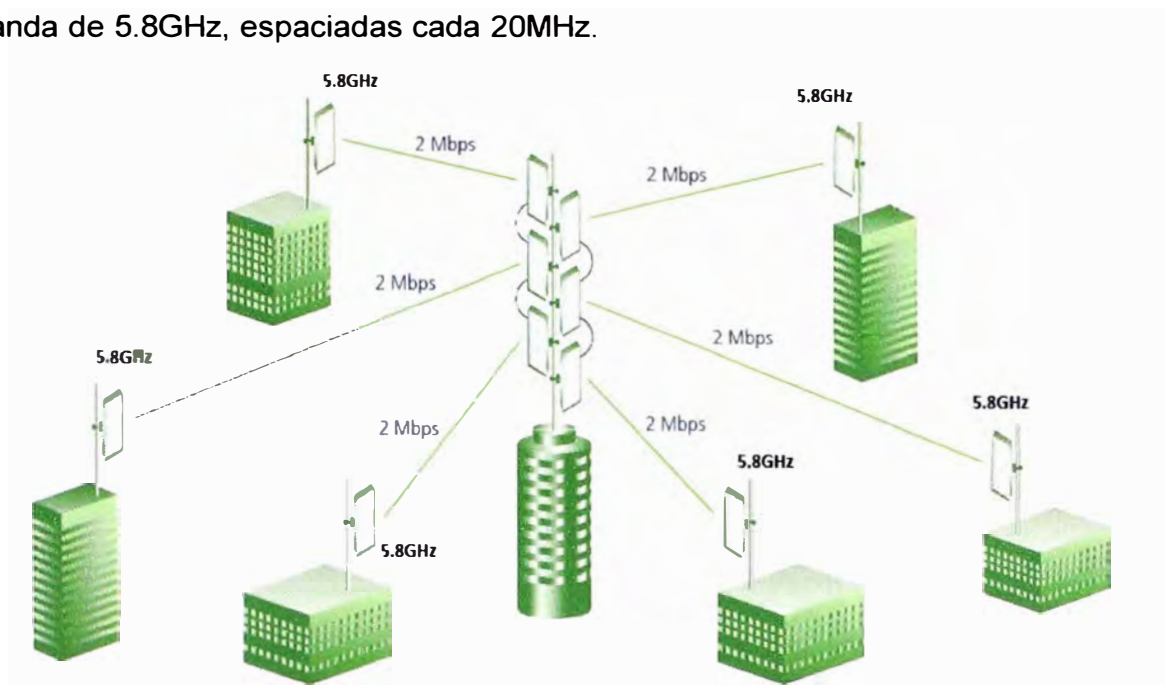


Figura 3.3 Conectividad punto multipunto

3.1.3 Equipamiento

La figura 3.4 nos muestra los elementos que conforman el equipamiento a instalar en la sede de un cliente en un enlace punto a punto, como se aprecia está conformado por un sistema IDU y otro sistema llamado ODU, que viene integrado, en algunos casos, con la antena.

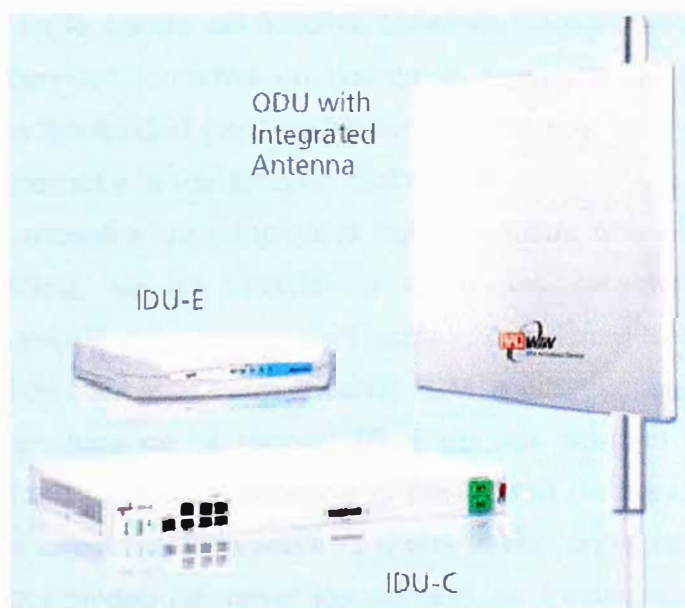


Figura 3.4 Equipamiento Radwin de un enlace punto a punto

a. IDU

La unidad interna (Indoor Unit) tiene la función de modulación y demodulación de las señales PDH que son transportadas a través de un enlace.

b. ODU

La unidad externa (Outdoor Unit) se encarga de transmitir y recibir las señales microondas provenientes de homólogos ODU's en el otro punto extremo.

La figura 3.5 muestra la conexión entre la IDU y la ODU de un sistema microonda en general, de la misma forma es aplicable para un enlace con equipos 5.8GHz, con la salvedad de que el cable coaxial puede ser reemplazado por un cable UTP si se cuenta con el soporte del estándar 802.3af, por parte del equipo.

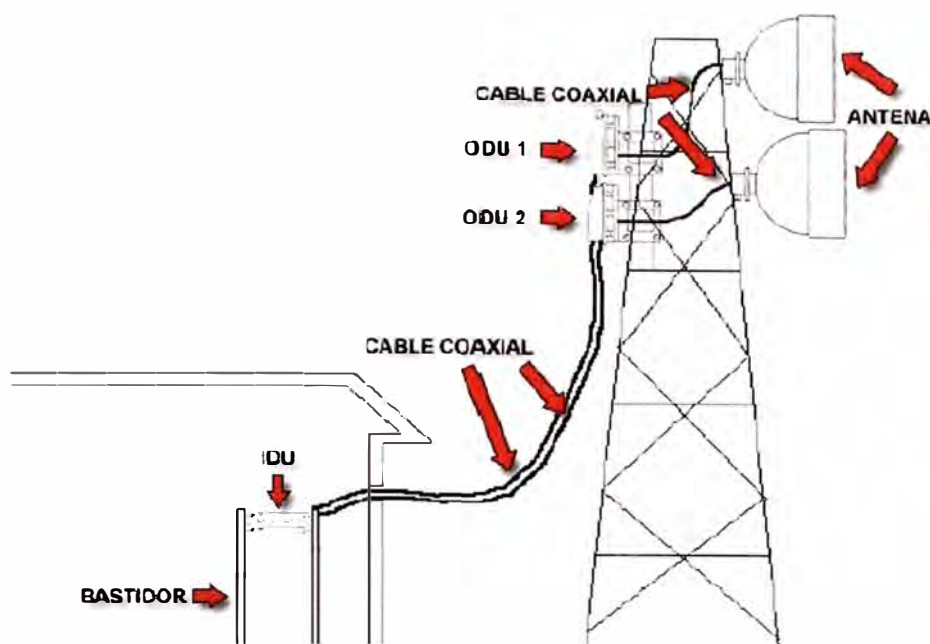


Figura 3.5 Conexión básica entre IDU y ODU

El equipamiento en la banda de 5.8GHz presenta características y funcionalidades importantes que deben ser tomados en cuenta al momento de establecer un enlace inalámbrico. Presenta flexibilidad para poder transmitir datos, voz y video de acuerdo al estándar de datos Ethernet y la transmisión digital TDM.

La tabla 3.3 nos muestra las principales características que podemos encontrar en los equipos de 5.8GHz, se ha tratado de reunir las características principales y específicas de los equipos propietarios de RadWin, Alvarion y Netkrom. Es importante resaltar la capacidad de transmitir datos y señal TDM, a diferencia de los equipos Access Point que sólo tienen alcance al mundo IP. Esto nos permite brindar servicios de Interconexión de datos, Internet dedicado y la posibilidad de transmitir canales de voz como extensiones de anexos entre sucursales, que tienen en la sede principal la central PBX telefónica. La posibilidad de variar los canales de frecuencias, a fin de evitar las interferencias, mediante software de forma automática, permitió extender el escenario

de enlace punto a punto a escenarios punto multipunto.

También es importante indicar que los niveles de potencia son como máximo 28dBm, siendo inferior a los 36dBm que se restringe en el artículo 28 del TUO de Telecomunicaciones.

	ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONALIDADES
Hardware	Interfaz Ethernet 10/100	Frecuencias: 4.9 - 6.020GHz / 5.150-5.850GHz	Soporte del estándar ethernet, dependiendo del modelo se pueden encontrar entre uno y dos interfaces 10/100 full duplex.
	Interfaz E1/T1	Ancho de banda de canal: 5, 10 ó 20MHz (Seleccionable por Software)	Soporte para la transmisión de E1's, dependiendo del modelo se pueden encontrar entre 1, 2 ó 4 interfaces con el conector RJ-45 y según el estándar ITU-T G.703, G.826 (120 ó 100 ohmios)
	Puerto serial RS232-DB9	Estándar: IEEE 802.11a/b/g/	Dependiendo del equipo a utilizar puede realizar funciones de Bridge Transparente, Layer 2 (Mac Address) Forwarding, L3 (IP Address) Forwarding, NAT, enrutamiento estático y dinámico a través de RIP, Access list como funcionalidad de seguridad. Soporta VLAN para el diferenciamiento de aplicaciones por usuario, presenta DHCP servidor y cliente
	Soporte de estándar 802.3af	Método de Acceso: Time Division Duplex (TDD) con CSMA(CA	Permite la administración de Ancho de Banda a través de QoS manejando: Committed Information Rate (CIR), Peak Information Rate (PIR), Committed Burst Size (CBS), Excess Burst Size (EBS). Aplicando las diferentes reglas a la interfaz de Input/Output, IP, MAC, Puerto destino, MAC destino, Protocolos (FTP, ICMP, TCP, etc), Aplicaciones (Peer to peer, EDonkey, Kazza, IRC, etc)
	Peso promedio entre 1 a 2.5Kg (Radio, Kit Mount y accesorios)	Técnica de modulación: DSSS/OFDM (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	

	ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS	FUNCIONALIDADES
Software	Modo de Operación: Access Point, WDS, Repetidor, Cliente, Protección 1+1	Potencia de salida: 28dBm o 26dBm (6- 24Mbps), 24dBm (36Mbps), 20dBm o 23dBm (54Mbps)	
	Herramientas de Administración: Protocolo SNMP, NTP Agent, HTTP Agent, SSH	Sensibilidad de recepción: entre -74 y 92dBm	
	Soporte de VLAN		
	Múltiple SSID		
	Enrutamiento estático y dinámico (RIP v1/v2.		
	NAT, QoS		
	Seguridad: WEP 64/128/256, WPA1/WPA2 con cifrado TKIP & AES, FIPS-197		

Tabla 3.3 Funcionalidades de los equipos 5.8GHz

La funcionalidad homologada de los equipos de Networking, permite el ahorro de los mismos para cierto tipo de escenarios, es decir la opción de realizar NAT, QoS, soporte de VLAN y manejo de enrutamiento dinámico permite, en algunos casos, prescindir de un equipo de red que anteriormente realizaba estas funciones.

El manejo del estándar 802.11h ofrece la selección dinámica de frecuencias y el control de potencia del transmisor (DFS y TPC, por sus siglas en inglés).

La selección dinámica nos permite evitar interferencias co-canal, como se mencionó anteriormente, y el mejor aprovechamiento de los canales disponibles, asimismo el control de potencia transmitida es delimitada permitiendo que puedan co-existir diferentes canales en una determinada área, minimizando la interferencia que puede ser originada por el exceso de potencia de un nodo cliente o principal.

La gestión, mediante el protocolo SNMP, nos ayuda al monitoreo de los equipos remotamente de forma segura y rápida, a través de la conectividad de los equipos a un equipo de red. El energizado de los equipos se puede realizar con corriente alterna así como también con el estándar 802.3af, permitiendo la alimentación entre la IDU y la ODU con un cable UTP.

3.1.4 Modelo de Equipos

A continuación, la tabla 3.4 presenta los modelos de las marcas Radwin, Alvarion y

Netkrom que serán parte de todos los escenarios de solución propuestos, los costos serán detallados en el capítulo IV.

Modelo		
Radwin	WinLink 1000	
	Frecuency Band	2.3-2.7GHz / 4.9 - 6.020GHz
	Data Rate	Configurable hasta 48Mbps (bi-directional)
	Channel Bandwith	20MHz; 5/10/20 MHz soportado
	Max. Potencia TX	Configurable hasta 23dBm
	Interfaz Ethernet	1 Puerto 10/100 Auto
	Interfaz E1/T1	2 Puertos. ITU-T G.703, G.826, RJ45 (120/100 ohmios)
Alvarion	BreezeACCESS VL	
	Frecuency Band	4.9-5.875GHz (SU-L)
	Data Rate	Desde 3Mbps (SU-3L) hasta 12Mbps (SU-12L)
	Channel Bandwith	20MHz, 10MHz (SU-L)
	Max. Potencia TX	menos 9dBm hasta 18dBm cada 3dB
	Interfaz Ethernet	1 Puerto
	Interfaz E1/T1	-
Netkrom	MB-ROMB	
	Frecuency Band	2.4/5GHz
	Data Rate	70Mbps
	Channel Bandwith	5, 10 ó 20MHz

MB-ROMB	
Max. Potencia TX	Menor a 26dBm
Interfaz Ethernet	2 Puertos 10/100 Auto
Interfaz E1/T1	-

Tabla 3.4 Modelos de equipos 5.8GHz propuestos y empleados

Del diagrama anterior, el equipo Radwin tiene mejores funcionalidades al brindar interfaces E1/T1.

3.2 Escenarios de solución

Los equipos mencionados en la sección 3.1.4 permiten establecer diferentes escenarios de solución que servirán para poder calcular los costos involucrados.

El primer escenario tipo a verificar es el enlace punto a punto, el cual nos servirá como modelo para enlazar dos puntos que se encuentren separados una distancia determinada. Como aplicación directa tenemos los enlaces entre las únicas sedes de una empresa, integración de una sede remota al nodo principal o el establecimiento del Backhaul.

El segundo escenario a plantear es el punto multipunto, nos permitirá establecer pequeñas redes remotas, las mismas que se podrán interconectar a la red principal mediante un enlace punto a punto, el cual puede ser dado por fibra o por la tecnología inalámbrica dependiendo del ancho de banda a cursar.

Se debe tener en cuenta que existen diversas consideraciones al momento de plantear un tipo de escenario, se asume que lo que se implementará con la tecnología inalámbrica es un acceso adicional a la red existente en fibra o por otra tecnología microondas, sin embargo no se excluye la instalación de toda una red de acceso inalámbrico, pero se deberá tener en cuenta el tipo de aplicaciones a transmitir, por ejemplo: Existen aplicaciones sensibles al retardo (delay) y se requiere velocidades de transmisión lo suficientemente altas para asegurar el correcto funcionamiento, así como existen aplicaciones que sólo cursarán datos tipo http, ftp, etc, que pueden estar sujetos a cierto nivel de retardo en la respuesta.

3.2.1 Enlace punto a punto

Un enlace punto a punto básicamente puede ser visto como la interconexión entre dos sedes de una misma empresa, como se aprecia en la figura 3.6, para esto es necesario contar con la línea de vista entre cada una de las estaciones, así como con la claridad propia del enlace. En el mejor de los casos no será necesario realizar la

instalación tediosa de torres ventadas, ya que los locales cuentan con una altura considerable y sólo bastará adecuar un mástil regulable de 6m.

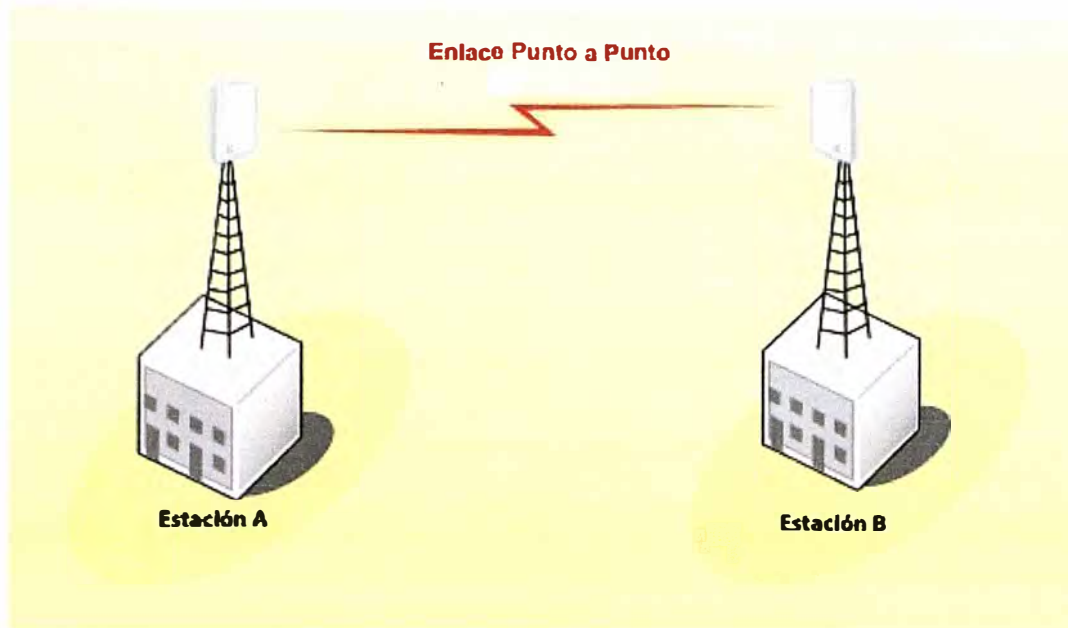


Figura 3.6 Enlace punto a punto

En este tipo de escenario no se tiene el problema de interferencia de canal por el mismo enlace, pero puede existir problemas de interferencia originados de una fuente externa o por la inserción de ruido en los elementos del sistema, por lo que se sugiere realizar un ajuste de los parámetros de frecuencia en caso se observe alguna anomalía después de haber realizado la instalación.

La figura 3.7 muestra un enlace punto a punto que es usado como Backhaul para establecer el medio de acceso entre la estación base y el nodo principal, en este ejemplo se observa diferentes modelos de equipos de la marca Netkrom, dependiendo del ancho de banda a transmitir el modelo puede ser el indicado en la tabla 3.3.

3.2.2 Enlace punto multipunto

La figura 3.8 muestra un enlace punto a multipunto que es usado para brindar servicios de voz, datos y video vigilancia a través de un equipo de la serie BreezeAccess VL. Es importante mencionar que Alvarion nos permite trabajar con equipos especialmente diseñados a la solución punto multipunto, para esto cuentan con una unidad que será ubicada en la radio base (Acces Unit, AU) y otra unidad ubicada en cada sede donde se quiere brindar el servicio (Subscriber Unit, SU), dependiendo de si lo que se recibirá es datos o video, cada sede tiene su propio modelo de SU.

La aplicación directa de este escenario es, por ejemplo, dentro del campus de una universidad o instituto donde se quiere brindar acceso ilimitado a la internet, a sus estudiantes, al mismo tiempo que realizan videoconferencias y/o entre diferentes departamentos académicos.

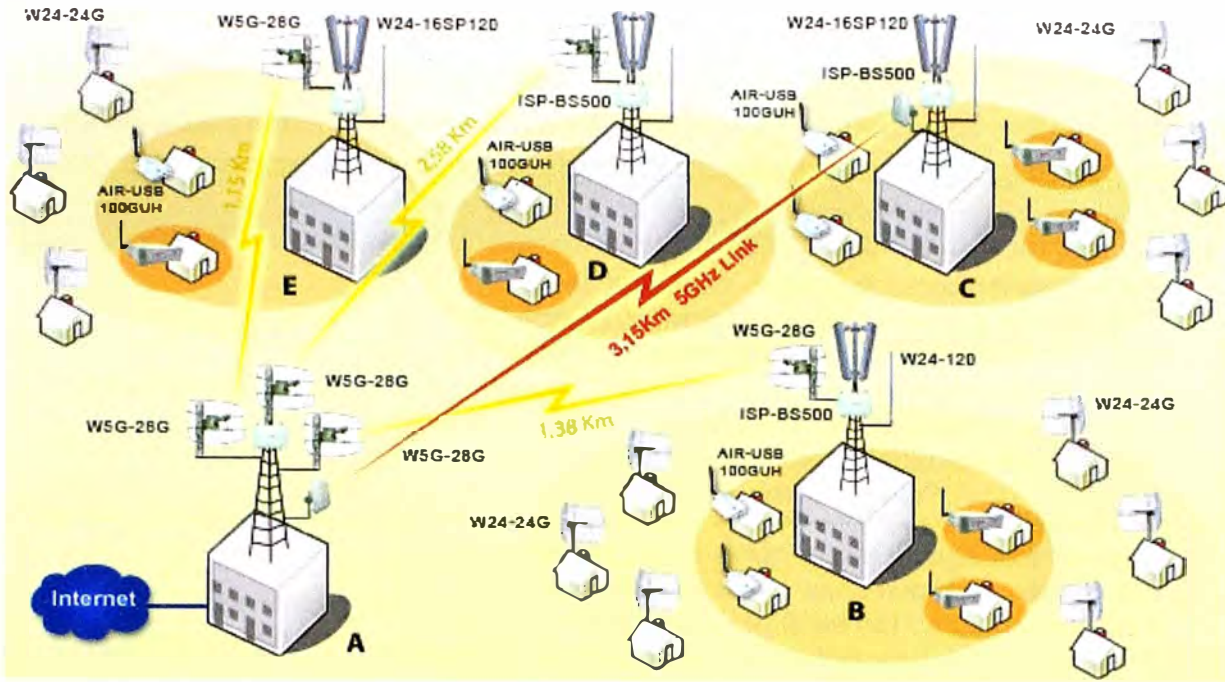


Figura 3.7 Enlace punto a punto Backhaul

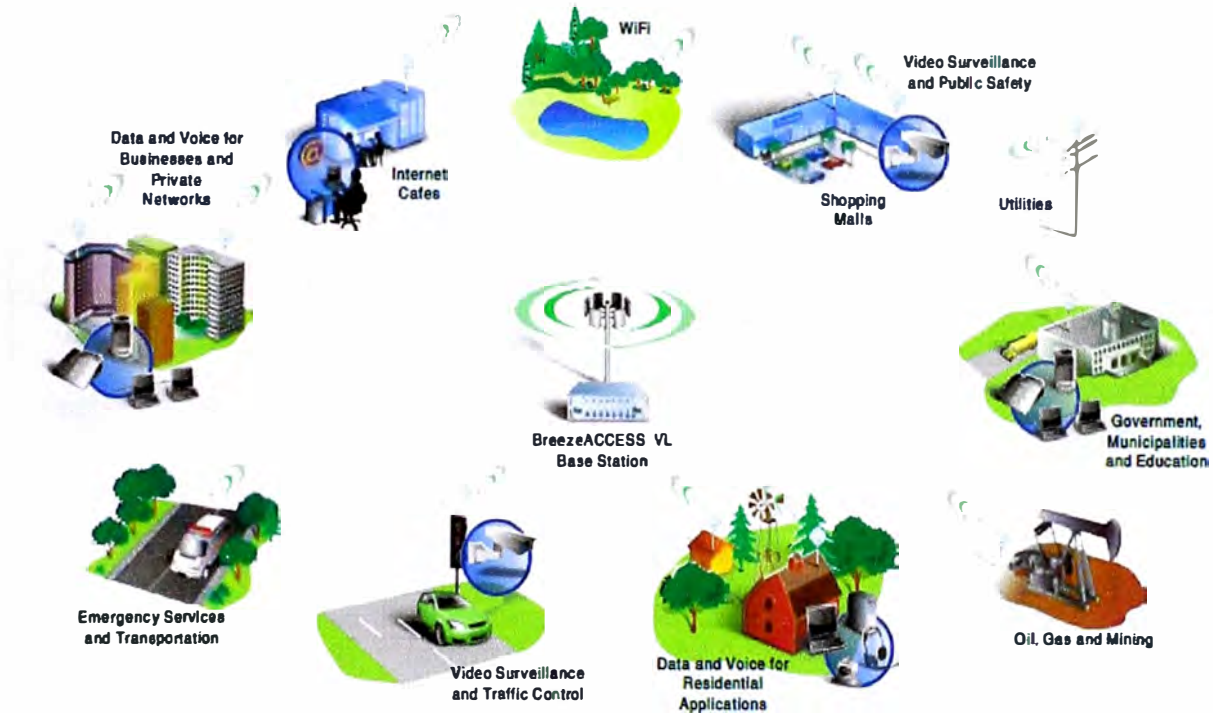


Figura 3.8 Enlace punto a multipunto

3.3 Consideraciones de diseño

Los capítulos anteriores proporcionan el sustento, teórico y práctico, para enunciar las consideraciones de diseño a tener en cuenta antes, durante y después de establecer el enlace inalámbrico. En esta sección se describirán los pasos a seguir, como recomendación, a fin de reunir toda la información necesaria para la implementación del acceso inalámbrico, empezando por la planificación, el estudio de maqueta o la simulación vía software, el TSS y la presentación de los resultados obtenidos.

3.3.1 Planeamiento

El primer paso a seguir comprende el levantamiento de información, la tabla 3.5 nos muestra algunos puntos a considerar como parte del planeamiento del enlace esperado.

Planeamiento del enlace	
Actividad	Observaciones
Información inicial	¿Qué es lo que se espera obtener del enlace o servicio?, ¿El enlace será de manera temporal o definitiva?, ¿Cuántos enlaces se realizarán?, ¿Qué ancho de banda se espera por cada enlace a establecer?, ¿Qué relación contractual se tiene con las sedes donde se piensa establecer los enlaces, es alquilado o propio?
Definición del requerimiento	En base a la información inicial y dependiendo de la magnitud del proyecto, será necesario definir el requerimiento para los fines del caso, por ejemplo realizar una licitación, presentar y sustentar al directorio el nuevo servicio a implementar, etc.
Cronograma de trabajo	Es necesario definir y registrar el cronograma de trabajo esperado, a manera de bosquejo, estableciendo tiempos máximos en base a la fecha esperada en la que se requiere el servicio solicitado. El cronograma de trabajo servirá para mantener un orden interno y externo en caso se tengan diferentes contratistas trabajando simultáneamente en el mismo local.
Logística del proyecto	Validar y confirmar si se cuenta con equipamiento e infraestructura propia que facilite la puesta en marcha del servicio, en caso no se tenga algún elemento, será necesario empezar a cotizarlo para que los tiempos de entrega no afecten lo esperado con el cronograma de trabajos.
Evaluación del recurso humano especializado disponible	La reducción de costos, como parte de un proyecto, está asociada con la rentabilidad del mismo. En caso se tenga recurso humano interno disponible es conveniente designar grupos de trabajo, permitiendo la asignación de tareas específicas a cada miembro del grupo y al mismo tiempo agilizar la culminación de objetivos mediante la disgregación de la carga laboral.
Reuniones de trabajos	Como parte del desarrollo del proyecto, es necesario convocar a reuniones de trabajo periódicamente, a fin de tener reportes de los avances alcanzados.

Tabla 3.5 Planeamiento del proyecto

Es importante designar a las personas responsables del proyecto generado, el cual puede estar conformado por uno o más enlaces, registrando sus datos y comunicando a todos los interesados la designación realizada.

3.3.2 Estudio de maqueta

El estudio de maqueta es el resultado de la simulación, vía software, que se realiza antes de concretar el estudio de campo. Su objetivo principal es contar con una pre-factibilidad del enlace inalámbrico con la ayuda de herramientas electrónicas de fácil obtención desde la internet.

Las dos herramientas básicas que se recomiendan usar son el Radio Mobile y el Google Earth, ambos son de libre disponibilidad y de fácil manejo, siendo el más intuitivo el segundo de ellos.

El Radio Mobile es un programa que nos permite simular radioenlaces desde un par de sedes (enlaces punto a punto) hasta una compleja red de microondas compuesta de diferentes sedes, lo que se puede entender como toda una red corporativa. En la dirección web <http://www.cplus.org/rmw/english1.html> se podrán descargar todos los archivos de instalación, inclusive un manual en inglés.

Una vez definido las unidades (sedes del cliente), se procede a ingresar los parámetros de los equipos 5.8GHz tales como la banda de frecuencia, nivel de recepción, etc. La figura 3.9 nos muestra los parámetros recomendados que deberán ser ingresados respectivamente en el Radio Mobile para enlaces de hasta 6Km, alcanzando un ancho de banda de 18Mbps inclusive para distancias de hasta 50Km.

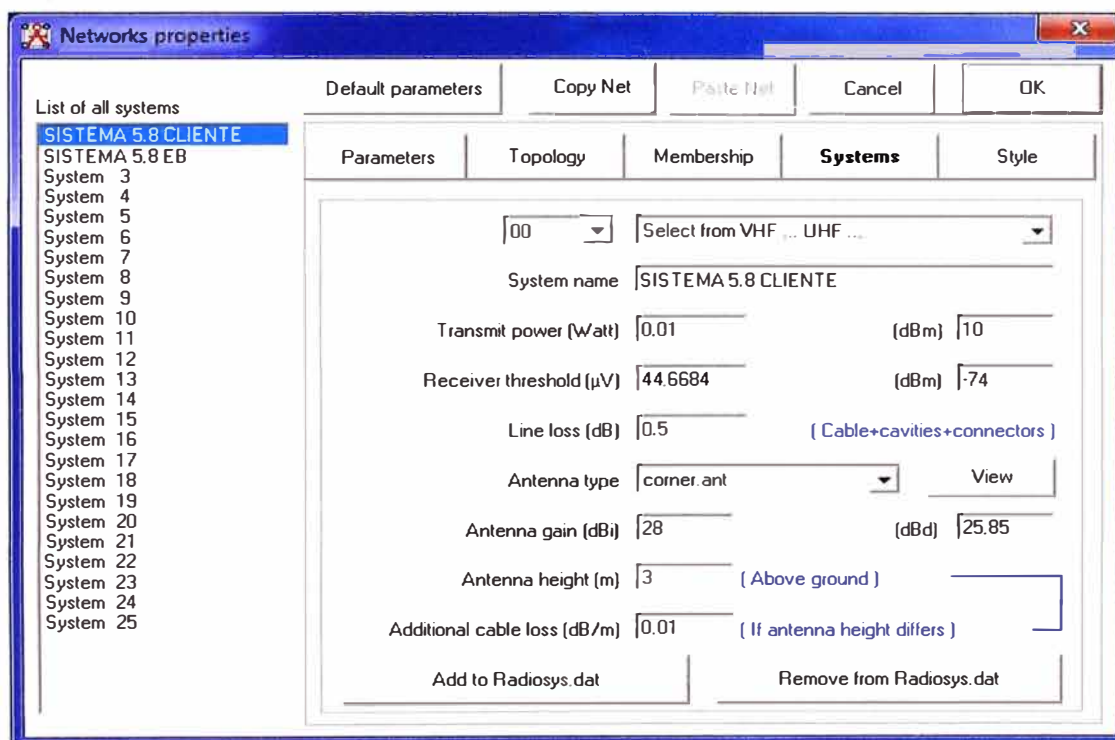


Figura 3.9 Parámetros para un enlace 5.8GHz

El campo de "Antenna height" ha sido ingresado de forma arbitraria, en la figura 3.9 se muestra la altura como la variable para obtener una mejor claridad. La pérdida o atenuación por el cable ha sido fijado como 1dB por cada 100 metros.

Para alcanzar distancias mayores y/o mayor capacidad de transmisión se recomienda la serie RADWIN 2000, nominalmente se establecen enlaces de hasta 100Mbps de ancho de banda, con distancias no superiores a los 120Km. La figura 3.10 nos muestra el diagrama de perfil para un enlace realizado en Lima, en el tercer trimestre del 2009, con equipos RADWIN 1000, por razones de confidencialidad no se coloca el nombre real de la empresa.

Los puntos importantes de esta gráfica, si bien es cierto que se han usado parámetros muy reales, son el "Worst Fresnel", "Rx Level", "Azimuth", "Distance", "Antenna height". El valor del mínimo o peor Fresnel se encuentra en 5.8F1, que viene a ser casi 6 veces mayor que la primera zona de Fresnel, como consideración de diseño se estableció, en la sección 2.3.2, que el valor mínimo de la zona de Fresnel debe de estar entre 0.6 y 0.8 de la primera zona de Fresnel (F1), el motivo de un mayor "Worst Fresnel" obtenido, es por que no se observan, en el simulador, obstrucciones geográficas de cerros, ni se grafican los edificios, árboles que se encuentran en toda zona urbana.

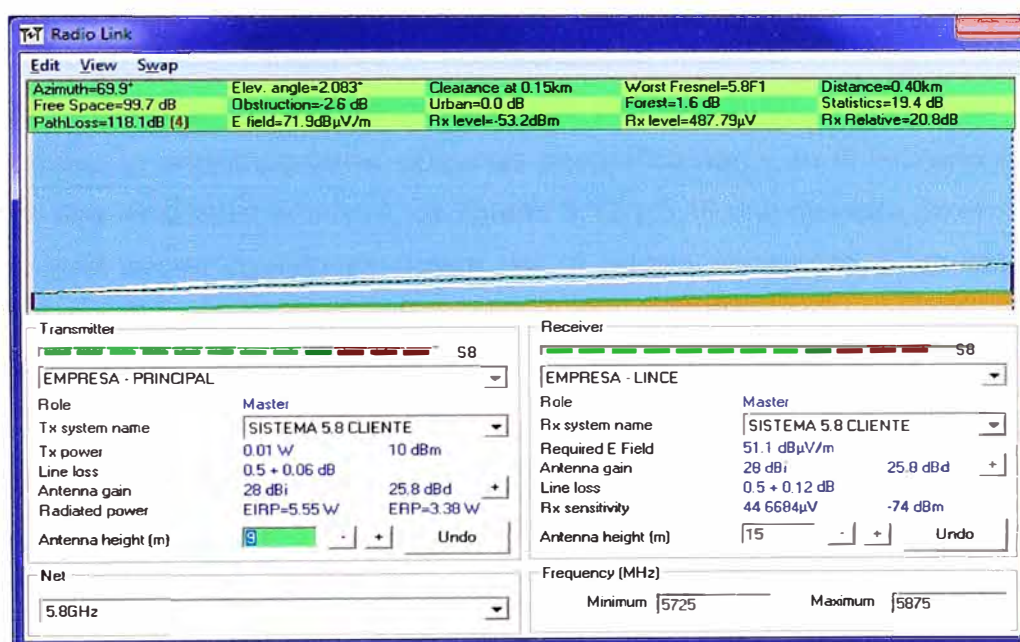


Figura 3.10 Diagrama de perfil para un enlace 5.8GHz

La altura o "Antenna Height" es variable dependiendo del grado de obstrucción encontrado y el Fresnel que se requiere obtener, básicamente lo que tenemos con esta gráfica es la pre-factibilidad de encontrar línea de vista entre ambos puntos, pre-factibilidad que será confirmada en el estudio de campo, TSS.

La figura 3.11 nos muestra un diagrama de perfil entre dos puntos ubicados en Morococha, claramente se observa que no existe línea de vista entre ambos puntos, la pre-factibilidad nos indica que será necesario contar con un punto de repetidora a 1Km del site conocido como Morococha. En este caso las alturas se varían para obtener un Fresnel mínimo entre 0.6 y 0.8 de su primera zona.



Figura 3.11 Pre-factibilidad negativa

El Google Earth, en su versión gratuita, nos permite visualizar las sedes desde una toma satelital y, lo más importante, ubicarlas geográficamente en el territorio nacional de acuerdo en una vista tridimensional, las figuras 3.12 y 3.13 dan muestra de ello.

Es de gran ayuda cuando se quiere ver el relieve geográfico y las obstrucciones naturales presentes en la trayectoria, para tener una idea más concreta en caso la simulación no ofrezca mayor detalle que una imagen en dos dimensiones.

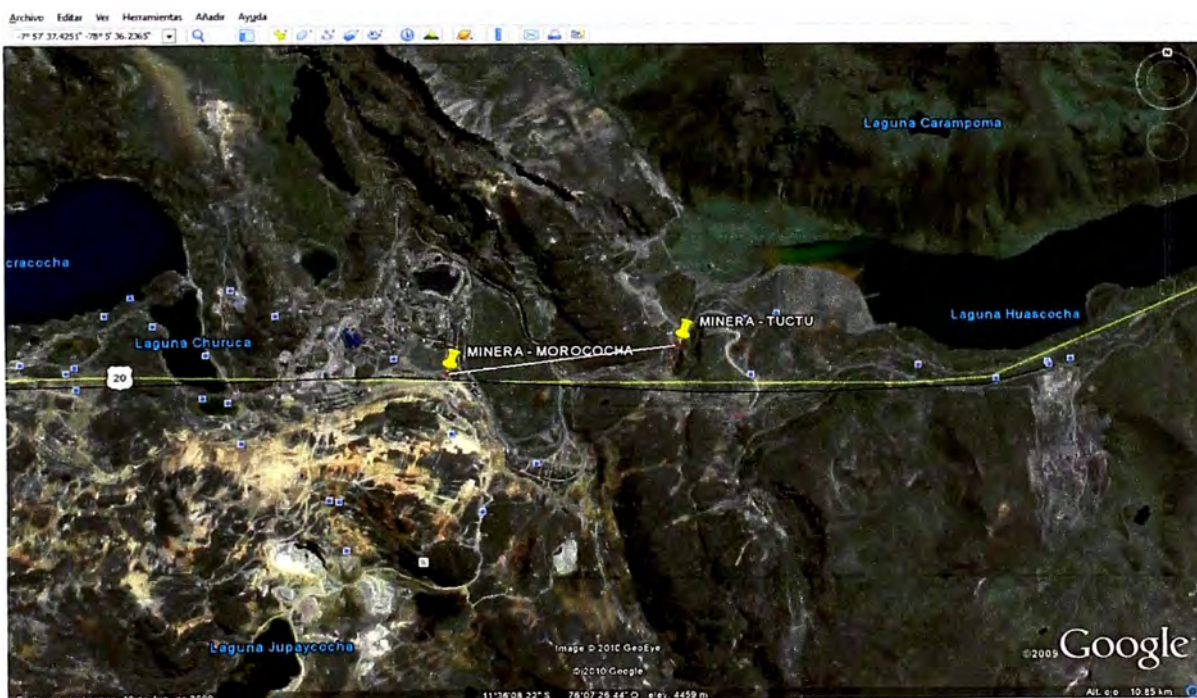


Figura 3.12 Sedes mapeadas en el Google Earth

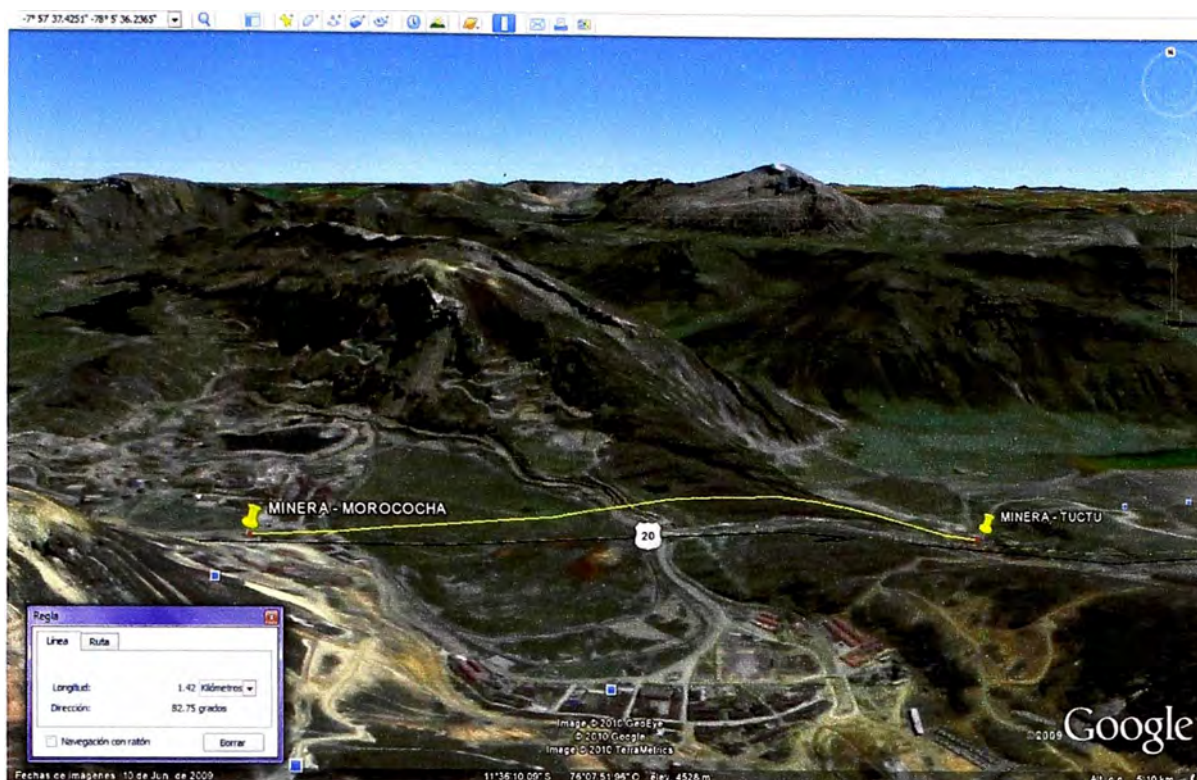


Figura 3.13 Línea visual entre las sedes

3.3.3 Estudio de campo

El estudio de campo, “Site Survey” o TSS a realizar es un punto importante a fin de reunir información sobre la actual infraestructura y el equipamiento que se tiene previamente instalado.

Es de gran utilidad la realización de un “Print Layout”, que nos determina la ubicación de cada uno de los elementos encontrados en el lugar visitado, indicando su posición, medidas y/o algún detalle adicional.

A la descripción realizada, se suma los posibles puntos donde se estaría instalando los gabinetes de interior o exterior (Outdoor o Indoor), la habilitación de losa de concreto, un nuevo sistema de puesta a tierra (PAT), instalación de escalerillas o el levantamiento de una nueva torre ventada, ubicación del tablero eléctrico existente, el medidor o generador eléctrico por instalar o existente, etc.

Una actividad importante del estudio de campo es la prueba de espejos, y es la orientación, hacia la trayectoria y en sentido opuesto a la posición de una de las sedes, de unos espejos para reflejar la luz del sol.

Es importante realizar esta prueba a la luz del día y con un clima despejado para poder apreciar el brillo de los espejos, la figura 3.14 resume gráficamente lo que se pretende explicar, tener en cuenta que la distancia entre ambos puntos fue de aproximadamente 30 kilómetros, llegándose a determinar que para el campamento se necesitará de una torre de 9m de altura.



Figura 3.14 Brillo de espejo a una distancia de 30 Kilómetros

La figura 3.15 nos muestra la distribución actual de un site visitado, en amarillo se visualiza el espacio designado como el disponible para instalar un nuevo gabinete interno. Existen diversos factores que determinan el éxito de un estudio de campo, el aprovechamiento del limitado tiempo que se tiene es una de ellas, para esto es necesario contar con personal técnico capacitado y con amplia experiencia en el rubro. Además, de gestionar previamente los permisos con el personal correspondiente para el acceso y permanencia en el site elegido.

La pérdida de tiempo por la demora en el ingreso, falta de coordinación, nueva lista de personal, personal no capacitado, documentos extraviados o carencia de documentos originan retraso y por consiguiente presión para culminar los trabajos a tiempo, esperando de que el escenario sea el mismo, es decir es posible que se tenga nubosidad, falta de acceso a la parte más alta del local, entre otras cosas.

Un estudio de campo en promedio puede ser realizado en 3 días, dependiendo del lugar y de su fácil acceso, en caso se realice en Lima Metropolitana no debería tomar más de un día. El estudio de campo finaliza con la entrega del informe, donde se apreciará un check list debidamente completado, toma de fotos, print layout, observaciones y conclusiones. En casos donde la distancia entre los puntos a enlazar no sea muy extensa, es recomendable realizar un estudio de perfil, el cual viene a ser el recorrido a través de la línea visual, a cargo del personal de camp, anotando coordenadas y altura promedio de los principales obstáculos que se aprecian en la trayectoria. La información reunida es llevada al Radio Mobile, y se determinará el mejor Fresnel para el enlace.

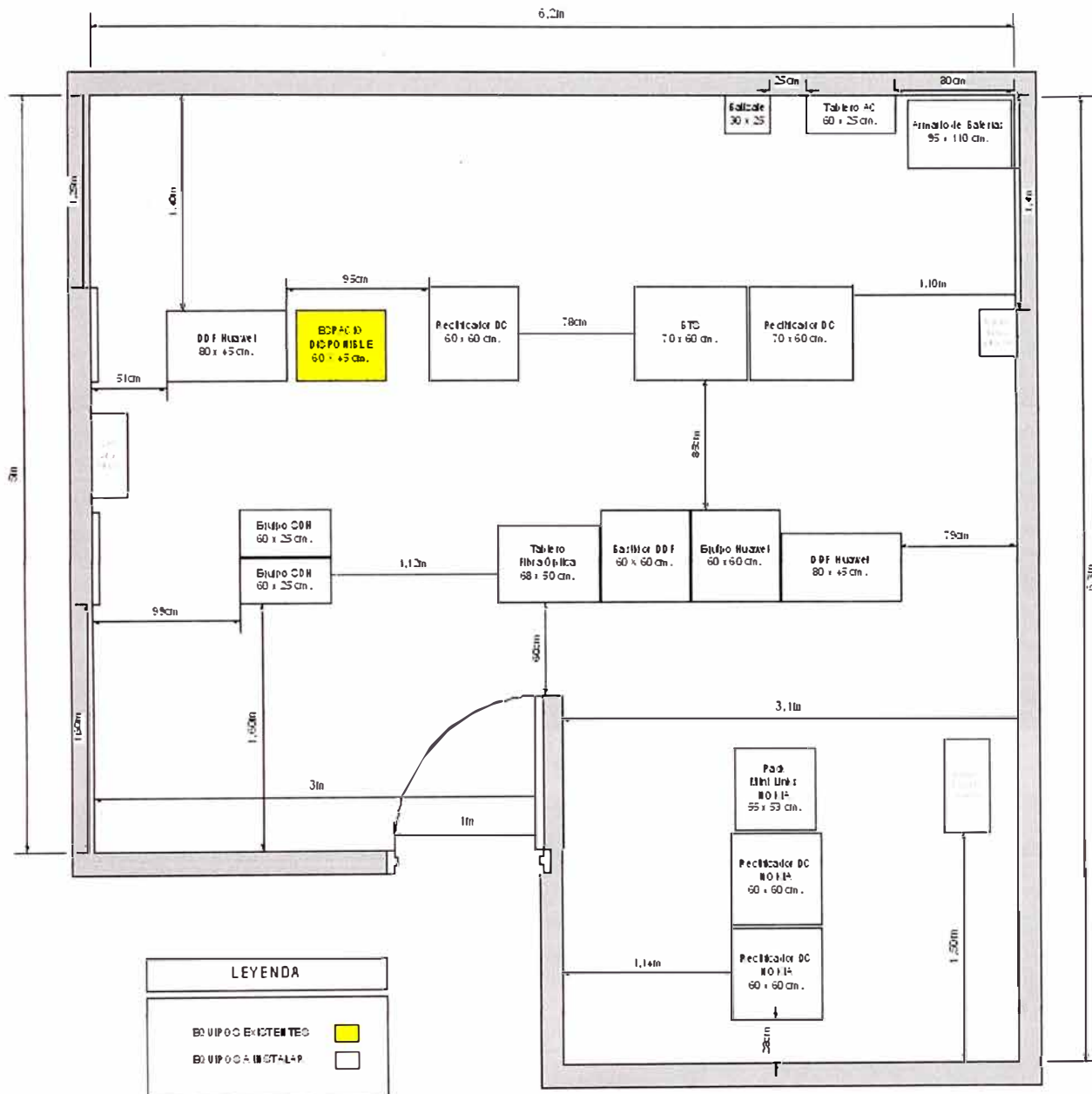


Figura 3.15 Print Layout

3.3.4 Presentación de resultados

La presentación de resultados y su respectiva contrastación con los datos obtenidos en la simulación, es la parte final previa a la instalación.

En la sección 3.3.2 se realizó la simulación de dos sedes determinando que se cuenta con línea de vista entre ambos, pero este análisis no considera los edificios que se tienen en la trayectoria, ni mucho menos los obstáculos naturales como árboles, lomas y/o cerros. Las figuras 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19 nos muestran las fotos después de la visita, la zona de árboles llega a ser un problema en caso no se cuente con la altura necesaria. La altura de 12m para la torre en la sede de Lince, se determinó con la ayuda del estudio de perfil, en la figura 3.19 se aprecia una construcción que sería el gran obstáculo para el cálculo de la zona de Fresnel.



Figura 3.16 Línea de vista desde la Sede Principal hacia la sede de Lince



Figura 3.17 La circunferencia roja ubica la sede del cliente



Figura 3.18 Línea de vista desde la sede Lince hacia la sede principal



Figura 3.19 Acercamiento desde la sede Lince hacia la sede principal

La presentación de resultados proporciona información respecto a la infraestructura, equipamiento y demás elementos a instalar, en caso no se disponga en la logística, se

deberá pensar en cotizar con los proveedores locales. Finalmente se deberá realizar la rentabilidad respectiva en base a los costos involucrados frente al beneficio a obtener.

CAPÍTULO IV COSTOS DEL PROYECTO

En esta sección se determinará el costo para la implementación de los escenarios descritos en el capítulo anterior. Para el enlace punto a punto se utilizará equipos Radwin debido a su capacidad de ofrecer interfaces E1, mientras que para el enlace punto multipunto se utilizará equipos Alvarion.

4.1 Enlace punto a punto

En la tabla 4.1 se muestran los costos que conllevan establecer el enlace punto a punto entre dos sedes.

Item	Descripción	Costo
Equipos	Equipos terminales: 2 IDU's, 2 ODU's, Antena integrada, Cable de energía, Cable RF, Instalación y puesta en marcha	\$2,300.00
Servicio	Instalación y puesta en marcha	\$600.00
Servicio	Mantenimiento correctivo (3 años): Soporte telefónico por ingeniero capacitado 7x24x365, respuesta y presencia en local pasados las 12 horas de reportada la falla, repuestos de IDU, ODU y fuente poder	\$4200.00
	Mantenimiento preventivo (3 años); El primer mantenimiento pasados los seis meses de instalado el enlace y se prosigue cada 12 meses	\$650.00

Tabla 4.1 Costo por enlace punto a punto

Se ha considerado para el análisis que ambas sedes cuentan con los equipos de energía y de acuerdo a los estándares de medición, vale decir tienen sala técnicas de equipos, energía comercial 220VAC, energía DC o rectificador, sistema de respaldo o banco de baterías y un correcto Sistema de puesta a tierra (SPAT).

El monto CAPEX (inversión de dinero para adquirir un activo fijo y que formará parte de nuestra red, el cual podrá ser utilizado una y otra vez para brindar el servicio a los clientes) asciende a \$ 2900.00, el cual es un monto menor frente a la instalación de un cableado de fibra.

El monto OPEX (gastos operacionales destinados a la operación y mantenimiento de la red) asciende a \$ 4850.00, el cual no necesariamente podría ser considerado en su totalidad, teniendo en cuenta que existe una gran probabilidad que los equipos no presente fallas de fábrica y descartando cualquier posible falla externa que produzca la avería de los equipos instalados, por consiguiente sólo se podría considerar los \$ 650.00 del mantenimiento preventivo por los tres años.

El equipo planteado para este escenario es el WinLink 1000 y nos permitirá enlaces con un throughput de hasta 18Mbps, el cual irá disminuyendo a medida que la distancia aumente, se promedia el throughput a una distancia de 7Km, sin embargo se han llegado a obtener los 18Mbps a distancias de hasta 50Km.

En caso se necesiten de costos adicionales, al encontrar que el usuario requiere de mayor altura para tener el escenario de LOS, no cuenta con SPAT, requiera de obras civiles, etc. La tabla 4.2 muestra costos que complementan la instalación definitiva.

Para transmitir un throughput mayor, hasta 100Mbps, a distancias no superiores a los 120Km, se recomienda emplear la serie WinLink 2000. El Kit nos cuesta \$ 1000.00 adicionales al presupuesto obtenido para la serie WinLink 1000.

Item	Descripción	Costo
Suministro	Suministro e instalación de un poste de 9m de altura, 4 pulgadas de diámetro, arriostrado, de acero galvanizado e incluye pintura	\$2,900.00
Suministro	Suministro e instalación de sistema de tierra (SPAT), resistividad menor a 5 ohmios. Incluye pozo de tierra e interconexión, soldaduras, tierra de chacra, sales, varillas de cobre, cable de cobre desnudo y demás	\$3,900.00
Suministro	Suministro e instalación de bastidor de 19" de ancho y 24RU (1.2m de altura) con puerta	\$320.00
Suministro	Suministro e instalación de gabinete de 19" de ancho y 42RU	\$900.00

Tabla 4.2 Costos por actividades adicionales

4.2 Enlace punto multipunto

Los costos por un enlace punto multipunto se muestran en la tabla 4.3. Notar que el costo CAPEX por los equipos se han incrementado debido a que no necesariamente en la sede principal, donde se montará la estación base, se cuenta con energía estabilizada y/o respaldo de energía, por lo que se está considerando un rectificador y un banco de baterías para tales fines. A su vez, se está asumiendo que se cuenta con un energía y espacio para alojar al equipo que se encuentre en cada sede remota, por lo que sólo se está considerando el equipo suscriptor (\$545.00). Las obras civiles se ven influenciadas por la construcción e instalación de la ventada o arriestrada, se considera una altura de 12m. El costo OPEX por el servicio de mantenimiento aumenta debido al mantenimiento de los equipos de energía y a la torre ventada En este escenario es recomendable incluir dentro del presupuesto el gasto por mantenimiento correctivo y preventivo, al tratarse de un nodo principal se torna un punto crítico frente a posibles caídas. Cada equipo suscriptor tiene la capacidad de establecer enlaces de 3Mbps, tráfico de voz, video y datos.

Item	Descripción	Costo
Equipos	Estación Base	\$13,245.00
	Rectificador	
	Baterías	
Equipos	Equipo del usuario final, cada sede presenta un equipo en promedio	\$545.00
Suministro	Obras Civiles: Pozo a tierra, adecuación del lugar para instalación de Torre ventada de 12m	\$20,000.00
	Trabajos de energía eléctrica, conexión al tablero de energía, SPAT, etc.	
Servicio	Instalación y puesta en marcha	\$3000.00
Servicio	Mantenimiento correctivo (3 años): Soporte telefónico por ingeniero capacitado 7x24x365, respuesta y presencia en local pasados las 12 horas de reportada la falla, repuestos de IDU, ODU y fuente poder	\$6000.00
	Mantenimiento preventivo (3 años); El primer mantenimiento pasados los seis meses de instalado el enlace y se prosigue cada 12 meses	\$1500.00

Tabla 4.3 Costos por enlace punto a multipunto

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Es importante tener en cuenta el Artículo 28 del Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones, el cual establece para la propagación en espacio libre, el límite de 4W como potencia de radiación.
2. El mismo artículo hace referencia a la normativa de las concesiones, hágase referencia para conocer el proceso de concesión, autorización, licencia y permiso en el uso del espectro radioeléctrico.
3. La parte importante en el planeamiento y diseño de un enlace inalámbrico 5.8GHz, y en general para un sistema de microondas, es el estudio de campo (TSS), ya que en esta etapa se reúne toda la información del equipamiento e infraestructura existente, se re-diseña, se plantea nuevo equipamiento e infraestructura y se levanta un informe final, que servirá de base para la instalación definitiva. Es necesario gestionar los permisos para un acceso rápido, a fin de un mejor aprovechamiento del tiempo de permanencia.
4. El escenario más desarrollado en el presente trabajo corresponde a un enlace punto a punto. Esto se debe a que dicho escenario se encuentra intrínsecamente ligado a cualquier enlace que uno requiera implementar, llegando a variar en la capacidad de ancho de banda a transmitir, la distancia a cubrir, el equipamiento asociado, el uso de los canales de frecuencia, entre otros. El presente trabajo tiene un alcance para instalaciones de última milla, sin embargo se considera que existe información técnica y práctica para el levantamiento de un enlace microondas.
5. La inversión para el establecimiento de un enlace punto a punto asciende a \$ 3000.00 con equipamiento RADWIN, en este caso nos permite cursar tráfico de datos (acceso a la internet), o tráfico TDM de hasta 2E1s (Telefonía digital o enlaces canalizados).
6. En la implementación del sistema inalámbrico es necesario contar con equipos de respaldo frente a posibles inhibiciones de los que se están instalando, esto nos ayuda a ser más eficientes reduciendo el tiempo de la instalación. Se sugiere contar con una plantilla de configuración en caso se tenga que disponer de un equipo nuevo, esto facilita la configuración inicial y permite el establecimiento de la comunicación para fines de instalación.

7. Se recomienda el uso de la banda de 5.8GHz entre diversos factores, por que permite un mejor "Throughput" según el estándar 802.11a, cubre distancias mayores comparables a los sistema de microondas con banda licenciadas, su uso es medianamente usado en la población, presenta velocidades de transmisión de hasta 54Mbps según el estándar mencionado, permite enlaces del tipo Backhaul y como parte de una red dorsal.

8. Es de gran ayuda conocer la densidad del uso de espectro radioeléctrico en la zona donde se piensa establecer el enlace inalámbrico, ya que se puede conocer con anterioridad las posibles causa de un bajo nivel de recepción en el sistema, y por consiguiente el mal funcionamiento del mismo. El cruce de la Av. Javier Prado y la Vía Expresa se encuentra actualmente poblada de enlaces microondas, bases celulares, y Wi-Fi que atraviesan su espacio causando interferencia a los nuevos enlaces a establecer.

ANEXO A
MODELO DE CHECK LIST

En esta sección se muestra un modelo de informe de Check List, se ha omitido el nombre real de la sede por confidencialidad.

DATOS GENERALES
<ol style="list-style-type: none"> 1. Fecha de Ejecución del TSS: 2. Ciudad: 3. Empresa donde se instalará el Sistema: 4. Nombre del Site: 5. Dirección: 6. Referencia: 7. Coordenadas UTM / Geográficas: 8. Altitud (m.s.n.m): 9. Contacto responsable del Site: 10. Teléfono 1 del Contacto: 11. Teléfono 2 del Contacto: 12. Correo electrónico del contacto:

Tabla A.1 Información relevante en el TSS

ESTRUCTURA Y ENERGÍA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Altura Total desde Nivel del Piso, Factible Verificado 2. Altura Total de la Torre Auto soportada 3. Altura solicitada de la Antena al ras del suelo 4. Altura Factible de la Antena desde el Nivel del piso, a partir 5. Longitud de cable IDU-ODU requerido 6. Tipo de Torre Ventada Auto-soportada Mástil 7. Diseño de la Torre Triangular Cuadrada Monopolo 8. Perfil de la torre 9. Escalerilla para cableado: SI NO 10. Escalerilla para acceso a la Torre: SI NO 11. Pozo a tierra: SI NO 12. Platina de tierra en Torre: SI NO 13. Platina de tierra Indoor e Outdoor: SI NO

ESTRUCTURA Y ENERGÍA	
14. Pararrayo:	SI NO
15. Luz de balizaje:	SI NO
16. Tipo y Longitud de cable tierra desde equipos Outdoor hasta platina superior en Torre:	
17. Tipo y Longitud de cable tierra desde gabinete hasta platina de Tierra:	
18. Tipo y Longitud de cable tierra para equipo en gabinete:	
19. Sub-Tablero de distribución (STD) 220VAC:	SI NO Estabilizada Comercial Grupo electrógeno
20. Llave térmica AC disponible en STD:	SI NO
21. Distancia desde tablero AC hasta rectificador DC:	
22. Rectificador 48VDC disponible:	SI NO
23. Rectificador 48VDC se requiere:	SI NO
24. Banco de baterías disponible:	SI NO
25. Banco de baterías se requiere:	SI NO
26. Llave térmica disponible:	SI NO
27. Llave térmica se requiere:	SI NO
28. Distancia desde rectificador DC hasta gabinete:	

Tabla A.2 Información sobre infraestructura y equipamiento

Las tablas A.1 y A.2 muestran el Chek List a completar durante y después del estudio de campo, el cual deberá ir acompañado de las fotos del lugar, ambientes, torre y zonas aledañas.

ANEXO B
WINKLINK 1000

WinLink 1000 es un sistema de alta capacidad para establecer enlaces punto a punto. Combina servicios TDM (E1) y Ethernet sobre bandas de frecuencia libre sin licencia como 2.4GHz y 5.8GHz. El sistema proporciona un enlace inalámbrico de hasta 48Mbps y soporta rangos de enlaces de hasta 80Km (50 millas).

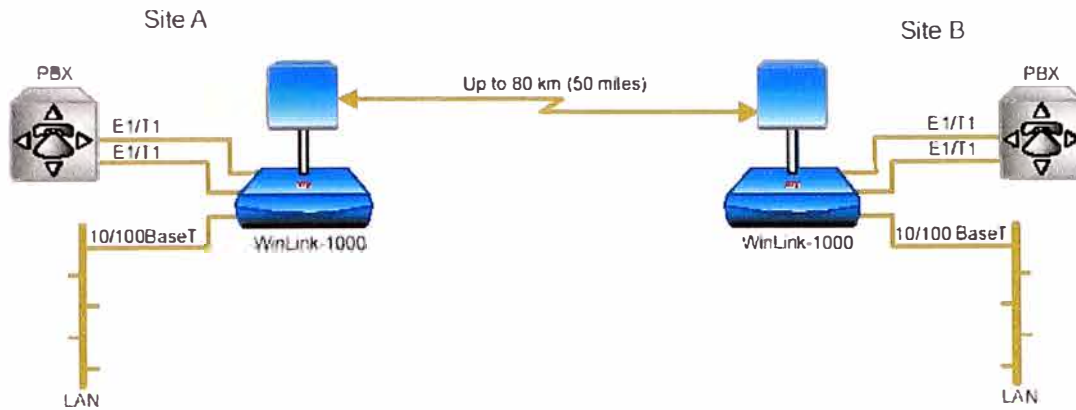


Figura B.1 Aplicación típica

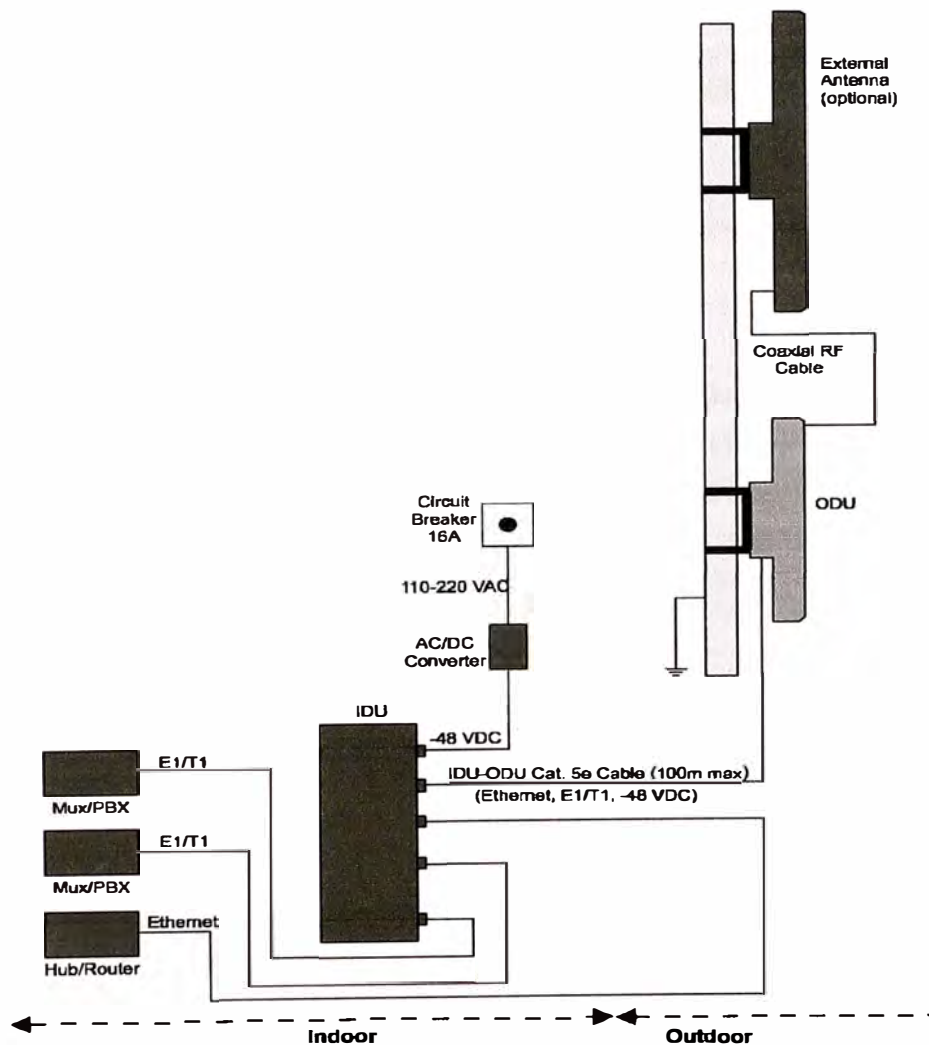
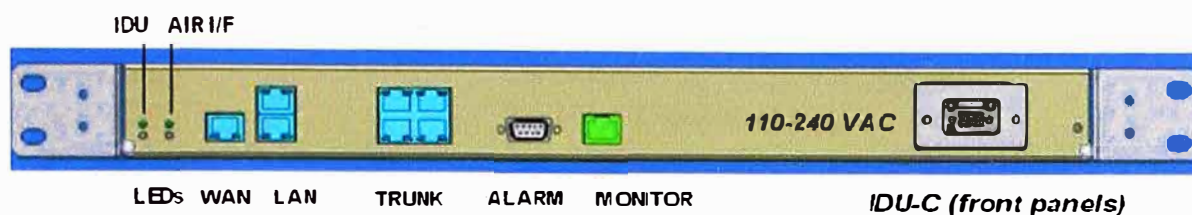


Figura B.2 Instalación típica con antena externa



Name	Color	Function
PWR	Green	ON – A power supply is ON IDU-E only
IDU	Green	ON – IDU operational
	Orange	ON – During power-up only
	Red	ON – Failure
ODU	Green	ON – ODU-to-IDU communication link is operating
	Red	ON – ODU-to-IDU communication link is disrupted
AIR I/F	Green	ON – Wireless link is synchronized
	Orange	ON – During installation only
	Red	ON – Wireless link lost synchronization
SERVICE	Green	ON – E1 or T1 line is synchronized
	Orange	ON – Alarm detected at the remote interface ON – Local or Remote loopback
	Red	ON – Alarm detected at the local interface

Figura B.3 Panel de indicadores IDU

<u>Technology</u>	:	OFDM
<u>Frequency Band</u>	:	2.400–2.483 GHz (*) 5.250–5.350 GHz 5.470–5.725 GHz 5.725–5.850 GHz
<u>Range</u>	:	Up to 80 km (50 miles)
<u>Duplexing Method</u>	:	Time Division Duplex (TDD)
<u>Capacity</u>	:	Configurable up to 48 Mbps
<u>Modulation</u>	:	OFDM - BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
<u>Channel setting Resolution</u>	:	5 MHz
<u>Transmitter Power</u>	:	17 dBm max
<u>ODU Installation</u>	:	Mast or wall mounting
<u>PHY IF</u>	:	Up to 2 x 10/100BaseT, auto-sensing
<u>Framing/Coding</u>	:	IEEE 802.3/U
<u>Bridging</u>	:	Self-learning, up to 2000 MAC addresses
<u>Line Impedance</u>	:	100 ohm
<u>VLAN Support</u>	:	Transparent
<u>Connector</u>	:	RJ-45
<u>Data Rate</u>	:	1, 2, 4 x E1, Unframed (Transparent) 2.048 MHz
<u>Line Interface</u>	:	HDB3

Figura B.4 Especificaciones técnicas

<u>Connector</u>		RJ-45
<u>Source IDU-E</u>		100-240 VAC <u>via external AC/DC converter</u>
<u>Source IDU-C</u>	:	100-240 VAC <u>via cable & plug</u>
<u>Power Consumption</u>	:	10W <u>max</u> – IDU-E y ODU 14W <u>max</u> – IDU-C y ODU
<u>Connector</u>	:	2-pin <u>for IDU-E</u>
IDU-C	:	DC ver: 3-pin terminal block
AC versión	:	3-prong <u>plug</u>
<u>Unit (ODU) ntegrated</u>	:	<u>Height</u> 305 mm / 12 in <u>Width</u> 305 mm / 12 in <u>Depth</u> 58 mm / 2.3 in <u>Weight</u> 3.3 kg / 7.2 lb
<u>IndoorUnit</u>	:	IDU-E IDU-C
		<u>Height</u> 44 mm / 1.7 in (1U) 43 mm / 1.7 in
		<u>Width</u> 237 mm / 9.3 in 297 mm / 11.5 in
		<u>Depth</u> 170 mm / 6.7 in 450 mm / 17.7 in
		<u>Weight</u> 0.58 kg / 1.4 lb 1.5 kg / 3.3 lb
<u>Outdoor Unit (ODU)</u>	:	<u>Enclosure</u> <u>All-weather case</u>
		<u>Temperature</u> -35°C <u>to</u> 60°C/-31°F <u>to</u> 140°F
		<u>Indoor Unit</u> (IDU-E and IDU-C)
		<u>Temperature</u> -5°C <u>to</u> 45°C/23°F <u>to</u> 113°F
		<u>Humidity</u> Up <u>to</u> 90%, <u>non-condensin</u>

Figura B.5 Especificaciones técnicas

WinLink-1000 Throughput (1km)

<u>Air-Interface Rate</u>	<u>Throughput full duplex</u>
[Mbps]	[Mbps]
12	4.2
18	6.5
36	13.6
48	18.3

Note: Throughput may decrease by up to 10% as a function of range, due to propagation delay.

Figura B.6 Throughput a 1Km

WinLink-1000 5.8GHz FCC : RANGE/RATE/Throughput
Antenna gain (external) 22dBi

EIs	Air Interface Rate [Mb/s] Half Duplex	Max Range [km]	net Ethernet remaining Throughput [Mb/s] Full duplex (net)
0	12	32	3
	18	20	5.4
	36	7	12.8
	48	2	18
1	18	20	3.3
	36	7	10.7
	48	2	15.9
2	36	7	8.6
	48	2	13.8
3	36	7	6.5
	48	2	11.7
4	36	7	4.4
	48	2	9.6

(*) Notes:

1. Range calculation for LOS with additional Margin = 6dB

Figura B.7 Rango, Capacidad y Throughput en antena de 22dBi

WinLink-1000 5.8GHz FCC : RANGE/RATE/Throughput
Antenna gain (external) 28dBi

EIs	Air Interface Rate [Mb/s] Half Duplex	Max Range [km]	net Ethernet remaining Throughput [Mb/s] Full duplex (net)
0	12	80	1.1
	18	65	2.8
	36	23	11
	48	6	17.5
1	18	58	1.1
	36	23	8.9
	48	6	15.3
2	36	23	6.8
	48	6	13.2
3	36	23	4.6
	48	6	11.1
4	36	23	2.5
	48	6	9

(*) Notes:

1. Range calculation for LOS with additional Margin = 6dB

Figura B.8 Rango, Capacidad y Throughput en antena de 28dBi

ANEXO C
FOTOS DE EQUIPOS E INSTALACIONES REALIZADAS

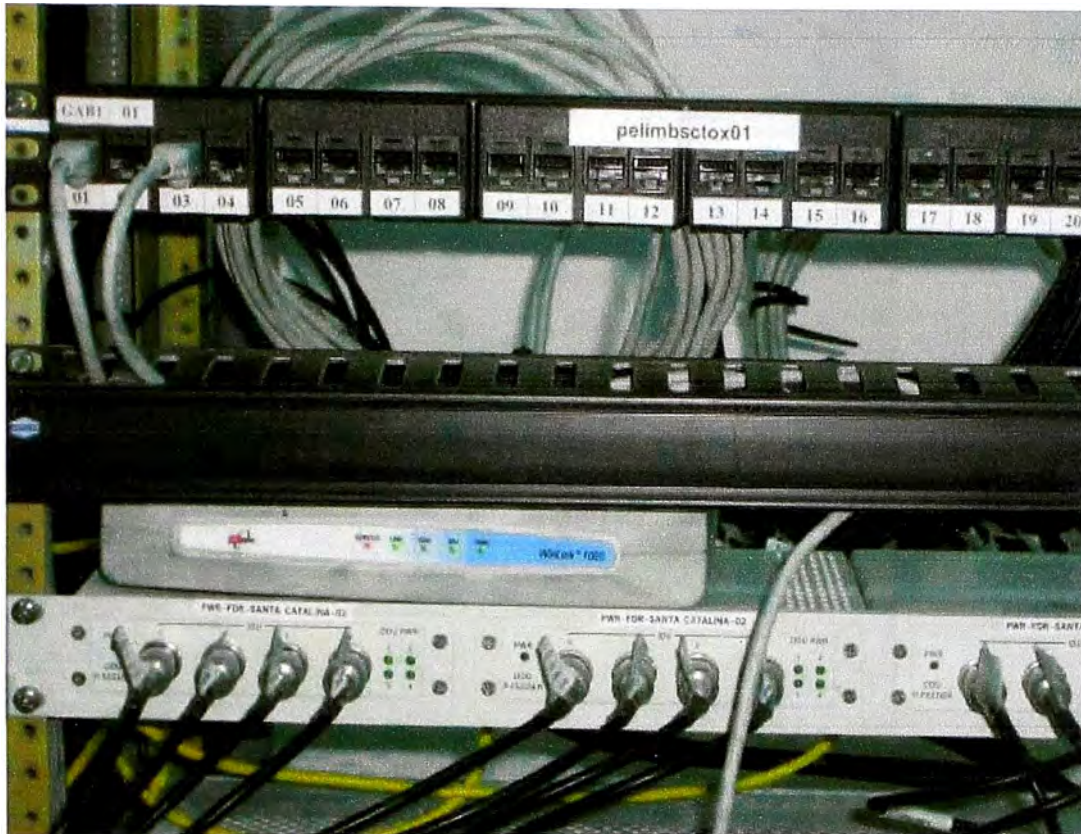


Figura B.1 IDU Radwin 5.8GHz

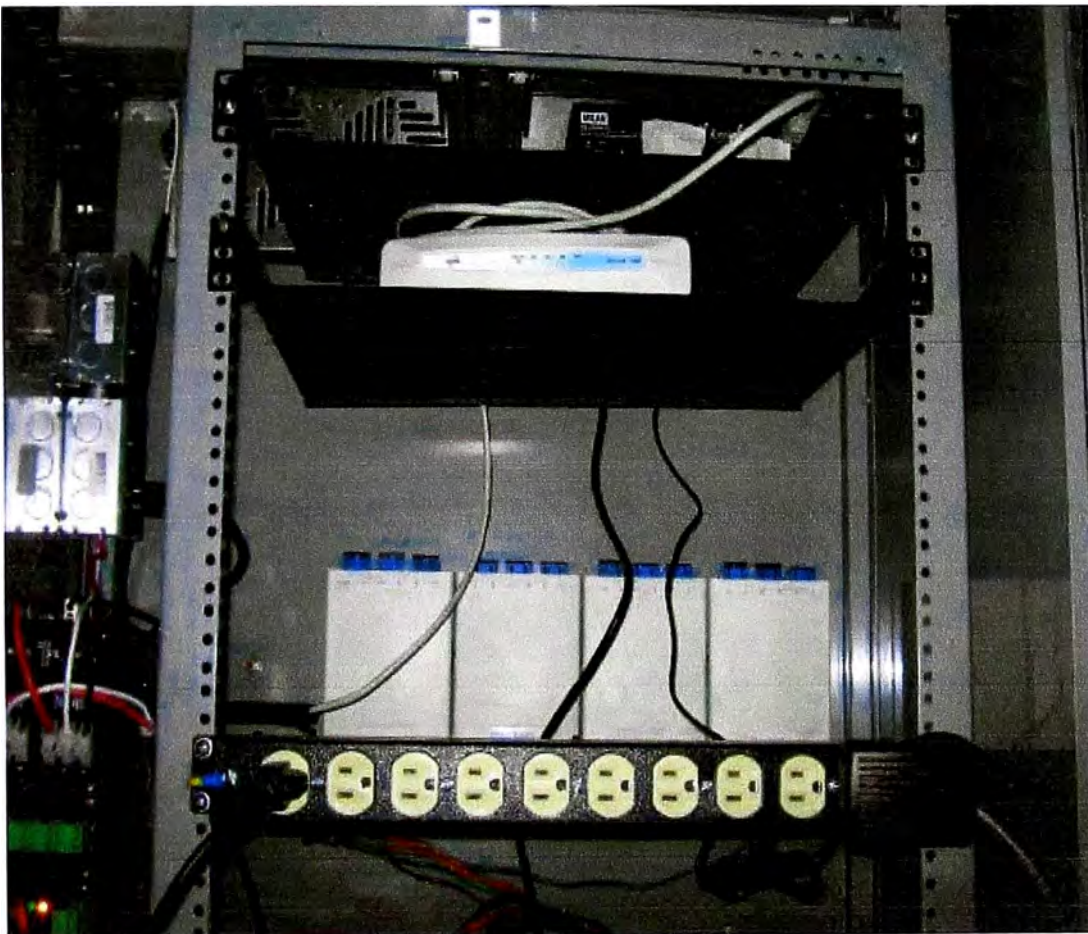


Figura B.2 IDU Radwin 5.8GHz y banco de baterías

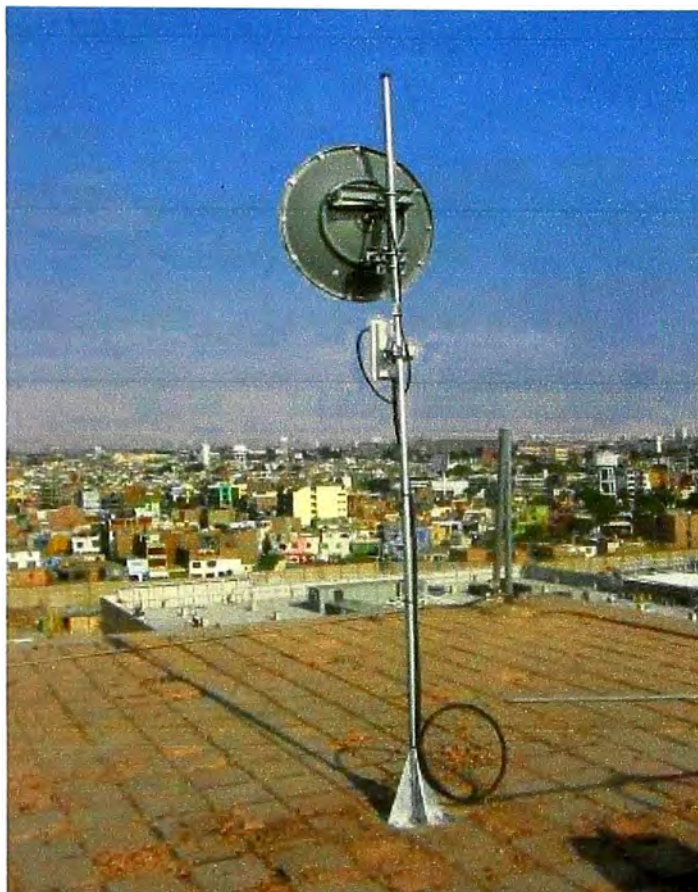


Figura B.3 ODU Radwin 5.8GHz y Antena externa de 28dBi

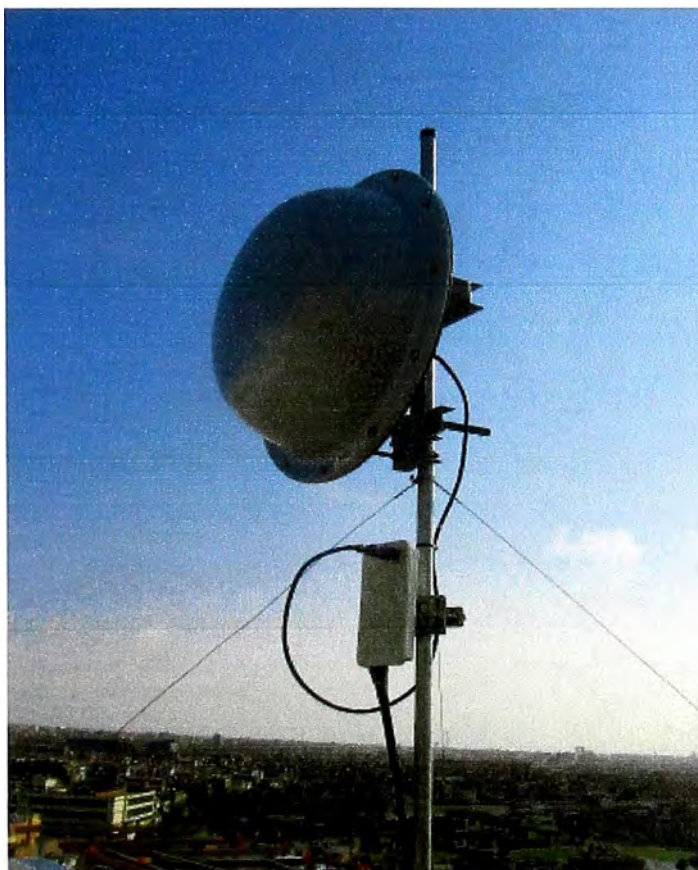


Figura B.4 ODU Radwin 5.8GHz y Antena externa de 28dBi



Figura B.5 Antena 5.8GHz integrada de 22dBi

WinLink - Link Budget

Product	WL 1000 ODU/F58/EXT
Rate	48Mb/s
Frequency / Duplex / Channel	5,8 GHz / TDD / 20 MHz
Tx Power	10 dBm
Tx Antenna Gain	28 dB
Rx Antenna Gain	28 dB
Cable Loss	0 dB
Fade Margin	6 dB
Tx Power EIRP	37 dBm / 5 Watt
Min Range	0,1 Km / 0,1 Miles
Max Range	6 Km / 3,7 Miles
Expected Performance	
Distance	3.57 Km
Expected RSS	-95 dBm
Services	1 x E1
Ethernet Rate (Full Duplex)	-39,6 Mb/s @ Ethernet Only
Recommended antenna height	68 Meter / 223 Feet
<input type="button" value="Calculate"/>	

Figura B.6 Resumen de un enlace 5.8Km



IDU-C



ODU with Integrated Antenna



IDU-E

Figura B.7 Equipos RADWIN 1000

ANEXO D
GLOSARIO DE TÉRMINOS

ARPA	Advanced Research Projects Agency
AU	Access Unit
CAPEX	Capital Expenditure
dB	Decibelios
DFS	Dynamic Frequency Selection
FTP	File Transfer Protocol
HFC	Hybrid Fibre Coaxial
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICM	Industriales, Científicas y Médicas
IDU	Indoor Unir
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LF	Low Frequency
LOS	Line of Sight
MDF	Main Distribution Frame
MF	Medium Frequency
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAT	Network Address Translation
ODU	Outdoor Unit
OEM	Onda Electromagnética o Ondas Electromagnéticas
OPEX	Operating Expenses
QoS	Quality of Service
RR	Radio Regulations
SCTR	Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo
SNMP	Single Network Management Protocol
SPAT	Sistema de puesta a tierra
SU	Subscriber Unit
TELCO	Empresa de Telecomunicaciones genérica
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TPC	Transmitter Power Control
TSS	Technical Site Survey

TUO	Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones
UIT	Unidad Impositiva Tributaria
VHF	Very High Frequency
VLF	Very Low Frequency
UHF	Ultra High Frequency
UTP	Unshielded Twisted Pair

BIBLIOGRAFIA

1. Tomasi, Wayne, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", Prentice Hall, 2004, ISBN: 9702603161.
2. V.V. Nikolski, "Electrodinámica y Propagación de Ondas de Radio", Mir Moscú, 1976.
3. Bará Temes, Javier, "Ondas Electromagnéticas en Comunicaciones", Universidad Politénica de Cataluña, 1999, ISBN: 8483013495.
4. Hernando Rábano, José María, "Comunicaciones Móviles", Centro de Estudios Ramón Areces, S.A., 2004.
5. Romeo López, José María, "Evolución de las Telecomunicaciones en el Mundo".
6. López Tafur, Marcial López. Aniak.edu.pe. <http://aniak.uni.edu.pe>
7. Decreto Supremo N° 020-2007-MTC. Normas Legales Diario "El Peruano". [http://www.mtc.gob.pe/indice/C.-SUB-SECTOR COMUNICACIONES/C.1. Telecomunicaciones/DS 020-2007-MTC.pdf](http://www.mtc.gob.pe/indice/C.-SUB-SECTOR-COMUNICACIONES/C.1.Telecomunicaciones/DS_020-2007-MTC.pdf)
8. Resolución Ministerial 12-2005-MTC. Normas Legales Diario "El Peruano". [RM 12-2005-MTC/03 Norma Técnica sobre Restricciones Radioeléctricas en Áreas de Uso Público 23.02.05](#)