

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE MICROONDAS  
PARA TRANSMISIÓN DEL SERVICIO DE INTERNET DEL  
OPERADOR TELEFÓNICA EN LA MINERA YANAQUIHUA-  
AREQUIPA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

PRIETO TEJADA, FRANK RONAL

**Villa El Salvador  
2017**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por todo el esfuerzo  
realizado hasta el día de hoy, para darnos  
lo mejor a mis hermanos y a mí.

A mi familia, por todo el apoyo brindado  
durante los años de estudios y la  
confianza depositada en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso en estas líneas mi profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que con su ayuda y buenos ánimos colaboraron con la realización del presente proyecto.

Debo dar las gracias a la empresa CAM PERU SA, por asignarme este trabajo y facilitarme los recursos necesarios para la realización proyecto, además por la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

Finalmente, mi completa gratitud a mi asesor, por toda la paciencia y tiempo brindado, para desarrollar de la mejor manera este trabajo.

# ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCION</b> .....	9
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA</b> .....	<b>10</b>
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	10
1.2. Justificación del Proyecto .....	11
1.3. Delimitación del Proyecto .....	13
1.4. Formulación del Problema .....	14
1.5. Objetivos .....	14
1.5.1. Objetivo General .....	14
1.5.2. Objetivos Específicos .....	14
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. Antecedentes de Investigación .....	15
2.2. Bases Teóricas.....	18
2.2.1. Electromagnetismo .....	18
2.2.2. La Onda .....	20
2.2.3. Conceptos de Propagación .....	22
2.2.3.1. Sistemas Digitales .....	22
2.2.3.2. Ruido e Interferencia .....	23
2.2.3.3. Presupuesto del Enlace .....	23
2.2.3.4. Espacio Libre .....	24
2.2.3.5. Atenuación .....	25
2.2.3.6. Reflexión .....	27
2.2.3.7. Refracción .....	27
2.2.3.8. Difracción .....	28
2.2.2.9. Absorción .....	28
2.2.3.10. Polarización .....	28
2.2.3.11. Desvanecimiento .....	29
2.2.4. Transmisión .....	30
2.2.5. Modulación .....	31
2.2.5.1. Modulación por Amplitud .....	31
2.2.5.2. Modulación por Frecuencia .....	33
2.2.5.3. Modulación por Fase .....	33
2.2.5.4. Modulación de Amplitud en Cuadratura .....	35
2.2.6. Espectro Electromagnético .....	36
2.2.7. Microondas .....	40
2.2.8. Radioenlaces por Microondas .....	41
2.2.9. Elementos para el diseño de un Radioenlace Microondas .....	43

2.2.9.1. Línea de Vista .....	44
2.2.9.2. Zona de Fresnel .....	46
2.2.9.3. Pérdidas en el Espacio Libre .....	50
2.2.9.4. Multitrayectoria .....	60
2.2.10. Software Pathloss .....	63
2.3. Marco Conceptual .....	63
<b>CAPITULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROYECTO .....</b>	<b>67</b>
3.1. Análisis .....	67
3.1.1. Descripción de la Mina Yanaquihua .....	67
3.1.2. Ubicación Geográfica de la Mina Yanaquihua .....	68
3.1.3. Estudio Previo .....	68
3.1.4. Datos Generales de las Estaciones .....	71
3.1.4.1. Datos de la Mina Yanaquihua .....	71
3.1.4.2. Datos de la Estación Repetidora Señal Elba .....	73
3.1.5. Diseño del Enlace .....	75
3.1.5.1. Cálculo de Propagación y Perfil del Enlace .....	75
3.1.5.2. Estructuras Metálicas y Soportes .....	82
3.1.5.3. Diseño de Postes para Recorrido de Cable Coaxial y Pozo a Tierra .....	89
3.1.5.4. Equipamiento .....	89
3.1.5.5. Arquitectura del Sistema .....	90
3.2. Implementación .....	92
3.2.1. Adecuaciones Civiles y Eléctricas .....	92
3.2.2. Implementación del Enlace Microondas .....	94
3.2.2.1. Instalación de Mástil y Soporte de Antena .....	96
3.2.2.2. Instalación de Antena y ODU .....	98
3.2.2.3. Cableado de Coaxial RG8 e Instalación de IDU .....	99
3.2.2.4. Alineamiento de Antenas y Configuración de Enlace .....	102
3.2.3. Resultados .....	109
3.2.3.1. Pruebas y Validación de Enlace .....	110
3.2.3.2. Costo del Proyecto .....	114
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>119</b>

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1. Ecuaciones de Ondas Electromagnéticas en el vacío .....	19
Figura 2.2. Esquema de Onda Electromagnética.....	20
Figura 2.3. Esquema General de Transmisión .....	20
Figura 2.4. Esquema de Onda .....	21
Figura 2.5. Ecuación de Propagación de una OEM en el vacío .....	21
Figura 2.6. Dualidad Onda Partícula .....	22
Figura 2.7. Ecuación para el cálculo de pérdidas en el espacio libre.....	24
Figura 2.8. Tipos de Polarización.....	29
Figura 2.9. Representación de Onda Portadora .....	32
Figura 2.10. Representación de Onda Moduladora.....	32
Figura 2.11. Representación de Onda en Amplitud.....	32
Figura 2.12. Modulación de Frecuencia.....	33
Figura 2.13. Modulación por Variación de Fase .....	34
Figura 2.14. Modulación 16QAM .....	36
Figura 2.15. Espectro Electromagnético .....	37
Figura 2.16. Esquema básico de un radioenlace. ....	42
Figura 2.17. Esquema de un radioenlace satelital.....	42
Figura 2.18. Esquema de un radioenlace terrestre .....	43
Figura 2.19. Horizonte de Radio .....	44
Figura 2.20. Ecuación para el Cálculo de la Distancia.....	44
Figura 2.21. Ecuación para el Cálculo de Distancia Del Transmisor Al Horizonte.....	45
Figura 2.22. Cálculo de la distancia máxima entre antena transmisora y receptora .....	46
Figura 2.23. Cálculo de la distancia máxima entre antenas en kilómetros .....	46
Figura 2.24. Onda directa y onda refractada entre transmisor y receptor.....	47
Figura 2.25. Primera y Segunda Zona de Fresnel .....	48
Figura 2.26. La primera zona de Fresnel libre de obstáculos.....	49
Figura 2.27. Calculo de la Zona de Fresnel .....	49
Figura 2.28. Ecuación para el cálculo de la Primera Zona de Fresnel .....	50
Figura 2.29. Radiador Isotrópico .....	51
Figura 2.30. Ecuación para el cálculo de densidad isotrópica.....	51
Figura 2.31. Patrones de radiación de una antena omnidireccional .....	52
Figura 2.32. Patrones de radiación de una antena directiva.....	52
Figura 2.33. Ecuación para el cálculo de la ganancia en una antena transmisora.....	53
Figura 2.34. Ecuación para el cálculo de la ganancia en una antena dipolo estándar.....	54
Figura 2.35. Ganancia de antena receptora.....	55
Figura 2.36. Ecuación para el cálculo del área equivalente de absorción .....	56

Figura 2.37. Ecuación para el cálculo del área equivalente de absorción de antena.....	56
Figura 2.38. Esquema de un enlace .....	57
Figura 2.39. La ecuación de Friis .....	57
Figura 2.40. Ecuación de pérdidas en el espacio libre.....	58
Figura 2.41. Esquema de multitrayectoria... ..	61
Figura 2.42. Multitrayectoria en comunicaciones móviles.....	62
Figura 2.43. Esquema de sistema MIMO. ....	63
Figura 3.1. Plano Satelital de la Planta de Operaciones de la Minera Yanaquihua .....	68
Figura 3.2. Plano Satelital de la Planta Minera y Estación Repetidora .....	75
Figura 3.3. Plan de ruta .....	76
Figura 3.4. Perfil del enlace.....	78
Figura 3.5. Esquema de alturas de Torres y Antenas.....	82
Figura 3.6. Vista grafica de la Planta Minera .....	83
Figura 3.7. Vista grafica de la Estación Repetidora. ....	85
Figura 3.8. Soporte montante tipo pata de gallo para instalación de antena en torre .....	86
Figura 3.9. Vista gráfica del mástil a instalar en la Planta Minera .....	87
Figura 3.10. Diagrama del enlace microondas a implementar .....	91
Figura 3.11. Plataforma para instalación de Mástil .....	92
Figura 3.12. Postes instalados para tendido de cable RG8 .....	92
Figura 3.13. Pozos a Tierra instalados .....	93
Figura 3.14. Camino accesible al área de instalación del mástil .....	93
Figura 3.15. Gabinete ordenado y con espacio suficiente para nuevos equipos .....	94
Figura 3.16. Traslado de equipos desde la mina hacia Estación Repetidora Señal Elba .....	95
Figura 3.17. Anclaje y aterramiento del mástil en la planta minera .....	96
Figura 3.18. Aterramiento del mástil en el pozo a tierra .....	97
Figura 3.19. Mástil instalado en la Planta Minera. ....	97
Figura 3.20. Antena y ODU instalada en Mástil en la Planta Minera .....	98
Figura 3.21. Instalación de Antena y ODU en torre autosoportada en la Repetidora .....	99
Figura 3.22. Rackeo de IDU en Data Center de Planta Minera .....	100
Figura 3.23. Aterrado de IDU y Conectorizado en Conversor -48VDC en Data Center .....	100
Figura 3.24. Energizado de IDU en Planta Minera.....	101
Figura 3.25. IDU instalada en Estación Repetidora .....	101
Figura 3.26. Energizado de IDU en Estación Repetidora .....	101
Figura 3.27. Antena y ODU.....	102
Figura 3.28. Interfaz para acceder a la configuración de la radio .....	103
Figura 3.29. Interfaz para configurar el equipo de radio .....	103
Figura 3.30. Inicio de la configuración del perfil del enlace .....	104
Figura 3.31. Cambio de nombre de radio enlace . ....	105
Figura 3.32. Configuración de Ancho de Banda y Modulación .....	106
Figura 3.33. Configuración de la capacidad del enlace .....	106

Figura 3.34. Configuración de la Frecuencia de Transmisión.....	107
Figura 3.35. Configuración de la Potencia de Transmisión .....	107
Figura 3.36. Equipo de radio de la estación repetidora Señal Elba configurado .....	109
Figura 3.37. Equipo de radio de la Planta Minera configurado .....	109
Figura 3.38. Equipo EXFO-ETS 1000.....	111

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1. Características Enlace Satelital, Fibra Óptica y Microondas.....	11
Tabla 1.2. Cotización de Enlace Satelital.....	12
Tabla 1.3. Cotización de Enlace Microondas .....	12
Tabla 1.4. Diagrama de Gantt.....	13
Tabla 2.1. Espectro Electromagnético .....	38
Tabla 2.2. Clasificación de Microondas por EE.UU .....	39
Tabla 2.3. Clasificación de Microondas por la Unión Europea .....	39
Tabla 3.1. Ubicación de la Planta Minera .....	69
Tabla 3.2. Altura de Torres y Antena.....	70
Tabla 3.3. Requerimientos de la Planta Minera.....	72
Tabla 3.4. Requerimientos de la Estación Repetidora .....	73
Tabla 3.5. Resumen de Requerimientos .....	74
Tabla 3.6. Cálculo del Enlace .....	81
Tabla 3.7. Equipamiento de Enlace .....	89
Tabla 3.8. Materiales Consumibles para el enlace .....	90
Tabla 3.9. Datos entregados por el operador del servicio .....	103
Tabla 3.10. Costo del Proyecto por Actividades .....	115

## INTRODUCCION

La comunicación para el ser humano, es algo inevitable, innato. A lo largo de la historia esta necesidad se ha visto limitada por diversos factores como la geografía, distancia, tiempo, etc. Las comunicaciones inalámbricas nacieron como solución para los factores mencionados anteriormente, basándose en las teorías electromagnéticas del físico James Clerk Maxwell, cuyo entendimiento de la física a nivel superior permitió aplicar este conocimiento para crear y mejorar tecnologías, lo cual mejoro la calidad de vida de las personas.

Este proyecto describirá como diseñar e implementar un sistema inalámbrico de comunicaciones, cuyo fin es el acceso a internet para la Planta de la Minera Yanaquihua a través de la estación base Repetidor Señal Elba, perteneciente al operador Telefónica del Perú, ubicados en las provincias de Condesuyo y Caravelí, departamento de Arequipa.

Se mostrará el diseño a nivel físico y lógico, así como la simulación del sistema de comunicaciones (enlace microondas). Los datos obtenidos serán la base teórica fundamental que permitirá una adecuada implementación de este proyecto.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En la actualidad las plantas mineras están en un constante desarrollo y actualización de los sistemas de comunicación, mejorando de manera continua los procesos operativos o de cualquier otra índole.

Los sistemas de comunicación en base a fibra óptica son muy eficaces en este proceso por su velocidad de transmisión y ancho de banda, pero poco convenientes en sedes mineras ya que su acceso es limitado por la geografía. Los sistemas satelitales, por su costo elevado, son poco rentables para su implementación.

La Minera Yanaquihua, al estar inmersa en este proceso de renovación, posee este problema, de encontrar un sistema adecuado para la transmisión de Internet hasta su planta de operaciones.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para la problemática de transmisión que presenta la Planta Minera Yanaquihua, se plantea diseñar e implementar un enlace microondas, ya que no es limitada por la geografía y su costo de instalación es mucho menor que un sistema satelital.

Tabla 1.1. Comparación de características de las diversas soluciones para la transmisión de internet en la minera.

CUADRO COMPARATIVO DE LAS DIVERSAS SOLUCIONES PARA LA TRANSMISION DE INTERNET			
	FIBRA OPTICA	ENLACE SATELITAL	ENLACE MICROONDAS
C A R A C T E R I S T I C A S	No es afectada por fenomenos climatologicos, pero al ser un medio de transmision guiado es poco accesible a lugares remotos por la geografia	Deben tener un camino recto y definido entre el satelite y la antena terrestre. Cualquier obstrucción, inclusive una lluvia fuerte, granizo o nieve puede degradar o eliminar completamente la señal.	Deben tener un camino recto y definido entre el transmisor y receptor. Cualquier obstrucción, inclusive una lluvia fuerte, granizo o nieve puede degradar o eliminar completamente la señal.
	bajo costo de instalacion y mantenimiento en medios urbanos. En lugares remotos suele ser un medio de transmision poco accesible	De mayo costo de instalacion y mantenimiento que un enlace microondas pero mas barato que un enlace por fibra optica.	Bajo costo de instalacion y mantenimiento ya sea en medio rurales y urbanos
	Tiene una atenuación (pérdida de la señal) muy baja y uniforme sobre un amplio rango de frecuencia.	sufre perdida constante de señal debido al retardo producido por las largas distancias lo que dificulta el control de errores y flujo de datos.	Permiten la transmision de una gran cantidad de datos. Utiliza antenas repetidoras para evitar la atenuacion de la señal y perdida de la misma sin la necesidad de depender de un medio transmision fisicos.

Tabla 1.2. Cotización para un Enlace Satelital

COSTO DE SISTEMA SATELITAL	COSTO DE MANO DE OBRA
RADWIN 5200(Estación Base)-HBS	S/10,636.92
RADWIN 5510(Suscriptor)-HSU	S/4,791.96
Antena Omnidireccional 5.8GHz de 12dBi (para HBS)	S/644.76
Cable Superflex para Antena	S/440.64
Protector sobretensión para Antena	S/427.68
PoE AC para HBS y HSU	S/855.36
Protector sobretensión para PoE	S/933.12
Pararrayos tipo tetra puntual	S/1,134.00
Sistema de Pozo a Tierra	S/1,782.00
Switch CISCO SGE2000 24	S/1,684.80
Racks de Equipos	S/324.00
Estructura de Torre	S/1,069.20
Costo de Instalación	S/3,888.00
Obras Civiles	S/2,592.00
Costo mensual por servicio	S/11,711.43
Costo de Mantenimiento	S/486.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/43,401.87</b>

Tabla 1.3. Cotización para un Enlace Microondas.

COSTO DE SISTEMA MICROONDAS	COSTO DE MANO DE OBRA
estudio de radioenlaces nuevo / enlace mw	S/. 1,583.68
radioenlace de 1.2mts / instalación en sala	S/. 890.82
radioenlace de 1.2mts / instalación en torre	S/. 989.80
radioenlace de 1.2mts / trabajos de energización	S/. 197.66
radioenlace de 0.3-1.2mts / alineamiento de radioenlace:	S/. 2,870.42
instalación de mástil	S/. 2,078.58
traslado de mw / traslado de enlace desde lima	S/. 1,643.07
cableados utp hasta 4fe (30 mt)	S/. 247.45
instalación de canaletas	S/. 593.88
alquiler de camioneta 4x4	S/. 5,443.90
habilitación del medio tx radio	S/. 10,685.39
arrendamiento de equipos de radio enlace (pago mensual)	S/. 177.45
acceso con navegación nacional 02mbps (pago mensual)	S/. 1,727.95
caudal de datos 1.5 mbps (pago mensual)	S/. 256.31
caudal tiempo real 512 kbps (pago mensual)	S/. 144.36
arrendamiento equipo conversor -48vdc (pago mensual)	S/. 32.99
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 29,563.71</b>

### 1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

**Espacial:** Se implementó en la Planta Minera Yanaquihua y en la Estación Base de Telefónica del Perú, Repetidor Señal Elba (Cerro Venado); ambos lugares ubicados en el Departamento de Arequipa. La primera en la provincia de Condesuyo, distrito de Yanaquihua; y la segunda, en la provincia de Caravelí, distrito del mismo nombre.

**Temporal:** Se desarrolló entre el 16 de Mayo al 15 de Junio del 2016.

**Conceptual:** Se limita a la transmisión del servicio hasta la Planta Minera y los resultados de la misma.

Tabla 1.4. Diagrama de Gantt. Indica el tiempo utilizado para actividad realizada durante el proyecto.



## **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es posible transmitir la señal del operador vía microondas para que la planta minera acceda al servicio de Internet-VPN?

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 GENERAL**

Diseñar e implementar un enlace microondas para que la planta minera acceda a Internet-VPN.

### **1.5.2 ESPECIFICOS**

- Análisis del estado y requerimientos de comunicación de la planta minera.
- Diseñar el enlace microondas de acuerdo a la información dada durante el análisis previo.
- Implementar el enlace microondas propuesto en el diseño.
- Habilitar un puerto Fast Ethernet en el equipo de radio para que la Planta Minera acceda al servicio de Internet.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

##### **Tesis con temas similares que sirven como antecedentes para la elaboración del proyecto**

Estas tesis permiten una mayor información y alcance para el entendimiento sobre los sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Rentería, M. F. (2011). *Diseño, simulación e implementación de un radio enlace entre los municipios de Alcalá y Ansermanuevo* (Tesis de Pregrado). Universidad Católica del Pereira, Colombia.

En dicha tesis se concluyó lo siguiente: “Al instalar los equipos y observar la intensidad de señal recibida por las antenas y compararlas con las simulaciones se puede constatar que hubo una muy buena aproximación a la realidad. Al observar de manera detallada la simulación del sistema se pudo tener un mejor entendimiento de sus variables pudieron definir varias estrategias que mejoraron

la eficiencia del sistema previnieron posibles errores en los cálculos del radio enlace”.

López, J. M. y Zamora, J. F. (2007). *Implementación del sistema de distribución local multipunto en grupo Industrial Morgan en la ciudad de Pachuca, Hidalgo* (Tesis de Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

En dicha tesis se concluyó lo siguiente: “Con la implementación de esta tecnología se pretende que la empresa Grupo Industrial Morgan ubicada en la ciudad de Pachuca, Hgo., pueda disponer de servicios de video, voz y datos, además de la propuesta del enlace microondas de la ciudad de Pachuca a la ciudad de Naucalpan Estado de México; logrando implementar un sistema de telecomunicaciones de vanguardia”.

Suqui, K. M. (2010). *Estudio e implementación de un radio enlace con tecnología Mikrotik para el I.S.P. JJSISTEMAS en el Canton Gualaquiza, provincia Morona Santiago* (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

En dicha tesis se concluyó lo siguiente: “Cuando se realiza las configuraciones de los equipos para el radioenlace, uno de los parámetros a los que se debe dar mayor importancia, es el canal por el canal se a difundir ya que la interferencia ocasionada por el uso de un canal ocupado ocasiona que el enlace sea inestable. Para comprobar que un canal está disponible en un sector, es necesario realizar un SCAN de frecuencias para ellos debemos simplemente iniciar la aplicación que lo permite, disponible en todos los equipos de transmisión inalámbrica.

Fernández, C. R. y Dávila, L. A. (2013). *Diseño de una red de transporte para la integración de la Región Madre de Dios a la Red Troncal de Telecomunicaciones del Perú* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

En dicha tesis se concluyó lo siguiente: “El desarrollo de la tesis comprende una solución para que la región de Madre de Dios posea un medio de comunicación adecuado, teniendo en cuenta el desarrollo económico de dicha región y por ende la poca demanda de servicios de telecomunicaciones que se observa en la zona. Como punto a favor del sistema de microondas sobre los demás (fibra óptica y satelital) es su costo. Como se observó en el capítulo 5, la relación de los costos con la facilidad de la instalación y la demanda existente, hacen de este sistema el mejor. Otro aspecto que favorece a este sistema de microondas es su uso como un respaldo o Backup para la fibra, esto es muy usado en la mayoría de instalaciones de fibra óptica, ya que al ser la fibra un medio unificado (todos los hilos pasan por la fibra), si sucede algún percance y se corta un sector toda la fibra dejaría de transmitir, aspecto que no debería de pasar ya que se dejaría sin servicio a la región y nuestro sistema resguardaría la comunicación ante estos inconvenientes”.

Moreno, C. (2011). *Proyecto de una red convergente de telecomunicaciones para una empresa minera* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

En dicha tesis se concluyó lo siguiente: “Lo que se pretende con el presente proyecto es ofrecer servicios convergentes de Telecomunicaciones en las sedes de la empresa minera Barrick, ubicadas en el departamento de Ancash (Pierina)

y el departamento de La Libertad (Lagunas Norte), en donde la transmisión de información está en aumento y no se cuenta con infraestructura adecuada de Telecomunicaciones de última generación”.

Torres, L. H. (1993). *Modernización del sistema de telecomunicaciones de una empresa de explotación minera* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

En dicha tesis se concluyó lo siguiente: “El sistema de telecomunicaciones permite captar la integración entre las telecomunicaciones y la informática (telemática), logrando así disponer del acceso a las facilidades de procesamiento (Computadores centrales y servidores de archivo) desde terminales o computadores personales ubicadas en distintas localidades geográficas. En el caso expuesto se cuenta con una red telemática de amplitud regional e internacional”.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Electromagnetismo**

En principio, para transportar información o datos de forma inalámbrica, se necesita, “algo o quien” se encargue de llevar dicha información por este medio. Este “algo o quien” se refiere a las ondas electromagnéticas.

Una onda electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos, que se dispersan por un espacio tridimensional oscilando, perpendiculares entre sí, y perpendiculares a la dirección de propagación, transportando energía de un lugar a otro.

A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un

medio material para propagarse, las ondas electromagnéticas no requieren un medio material o físico para su propagación.

A continuación, en la figura 2.1 se muestra las ecuaciones de las ondas electromagnéticas propagadas en el vacío, demostradas a partir de las ecuaciones de Maxwell.

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \nabla^2 \vec{E} = 0$$
$$\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \nabla^2 \vec{B} = 0$$

Figura 2.1. Ecuaciones de ondas electromagnéticas en el vacío.  
Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcim971a/doc/bmfcim971a.pdf>

Donde:

$E$ : Campo eléctrico.

$B$ : Campo magnético.

$\mu_0$ : Permeabilidad magnética en el vacío.

$\epsilon_0$ : Permitividad eléctrica en el vacío.

En tanto que el esquema general de una onda electromagnética está representado en la figura 2.2 y el esquema general de transmisión en la figura 2.3.

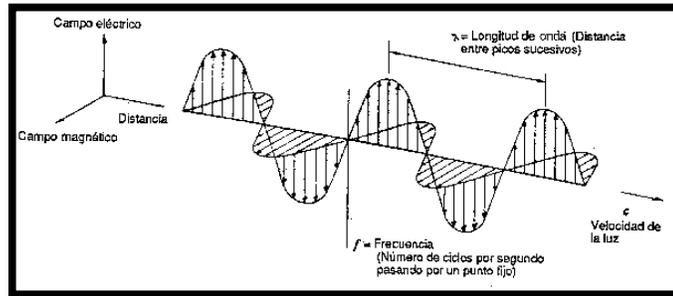


Figura 2.2. Esquema de Onda electromagnética. Los campos eléctricos y magnéticos de una radiación varían sinusoidalmente.

Fuente: <http://www.mariogonzalez.es/blog/ciencia>

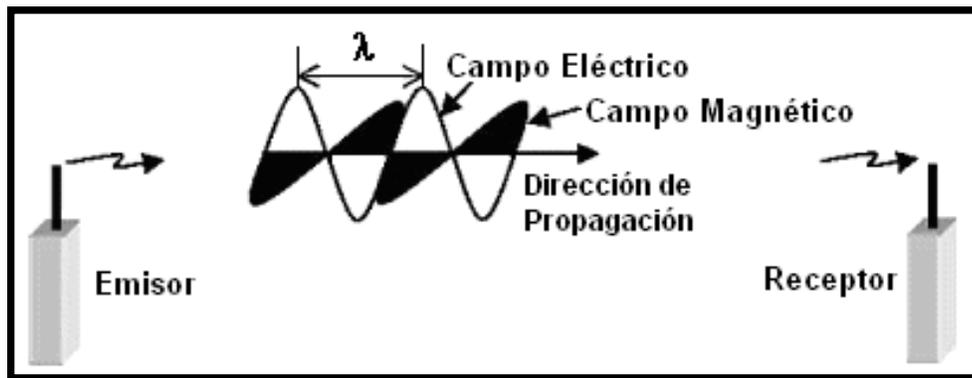


Figura 2.3. Esquema General de Transmisión

Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcim971a/doc/bmfcim971a.pdf>

## 2.2.2 La Onda

Una onda electromagnética presenta las siguientes características indicadas en la *figura 2.4*. La distancia entre dos crestas o valles se denomina **longitud de onda** ( $\lambda$ ). La **frecuencia** es el número de ciclos que se genera durante una unidad de tiempo, su unidad de medida es el Hertz (Hz). La **amplitud de onda** está definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea de base. La energía que transporta la onda es proporcional al cuadrado de la amplitud.

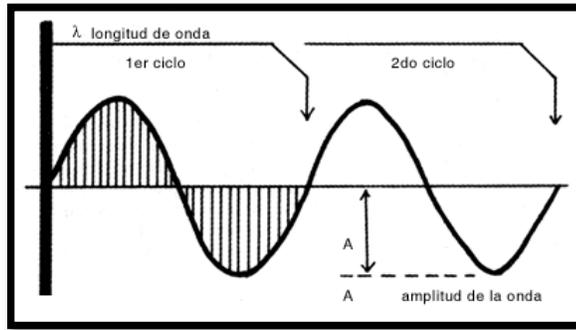


Figura 2.4. Esquema de Onda  
Fuente: Elaboración propia.

La velocidad a la que se desplazan las radiaciones electromagnéticas depende de las constantes físicas: permitividad  $\epsilon$  (F/m) y permeabilidad  $\mu$  (H/m) del medio. En la figura 2.5 se indica la ecuación de la velocidad de propagación en el vacío.

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = C \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} = \text{velocidad de la luz}$$

Figura 2.5. Ecuación de la velocidad de propagación de una OEM en el vacío.  
Fuente: elaboración propia.

Donde:

$\epsilon_0$  = permitividad absoluta del vacío =  $8,85 \cdot 10^{-12}$  farad/m.

$\mu_0$  = permeabilidad absoluta del vacío =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  [H/m] =

$1,26 \cdot 10^{-6}$  Henry/m.

Dependiendo del fenómeno estudiado, la radiación electromagnética se puede considerar tanto una serie de ondas, como un chorro de partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-partícula permite que cada fotón posea una energía proporcional a la frecuencia de onda asociada, dada por la relación de Planck:  $E = h \cdot f$ , donde  $E$  es la energía del fotón,  $h$  es la

Constante de Planck y  $f$  es la frecuencia de la onda.

En la figura 2.6 se considera la radiación electromagnética como onda, la longitud de onda y la frecuencia de oscilación están relacionadas por una constante, la velocidad de la luz en el medio ( $c$  en el vacío).

$$c = \lambda \cdot f$$

Figura 2.6. Dualidad Onda Partícula.  
Fuente: elaboración propia.

A mayor longitud de onda menor frecuencia (y menor energía según la relación de Planck).

### 2.2.3 Conceptos de propagación

#### 2.2.3.1 Sistemas digitales

En un sistema de telecomunicaciones digitales existen tres etapas básicas. La primera corresponde a la conversión análoga a digital (A/D); conversión de la forma de onda análoga original complejo en una forma de onda digital fácilmente manipulable, sin perder la información que esta presenta. La segunda es llamada usualmente la modulación; conversión de la señal digital lógica a una señal analógica, ya sean pulsos de corriente eléctrica, ondas de luz en los sistemas de fibra óptica u ondas de radio. La tercera es la transmisión y el tratamiento de la señal; manipulación de la señal para su recuperación, multiplexación, retransmisión, entre otros.

### **2.2.3.2 Ruido e interferencia**

La transmisión de la señal de radio es afectada por el ruido y la interferencia; el ruido es considerado como el resultado de los procesos aleatorios que producen energía de radiofrecuencia, como por ejemplo, el encendido de un auto, el ruido térmico de un receptor, entre otros. La relación entre el nivel de la señal y el nivel de ruido es llamada SNR por sus siglas en inglés. La interferencia es una forma de degradación de la señal producida por otras emisiones de radio. Existen dos tipos de interferencia: la del canal adyacente que ocurre cuando la energía de una portadora está presente en un canal adyacente, y la de los canales adyacentes la cual ocurre cuando dos transmisores en la misma frecuencia de portadora llegan a un receptor.

El interés de la radio digital es la reducción y simplificación de todas las fuentes de degradación de las características de la señal de radio digital, dicho de otra forma, la disminución de la ocurrencia de errores durante la transmisión de señales digitales, lo cual es definido como la Tasa de Error de Bits (Bits Error Rate, BER).

### **2.2.3.3 Presupuesto del Enlace**

Otro concepto básico de la propagación de la onda de radio es el cálculo del presupuesto para el enlace de radio, el cual determina el buen funcionamiento del mismo ya que en dicho cálculo se encuentra las ganancias y pérdidas del enlace, desde el transmisor hasta el receptor. Un cálculo adecuado permitirá diseñar un enlace cuya señal mantenga la potencia necesaria durante el proceso de propagación y alcanzar un SNR o un BER requerido y aceptable para la operación del

sistema. El cálculo del presupuesto del sistema es medido en términos de decibel (dB).

A lo largo de su trayectoria, la señal estará expuesta a una serie de obstáculos que pueden impedir su alcance al receptor, una falla del enlace de radio durante algunos milisegundos puede producir una degradación notable de la señal de comunicaciones.

#### **2.2.3.4 Espacio libre**

En el caso más simple – transmisor omnidireccional – la potencia recibida de la señal disminuye cuando el receptor se aleja del transmisor. En el vacío, “espacio libre”, la intensidad de la señal disminuirá en forma inversa y proporcional al cuadrado de la distancia. En otras palabras, si la señal recibida de un transmisor es de 1 Watt, esta misma señal será de un cuarto de Watt a 2 kilómetros. En la práctica, debido a que las telecomunicaciones sin cables (wireless, término en inglés cuyo significado es “sin cables”) no se realizan en el espacio libre, las pérdidas de la trayectoria serán más severas en comparación con las pérdidas en el espacio libre.

En la figura 2.7 se muestra la ecuación para el cálculo de pérdidas en el espacio libre:

$$FSL(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + K$$

Figura 2.7. Ecuación para el cálculo de pérdidas en el espacio libre.  
Fuente: elaboración propia

Donde:

$d$  = distancia

$f$  = frecuencia

$K$  = constante que depende de las unidades usadas en  $d$  y  $f$ .

Además:

Para el caso de tomar  $d$  en [m] y  $f$  en [Hz] resulta  $k = -187,5$ .

Para el caso de tomar  $d$  en [Km] y  $f$  en [MHz] resulta  $k = 32,4$ .

Para el caso de tomar  $d$  en [Km] y  $f$  en [GHz] resulta  $k = 92,4$ .

Este tipo de sistema puede ser modelado de forma más precisa por medio del inverso cúbico de la distancia y hasta de una potencia más elevada. El establecimiento de esta relación refleja los efectos del terreno, la atmósfera y otros elementos del mundo real. Estas pérdidas son altamente dependientes de la frecuencia. Hay que notar que el análisis de las ondas de radio es todavía un campo empírico, especialmente en el campo de las nuevas aplicaciones, los servicios móviles, comunicaciones inalámbricas y las nuevas frecuencias elevadas.

#### **2.2.3.5 Atenuación**

Es importante decir que al propagarse la onda electromagnética, en su trayectoria atraviesa medios de distinta densidad, produciéndose fenómenos tales como la reflexión, refracción, difracción y la absorción, los cuales de alguna manera, son consecuencia, de la atenuación de la

energía de la OEM. Debido a los efectos de la atenuación, las ondas de radio pueden ser parcial o totalmente bloqueadas cuando su energía es absorbida o bloqueada por obstáculos físicos del medio ambiente. El elemento de absorción puede ser la lluvia, el follaje de los árboles, una montaña entre otros. La causa específica de la severidad de la atenuación depende principalmente de la frecuencia, por ejemplo, las ondas electromagnéticas de 1 GHz no son generalmente afectadas por la lluvia, por el contrario, las ondas de frecuencias superiores a los 10 GHz son normalmente afectadas. Entre más elevada sea la frecuencia mayor será la atenuación, por esta razón, para obtener el mismo nivel de calidad de la señal recibida, será necesaria una potencia de transmisión más elevada a frecuencias más elevadas; por ejemplo, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC por sus siglas en inglés) permite una potencia máxima de transmisión de 100 Kw para las radiodifusoras de señales de televisión en la parte baja de la banda de 50 a 90 MHz, en el caso de la banda de 500 – 800 MHz la misma potencia de transmisión permitida es de 5.000 Kw. Históricamente, el desarrollo de la tecnología de radio se ha iniciado desde las frecuencias bajas hacia las frecuencias elevadas, debido a que la mayoría de las aplicaciones actuales requieren más ancho de banda. Otros efectos importantes de la atenuación de las ondas de radio, sobre todo en las zonas urbanas, son las múltiples reflexiones y la atenuación debido al follaje de los árboles, lo que lleva a la creación del efecto fantasma (error gráfico que se da en las pantallas de equipos, el cual consiste en un tiempo de respuesta largo para la aparición de la imagen).

### **2.2.3.6 Reflexión**

Cuando una onda incide sobre la superficie de un medio distinto al cual se propagaba, esta cambiará la dirección de su movimiento. A este fenómeno se denomina reflexión, En el caso de que la superficie del medio distinto sea buena conductora, reflejará casi toda la energía de la onda que llegue a ella, disminuyendo su poder reflectante a medida que sea más aislante; es decir, proporcional a su conductividad.

El hecho de que la velocidad de propagación de una onda dependa de las propiedades del medio da lugar a los fenómenos de reflexión y refracción, que ocurren cuando una onda atraviesa la superficie de separación de dos medios diferentes. La onda reflejada es una nueva onda que se propaga en el medio en el cual la onda original se estaba propagando. La onda refractada es la que se transmite al segundo medio.

### **2.2.3.7 Refracción**

Es el fenómeno que desvía la dirección de propagación de las ondas de radio cuando éstas pasan de un medio a otro medio en el cual la velocidad de propagación es diferente; en la atmósfera se da esta circunstancia por varias causas, como pueden ser: temperatura, humedad, etc., que producen una diferente conductividad en distintas capas.

### **2.2.3.8 Difracción**

Sabemos que las ondas de radio tienen en muchos casos propiedades semejantes a las lumínicas. Todo rayo luminoso que encuentre un obstáculo en su trayectoria produce sombra y penumbra; esto es la difracción, una onda de radio que encuentre un obstáculo deja al otro lado de él una zona de sombra o un área en la cual no llega esta onda y una parte entre la sombra y la zona iluminada en donde la intensidad de campo es muy pequeña en comparación con el área de rayo directo.

### **2.2.3.9 Absorción**

Las ondas de radio pierden parte de su energía en sus recorridos, comúnmente llamada absorción, ya que, al excitar a los electrones, parte de la energía se pierde o disipa en forma de calor y solo una parte es irradiada; esta absorción es mayor cuanto mayor es la densidad de partículas no ionizadas en la atmósfera.

### **2.2.3.10 Polarización.**

Otra característica de las ondas electromagnéticas es su polarización, que está determinada por las líneas de fuerza del campo eléctrico. En la figura 2.8 se observa los tipos de polarización de una onda electromagnética. Se dice que una onda está polarizada verticalmente cuando estas líneas son perpendiculares a la superficie terrestre, y cuando son paralelas a la superficie tienen polarización

horizontal; en variados casos y particularmente con las ondas de VHF, UHF y SHF sucede que la polarización no sigue siempre el mismo plano, puede variar su sentido cuando a lo largo de su desplazamiento se producen reflexiones intencionadas o casuales.

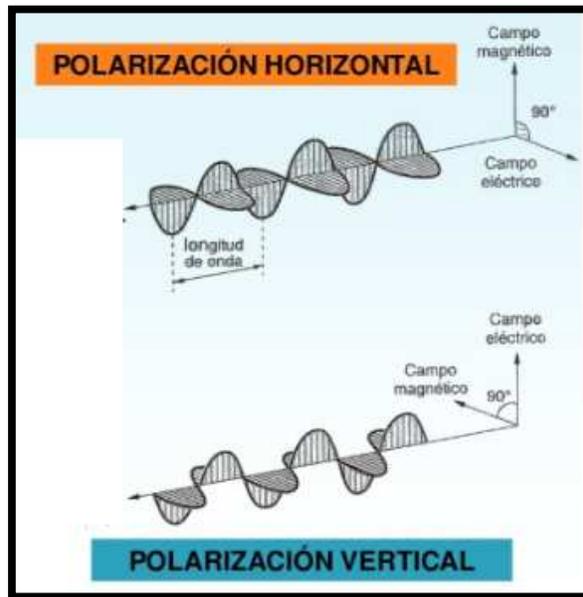


Figura 2.8. Tipos de Polarización de una OEM: Vertical y Horizontal  
Fuente: [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/opticaf/OPT\\_FIS/apuntes\\_sueltos\\_prov/pdf/Tema2.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/opticaf/OPT_FIS/apuntes_sueltos_prov/pdf/Tema2.pdf)

### 2.2.3.11 Desvanecimiento

Una onda de radio puede ser reflejada por cualquier objeto en la atmósfera; una montaña, un edificio, un aeroplano, entre otros. Estas reflexiones producirán necesariamente diferentes trayectorias, creando así uno de los mayores problemas en la transmisión de radiofrecuencia. La dispersión por retardo (propagación de la señal por diferentes trayectorias), producirá que la señal viaje por múltiples trayectorias las cuales llegarán con una diferencia en el tiempo, produciendo una

deformación por retardo. En la práctica este retraso provocará una dispersión de las señales produciendo una interferencia de símbolos (ISI por sus siglas en inglés), en el caso de los bits (digitales). Otro efecto importante es el desvanecimiento de Rayleigh (es la consecuencia de la interferencia entre los distintos caminos recorridos por las señales de radiofrecuencia. Edificios, arboles, coches y otros objetos crean reflexiones y la llegada de la señal sucede en diferentes momentos con diferentes desfases e intensidades); dado que la fase de las múltiples trayectorias será modificada por las reflexiones, en el caso de una señal directa y una señal reflejada con una diferencia de fase de  $180^\circ$  producirá la cancelación de la señal a la entrada del receptor. El tercer efecto importante, presente sólo en las aplicaciones móviles, es el desfasamiento Doppler (el movimiento de un receptor con respecto a un transmisor producirá un desfasamiento Doppler, conocido como el efecto Doppler). Cuando un transmisor móvil envía una señal con cierta frecuencia a un receptor inmóvil, el receptor observará una señal de frecuencia ligeramente superior a la transmitida, en el caso contrario será una frecuencia ligeramente inferior.

#### **2.2.4 Transmisión**

Cuando un alambre o cualquier objeto conductor se le aplica corriente alterna, tal como una antena, se produce un campo eléctrico variable en la región vecina a la antena, lo que induce un campo magnético también variable, generando así flujo radiante de ondas electromagnéticas las que se propagan en la misma frecuencia (velocidad de oscilación) que la corriente

incidente.

De forma similar, cuando una radiación electromagnética incide en un conductor eléctrico provoca que los electrones de su superficie oscilen, generándose de esta forma una corriente alterna en dicho conductor eléctrico, cuya frecuencia es la misma que la de la radiación incidente. Este efecto se usa en las antenas, que pueden actuar como emisores o receptores de radiación electromagnética. Este es el principio de la comunicación por radio.

### **2.2.5 Modulación**

Es un conjunto de técnicas que permiten transportar información sobre una onda portadora (típicamente onda sinusoidal). La modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir. Existen varios tipos de modulación, de los cuales por el alcance del proyecto se describen los siguientes.

#### **2.2.5.1 Modulación por amplitud (AM)**

Proceso de cambiar la amplitud de una onda portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información). Con la modulación de amplitud, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios de amplitud.

La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de modulación que se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y video.

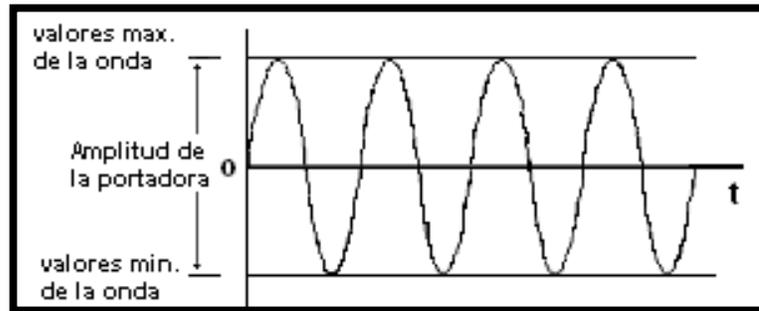


Figura 2.9 Representación de la onda portadora.  
Fuente: Elaboración propia.

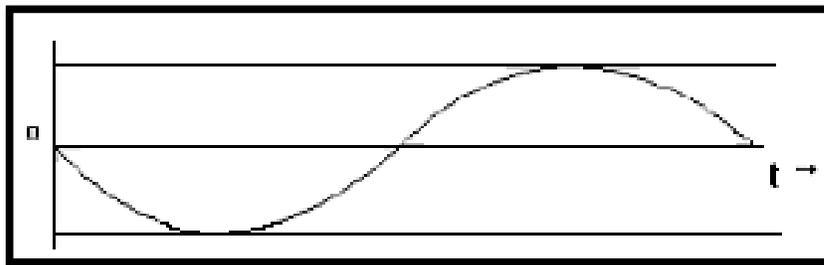


Figura 2.10. Representación de la onda moduladora.  
Fuente: Elaboración propia.

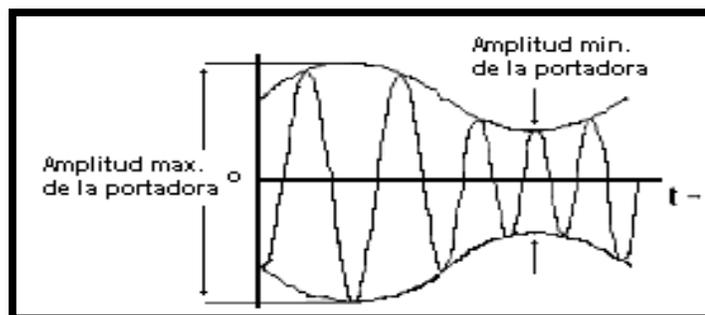


Figura 2.11. Onda modulada en amplitud.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.5.2 Modulación por Frecuencia

Este sistema de modulación consiste en que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal que se quiere transmitir. A continuación, en la figura 2.10 un esquema de tal situación:

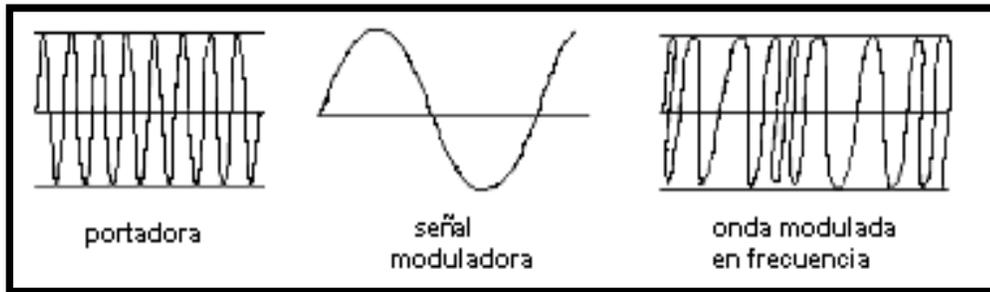


Figura 2.12. Ilustración de modulación de frecuencia.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.5.3 Modulación por Fase

Sistema de modulación en el cual la fase de la señal portadora varía o es modulada conforme al valor instantáneo de la amplitud de la señal moduladora.

Basada en variaciones instantáneas de la fase de la portadora en relación a un ángulo de fase de referencia. En la figura 2.13 se aprecia la gráfica de la variación del ángulo de fase.

Una onda senoidal normal empieza con una amplitud nula y un ángulo de fase nulo, aumenta hasta una amplitud positiva de pico a 90 grados, disminuye a cero a los 180 grados y pasa por un mínimo negativo a los 270 grados antes de volver a pasar por cero a los 360 grados. Un nivel lógico "1" puede representarse como una señal que

tiene un determinado ángulo de fase, y un nivel lógico "0", con una portadora de la misma frecuencia y amplitud, pero con una fase desplazada 180 grados. Para detectar la fase de la portadora puede emplearse un circuito detector de fase y, por tanto, puede determinar si existe un nivel lógico "1" o un nivel lógico "0". Esta técnica se denomina PSK (phase-Shift Keying = Variación de fase mediante una señal digital).

En una onda electromagnética esto se logra variando el ángulo que lleva la componente electromagnética de la señal, por lo general la variación de fase se usa para informaciones del tipo discreto, pues estos sistemas son más ideales que los anteriormente mostrados, por lo general se usan los ángulos de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

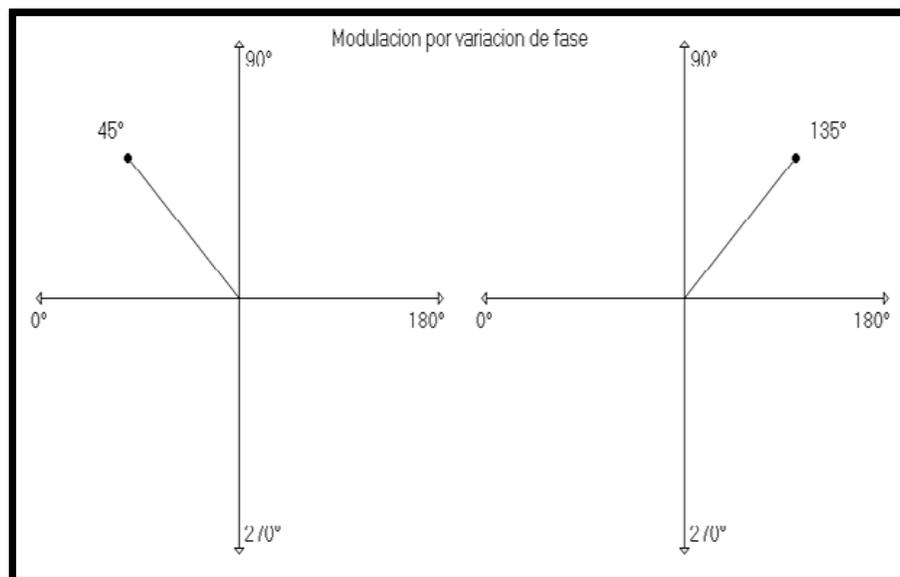


Figura 2.13. Modulación por variación de fase. Fuente: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcim971a/doc/bmfcim971a.pdf>

#### **2.2.5.4 Modulación de Amplitud en Cuadratura**

Es una técnica de modulación digital avanzada que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasando  $90^\circ$  la fase y la amplitud. La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en DBL-PS (Doble Banda Lateral - con Portadora Suprimida).

La modulación QAM consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí  $90^\circ$ . La señal modulada QAM es el resultado de sumar ambas señales ASK. Estas pueden operar por el mismo canal sin interferencia mutua porque sus portadoras al tener tal desfase, se dice que están en cuadratura.

#### **16-QAM (Modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados)**

Cada flujo de datos se divide en grupos de cuatro bits, y a su vez en subgrupos de 2 bits, codificando cada bit en 4 estados o niveles de amplitud y fase de las portadoras. En la figura 2.14 se aprecia un ejemplo de esta modulación, el cual muestra la constelación de bits y su agrupamiento.

## N-QAM

Cada bit se codifica en estados o niveles de amplitud y fase de las portadoras.

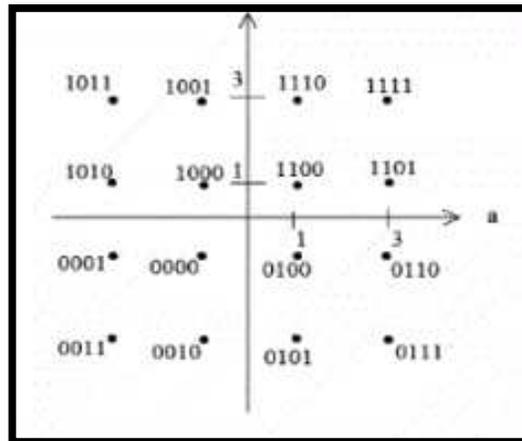


Figura 2.14. Ejemplo de Modulación 16QAM. Se aprecia la constelación de bits, así como su agrupamiento.

Fuente: [http://www.blondertongue.com/QAM-Transmodulator/QAM\\_defined.php](http://www.blondertongue.com/QAM-Transmodulator/QAM_defined.php)

### 2.2.6 Espectro electromagnético

De acuerdo a la magnitud de la longitud de onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres: Desde los rayos gamma (con una longitud de onda del orden de picómetros hasta las ondas de radio (longitudes de onda del orden de varios kilómetros) pasando por la luz visible cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micra. El rango completo de longitudes de onda forma el espectro electromagnético, del cual la luz visible no es más que un minúsculo intervalo que va desde la longitud de onda correspondiente al violeta hasta la longitud de onda del rojo.

En la figura 2.15 se aprecia el espectro electromagnético, el cual indica las longitudes de onda, tipo de radiación, frecuencias y energía de cada nivel de radiación.

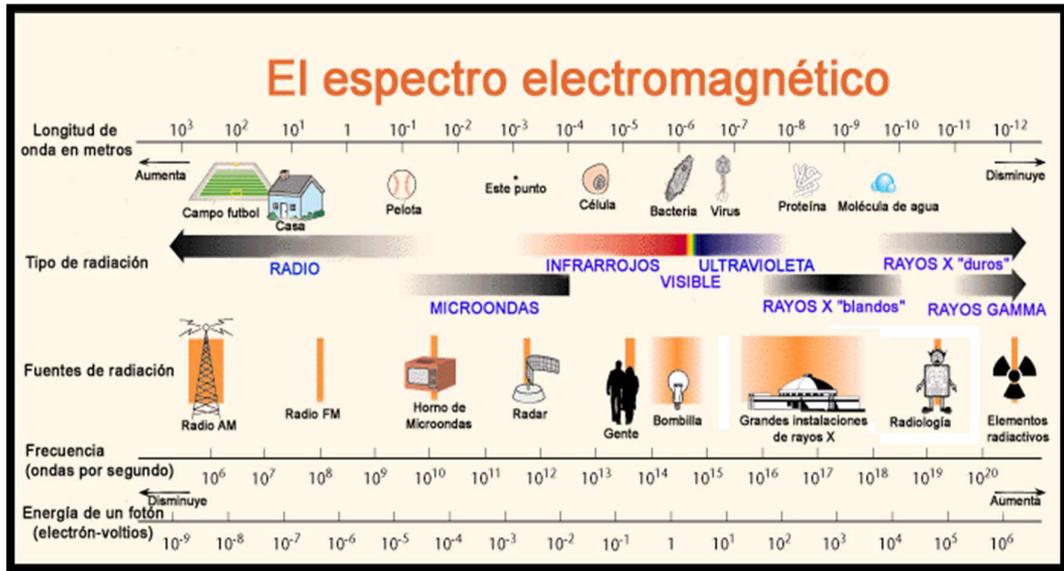


Figura 2.15. Esquema del espectro electromagnético. Se aprecia, la longitud de onda, frecuencia y energía en cada nivel de radiación.

Fuente: [http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte\\_02.html](http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_02.html)

La tabla 2.1 muestra el espectro electromagnético, con sus longitudes de onda, frecuencias y energías de fotón.

**Tabla 2.1. Espectro Electromagnético**

	<b>Longitud de onda</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Energía</b>
Rayos gamma	< 10 nm	>30.0 EHz	>19.9E-15 J
Rayos X	< 10 nm	>30.0 PHz	>19.9E-18 J
Ultravioleta Extremo	< 200 nm	>1.5 PHz	>993E-21 J
Ultravioleta Cercano	< 380 nm	>789 THz	>523E-21 J
Luz Visible	< 780 nm	>384 THz	>255E-21 J
Infrarrojo Cercano	< 2.5 um	>120 THz	>79.5E-21 J
Infrarrojo Medio	< 50 um	>6.00 THz	>3.98E-21 J
Infrarrojo Lejano/su milimétrico	< 1 mm	>300 GHz	>199E-24 J
Súper Alta Frecuencia Microondas	< 30 cm 12.5 cm 12.08 cm	>1.0 GHz 2.4 GHz 2.484 Ghz	>1.99e-24 J >1.99e-24 J >1.99e-24 J
Ultra Alta Frecuencia Radio	<1 m	>300 MHz	>1.99e-25 J
Muy Alta Frecuencia Radio	<10 m	>30 MHz	>2.05e-26 J
Onda corta Radio	<180 m	>1.7 MHz	>1.13e-27 J
Onda Media(AM) Radio	<650 m	>650 kHz	>4.31e-28 J
Onda Larga Radio	<10 km	>30 kHz	>1.98e-29 J
Muy Baja Frecuencia Radio	>10 km	<30 kHz	<1.99e-29 J

El proyecto a implementarse presenta frecuencias (7/8 Ghz) ubicadas en el rango de la banda de Frecuencias Súper Altas (SHF por sus siglas en inglés). Las tablas siguientes muestran información de la división de la Banda de Microondas en la clasificación dadas por EE.UU, tabla 2.2 y la UE (Unión Europea) tabla 2.3.

Las frecuencias a utilizar se ubican en la Banda C (4-8GHz) para EE.UU y Banda H (6-8GHz) para la Unión Europea.

Tabla 2.2. Clasificación de Microondas por EE.UU.

Banda	Rango de frecuencia	Origen del nombre,
Banda I	hasta 0,2 GHz	
Banda G	0,2 a 0,25 GHz	
Banda P	0,25 a 0,5 GHz	Previous, dado que los primeros radares del Reino Unido utilizaron esta banda, pero luego pasaron a frecuencias más altas
Banda L	0,5 a 1,5 GHz	Long wave (Onda larga)
Banda S	2 a 4 GHz	Short wave (Onda corta)
Banda C	4 a 8 GHz	Compromiso entre S y X
Banda X	8 a 12 GHz	Usada en la II Guerra Mundial por los sistemas de control de fuego, X de cruz (como la cruz de la retícula de puntería)
Banda K <sub>u</sub>	12 a 18 GHz	Kurz-urten (bajo la corta)
Banda K	18 a 26 GHz	Alemán Kurz (corta)
Banda K <sub>y</sub>	26 a 40 GHz	Kurz-above (sobre la corta)
Banda V	40 a 75 GHz	Very high frequency (Muy alta frecuencia)
Banda W	75 a 111 GHz	W sigue a V en el alfabeto

Tabla 2.3. Clasificación de Microondas por la Unión Europea.

Banda	Rango de frecuencia
Banda A	hasta 0,25 GHz
Banda B	0,25 a 0,5 GHz
Banda C	0,5 a 1 GHz
Banda D	1 a 2 GHz
Banda E	2 a 3 GHz
Banda F	3 a 4 GHz
Banda G	4 a 6 GHz
Banda H	6 a 8 GHz
Banda I	8 a 10 GHz
Banda J	10 a 20 GHz
Banda K	20 a 40 GHz
Banda L	40 a 60 GHz
Banda M	60 a 100 GHz

### 2.2.7 Microondas

Se denomina así la porción del espectro electromagnético que cubre las frecuencias entre aproximadamente 3 GHz y 300 GHz ( $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$ ), que corresponde a la longitud de onda en vacío entre 10 cm. y 1mm.

Por encima de los 100 MHz. las ondas viajan en línea recta y, por tanto, se pueden enfocar en un haz estrecho. Concentrar toda la energía en un haz pequeño con una antena parabólica (como el tan familiar plato de televisión por satélite) produce una señal mucho más alta en relación con el ruido, pero las antenas transmisora y receptora deben estar muy bien alineadas entre sí. Además, esta direccionalidad permite a transmisores múltiples alineados en una fila comunicarse con receptores múltiples en fila, sin interferencia. Antes de la fibra óptica, estas microondas formaron durante décadas el corazón del sistema de transmisión telefónica de larga distancia y este fue el principio de las redes inalámbricas.

A diferencia de las ondas de radio a frecuencias más bajas, las microondas no atraviesan bien los edificios. Además, aun cuando el haz puede estar bien enfocado en el transmisor, hay cierta divergencia en el espacio. Algunas ondas pueden refractarse en las capas atmosféricas más bajas y tardar un poco más en llegar que las ondas directas. Las ondas difeidas pueden llegar fuera de fase con la onda directa y cancelar así la señal. Este efecto se llama desvanecimiento de trayectoria múltiple y con frecuencia es un problema serio que depende del clima y de la frecuencia.

La creciente demanda de espectro obliga a mejorar continuamente la tecnología de modo que las transmisiones puedan usar frecuencias todavía más altas. Las bandas de hasta 10 GHz son ahora de uso

rutinario, pero a casi 8 GHz se presenta un nuevo problema: la absorción del agua. Estas ondas sólo tienen unos centímetros de longitud y la lluvia las absorbe.

En síntesis, la comunicación por microondas se utiliza tanto para la comunicación telefónica de larga distancia, los teléfonos celulares, la distribución de la televisión y otros usos, que el espectro se ha vuelto muy escaso. Esta tecnología tiene varias ventajas significativas respecto a la fibra. La principal es que no se necesita derecho de paso; basta comprar un terreno pequeño cada 50 Km. y construir en él una torre de microondas para saltarse el sistema telefónico y comunicarse en forma directa.

### **2.2.8 Radioenlaces por Microondas**

Las señales de voz, video o datos se transmiten, por lo general, a través de medios guiados, tales como el cable de par trenzado, cable coaxial o fibra óptica. Pero, cuando las distancias son grandes, o cablear es caro, o por razones de movilidad, se utiliza la transmisión por ondas de radio o comúnmente llamadas radio enlace. El esquema y los componentes de un radio enlace por microondas se indica en la figura 2.16.

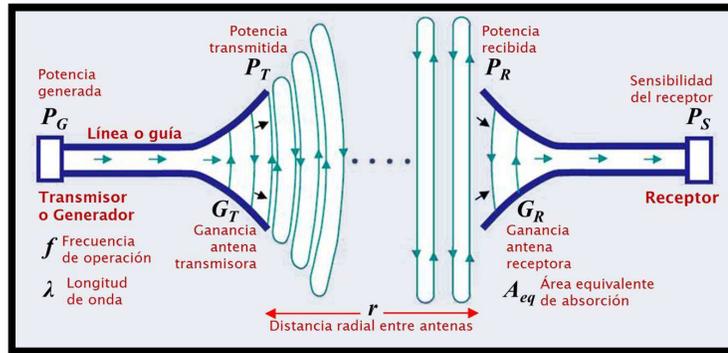


Figura 2.16. Esquema básico de un radioenlace  
 Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

Existen dos tipos de radioenlaces: microondas satelital y terrestre. El primero, dado por la figura 2.17, uno de los terminales está en un satélite, el cual se encuentra orbitando alrededor de la tierra en el espacio; el segundo, dado por la figura 2.18, todos los terminales se ubican en la tierra. Generalmente los radioenlaces se ubican en el rango de frecuencias entre 2 y 50 GHz, por ello se llaman radioenlaces microondas. En estas frecuencias, es posible obtener radiaciones altamente direccionales, apropiadas para enlaces punto a punto.

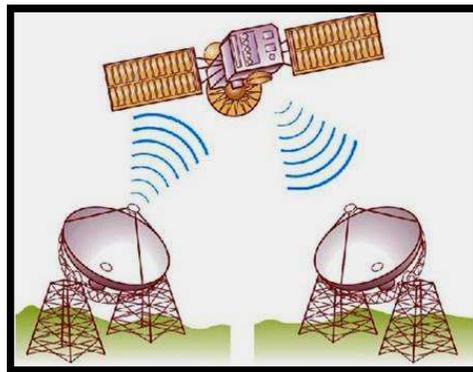


Figura 2.17. Esquema de un radio enlace satelital  
 Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

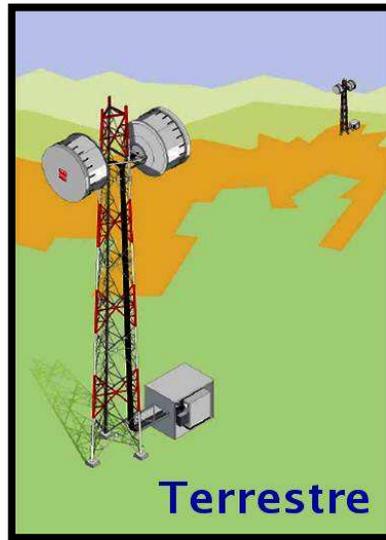


Figura 2.18. Esquema de un radio enlace terrestre  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

### 2.2.9 Elementos para el diseño de un Radioenlace Microondas

Un radioenlace terrestre debe disponer de la potencia necesaria para cruzar una distancia dada y tener condiciones de visibilidad directa, considerando la curvatura de la Tierra. Existen conceptos relevantes que se detallaran a continuación.

- Línea de Vista
- Zona de Fresnel
- Perdida en el Espacio Libre
- Multitrayectoria

### 2.2.9.1 Línea de Vista

Línea de vista o también conocida como propagación de alcance visual, se refiere a que no exista obstáculos en el recorrido del radioenlace microondas; es decir, debe existir visibilidad directa entre la antena emisora y receptora.

La distancia de comunicación por línea de vista está limitada por la curvatura de la Tierra. Esta distancia se calcula en base a la geometría de la tierra y la altura de la antena transmisora.

La distancia de comunicación por línea de vista está limitada por la curvatura de la Tierra al horizonte óptico. La figura 2.19 indica su esquema gráfico, la figura 2.20 es la ecuación para calcular su valor.

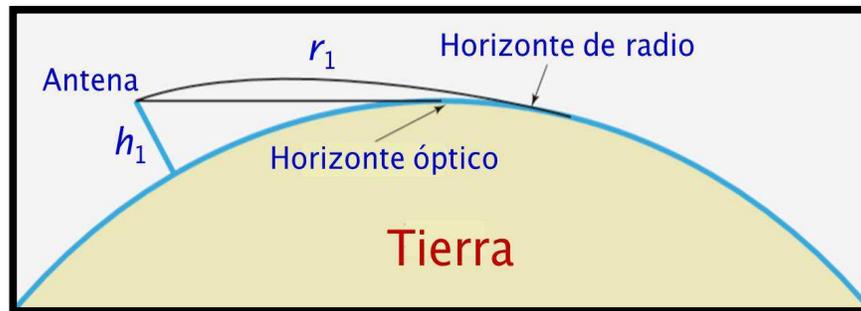


Figura 2.19. Horizonte de Radio  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

$$r_1(\text{km}) = \sqrt{12,74 h_1(\text{m})}$$

Figura 2.20. Ecuación para el cálculo de la distancia del transmisor al horizonte en kilómetros.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$r_1$  = distancia del transmisor al horizonte en kilómetros.

$h_1$  = altura en que está la antena transmisora en metros.

En la práctica, la distancia va más allá del horizonte óptico debido a que la refracción en la atmósfera, originada por diferencias de densidades, tiende a curvar la onda hacia Tierra. Este efecto posibilita que llegue una distancia  $\approx 1/3$  veces mayor, al horizonte de radio. Este nuevo cálculo al horizonte de radio se muestra en la figura 2.21.

$$r_1 (\text{km}) = \sqrt{12,74 K h_1 (\text{m})} = \sqrt{17 h_1 (\text{m})}$$

Figura 2.21. Ecuación para el cálculo de la distancia del transmisor al horizonte en kilómetros.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$r_1$  = distancia del transmisor al horizonte en kilómetros.

$h_1$  = altura en que está la antena transmisora en metros.

$K \approx 4/3$ , factor de corrección.

Análogamente, se procede a realizar los mismos cálculos incluyendo la altura de la antena receptora, ver figura 2.22. Entonces, se obtiene un valor aproximado para la distancia máxima entre antena transmisora y receptora, sobre un terreno razonablemente plano, la cual se indica en la figura 2.23.

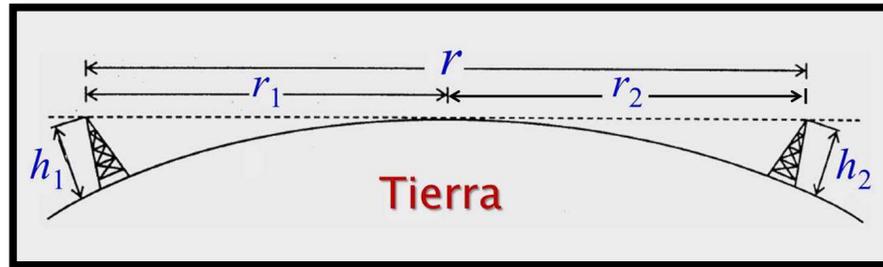


Figura 2.22. Cálculo de la distancia máxima entre antena transmisora y receptora,  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

$$r_1(\text{km}) = \sqrt{17h_1(\text{m})}$$

$$r_2(\text{km}) = \sqrt{17h_2(\text{m})}$$

$$r(\text{km}) = \sqrt{17h_1(\text{m})} + \sqrt{17h_2(\text{m})}$$

Figura 2.23. Cálculo de la distancia máxima entre antenas en kilómetros.  
Fuente: Elaboración propia

Donde:

$r$  = distancia máxima entre antenas en kilómetros.

$h_1$  = altura en que está la antena transmisora en metros.

$h_2$  = altura en que está la antena receptora en metros.

### 2.2.9.2 Zona de Fresnel

Un radioenlace necesita una línea de vista y un «poco de espacio alrededor», definido por la primera zona de Fresnel, libre de obstáculos. Esta aseveración se fundamenta en que:

- La antena es el foco primario de un frente de onda que se expande.

- Huygens establece que cada punto del frente de onda genera una onda esférica.
- Las ondas de una misma frecuencia pueden interferirse.

En la figura 2.24, se observa el frente de onda en expansión incide sobre un árbol, ello produce la difracción, es decir, el punto incidente actúa como si fuera una segunda fuente de esa onda, generando una onda difractada.

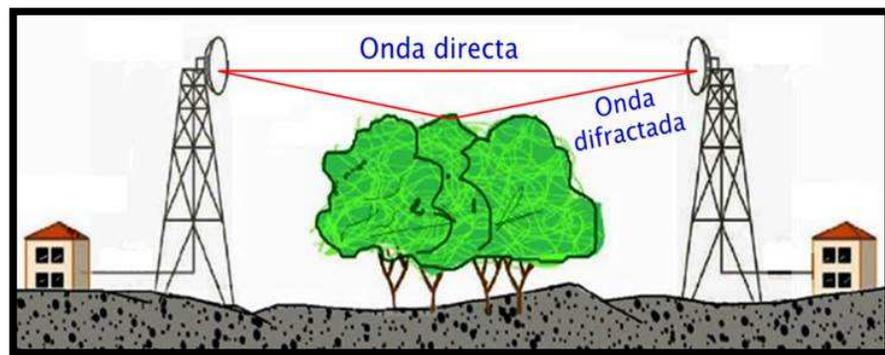


Figura 2.24. Onda directa y onda refractada entre transmisor y receptor  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

Las ondas directa y difractada se suman en el receptor, pero debido a la diferencia en la longitud de trayectoria de ambas, la interferencia puede ser:

- **Constructiva**, si ambas ondas están en fase.
- **Destrucción**, si están fuera de fase, es decir podrían cancelarse entre sí hasta cierto grado, produciendo el desvanecimiento de la señal.

Si la distancia entre la trayectoria directa y el objeto que difracta la onda se incrementa, la intensidad de la onda difractada disminuye y la interferencia se vuelve menos pronunciada.

Las zonas de Fresnel son una familia de elipsoides, con focos en las antenas que son utilizadas para analizar interferencias debidas a obstrucciones. En la figura 2.25 se indica la 1era zona y 2da zona de Fresnel.

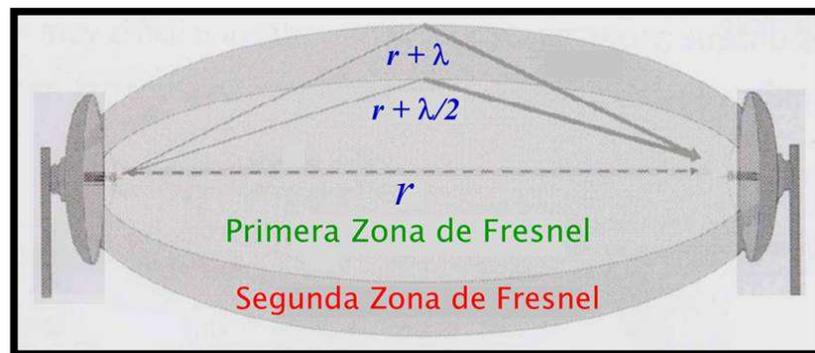


Figura 2.25. Primera y Segunda Zona de Fresnel  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

Una onda que se refleja en la superficie del elipsoide, recorre una distancia mayor en múltiplos de  $\lambda/2$  y se desfasa en múltiplos de  $180^\circ$ . El valor del múltiplo determina la primera, segunda, etc., zona de Fresnel.

Existen muchas zonas de Fresnel, pero la que interesa es la primera zona, porque contiene el 50% de la potencia de la onda. Si la primera zona de Fresnel se encuentra libre de obstáculos, el nivel de recepción será equivalente al obtenido en el espacio libre.

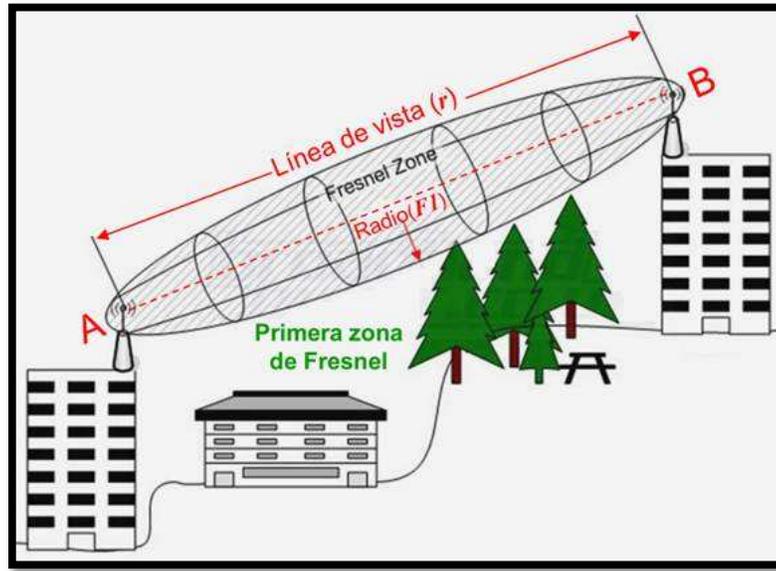


Figura 2.26. La primera zona de Fresnel debe estar libre de obstáculos.  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

En la práctica, para que el nivel de recepción sea equivalente al obtenido en el espacio libre, es suficiente tener libre al menos el 60% de la primera zona de Fresnel a lo largo de todo el trayecto.

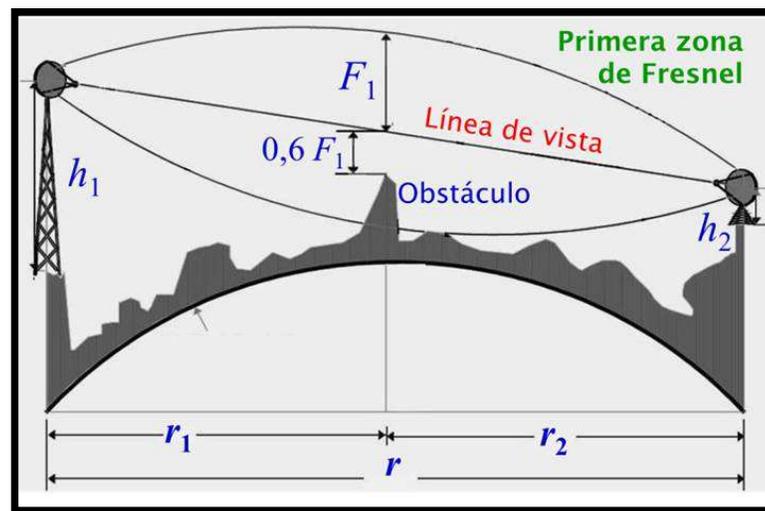


Figura 2.27. Cálculo de la Zona de Fresnel.  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

El radio  $F_1$  en cualquier punto del elipsoide de la primera zona de Fresnel se calcula según la fórmula indicada en la figura 2.28.

$$F1(m) = 17,32 \sqrt{\frac{r1(km)r2(km)}{r(km)f(GHz)}}$$

Figura 2.28. Ecuación para el cálculo de la Primera Zona de Fresnel.  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

Donde:

$F1$  = radio de la primera zona de Fresnel en metros.

$r1, r2$  = distancia de la antena al obstáculo en kilómetros.

$r$  = distancia entre antenas en kilómetros.

$f$  = frecuencia de operación del sistema en GHz.

### 2.2.9.3 Pérdida en el Espacio Libre

La pérdida en el espacio libre es una forma de atenuación ocasionada a medida que la onda se esparce sobre una mayor región y se aleja de la antena transmisora.

Sería inútil hablar de antenas si no se tiene algo con qué compararlas. Por eso se creó el radiador isotrópico, ver figura 2.29, una antena imaginaria omnidireccional que irradia potencia en forma de esfera perfectamente uniforme, con la misma intensidad en todas direcciones.

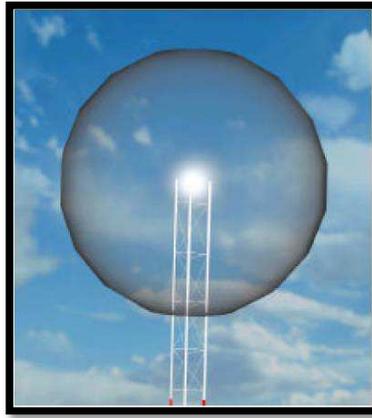


Figura 2.29. Radiador Isotrópico, irradia potencia uniformemente en todas direcciones

Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

Si se dibujara una esfera concéntrica al radiador, toda la energía radiada pasaría por la superficie de la esfera. En consecuencia, la densidad de potencia sería la potencia radiada o transmitida entre el área de la superficie de la esfera, ver figura 2.30.

$$S_i = \frac{P_T}{4\pi r^2}$$

Figura 2.30. Ecuación para el cálculo de densidad isotrópica.

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

$S_i$ = densidad de potencia isotrópica, en  $W/m^2$ .

$P_T$ = potencia radiada o transmitida, en  $W$ .

$r$  = distancia radial desde el radiador, en metros.

Una antena se diseña de modo que irradie más potencia en una dirección que en otras. Se dice que tiene ganancia en la dirección de máxima radiación, cuando se compara con un radiador isotrópico.

Los tipos comunes de antenas, diferenciadas por su patrón de radiación son; antena omnidireccional, cuya radiación viene dada por su nombre; tiene una forma similar a un “donut” sin agujero, ver figura 2.31, donde las puntas de los brazos son puntos “sordos” donde la radiación no alcanza. Se usa también como punto de comparación, ya que es una antena cuyo patrón de radiación es ideal. El otro tipo de antena es la directiva, tiene un patrón de radiación similar al cono de luz de un proyector, ver imagen 2.32. Ejemplos de antenas directivas son la Yagi, la bocina cónica, etc.

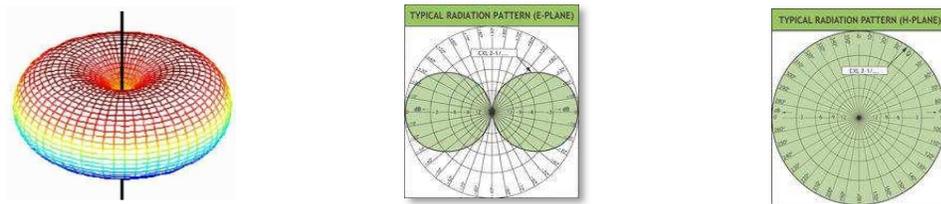


Figura 2.31. Patrones de radiación de una antena omnidireccional  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

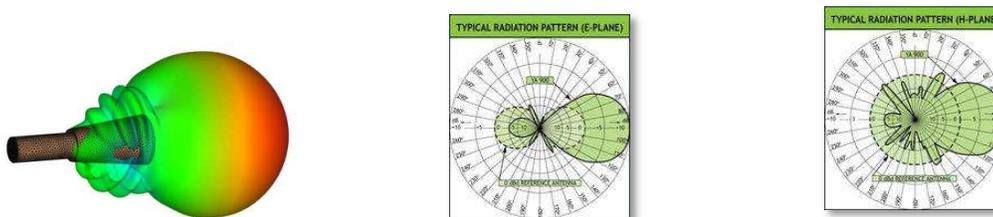


Figura 2.32. Patrones de radiación de una antena directiva  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

## Ganancia de la Antena Transmisora

Según lo indica la figura 2.33, se calcula como la razón entre la densidad de potencia en la dirección de máxima radiación y la que radiaría un radiador isotrópico con la misma potencia radiada o transmitida.

$$GT = \frac{S}{S_i} = 4\pi r^2 \frac{S}{P_T}$$

Figura 2.33. Ecuación para el cálculo de la ganancia en una antena transmisora.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$G_T$  = ganancia de la antena transmisora.

$S$  = densidad de potencia en la dirección de máxima radiación, en  $W/m^2$ .

$S_i$  = densidad de potencia isotrópica, en  $W/m^2$ .

$P_T$  = potencias radiada o transmitida, en  $W$ .

$r$  = distancia radial desde la antena transmisora, en metros

## Ganancia del dipolo estándar

El dipolo estándar radia 1,64 veces con mayor intensidad en la dirección de máxima radiación que un radiador isotrópico, por tanto su ganancia viene dada según lo indica la ecuación en la figura 2.34.

$$10 \log 1.64 = 2.15 \text{ dBi}$$

Figura 2.34. Ecuación para el cálculo de la ganancia en una antena dipolo estándar.

Fuente: Elaboración propia.

**Donde:**

**dBi:** Son decibels de ganancia sobre un radiador isotrópico la cual viene dada como una relación logarítmica entre la potencia de emisión de una antena en relación a un radiador isotrópico.

**PIRE (Potencia Irrradiada Isotrópica Efectiva)**

La Potencia Irrradiada Isotrópica Efectiva está regulada por la autoridad nacional. La misma especifica la potencia máxima legalmente permitida para ser enviada al espacio abierto en un área/país específico. El límite legal en Europa es normalmente 100 mW, en algunos escenarios muy particulares (enlaces punto a punto) y en otros países este máximo es de 4 W.

La PIRE es una medida de la potencia que se está enfocando en una determinada región de espacio, determinada por las características de la antena transmisora.

La PIRE es el resultado de restar pérdidas de potencia en el cable y conectores y sumar la ganancia relativa de antena a la potencia del transmisor.

## Ganancia de la Antena Receptora

La antena receptora indicada en la figura 2.35, absorbe parte de la potencia que pasa por ella. Por tanto, es razonable pensar que:

- Absorbe más potencia si es más grande, porque cubre un área más grande.
- Es más eficiente para absorber potencia desde una dirección que desde otra.

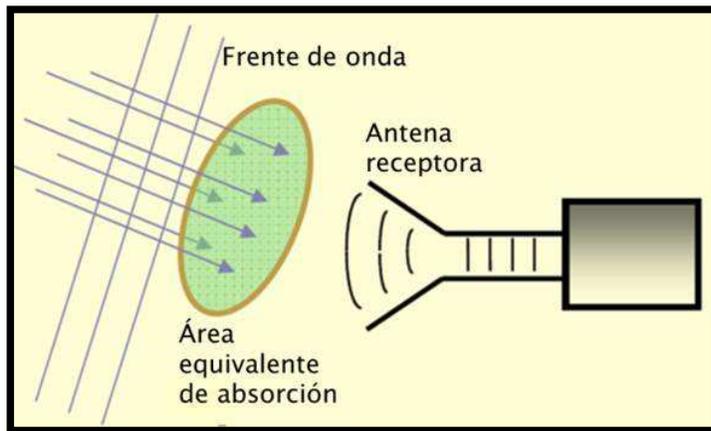


Figura 2.35. Ganancia de antena receptora. La antena receptora absorbe parte de la potencia que pasa por ella.

Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

Quiere decir que la antena receptora tiene ganancia, y la potencia que absorbe depende de su tamaño físico y de su ganancia.

### Área equivalente de absorción de la antena

Es el área de la cual extrae la potencia del frente de onda para entregarla al receptor.

$$A_{eq} = \frac{P_R}{S}$$

Figura 2.36. Ecuación para el cálculo del área equivalente de absorción de antena en función de la potencia absorbida.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$A_{eq}$  = área equivalente de absorción, en  $m^2$ .

$P_R$  = potencia absorbida o recibida, en W.

$S$  = densidad de potencia en la dirección de máxima radiación, en  $W/m^2$ .

Además:

$$A_{eq} = \frac{\lambda^2}{4\pi} GR$$

Figura 2.37. Ecuación para el cálculo del área equivalente de absorción de antena en función de la ganancia y longitud de onda.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$A_{eq}$  = área equivalente de absorción, en  $m^2$ .

$\lambda$  = longitud de onda de la onda, en metros.

$G_R$  = ganancia de la antena receptora.

Con base a la teoría electromagnética, se demuestra que el área equivalente depende de la ganancia de la antena y de la longitud de onda.

La ganancia es la misma si la antena se utiliza para recibir o transmitir (principio de reciprocidad).

### Ecuación de Transmisión de Friis

Establece la pérdida en el espacio libre, es decir, la razón entre la potencia recibida y la potencia transmitida. La ecuación se obtiene al combinar las ecuaciones de las ganancias de las dos antenas.

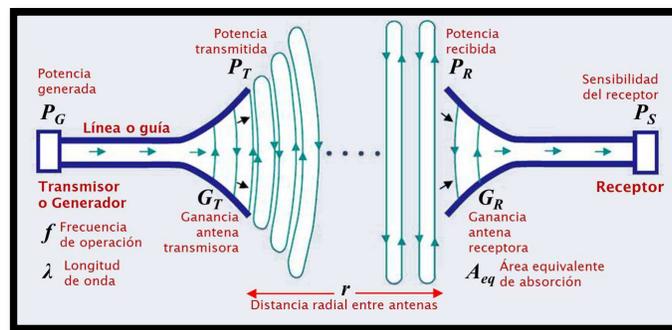


Figura 2.38. Esquema de un enlace. La ecuación de Friis establece las pérdidas en el espacio libre.

Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{G_T G_R \lambda^2}{16 \pi^2 r^2}$$

Figura 2.39. La ecuación de Friis. Se aprecia la relación entre la potencia receptora y transmisora.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$P_R$  = potencia recibida, en W.

$P_T$  = potencia transmitida, en W.

$G_T$  = ganancia de la antena transmisora.

$G_R$  = ganancia de la antena receptora.

$\lambda$  = longitud de onda de la onda, en metros.

$r$  = distancia radial entre antenas, en metros.

### **Ecuación de pérdidas en el espacio libre**

La figura 2.40 muestra la ecuación de pérdidas en el espacio libre. Se expresa en dB con el signo cambiado.

$$L_{fs}(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_T(\text{W})}{P_R(\text{W})}$$
$$L_{fs}(\text{dB}) = 92,44 + 20 \log r(\text{km}) + 20 \log f(\text{GHz}) - G_T(\text{dBi}) - G_R(\text{dBi})$$

Figura 2.40. Ecuación de pérdidas en el espacio libre. Esta depende de la relación entre la potencia transmisora y receptora.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$r$ : Distancia entre antena transmisora y receptora en kilómetros.

$f$ : Frecuencia en Gigahertz (GHz).

$G_T$ : Ganancia del transmisor en dBi.

$G_R$ : Ganancia del receptor en dBi.

Las antenas crean un efecto de amplificación que compensa parte de las pérdidas.

### **Cálculo del presupuesto de potencia**

Es el proceso mediante el cual se evalúa si el enlace es viable, y para ello se deben calcular las pérdidas en el trayecto y conocer las características del equipamiento y de las antenas.

### **Características del equipamiento**

Potencia de Transmisión. La especifica el fabricante del transmisor. Generalmente, más de 30 mW.

Sensibilidad del receptor. La especifica el fabricante del receptor. Es el nivel mínimo de potencia que debe recibir para una determinada calidad. Generalmente en el rango de -75 a -95 dBm.

### **Características de las antenas**

Ganancia de las antenas. Son dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física. Tienen las mismas características cuando transmiten que cuando reciben. Las omnidireccionales tienen una ganancia de 5 a 12 dBi. Las sectoriales de 12 a 15 dBi. Las parabólicas de 19 a 24 dBi.

## **Pérdidas en el trayecto**

Pérdida en el espacio libre. La onda pierde potencia porque se esparce en el espacio. La pérdida aumenta con la distancia y la frecuencia, pero disminuye con la ganancia de las antenas.

Pérdida por el medio ambiente. La onda pierde potencia por absorción, cuando pasa a través de árboles, paredes, ventanas, pisos de edificios, y por dispersión y desvanecimiento debido a la multitrayectoria y a situaciones climáticas. La experiencia demuestra que un margen de tolerancia de 20 dB para contrarrestar esta pérdida es lo apropiado.

Pérdida en la línea o guía. Parte de potencia se pierde en la línea de transmisión. La pérdida para un coaxial corto con conectores es de 2 a 3 dB.

### **2.2.9.4 Multitrayectoria**

Un radioenlace se planifica con una línea de vista libre de obstáculos; sin embargo, adicionalmente. Se reciben múltiples copias de la onda, con diferentes retardos.

- Debido a la refracción en la atmósfera que «dobla» a Tierra la trayectoria de la onda.
- O por la reflexión causada por la superficie del suelo.

La figura 2.41 muestra el esquema de multitrayectoria, así como las ondas reflejada, directa y reflejada en el enlace.

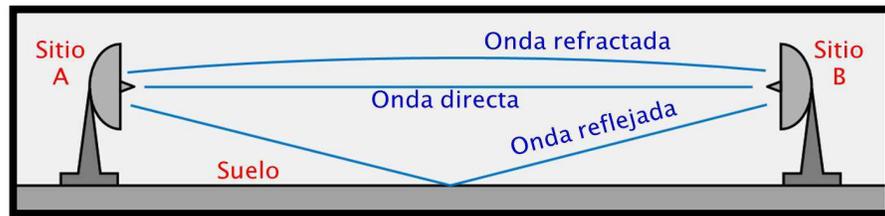


Figura 2.41. Esquema de multitrayectoria. Se observa la onda refractada, directa y reflejada.

Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

La onda resultante será mayor o menor que la directa, dependiendo de la diferencia en la longitud de los trayectos de la onda directa y de las refractadas y reflejadas, es decir habrá una amplificación o anulación parcial (desvanecimiento) de la onda.

### **Desvanecimiento debido a multitrayectoria**

Existen dos métodos básicos para tratar con el desvanecimiento por multitrayectoria.

Sobreconstruir el sistema. Se incrementa la potencia del transmisor, la ganancia de la antena o la sensibilidad del receptor, para obtener un margen de desvanecimiento de, por lo menos, 20 dB.

Técnicas de diversidad. Diversidad de frecuencia. Utiliza 2 frecuencias. La diferencia, en longitudes de onda, entre las longitudes de las trayectorias es diferente para cada frecuencia. Requiere 2 transmisores y 2 receptores separados en frecuencia, por lo menos en un 5%.

Diversidad de espacio. Utiliza 2 antenas montadas una sobre otra en la misma torre. La diferencia entre las longitudes de las trayectorias es diferente para cada antena. Requiere que las antenas estén separadas 200 longitudes de onda o más.

No se pueden aplicar estas técnicas cuando la superficie reflectora es el agua, debido a que el viento la mantiene en movimiento.

### **Multitrayectoria en comunicaciones móviles**

En comunicaciones móviles, la multitrayectoria es primordial. En la figura 2.42 se observa las superficies reflectoras, estas proporcionan los rasgos estructurales y topográficos del ambiente.

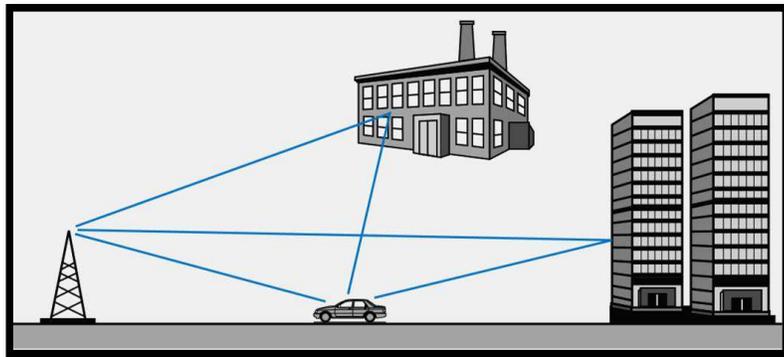


Figura 2.42. Multitrayectoria en comunicaciones móviles. Las superficies reflectoras proporcionan los rasgos estructurales y topográficos del ambiente.  
Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

Las antenas inteligentes controlan la amplitud y fase de las ondas recibidas, hasta obtener una óptima recepción y superar, inclusive, los límites de la línea de vista cuando se dispone de suficiente potencia.

### **Sistemas MIMO (Múltiple Entrada Múltiple Salida)**

Los Sistemas de Múltiple Entrada y Múltiple Salida (MIMO por sus siglas en inglés) es una tecnología de antenas inteligentes que utiliza varias antenas en el transmisor y en el receptor. En la figura 2.43 se observa el esquema de este sistema, el cual capitaliza los beneficios de la multitrayectoria y de la diversidad de espacio para conseguir una

mayor velocidad y alcance del que se consigue con sistemas tradicionales.

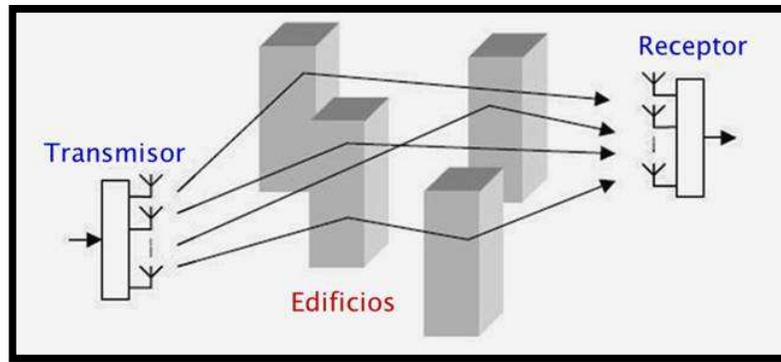


Figura 2.43. Esquema de sistema MIMO. Se utiliza hoy en redes WiFi y en tecnologías 4G: WiMAX y LTE.

Fuente: <http://www.coimbraweb.com/linkcursos.html>

### 2.2.10 Software Pathloss

El programa Pathloss es una completa herramienta de diseño de recorrido para radioenlaces que funcionan en la gama de frecuencias de 30 MHz a 100 GHz. El programa está organizado en ocho módulos de cálculo de trayectoria, un módulo de cobertura de la señal de área y un módulo de red que integra las trayectorias de radio y análisis de cobertura de área. Cambio entre los módulos se consigue seleccionando el módulo de la barra de menús.

## 2.3 Marco Conceptual

### IDU (InDoor Unit)

Dispositivo que actúa como modem, interconecta la radio con el backbone de la red. En función de las necesidades puede ofrecer interfaces Ethernet, TDM.

## **ODU (OutDoor Unit)**

Es la unidad radio en sí. Se define por la frecuencia de sintonización y la sub-banda de trabajo dentro de dicha frecuencia.

## **Antena**

Una antena es un dispositivo cuya misión es difundir y/o recoger ondas radioeléctricas. Las antenas convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas y viceversa.

## **Frecuencia**

Genéricamente debemos definir a la Frecuencia como una temporización que es aplicada a una Onda, siendo precisamente la cantidad de repeticiones que describe la misma teniendo un lapso de tiempo predefinido, y siendo mensurable utilizando la unidad de Hertz (Hz) con sus respectivos equivalentes en múltiplos.

## **Ancho de Banda**

El ancho de banda representa la velocidad de un canal de transmisión. Sin embargo, en realidad es la cantidad de información que puede transmitirse en un segundo por ese medio de comunicación.

## **BER**

El **BER** es la cantidad de bits recibidos con errores dividida por la cantidad total de bits recibidos, durante un período de tiempo dado. Se traduce al español como "Tasa de Error de Bits".

## **Azimut**

Es la distancia angular horizontal a una dirección de referencia, que puede ser el punto sur o norte del horizonte. Se define como el ángulo horizontal de apuntamiento de una antena de estación terrestre.

## **Angulo de elevación**

Es el ángulo vertical que se forma entre la dirección de una onda electromagnética irradiada por una antena de estación terrestre que apunta hacia el satélite y el plano horizontal. Si el ángulo de elevación es menor, la distancia que recorre la onda a la atmósfera es mayor.

## **E1**

Un E1 es una trama síncrona de 2,048 Mbps. Su primera aplicación, era transmitir canales de voz. Como cada canal de voz utiliza 64 kbps en su codificación PCM (la voz analógica tradicional), en un E1 se podían transmitir 31 canales más un canal de reloj. Tiene señalización porque tenemos siempre los 2 Mbps, haya o no haya datos, por lo que ese canal de 64 kbps es el reloj que marca el inicio y final de la trama en cada instante.

## **Rectificador**

El rectificador es el elemento o circuito que permite convertir una señal eléctrica alterna en una continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores, ya sean semiconductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvulas gaseosas como las de vapor de mercurio.

## **Rack**

Un Rack o bastidor es un soporte metálico destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones.

## **Torre de Telecomunicaciones**

Torre de telecomunicaciones o torre de comunicaciones es un tipo de torre de comunicaciones que se utiliza como soporte de antenas de emisión de señales de radio, televisión, telefonía móvil y todo tipo de telecomunicaciones.

## **Cable Coaxial**

El cable coaxial es un medio de transmisión relativamente reciente y muy conocido ya que es el más usado en los sistemas de televisión por cable. Físicamente es un cable cilíndrico constituido por un conducto cilíndrico externo que rodea a un cable conductor, usualmente de cobre. Es un medio más versátil ya que tiene más ancho de banda (500Mhz) y es más inmune al ruido. Es un poco más caro que el par trenzado, aunque bastante accesible al usuario común.

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROYECTO**

#### **3.1 ANALISIS**

Para el análisis del diseño, primero se describirá las ciudades donde se encuentran los puntos designados en nuestro proyecto para tener una idea de la ubicación geográfica del lugar. Además, se indica el estudio realizado, adecuaciones y datos necesarios antes de iniciar la implementación.

##### **3.1.1 Descripción de la Mina Yanaquihua**

La Minera Yanaquihua SAC (MYSAC) es un pequeño productor minero aurífero, que desde el año 2000 opera su unidad de producción Alpacay, localizada en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa. Para acceder a la zona es necesario un viaje en camioneta desde la ciudad de Arequipa durante 6 horas.

### 3.1.2 Ubicación geográfica de la Mina Yanaquihua

La ubicación de la planta minera es en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa. Las coordenadas son las siguientes: Latitud 15°46'51.5" S y longitud 72°55'25.6" O. Se encuentra a una altura de 2705.64 m.s.n.m.

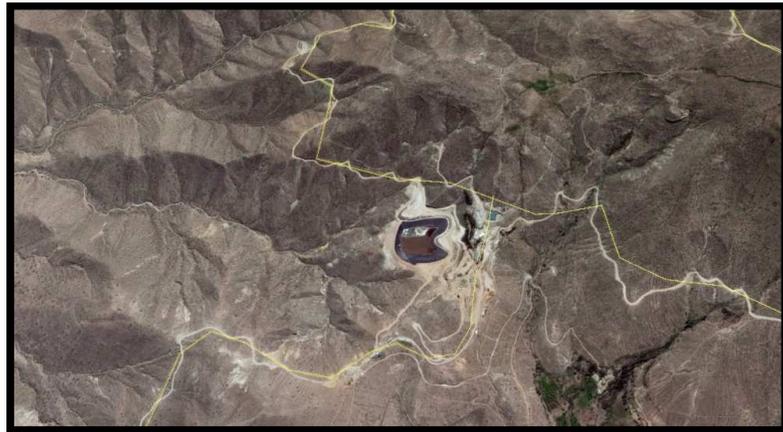


Figura 3.1. Plano Satelital de la Planta de Operaciones de la Minera Yanaquihua.

Fuente: Editado de Google Earth.

### 3.1.3 Estudio Previo

El Cliente requiere servicios de acceso a Internet dados por el operador Telefónica del Perú, desde la ubicación actual conocido como Planta, dentro de los dominios de la Mina. Para dar servicio a la Planta, se requiere de un Terminal (15°46'51.50" S / 72°55'25.60"O. ) donde se ubicará la torre, antena y ODU del radioenlace enlazado hacia la Repetidora Cerro Señal Elba y luego se tendrá un tramo de 130 metros de cable de banda base que llegará al Data Center de la Planta (15°46'54.91"S; 72°55'26.77"O) utilizando tres postes que sostendrán el Cable de banda Base . En

el Data Center se instalará la IDU y un conversor a -48 VDC. Actualmente el Cliente tiene un sistema satelital de Americatel, pero éste tiene poco ancho de banda y se corta frecuentemente. Por ello ha solicitado a Telefónica del Perú, realizar la factibilidad técnica que les permita contar con más ancho de banda y un servicio estable.

Se visitó el local para resumir los requerimientos mínimos a fin de que el Cliente pueda disponer con el servicio ofrecido por Telefónica del Perú y que les permita contar con Internet de gran ancho de banda, datos, voz y video en comparación con el servicio de Americatel (en comparación con Americatel ya que su servicio es de 512 Kbps y de Telefónica es de 4Mbps). La dirección del Cliente considerada para los efectos del estudio se indica en la tabla 3.1 el cual presenta la ubicación y referencia para localizar geográficamente a la Planta Minera.

Tabla 3.1. Ubicación de la Planta Minera

Ubicación del Cliente	Dpto: Arequipa	Prov: Condesuyo	Distrito: Yanaquihua	Comentarios
Dirección ; referencias:	Mina Yanaquihua, a 6 horas de Arequipa en camioneta 4X4, en las inmediaciones del principal control de entrada a la mina. LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN EL TERMINAL PLANTA SON 15°46'51.50" S / 72°55'25.60" O.			

Será enrutado a la estación base de Telefónica del Perú, Repetidor Señal Elba cuyos resultados pueden resumirse en:

Existe línea de vista entre el local del cliente y la estación base de Telefónica, Repetidor Cerro Señal Elba, de acuerdo a las alturas de antenas recomendadas en las siguientes tablas y basados en las observaciones de la investigación de la línea de vista.

Para el lado de la Planta Minera, la línea de vista es determinada, en base a observaciones directas visuales. La comprobación se realizó a nivel del suelo, donde se aprecia la torre de la Repetidora Señal Elba. Por lo tanto, se concluye que el enlace es factible con las alturas de torres y antenas sugeridas. La tabla 3.2 indica la altura de torres y antena, a partir de las cuales existe línea de vista.

Tabla 3.2. Altura de Torres y Antena

Altura de Torres y Antenas				
Item	Site A: Planta Minera	Site B: Repetidor Señal Elba	Comentarios de Torre, Site A	Comentarios de Torre, Site B
Altura de edificio o estructura (mts)	0 mts	0 mts		
Altura de Torre (mts)	9 mts	30 mts	No existe torre, se propone instalar mastil de 9 mts	Torre autosoportada existente, no tiene soporte libre para instalacion de antena
Altura de Antena (mts)	8 mts	18 mts		

### **3.1.4 Datos Generales de las Estaciones**

#### **3.1.4.1 DATOS DE LA MINA YANAQUIHUA**

**Departamento** : Arequipa

**Provincia** : Condesuyo

**Distrito** : Yanaquihua

**Dirección (Referencia)** : Mina Yanaquihua, a 6 horas de Arequipa en camioneta 4X4, en las inmediaciones del principal control de entrada a la mina. Presenta las siguientes coordenadas geográficas: 15°46'51.50" S / 72°55'25.60" O.

**Site del Cliente** : Terminal Planta

#### **Información de la Planta Minera**

La tabla 3.3 indica los requerimientos obtenidos durante la visita a la Planta Minera. Entre ello cabe destacar el contacto en la Planta Minera el cual permite el acceso y facilidades del lugar, pozos a tierra para el aterramiento de los equipos de radio, cercos perimétricos, así como la trocha para acceder al lugar de instalación del mástil. Estos datos son muy importantes, ya que indica exactamente las adecuaciones y materiales antes de la instalación. Su precisión es necesaria porque la Planta Minera está a 6 horas del pueblo más cercano y este lugar no cuenta con materiales y/o herramientas para la implementación de este proyecto.

Las adecuaciones, tales como instalación de pozos a tierra, barra de cobre, cercos perimétricos y pararrayos serán instalados por el cliente, por lo tanto, no se describirán en el informe.

La tabla 3.3. Indica los requerimientos y facilidades que se deben habilitar antes del inicio de la implementación del enlace.

Tabla 3.3. Requerimientos de la Planta Minera

Descripción	Dato/Facilidad/Requerimiento
Contacto	Ing. Hubert Ordoñez; telef. 012065936; hordonez@svs.com.pe
Latitud del Site	15°46'51.50" S
Longitud del Site	72°55'25.60" O
Altitud del Site	2, 690.6 m.s.n.m.
Azimut con respecto al Site Repetidor Señal Elba	250°
Distancia del Radioenlace(Km)	32.8
<b>Torre</b>	
Tipo, Altura de Torre y Estado	Instalar mastil de 9 metros desde el nivel del suelo
Altura de la antena	8 metros desde el nivel del suelo
Frecuencia de Trabajo	7/8 Ghz
Diametro de la antena a instalar	1.2 metros
Tipo de soporte a utilizar	Requiere de acuerdo al diseño de la torre
Calculo de la Banda Base (Desde el terminal hasta el Data Center)	Cable Coaxial RG8= 150 metros
Calculo de cable de tierra (para la ODU)	15 metros
Aterramiento de la ODU	Se aterrara directamente al pozo a tierra a instalar
Pozo a Tierra	Requiere
Pararrayos	Requiere
Barra de tierra (para Outdoor)	Requiere
Cerco perimetrico	Requiere
Trocha peatonal	Requiere
<b>Parte Indoor (en el Data Center)</b>	
Sala de Equipos	Existe en el Data Center
Gabinete o Rack de 19" para instalacion de equipos	Gabinete existente con espacio para nuevos equipos
Energia AC	Existe, generador de respaldo se implementara proxicamente
Energia DC	Requiere -48VDC
Barra a Tierra	Requiere una Barra de Cobre
Pozo a Tierra	Requiere

### 3.1.4.2 ESTACION REPETIDORA SEÑAL ELBA

**Departamento** : AREQUIPA

**Provincia** : Caravelí

**Distrito** : Caravelí

**Dirección** : Cerro Venado ubicado dentro de los dominios de la Mina Eugenia.

#### Información de la Estación Repetidora Señal Elba

La tabla 3.4 indica los requerimientos de material necesarios para la implementación, así como la gestión de accesos en la zona para poder ingresar a la estación repetidora. Los materiales a utilizar serán incluidos en el costo del proyecto, más los equipos serán proporcionados por el operador del servicio.

Tabla 3.4. Requerimientos de la Estación Repetidora

Descripción	Dato/Facilidad /requerimiento
Contacto para recoger llaves de la Estacion	Seguridad de Camaná Telefonica del Peru
Latitud del Site	15° 52'52.85" S ; map datum WGS 1984
Longitud del Site	73° 12'42.97" W ; map datum WGS 1984
Altitud del Site	2, 254 m.s n.m.
Azimet con respecto al Site cliente MINERA YANAQUIHUA, Site TERMINAL PLANTA	70°
Distancia del Radioenlace ( km.)	32.81
<b>TORRE</b>	
Tipo, Altura de Torre y Estado	Torre Cuadrada Autosoportada, de 30 mt, a nivel del suelo. La antena a instalar deberá estar a 18 mt.
Altura de la antena	18 m a nivel del suelo .
Frecuencia de Trabajo	7/8 Ghz
Diámetro de la antena a instalarse	1.2mts
Tipo de soporte a utilizar	Pata de Gallo, montante de 4", REFORZADA o como alternativa un soporte pata a pata
Cálculo de Banda Base	45 mts Cable Coaxial RG 8
Cálculo de cable de tierra	ODU = 15 mts / IDU = 15 mts
Aterramiento a la ODU	La ODU se aterrará a la torre mediante un morceto.
Pozo Tierra	Existente
Para Rayos	Existente
<b>Parte Indoor</b>	
Sala de Equipos	Existente
Gabinete o Rack de 19" Para instalar la IDU	Existente , tiene espacio para instalar la nueva idu y conversor.
Energía AC	Existente
Energía DC	Existe breakers existentes en el PDB DC existente
Barra de tierra	Existente
Pozo de tierra	A preparar

## RESUMEN DE REQUERIMIENTOS

En la tabla 3.5 se resume los requerimientos y facilidades que se deben implementar en ambas estaciones antes del inicio de las instalaciones. Es muy importante validar que todo se instale de acuerdo al diseño para evitar problemas durante la instalación. Esta información será utilizada en el software Pathloss, para simular el enlace a implementar.

Tabla 3.5. Resumen de requerimientos de ambas estaciones.

Requerimientos	SITE TERMINAL PLANTA (Cliente MYSAC)	DATA CENTER ( MYSAC)	TDP Rep C° SEÑAL ELBA
<b>PARTE INDOOR</b>			
Sala de Telecomunicaciones.		Existe una sala de equipos 2 m. x 4 m.	Tiene una sala de Transmisiones
Rack o Gabinete de 19" ( instalado sobre la pared)		Gabinete existente de 19", con espacio para instalar los equipos de TDP.	Tiene Rack disponible
Subsistema de aire acondicionado		Requiere.	Existe
Rectificador Conversor de AC/DC -48 vdc		Telefónica suministrará.	Existe un PDB de -48 Vdc con breakers libres para energizar.
UPS que tenga estabilizador de 220 VAC		Requiere uno exclusivo para los equipos de tdp	NA
PDB AC, con una llave térmica		Requiere un pequeño PDB AC con dos llaves de 10:00 a.m.	NA
Pozo de tierra		Requiere para Data Center (Ver Foto N° 3b)	NA
Barra de Tierra (instalado sobre la pared de concreto)		Requiere, instalar sobre la pared, a 30 cm del nivel del suelo	Existente.
<b>PARTE OUTDOOR</b>			
Torre / Mástil	instalar una torre de 9 mts, a nivel del suelo. Proveer barra de tierra en su base.		Existe.
Gabinete outdoor para instalar la IDU	NA		NA
Pararrayos	Requiere.		Existente
Escalerilla horizontal desde torre a sala (medio por donde ingresa el cable )	NA		No requiere. Existe
Soporte de antena	Requiere, de acuerdo al diseño de la torre.		Requiere , pata de gallo montante de 4"
Pozo de tierra con una resistividad de menor de 5 ohmios	Requiere uno, para la ODU y torre		No requiere.
Escalera para mantenimiento correctivo/preventivo	NA		NA
Cable de banda base	Requiere de 35 mts		40mts
Cable de Tierra	Requiere		15 mts
Cerco perimétrico	Requiere		NA
Trocha peatonal	Requiere de 100 mts		NA
Postes para sostener el Cable de Banda Base	3 postes		NA
Nivelación del terreno	Requiere		NA

### 3.1.5 Diseño del Enlace

De acuerdo a la información obtenida durante el estudio previo y toma de datos desde ambos puntos, se diseña el perfil y cálculo del enlace microondas; así como las estructuras a utilizar y la arquitectura de las mismas.

Con estos datos obtenidos y de acuerdo al requerimiento del cliente, Telefónica del Perú ofrecerá el servicio de internet 4Mbps-2E1s.

#### 3.1.5.1 Cálculo de Propagación y Perfil del Enlace

Con los datos obtenidos, coordenadas geográficas, altura de antenas y diámetro, así como las frecuencias se procederá a realizar el diseño del cálculo y perfil del enlace utilizando el software Pathloss.

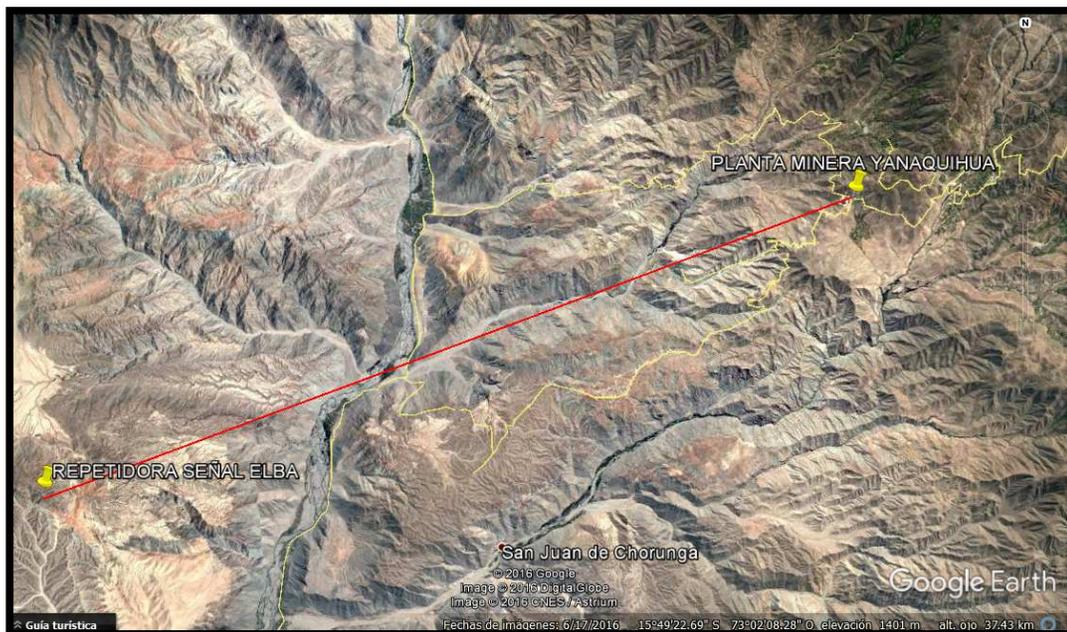


Figura 3.2. Plano Satelital de la Planta Minera y Estación Repetidora  
Fuente: Editado de Google Earth.

## Plan de Ruta

El plan de ruta, figura 3.3, indica la dirección, distancias, coordenadas geográficas; así como el azimut y altitud existente en ambas estaciones. Esta información es muy importante para la elaboración de la simulación en el software Pathloss.

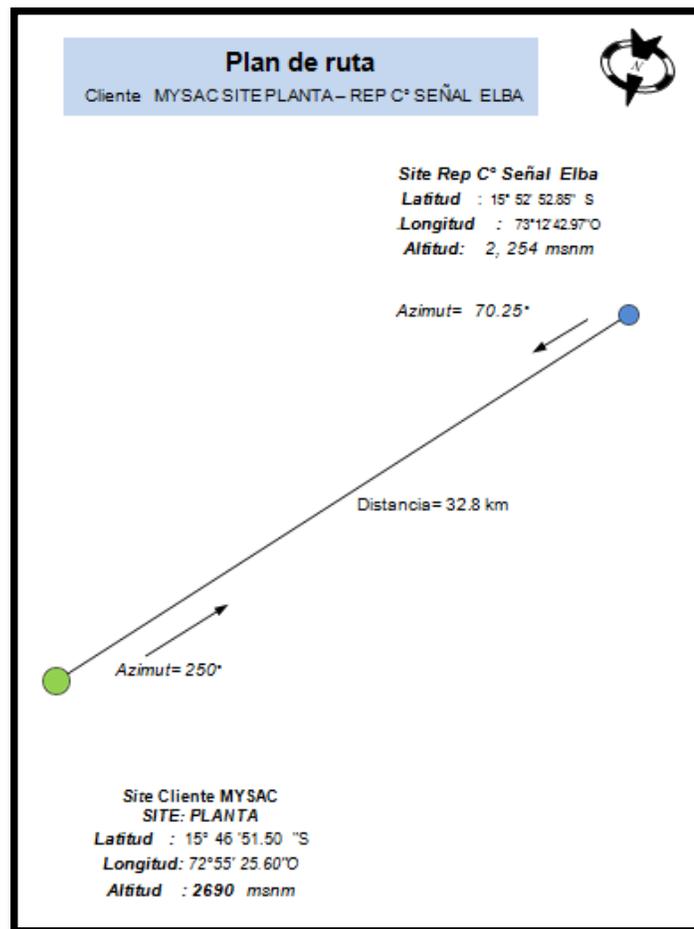


Figura 3.3. Plan de ruta. Detalle dirección y distancia desde la Planta Minera hacia la estación repetidora y viceversa.

Fuente: Elaboración propia

### **Perfil del enlace**

El perfil del enlace se realiza mediante el software Pathloss y los datos obtenidos durante el estudio previo, se simula el perfil del enlace, el cual indica las alturas de antenas, perfil del relieve, distancia, coordenadas geográficas, elevación del terreno y zona de Fresnel. La figura 3.4 presenta este perfil, en el cual se observa los datos descritos anteriormente. Estos datos son los siguientes:

#### **Repetidor Señal Elba**

- **Latitud:** 15°52'52.85"S
- **Longitud:** 73°12'42.97"O
- **Azimut:** 70.25°
- **Elevación:** 2250 m.s.n.m.
- **Altura de Antena:** 18 metros

#### **Planta Minera Yanaquihua**

- **Latitud:** 15°46'51.50"S
- **Longitud:** 72°55'25.60"O
- **Azimut:** 250.17°
- **Elevación:** 2700 m.s.n.m.
- **Altura de Antena:** 8 metros

Además:

**Línea Azul:** Zona de Fresnel.

**Línea Roja:** Línea de vista entre ambos puntos.

**Línea Naranja:** Perfil del relieve.

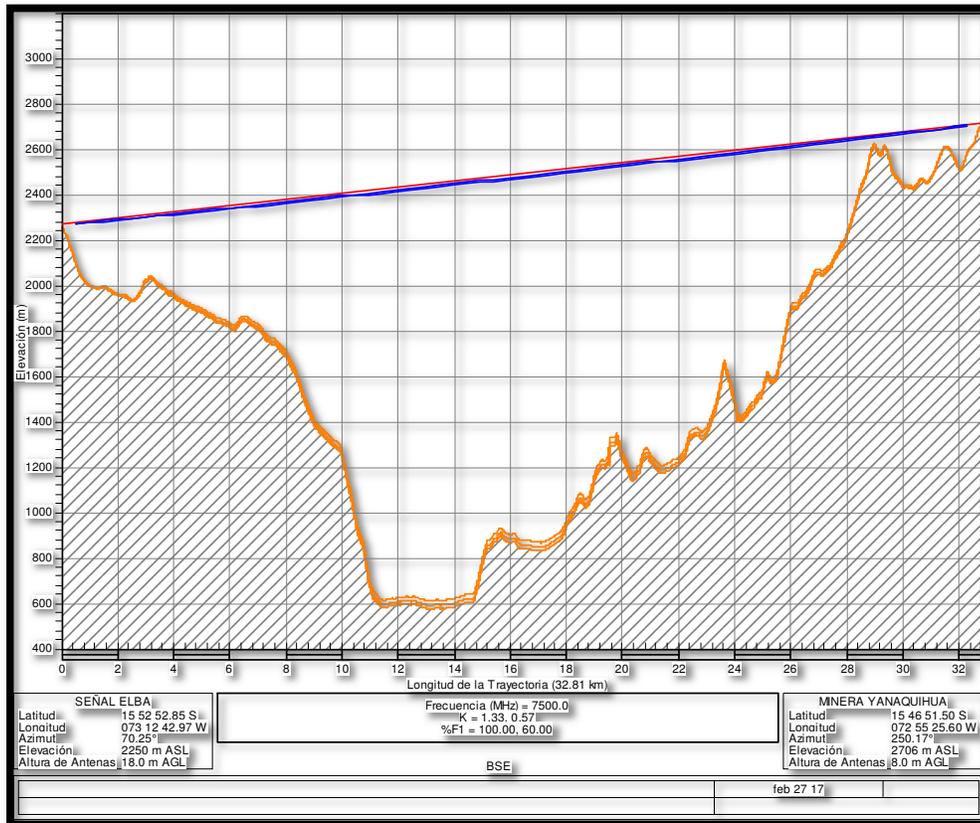


Figura 3.4. Perfil del enlace.  
Fuente: Elaboración propia.

### Calculo del Enlace

Con la información obtenida durante el estudio previo y utilizando el software Pathloss, este permite diseñar y simular el enlace, obteniendo datos de referencia para la implementación.

### **Datos relevantes para la implementación del enlace:**

Al simular el enlace en el software, este indico los siguientes valores dados por la tabla 3.6., los cuales serán corroborados al término de la implementación del proyecto.

### **Estación Repetidora Señal Elba – Niveles de Ganancias y Pérdidas de la Señal**

Ganancia de Antena: 36.60 dBi

Pérdidas en el Espacio Libre: 140.29 dB

Pérdidas de Absorción Atmosférica: 0.33 dB

Pérdidas Netas del Enlace: 67.91 dB

Potencia de Transmisión: 25 dBm

PIRE: 61.35 dBm

Señal Recibida: -42.91 dBm

### **Estación Planta Minera Yanaquihua – Niveles de Ganancias y Pérdidas de la Señal**

Ganancia de Antena: 36.60 dBi

Pérdidas en el Espacio Libre: 140.29 dB

Pérdidas de Absorción Atmosférica: 0.33 dB

Pérdidas Netas del Enlace: 67.91 dB

Potencia de Transmisión: 25 dBm

PIRE: 61.35 dBm

Señal Recibida: -42.91 dBm

Cabe mencionar que estos valores son solo referenciales, los cuales tendrán un margen de desviación entre  $\pm 2$  dB finalizada la implementación.

A continuación, se muestra la tabla 3.6, el cual presenta la información total del enlace, la cual ha sido obtenida durante el estudio previo y análisis en ambas estaciones.

Tabla 3.6, indica los valores de referencia para la configuración e implementación del enlace.

Tabla 3.6. Calculo del enlace utilizando software Pathloss.

	SEÑAL ELBA	MINERA YANAQUIHUA
Elevación (m)	2249.92	2705.64
Latitud	15 52 52.85 S	15 46 51.50 S
Longitud	073 12 42.97 W	072 55 25.60 W
Azimuth Verdadero (°)	70.25	250.17
Ángulo Vertical (°)	0.67	-0.89
Modelo de Antena	SLC1278DS6	SLC1278DS6
Altura de Antena (m)	18.00	8.00
Ganancia de Antena (dBi)	36.60	36.60
Otras Pérdidas TX (dB)	0.25	0.25
Otras Pérdidas RX (dB)	0.25	0.25
Frecuencia (MHz)	7500.00	
Polarización	Vertical	
Longitud de la Trayectoria (km)	32.81	
Pérdidas de Espacio Libre (dB)	140.29	
Pérdidas de Absorción Atmosférica (dB)	0.33	
Pérdidas Netas del Enlace (dB)	67.91	67.91
Modelo de Radio	AS7-ALPlus2 341M 256QAM	AS7-ALPlus2 341M 256QAM
Potencia de Transmisión (w)	0.32	0.32
Potencia de Transmisión (dBm)	25.00	25.00
PIRE (dBm)	61.35	61.35
Designador de Emisor	56M00D7WET	56M00D7WET
Criterio de Umbral de Recepción	BER 10-3	BER 10-3
Nivel de Umbral (dBm)	-66.00	-66.00
Señal Recibida (dBm)	-42.91	-42.91
Margen de Desv. - Térmico (dB)	23.09	23.09
Factor Geoclimático	7.04E-07	
Inclinación del Trayecto (mr)	13.59	
Fade occurrence factor (Po)	2.85E-04	
Temperatura Anual Promedio (°C)	23.00	
Fuera de Servicio del Peor Mes por Multitrayecto (%)	99.99982	99.99982
(sec)	4.73	4.73
Fuera de Servicio Anual por Multitrayecto (%)	99.99993	99.99993
(sec)	20.82	20.82
(% - sec)	99.99987 - 41.64	
Región de Precipitación	ITU Region N	
0.01% Intensidad de Lluvia (mm/hr)	95.00	
Margen de Desv. - Plano por Lluvia (dB)	23.09	
Intensidad de Lluvia (mm/hr)	211.32	
Atenuación por Lluvia (dB)	23.09	
Fuera de Servicio Anual por Lluvia (%-seg)	99.99958 - 133.43	
Total Anual (%-seg)	99.99944 - 175.07	

lun, feb 27 2017  
 SEÑAL ELBA-MINERA YANAQUIHUA.pl4  
 Reliability Method - Rec. ITU-R P.530-7/8  
 Precipitación - ITU-R P530-7

### 3.1.5.2 Estructuras Metálicas y Soportes

Considerando la estructura de la Torre Autoportada en la estación de Telefónica del Perú y al diseño en la planta minera, se diseñó de la siguiente manera.

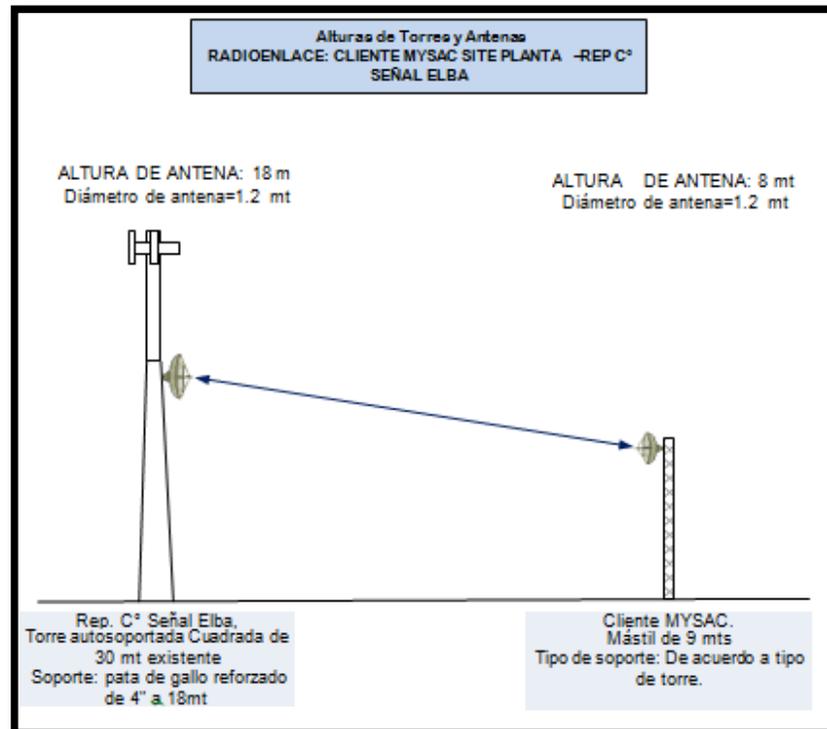


Figura 3.5. Esquema de alturas de Torres y Antenas  
Fuente: Elaboración propia

En la estación repetidora solo se instalará un soporte montante para la instalación de la antena a una altura de 18 metros, ya que presenta una torre autoportada de 30 metros. En la Planta Minera se instalará un Mástil de 9 metros, la instalación de la antena será a 8 metros. La Torre y el Mástil se encuentran desde el nivel del suelo.

A continuación, la figura 3.6 indica una vista grafica de la Planta Minera. Se visualiza la posición del Data Center, así como las ubicaciones del pozo a tierra e instalación de barra de cobre. Se observa también, el recorrido del cable coaxial RG8.

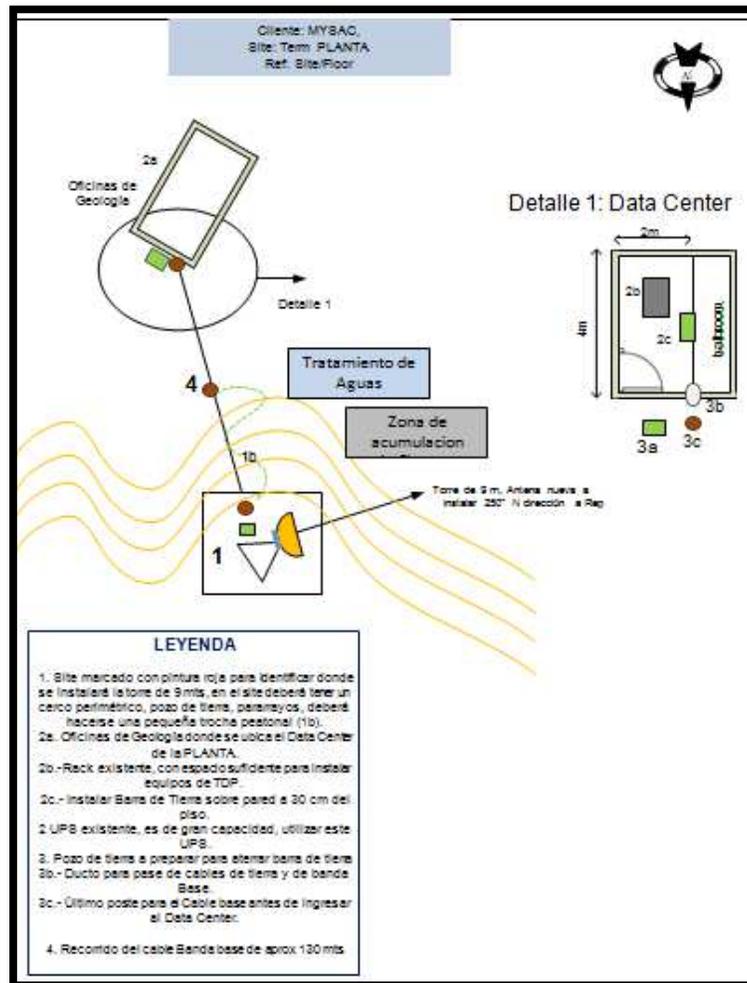


Figura 3.6. Vista grafica de la Planta Minera.  
 Fuente: Elaboración propia

Donde:

**Punto 1:** Indica el área donde se instalará el mástil de 9mts.

**Punto 2a:** Oficinas de Geología, donde se ubica el Data Center de la Planta.

**Punto 2b:** Rack existente, con espacio para instalar equipos de Radio.

**Punto 2c:** Ubicación de Barra a Tierra para aterramientos de equipos en Data Center.

**Punto 3a:** Ubicación de Pozo a Tierra a instalar.

**Punto 3b:** Ducto pasamuro que permite el paso del cable de tierra desde el pozo al Data Center, así como el cable coaxial RG8.

**Punto 3c:** Ultimo poste a instalar, antes que el cable coaxial RG8 ingrese al Data Center.

**Punto 4:** Recorrido del cable coaxial RG8 desde el Mástil hasta el Data Center.

A continuación, la figura 3.7 indica una vista grafica de la Estación Repetidora. Se visualiza la ubicación de la antena a instalar en torre, así como la ubicación de la sala de transmisión donde se ubica el equipo de radio. Se observa también, el recorrido del cable coaxial RG8.

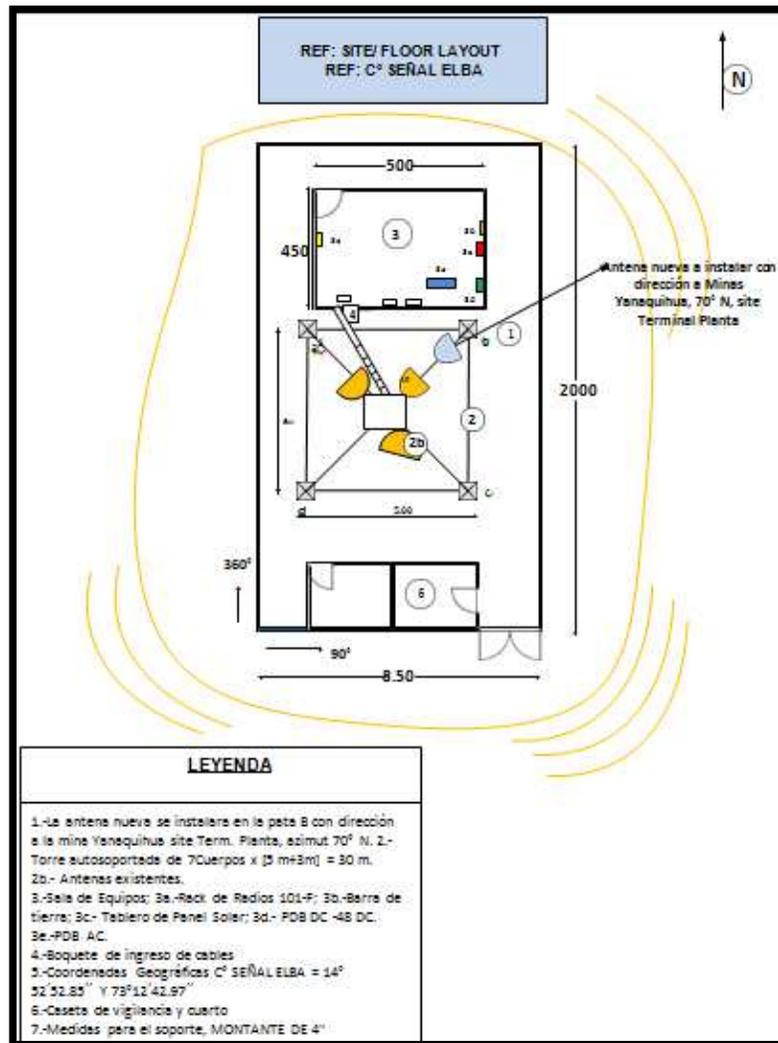


Figura 3.7. Vista grafica de la Estación Repetidora.  
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

**Punto 1:** Ubicación de la antena a instalar en torre.

**Punto 2:** Torre Autosoportada de 30 metros.

**Punto 3:** Sala de equipos. Esta incluye el rack para equipos de radio, barra a tierra, tablero del panel solar y los gabinetes de rectificadores de energía AC.

**Punto 4:** Agujero pasamuro que permite el ingreso de cables coaxiales desde el exterior.

### **Soporte para Torre Autoportada**

Este tipo de soporte es común utilizado en este tipo de torres, elaborado a base de fierro galvanizado para evitar corrosión, con sujeción en sándwich en 2 puntos para la torre y con un tubo de fierro para la sujeción de antenas. Se utilizara en la estación repetidora Señal Elba.

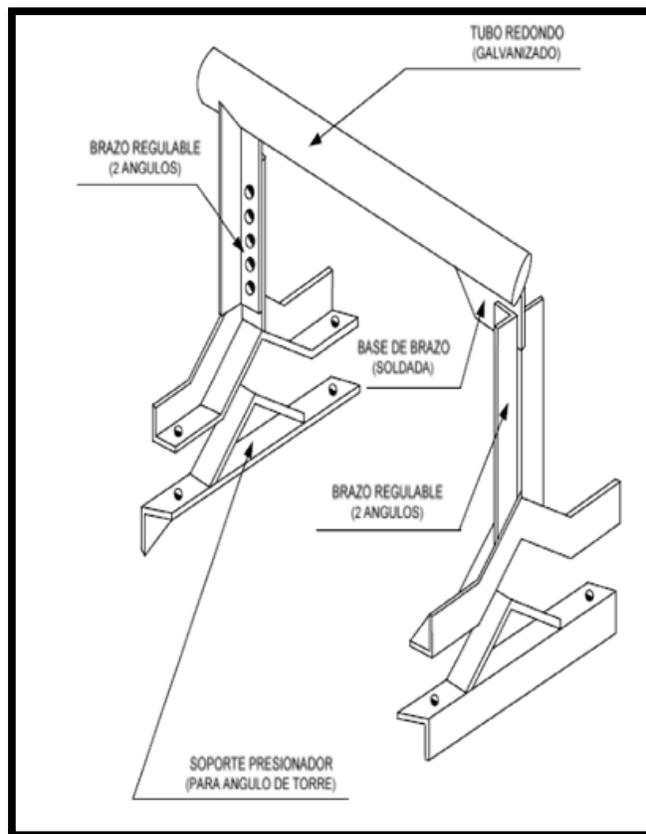


Figura 3.8. Soporte montante tipo pata de gallo para instalación de antena en torre.

Fuente: <http://torresymastiles.com/mastilesmicroondas.html>

## Mástil para la Planta Minera Yanaquihua

Los mástiles se componen de una serie de estructuras de ejes cilíndricos de diferentes diámetros y espesores ensamblados entre sí por uniones o bridas atornilladas. Son más fáciles de instalar o mover, especialmente en sitios de difícil acceso de instalación. Con la opción de modularidad desde 3 mts, permiten ser transportados a bordo de pequeños medios de transporte, siendo fáciles de ensamblar aun en áreas poco accesibles. El primer tramo es anclado a la base a través de pernos o anclas embebidas en concreto. En la figura 3.9, se muestra el mástil a utilizar y sus elementos de anclaje.

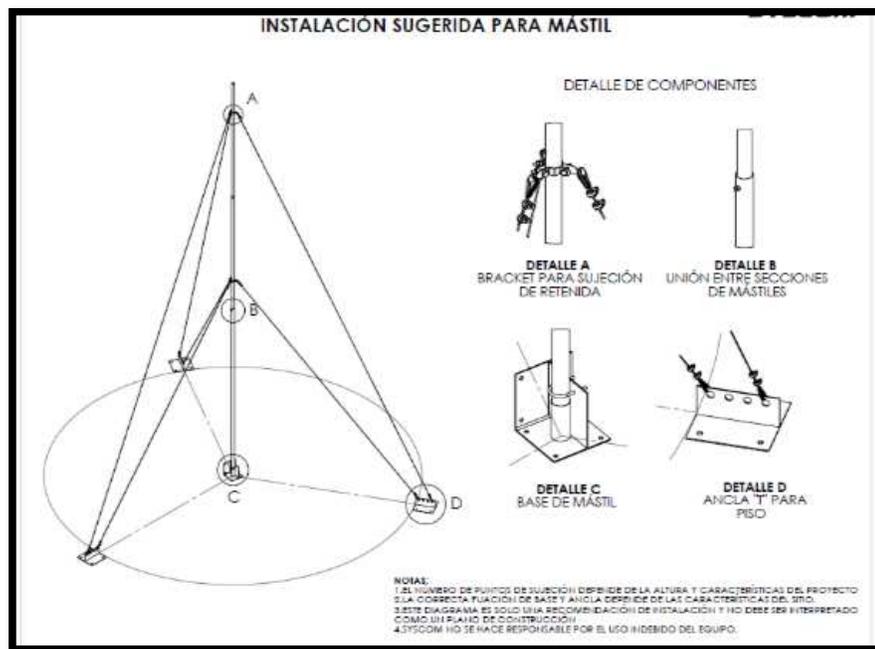


Figura 3.9. Vista gráfica del mástil a instalar en la Planta Minera.  
Fuente: <http://torresymastiles.com/mastilesmicroondas.html>

Donde:

**Detalle A:** Bracket para sujeción de retenida. Permite sujetar los arriostres al mástil para mayor estabilidad.

**Detalle B:** Unión entre secciones de Mástiles

**Detalle C:** Base del mástil. Esta posee agujeros en una platina metálica para su anclaje en una base de concreto.

**Detalle D:** Ancla "T" para piso. Permite anclar el arriostre a la base del suelo.

Con referencia a las normativas o regulaciones nacionales o internacionales los mástiles son diseñados considerando áreas de carga (calculada en metros cuadrados identifica el máximo número de antenas o parábolas que el mástil puede soportar; flexión (calculado en grados identifica la rigidez requerida por el mástil) resistencia al viento (calculado en m/seg identifica la velocidad del viento para la cual el mástil fue diseñado). Zona de carga y pandeo por flexión son requisitos básicos para llevar a cabo una elección preliminar del tipo de mástil, entendiendo que la decisión final debe venir después de un análisis más profundo tomando en cuenta otros parámetros como la ubicación del sitio.

En nuestro caso, al ser una zona poco afectada por cambios bruscos de clima y el peso soportado en el mástil (solo una antena), no se consideró mayor especificación para su elaboración, siendo

las características más importantes la altura (9 metros) y el diámetro (4pulgadas).

### **3.1.5.3 Diseño de Postes para Recorrido de Cable Coaxial y Pozo a Tierra**

No se especificará el diseño y/o instalación de estos requerimientos ya que fueron hechos por parte del cliente y cuyo presupuesto estaba fuera del gasto del proyecto.

### **3.1.5.4 Equipamiento**

El equipamiento a utilizar se muestra en la tabla 3.7. Cabe mencionar que la marca utilizada fue designada por el operador del servicio (Telefónica del Perú). Además del equipamiento, se utilizará materiales consumibles, indicado en la tabla 3.8, para el energizado de los equipos de radio, aterramiento, aislamiento, etc.

Tabla 3.7 Indica el equipamiento a utilizar en el enlace, así como la marca, modelo y cantidad.

Tabla 3.7. Equipamiento del enlace

<b>Radio</b>		<b>MODELO</b>	<b>CANTIDAD</b>
MARCA	IDU	SIAE PLUS2e	02 UNID
SIAE	ODU	ASN8	02 UNID
	Antena	SLC1278D6S	02 UNID

Tabla 3.8 Indica los materiales a utilizar en el enlace, ya sea para energizar, aterrizar y/o aislar los equipos de radio.

Tabla 3.8. Materiales consumibles para el enlace.

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad
01	Cable IF	Mt	210
02	Convertor dc -48vdc	Und	1
03	Cable tierra 10AWG IDU	Mt	17
04	Cable vulcanizado 2 x 14	Mt	25
05	Cable tierra 8AWG ODU	Mt	20
06	Tubo Corrugado 3/4'	Und	5
07	Mástil de 9 mts	Und	1
08	Cintillos de amarre negros	Und	100
09	Cintillos de amarre blancos	Und	50
10	Silicona	Und	2
11	Grasa	Pote	2
12	Cinta Aislante	Und	4
13	Cinta Vulcanizante	Und	2
14	Soporte para Antena	Und	01
15	Cable UTP cat. 6	Mt	10
16	Conectores UTP	Und	4

### 3.1.5.5 Arquitectura del Sistema

En la figura 3.10 se muestra el diagrama del enlace microondas a implementar. La comunicación entre la IDU y la ODU es a través de cable coaxial RG8. En este caso la conexión entre la ODU y la antena es directa. Para que el sistema acceda a la red del operador de servicio es necesario realizar un pasante Fast Ethernet, conectado a una IDU marca HUAWEI de un enlace microondas existente en la Estación Repetidora Señal Elba.

El operador móvil, habilitara el puerto en el equipo HUAWEI, para establecer la conexión.

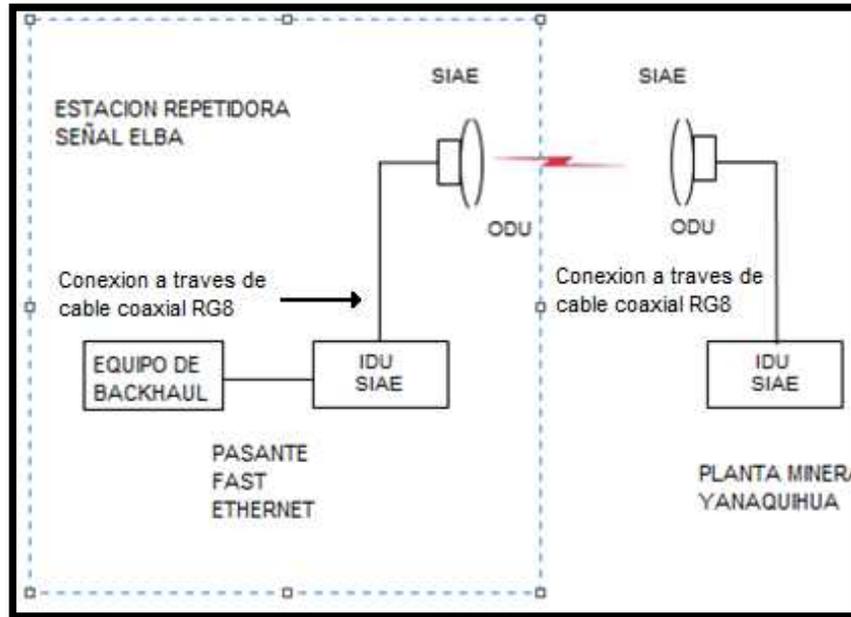


Figura 3.10. Diagrama del enlace microondas a implementar  
Fuente: Elaboración Propia

## 3.2 IMPLEMENTACION

### 3.2.1 Adecuaciones civiles y eléctricas

Según lo indicado anteriormente, la instalación del pozo a tierra y de los postes para el tendido del cable coaxial RG8 lo realizó personal de la planta minera. El sistema de puesta a tierra debe tener una resistividad menor o igual a 2 ohms/metro. Ello es necesario para evitar corrientes inducidas y/o sobrecargas, las cuales suelen ser perjudiciales a los equipos por su alta sensibilidad. Pero debido a la amplitud del proyecto, estas actividades requerían de cierta supervisión y conformidad del área de microondas. A continuación, se muestra las figuras 3.11 y 3.12 indicando las adecuaciones mencionadas.



Figura 3.11. Plataforma para instalación de Mástil  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.12. Postes instalados para tendido de cable RG8  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.13. Pozos a Tierra instalados tanto para la planta minera, como para el data center  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.14. Camino accesible al área de instalación del mástil  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.15. Gabinete ordenado y con espacio suficiente para nuevos equipos.  
Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.2 Implementación del Enlace Microondas**

Una vez terminada todas las adecuaciones necesarias para la implementación del enlace, se procede con la instalación de los equipos en la planta minera, así como el traslado desde la mina a la estación repetidora Señal Elba.

Antes de describir la instalación del enlace es muy importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Contar con todas las herramientas y equipos necesarios para el efecto.
- Revisar las advertencias y peligros de cada fabricante de los equipos.

- Inspeccionar cada uno de los equipos para indicar si existen daños.
- Limpiar el lugar de la instalación.
- Mantener el orden tanto de los componentes de los equipos como de las herramientas para evitar accidentes.



Figura 3.16. Traslado de equipos desde la mina hacia Estación Repetidora Señal Elba.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.1 Instalación de Mástil y Soporte de Antena

Al estar las estaciones distantes una de otra, el grupo de trabajo se dividió en dos, para agilizar la instalación.

Para anclar el mástil, el grupo 1 utilizó taquetes expansivos en orificios en el piso previamente marcados y perforados de acuerdo a las dimensiones de cada placa de anclaje del mástil. Aprovechando el anclaje, se procedió al aterramiento del mismo, hacia el pozo de tierra previamente instalado.

Al mismo tiempo, el otro grupo se encarga de la instalación del soporte de antena en la torre de la estación repetidora Señal Elba.



Figura 3.17. Anclaje y aterramiento del mástil en la planta minera.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.18. Aterramiento del mástil en el pozo a tierra  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.19. Mástil instalado en la Planta Minera  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.2 Instalación de Antena y ODU

Se procede con el izaje de las antenas a la altura establecida por los cálculos en el diseño en ambas estaciones, previamente la ODU ha sido acoplada a esta, orientando su polaridad según la información inicial (en este caso polarización vertical). Finalmente, una vez instaladas en ambas torres se procede con el aterramiento de las ODUS.



Figura 3.20. Antena y ODU instalada en Mástil en la Planta Minera  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.21. Instalación de Antena y ODU en torre autosoportada en la Repetidora  
Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.2.3 Cableado de Coaxial RG8 e Instalación de IDU**

La estructura de la IDU posee 4 orificios laterales, los cuales permiten sujetar el equipo a un Rack de 19 pulgadas (en la estación repetidora) y en un gabinete (planta minera). Luego de ello se procede con el aterramiento, a través de un orificio lateral que posee la IDU. Este equipo es energizado con -48VDC, para ello utilizamos el conversor en el lado de la planta para alimentar nuestro equipo de Radio y en el lado de la Repetidora existen llaves de energía libres en los tableros rectificadores. Siempre con un multímetro, verificar que la tensión sea estable y de magnitud similar a la requerida.

Finalmente, se conecta ambos extremos del cable coaxial, tanto con la ODU y la IDU. El conector en el lado de la ODU se

vulcaniza realiza colocando tres capas de cinta aislante empezando desde abajo, después se aplica tres capas masa vulcanizante, luego se aplica nuevamente tres capas más de cinta aislante y finalmente se coloca un cintillo o breña color negro a 3mm del tope y del final del vulcanizado. Luego de todo este proceso, se agrega silicona transparente para un aislado completo.



Figura 3.22. Rackeo de IDU en Data Center de Planta Minera  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.23. Aterrado de IDU y Conectorizado en Conversor -48VDC en Data Center de la Planta Minera  
Fuente: Elaboración propia.





Figura 3.27. Antena y ODU, se aprecia el cableado coaxial RG8 y el aterramiento en la Planta Minera  
Fuente: Elaboración propia.

#### **3.2.2.4 Alineamiento de Antenas y Configuración de Enlace**

Para configurar el enlace, es necesario acceder a la interfaz de configuración de los equipos de Radio ubicado en ambos puntos. Primero se accede a la radio de la Planta Minera, ya que por la ubicación geográfica es de más fácil acceso. Para ingresar a la interfaz del equipo es necesario conectar un cable USB, entre una laptop y el equipo de radio. Luego de conectar el cable USB, se inicia el navegador web en el ordenador, el cual muestra una ventana en la pantalla que indica el ingreso de un usuario y contraseña (estos datos son entregados por el fabricante), ver figura 3.28. Luego de realizar el procedimiento anterior, se muestra la interfaz de la Radio para ingresar los datos del enlace,

calculados por medio del software y entregados por el operador del servicio.

En la tabla 3.9 se indica los datos entregados por el operador de servicio.

Tabla 3.9. Datos entregados por el operador del servicio

ESTACIONES	Dirección	F de Tx (MHz)	F de Rx (MHz)	Configuración	Marca/Modelo	Servicio
R.A C° SEÑAL ELBA	C° Señal Elba	7747.7	8059.02	1+0	SIAE/ ALS	internet 4 Mbps - 2E1
MINA YANAQUIHUA	Planta Minera Yanacuihua	8059.02	7747.7	1+0	SIAE/ ALS	internet 4 Mbps - 2E1

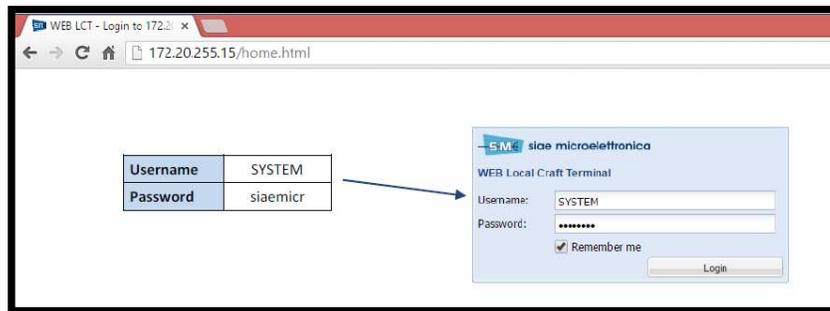


Figura 3.28. Interfaz para acceder a la configuración de la radio  
Fuente: Elaboración propia

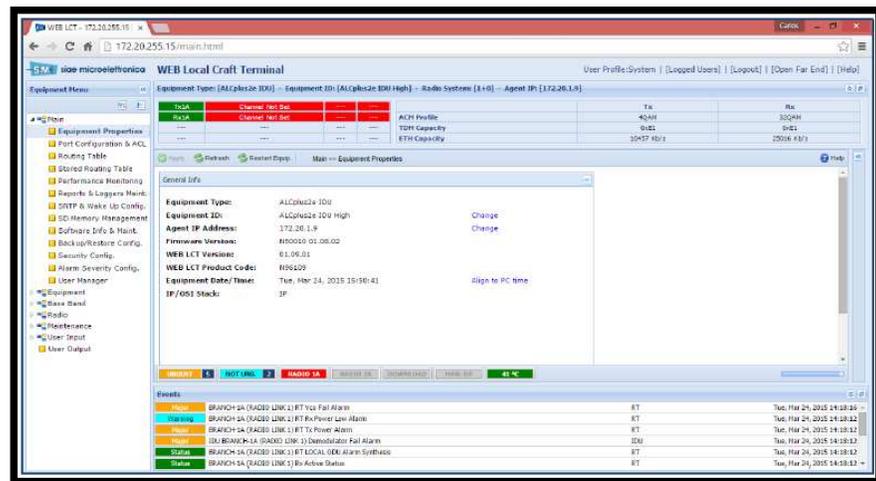


Figura 3.29. Interfaz para configurar el equipo de radio  
Fuente: Elaboración propia

Al ingresar a la interfaz de configuración, ver figura 3.29, se procede con la configuración del enlace con soporte de un personal del operador del servicio. En la figura 3.30 se indica el parámetro a configurar, en este proyecto el sistema de protección del enlace a configurar es el 1+0, ya que presenta una sola ODU por estación.

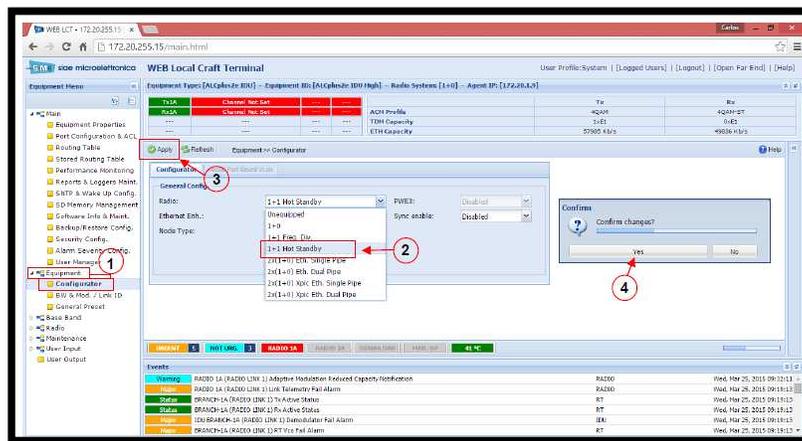


Figura 3.30. Inicio de la configuración del perfil del enlace.  
Fuente: Elaboración propia

Luego de ello se procede a cambiar el nombre del enlace. En la Planta Minera se configura como “Minera Yanaquihua” y en la estación repetidora como “Señal Elba”.

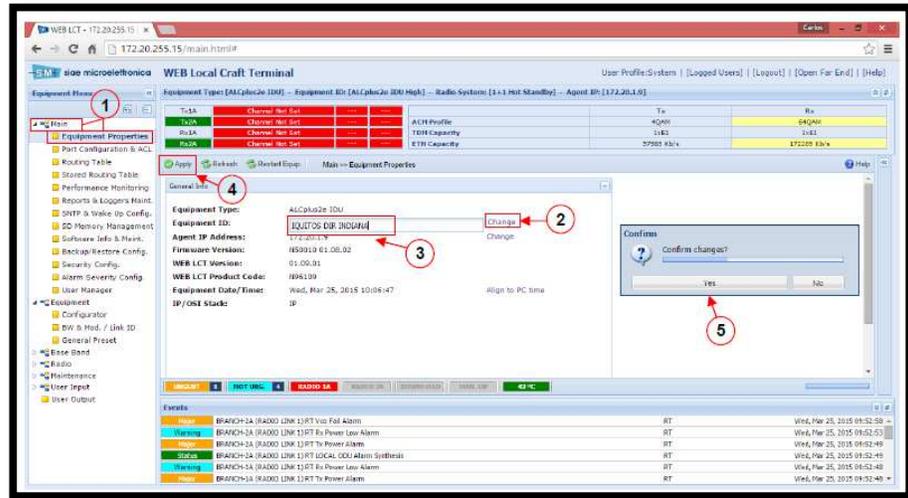


Figura 3.31. Cambio de nombre de radio enlace.

Fuente: Elaboración propia

Se procede a configurar los valores asignados por el operador y del resultado de la simulación en el software Pathloss, frecuencias de transmisión, ancho de banda, modulación, capacidad del enlace y potencia de transmisión.

Los valores para la configuración del ancho de banda y la modulación son los siguientes:

Ancho de Banda: 14 MHz

Modulación: 64 QAM

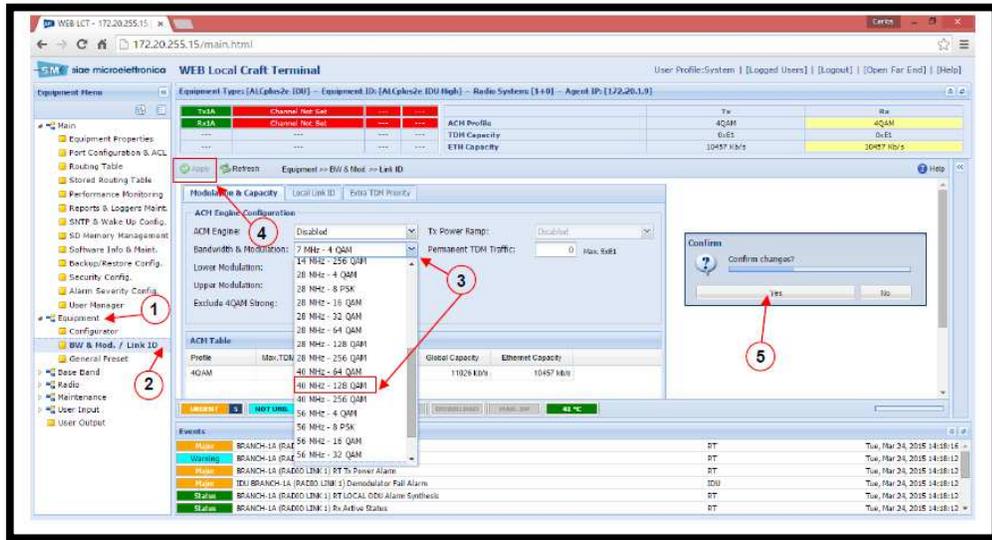


Figura. 3.32. Configuración de Ancho de Banda y Modulación  
Fuente: Elaboración propia.

La configuración de la capacidad del enlace viene dada por los datos asignados por el operador del servicio, para el proyecto es de 2E1s o sea 4 Mbps aproximadamente.

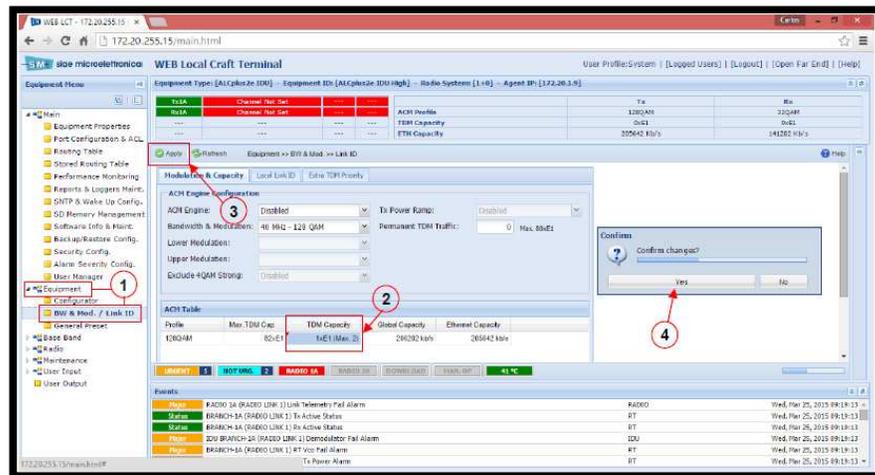


Figura. 3.33. Configuración de la capacidad del enlace  
Fuente: Elaboración propia.

La configuración de la frecuencia de transmisión, cuyo valor fue asignado por el operador de servicio se muestra en la figura 3.34, así

como la potencia de transmisión calculada durante la simulación del enlace en la figura 3.35.

Frecuencia de transmisión para la Planta Minera: 8059.02 MHz

Potencia de Transmisión: 25 dBm

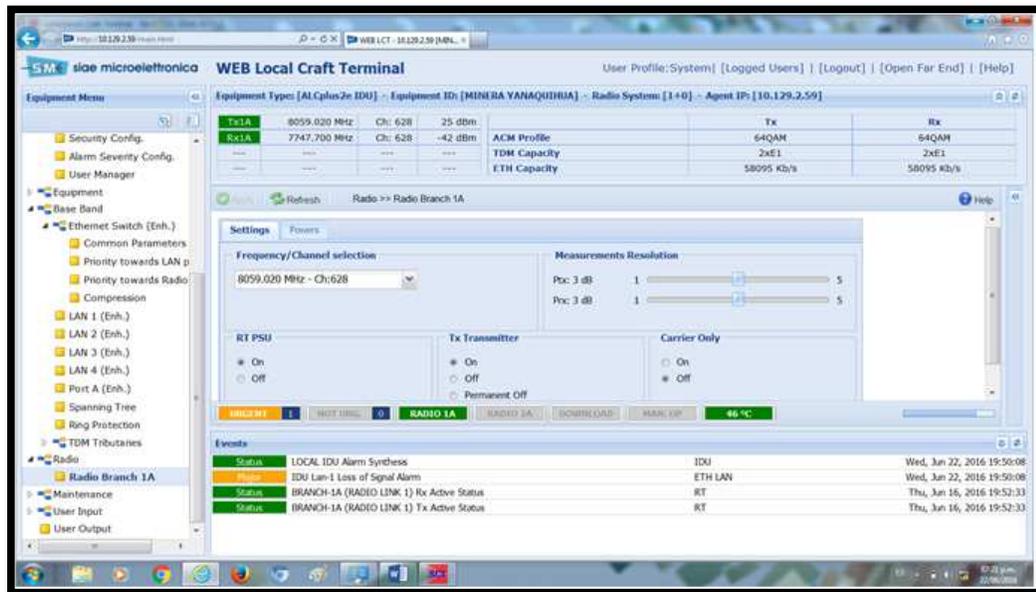


Figura. 3.34. Configuración de la Frecuencia de Transmisión  
Fuente: Elaboración propia.

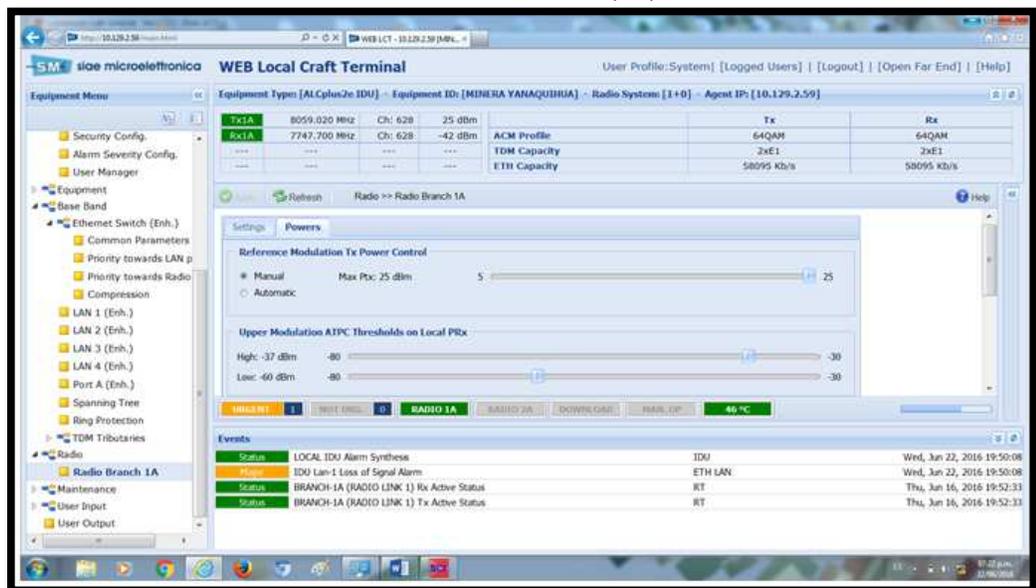


Figura. 3.35. Configuración de la Potencia de Transmisión  
Fuente: Elaboración propia

Análogamente, se realiza esta configuración en la radio de la estación repetidora. Los parámetros a configurar son los mismos a excepción de la frecuencia de transmisión, la cual es:

Frecuencia de Transmisión: 7747.7 MHz

### **Alineamiento de Antenas**

Para mejorar los niveles de recepción del enlace es necesario realizar un alineamiento de las antenas. Ello consiste en mover la antena, haciendo un barrido horizontal y vertical de la antena (sin desmontarla del soporte), de manera que se mide con un multímetro la tensión en la ODU. En el punto de mayor nivel de tensión, es el lugar exacto para la ubicación de las antenas.

Luego de alinear en ambos extremos del enlace, se tendrá una pérdida de entre 1 o 2 dB en los niveles de recepción nominales (diseñados en el cálculo del enlace, en este caso -42.91 dBm).

Finalmente se procede con la configuración del servicio del enlace y la gestión. No se entrará en detalle en este procedimiento ya que el personal de soporte especializado de Telefónica del Perú se encargó de ello.

Las figuras 3.36 y 3.37 muestran las capturas de pantalla de la interfaz de los equipos de radio configuradas.

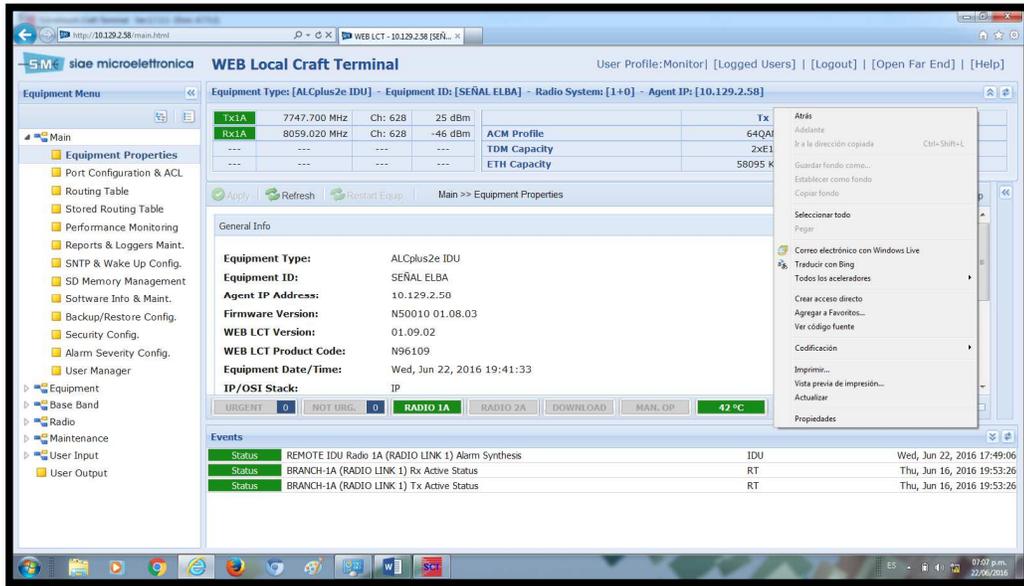


Figura. 3.36. Equipo de radio de la estación repetidora Señal Elba configurado.  
Fuente: Elaboración propia

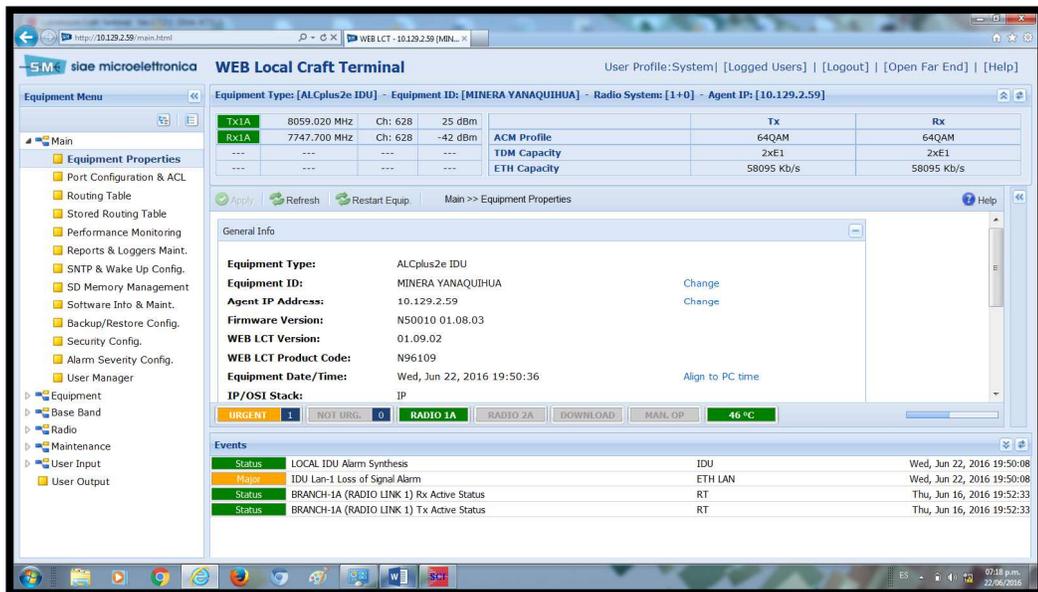


Figura. 3.37. Equipo de radio de la Planta Minera configurado.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3 Resultados

En este apartado se describirá los resultados del proyecto, producto de la implementación. También se incluirá las pruebas y

validación del enlace por parte del personal del operador del servicio. Todo ello permitirá generar conclusiones y recomendaciones para proyectos similares.

### **3.2.3.1 Pruebas y Validación del Enlace**

Se realizaron pruebas a nivel lógico tales como prueba de pérdidas de paquetes, pruebas de performance, monitoreando el nivel de recepción del enlace desde Lima, en coordinación con el personal de soporte especializado. Esta información al ser de propiedad de Telefónica del Perú, no se tuvo acceso y por lo tanto no se detalla.

Según lo solicitado por el operador de servicio, se realizó una comprobación BERT (comprobación de tasa de errores de bit) la cual permite medir la tasa de errores de bit, la proporción de bits con errores en relación con el número total de bits transmitidos. Estas pruebas son de 24 horas y son validadas por el Supervisor del Operador del Servicio de la Zona. Se realizaron con el equipo EXFO ETS 1000 el cual es un Analizador de Ethernet portátil el cual permite comprobar e instalar servicios de transporte de Ethernet. Según la imagen a continuación, las pruebas resultaron exitosas, sin ningún error a pesar que solo duraron 21 horas por motivo de la geografía. Estas fueron validadas por el Supervisor del Operador del Servicio. En la figura 3.38 se aprecia la interfaz del equipo de prueba.



Figura 3.38. Equipo EXFO-ETS 1000  
Fuente: Elaboración propia

Donde:

**ET:** Tiempo transcurrido desde el inicio de la comprobación.

**RT:** Tiempo restante hasta el final de la comprobación.

**Bits:** Numero de bits recibidos.

**E Bits:** Numero de bits con errores.

**BER:** Proporción del valor de E Bits en relación con el valor de Bits.

**LSS:** Duración de la pérdida de sincronización.

**%LSS:** Proporción de la duración de LSS en relación al tiempo transcurrido (ET) en porcentaje.

**LOS:** Duración de la pérdida de señal.

**%LOS:** Proporción de la duración de LOS en relación con el tiempo transcurrido (ET) en porcentaje.

### **Parámetros del enlace**

Se detalla a continuación los parámetros configurados en el enlace, así como sus respectivos valores finales:

### **Planta Minera**

- **Altura de Antena:** 8 metros
- **Azimut:** 250°
- **Angulo de Elevación:** 0.9°
- **Frecuencia de Transmisión:** 8059.020 MHz
- **Frecuencia de Recepción:** 7747.700 MHz
- **Potencia de Transmisión:** 25 dBm
- **Potencia de Recepción:** -42 dBm
- **Modulación:** 64QAM
- **Ancho de Banda:** 14 MHz
- **Capacidad del Enlace:** 4Mbps-2xE1

## **Estación Repetidora Cerro Señal Elba**

- **Altura de Antena:** 18 metros
- **Azimut:** 70°
- **Angulo de Elevación:** 0.7°
- **Frecuencia de Transmisión:** 7747.700 MHz
- **Frecuencia de Recepción:** 8059.020 MHz
- **Potencia de Transmisión:** 25 dBm
- **Potencia de Recepción:** -46 dBm
- **Modulación:** 64QAM
- **Ancho de Banda:** 14 MHz
- **Capacidad del Enlace:** 4Mbps-2xE1s

Estos valores son similares a los diseñados, con lo cual se comprueba que el diseño fue muy exacto, a excepción de los valores de la potencia de recepción:

### **Planta Minera:**

- **Potencia de Recepción real:** -42 dBm
- **Potencia de Recepción nominal:** -42.91 dBm
- **Diferencia:** 0.91 dBm

### **Estación Repetidora Cerro Señal Elba:**

- **Potencia de Recepción real:** -46 dBm
- **Potencia de Recepción nominal:** -42.91 dBm

- **Diferencia:** 3.09 dBm

La tolerancia es de entre  $\pm 1$  o 2 dB. En la Planta Minera cumple la tolerancia, pero en la estación repetidora no, esto debido a los fuertes vientos en la zona que hacen oscilar la antena. Esto se observó durante el monitoreo del performance de la señal por parte de Telefónica. Ello ocurre en ciertas horas (medio día y media noche). Al no haber una mayor diferencia en la potencia de recepción y no afectar el enlace microondas, telefónica valido estos valores de Potencia de recepción.

Finalmente se valida el enlace por parte del operador móvil. Se deja un puerto FE habilitado a 4 Mbps (puerto N° 1) en la IDU de la Planta Minera para el servicio de INFOINTERNET. Los trabajos de instalación de Routers o Switchs al interior de la Planta para implementación del servicio escapan del alcance de este proyecto, por lo tanto, no se detallará.

### **3.2.3.2 Costo del Proyecto**

Se adjunta a continuación una tabla con el costo general del proyecto, el cual abarca desde el momento de realizar el estudio previo para analizar y diseñar el enlace, así como la implementación y los servicios de arrendamiento de equipos y conectividad por parte de la operadora.

Los costos de cada actividad descrita se encuentran separados en mano de obra y suministro de material para realizar cada actividad. Se incluye también, los gastos del servicio de alquiler de camioneta y traslado de equipamiento desde Lima hacia la Planta Minera y la estación repetidora. La habilitación del medio de transmisión (Radio) es un solo pago, mientras los gastos por arrendamiento son pagos mensuales. Estos detalles se observan en la tabla 3.10, el cual indica los costos del proyecto por cada actividad.

Tabla 3.10. Se indica el costo total del proyecto por actividades.

ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PROYECTO	COSTO DE MANO DE OBRA	COSTO DE MATERIAL
ESTUDIO DE RADIOENLACES NUEVO / ENLACE MW	S/. 1,583.68	
RADIOENLACE DE 1.2MTS / INSTALACION EN SALA	S/. 890.82	S/. 2,825.66
RADIOENLACE DE 1.2MTS / INSTALACION EN TORRE	S/. 989.80	
RADIOENLACE DE 1.2MTS / TRABAJOS DE ENERGIZACION	S/. 197.66	
RADIOENLACE DE 0.3-1.2MTS / ALINEAMIENTO DE RADIOENLACE:	S/. 2,870.42	
INSTALACION DE MASTIL	S/. 2,078.58	S/. 1,787.13
TRASLADO DE MW / TRASLADO DE ENLACE DESDE LIMA	S/. 1,643.07	
CABLEADOS UTP HASTA 4FE (30 MT)	S/. 247.45	S/. 165.20
INSTALACION DE CANALETAS	S/. 593.88	S/. 33.59
ALQUILER DE CAMIONETA 4X4	S/. 5,443.90	
HABILITACION DEL MEDIO TX RADIO	S/. 10,685.39	
ARRENDAMIENTO DE EQUIPOS DE RADIO ENLACE (PAGO MENSUAL)	S/. 177.45	
ACCESO CON NAVEGACION NACIONAL 02Mbps (PAGO MENSUAL)	S/. 1,727.95	
CAUDAL DE DATOS 1.5 Mbps (PAGO MENSUAL)	S/. 256.31	
CAUDAL TIEMPO REAL 512 Kbps (PAGO MENSUAL)	S/. 144.36	
ARRENDAMIENTO EQUIPO CONVERTOR -48VDC (PAGO MENSUAL)	S/. 32.99	
<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/. 29,563.71</b>	<b>S/. 4,811.58</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>S/. 34,375.29</b>	

## Conclusiones

- El estudio previo de factibilidad de radio enlace, permitió obtener información y data necesaria para analizar los requerimientos tanto en la Planta Minera, como en la estación repetidora.
- El diseño del enlace microondas depende de un correcto análisis de la información obtenida durante el estudio inicial. En nuestro caso, al realizar un correcto análisis de la data, los niveles de recepción al final de la implementación no distaban mucho de los valores obtenidos durante la simulación en el software.
- La instalación del sistema microondas se realizó dentro del gabinete ubicado en el Data Center, lo cual permitirá una fácil implementación del sistema de datos (instalación de Router para la distribución del servicio de INFOINTERNET dentro la Planta Minera). Caso contrario habría ocurrido si los equipos fueran instalados en un gabinete externo.
- Se habilitó un puerto Fast Ethernet en el equipo de radio, el cual permitirá la conectividad para el servicio de internet requerido por la planta minera. Además, se logra observar que los datos obtenidos en las pruebas reales difieren con un margen mínimo de desviación contra el simulador Pathloss; por lo que, este software resultó ser una herramienta muy útil para nuestro proyecto.

## Recomendaciones

- Realizar un mantenimiento preventivo como mínimo cada 6 meses, para garantizar el funcionamiento óptimo de los equipos instalados.
- Medir periódicamente los valores de resistividad del sistema de puesta a tierra (debe mantener valores menores o iguales a 2 ohms/metro), verificando su estado y mantenimiento para su correcto funcionamiento. Al ser una zona con un clima variado, se recomienda realizar las mediciones en época de estiaje.
- Implementar un UPS u otro sistema de energía alternativa en la Planta Minera. Ello garantizará un servicio ininterrumpido, en caso la fuente de energía eléctrica comercial se corte.
- Evitar golpear o manipular bruscamente los equipos a instalar, ya que son altamente sensibles y podrían presentar averías rápidamente.
- Utilizar un Radome para proteger la ODU y antena de los fenómenos atmosféricos, tales como la lluvia y el viento, los cuales pueden ocasionar intermitencias.
- Reforzar el soporte de Antena en la estación repetidora, para evitar que las oscilaciones ocurridas por los fuertes vientos en la zona afecten el desempeño del enlace.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rábanos, H. (7ma Edición). (2003), *Transmisión por Radio*. Madrid, España: Editorial Universitaria Ramon Arece.
- [2] Murillo, J. (1era Edición). (2005), *Radioenlaces Terminales del Servicio Fijo*. Sevilla, España: Editorial Universidad de Sevilla.
- [3] Freeman, R. (Third Edition). (2007), *Radio System Design for Telecommunications*. New York, United States of America: Editorial Wiley-Interscience.
- [4] Vásquez, J. (2009). *Introducción a la Ingeniería de Microondas*. Recuperado de [http://www.tsc.uc3m.es/~jvazquez/introduccion\\_ocw.pdf](http://www.tsc.uc3m.es/~jvazquez/introduccion_ocw.pdf)
- [5] San Román, E., Castillo, P. y Sotomayor M. (2014). *Aplicaciones y Teoría de Ingeniería de Microondas*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/282703747\\_Aplicaciones\\_y\\_Teoria de Ingenieria\\_de\\_Microondas](https://www.researchgate.net/publication/282703747_Aplicaciones_y_Teoria_de_Ingenieria_de_Microondas)
- [6] Neri Vela, R. (1era Edición). (1999), *Líneas de Transmisión*. México D.F., México: Editorial Mc Graw-Hill/Interamericana editores.
- [7] Briceño, J. (3era Edición). (2005), *Transmisión de Datos*. Mérida, Venezuela: Editorial Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA.

## ANEXO

### Características de los Equipos Instalados

IDU Model	IP - PDH Solutions AL / ALplus	IP - SDH Solutions ALS	IP - PDH - SDH Solutions ALplus2 / ALCplus2 / ALCplus2e
<b>IDU 1RU (1 Rack unit) - Compact Version</b>			
Configuration	1+0 / 1+1	1+0 / 1+1 / 2x(1+0) / XPIC	1+0 / 1+1 / 2x(1+0) / XPIC
TDM Transmission Capacity	Up to 32xE1	1xSTM1 / 2xSTM1 / 63-126xE1*	Up to 164xE1 per radio direction
Ethernet Throughput Capacity	Up to 100 Mbps	-	Up to 500 Mbps (per radio channel - 1 Gbps with XPIC)
Modulation	4 to 32QAM	32 and 128QAM	4 to 256QAM with 8 ACM
Tributary interfaces	16xE1 + 3xFE  32xE1 32xE1 + 3xFE	2xSTM1	(16+2)xE1 + 2xSTM1 (32+2)xE1 + 2xSTM1  TDM Cross Connection capability 2xGE Electrical + 2xGE Optical/Electrical Synchronous Ethernet Support
Maintenance Interfaces	2x10BaseT + USB + RS232 + G704 (E1)	2x10BaseT + USB + RS232	2x10BaseT + USB + G704 (E1)
<b>IDU 1RU (1 Rack unit) - Modular Version</b>			
Configuration	1+0 / 1+1	1+0 / 1+1 / 2x(1+0)	1+0 / 1+1 / 2x(1+0)
TDM Transmission Capacity	Up to 32xE1	1xSTM1 / 2xSTM1 / 4xSTM1	Up to 80xE1 (per radio channel)
Ethernet Throughput Capacity	Up to 100 Mbps	155 / 310 / 620 Mbps	Up to 400 Mbps (per radio channel)
Modulation	4 to 32QAM	32 and 128QAM	4 to 256QAM with 8 ACM
Tributary interfaces	32xE1 24xE1 + 4xFE	2xSTM1 4xSTM1 8xE1 + 2xFE + 1xGE	16xE1 + 2xSTM1  TDM Cross Connection capability 1xGE Electrical/Optical + 1xGE Electrical + 1xGE Optical
Maintenance Interfaces	2x10BaseT + USB + RS232 + G704 (E1)	2x10BaseT + USB + RS232	2x10BaseT + USB + RS232 + G704 (E1)
<b>IDU - Nodal</b>			
	Modular 2RU	Modular 2RU	Nx1RU
Configuration	1+0 / 1+1 / 2x(1+1) Drop/Insert	1+0 / 1+1 / 2x(1+0) / 2x(1+1)	Nx(1+0), Nx(1+1) Drop/Insert Nx2x(1+0), Drop/Insert
TDM Transmission Capacity	Up to 53xE1	1xSTM1 / 2xSTM1 / 4xSTM1	Up to 164xE1 (per radio direction)
Ethernet Throughput Capacity	Up to 100 Mbps	145 / 290 / 580 Mbps	Up to 500 Mbps (per radio channel - 1 Gbps with XPIC)
Modulation	4 to 32QAM	32 and 128QAM	4 to 256QAM with 8 ACM
Tributary interfaces	53xE1 53xE1 + 4xFE 2xSTM1 + 16xE1 + Nodal Connection 2xSTM1 + 16xE1 + 1xFE + 1xGE + Nodal Connection	2xSTM1 4xSTM1 8xE1 + 2xFE + 1xGE	Nx2xSTM1 Nx16xE1 Nx2xGE  TDM Cross Connection capability Synchronous Ethernet Support
Maintenance Interfaces	2x10BaseT + USB + RS232 + G704 (E1)	2x10BaseT + USB + RS232	2x10BaseT + USB + G704 (E1)
			
IDU 1RU up to 800 Mbps		IDU 1RU / NODAL up to Nx800 Mbps	
More versions and interfaces are available. Please contact SIAE MICROELETTRONICA.			
			

Frequency Band	4 GHz	6/8/10 GHz	7/8 GHz	10/11 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	25 GHz	28 GHz	32 GHz	38 GHz	47 GHz
Frequency Range	4.4-5.0	5.97.1	7.11-8.5	10.2-11.7	13.75-14.25	14.4-15.35	17.7-19.7	21.2-23.6	24.5-26.5	27.5-29.5	31.8-33.4	37-39.5	46.5-49.5
Channel Spacing	4 QAM 4 Mbps (3.5 MHz BW) to 100 Mbps (56 MHz)												
	8 QAM 16 Mbps (7MHz BW) to 150 Mbps (56 MHz)												
	16 QAM 8 Mbps (3.5 MHz BW) to 200 (56 MHz BW)												
	32 QAM 30 Mbps (7 MHz BW) to 240 Mbps (56 MHz BW)												
	64 QAM 38 Mbps (7MHz BW) to 290 Mbps (56 MHz BW)												
	128 QAM 42 Mbps (7 MHz BW) to 340 Mbps (56 MHz BW)												
	256 QAM 50 Mbps (7 MHz BW) to 500 Mbps (56 MHz BW)												
Supported Configurations	Terminal applications 1+0 / 1+1 MHSB / 1+1 SD / 1+1 FD / 2+0 / 2x(1+1)												
	Nodal applications Up to 8(1+1) or up to 16x(1+0)												
Modulation Schemes	4 QAM / 8 QAM / 16 QAM / 32 QAM / 64 QAM / 128 QAM / 256 QAM												
Supported Capacities	2x/E1 / 4x/E1 / 5x/E1 / 8x/E1 / 10x/E1 / 16x/E1 / 23x/E1 / 32x/E1 / 42x/E1 / 53x/E1 / 1x/STM1 / 80x/E1 / 160x/E1 / 2x/STM1 / 4x/STM1												
Ethernet Throughput	Up to 1 Gbps per radio channel												
Output Power (dBm) at Point C <sup>19</sup>													
AL ODU / AS ODU													
4 QAM	+29v	-f+28	+27f+29	+25f+28	+25f+28	+25f+28	+20f+23	+20f+23	+20f+22	+19f+21	+17f+20	+17f+19	-f+17
8 QAM	-	-f+29	-f+29	-f+28	-f+28	-f+28	-f+23	-f+23	-f+22	-f+21	-f+20	-f+19	-f+17
16 QAM	+24v	-f+26	+22f+26	+20f+25	+20f+25	+20f+25	+15f+21	+15f+21	+15f+20	+14f+19	+13f+18	+13f+17	-f+15
32 QAM	+23v	-f+26	+20f+26	+20f+25	+20f+25	+20f+25	+15f+21	+15f+21	+15f+20	+14f+19	+13f+18	+13f+17	-f+15
64 QAM	-	-f+25	-f+25	-f+24	-f+24	-f+24	-f+19	-f+19	-f+18	-f+17	-f+16	-f+15	-f+13
128 QAM	-	-f+25	-f+25	-f+24	-f+24	-f+24	-f+19	-f+19	-f+18	-f+17	-f+16	-f+15	-f+13
256 QAM	-	-f+24	-f+24	-f+23	-f+23	-f+23	-f+18	-f+18	-f+17	-f+16	-f+15	-f+14	-f+12
Receiver Sensitivity (dBm) at BER 10 <sup>-4</sup> at Point C (1+0 conf., 28 MHz BW, RF filter losses included)													
AL / ALplus, ALS, ALplus2 (see Indoor Unit Table)													
4 QAM	-85v	-83f-89.5	-83f-89.5	-82.5f-89	-82.5f-89	-82.5f-89	-82f-88.5	-82f-88.5	-81.5f-88	-81f-87.5	-80f-86	-80.5f-86.5	-85.5
8 QAM	-	-f+83.5	-f+82.5	-f+82	-f+82	-f+82	-f+81.5	-f+81.5	-f+81	-f+80.5	-f+79	-f+79.5	-76.5
16 QAM	-76v	-76f-81	-76f-81	-75.5f-80.5	-75.5f-80.5	-75.5f-80.5	-75f-80	-75f-80	-74.5f-79.5	-74f-79	-73f-77.5	-73.5f-78	-77
32 QAM	-76v	-74f-77.5	-74f-77.5	-73.5f-77	-73.5f-77	-73.5f-77	-73f-76.5	-73f-76.5	-72.5f-76	-72f-75.5	-71f-74	-71.5f-74.5	-73.5
64 QAM	-	-f+75.5	-f+75.5	-f+75	-f+75	-f+75	-f+74.5	-f+74.5	-f+74	-f+73.5	-f+72	-f+72.5	-71.5
128 QAM	-	-70.5f-73.5	-70.5f-73.5	-70f-73	-70f-73	-70f-73	-69.5f-72.5	-69.5f-72.5	-69f-72	-68.5f-71.5	-67.5f-70.5	-67.5f-70.5	-69.5
256 QAM	-	-f+70.5	-f+70.5	-f+70	-f+70	-f+70	-f+69.5	-f+69.5	-f+69	-f+68.5	-f+67	-f+67.5	-66.5
Frequency Stability	± 5 ppm												
Frequency Agility	250 kHz (software programmable), 125 kHz on request												
RTTC	Up to 20/30 in 1 dB steps												
ATPC	Up to 20/40 dB in 1 dB steps												
Management Interfaces	RS232C, USB, Ethernet 10 BASE-T (TMN)												
IDU/ODU Interconnection (per terminal)	50.2 Coaxial Cable per RT												
Dimensions (W x H x D)													
1RU Compact IDU	480 x 45 x 212 (mm)												
1RU Modular IDU	480 x 45 x 270 (mm)												
2RU Modular IDU	480 x 90 x 270 (mm)												
AL ODU 1+0	254 x 254 x 114 (mm)												
AS ODU 1+0	254 x 254 x 154 (mm)												
Power Supply	-48 Vdc (-15%, +20%)												
Overall Power Consumption (per Terminal)													
1+0 configuration	ALC-AL Cplus				ALS-C				ALCplus2				
1+1 configuration	≤ 34 W				≤ 42 W				≤ 80 W				
	≤ 59 W				≤ 72 W				≤ 90 W				
Environmental Performance ODU Weather Proofing Class	IP65												
IDU Temperature Range	-5 °C to +50 °C												
ODU Temperature Range	-35 °C to +55 °C												
Compliant with	ETSI EN 302 217												