



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE EL ENLACE POR MICROONDA NEC PASOLINK  
NEO HP DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Alexis Leonardo Hernández Enríquez**

Asesorado por el Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE EL ENLACE POR MICROONDA NEC PASOLINK  
NEO HP DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ALEXIS LEONARDO HERNÁNDEZ ENRÍQUEZ**

ASESORADO POR EL ING. BYRON ODILIO ARRIVILLAGA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de Los Angeles
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE EL ENLACE POR MICROONDA NEC PASOLINK  
NEO HP DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 18 de agosto de 2017.



**Alexis Leonardo Hernández Enríquez**

Guatemala, 16 de junio de 2020



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

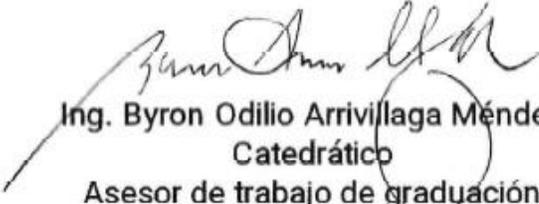
Ingeniero Julio Solares  
Coordinador de Área de Electrónica  
Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica

Respetable Ingeniero Solares

Por este medio le informo como asesor del trabajo de graduación del estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Electrónica, Alexis Leonardo Hernández Enriquez, Carnet 200313406, que he revisado el trabajo de graduación titulado: "PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE EL ENLACE POR MICROONDA NEC PASOLINK NEO HP DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", y a mi criterio este está completo y cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo según el protocolo.

Agradeciendo su atención a la presente,

Atentamente,

  
Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez  
Catedrático  
Asesor de trabajo de graduación  
Colegado: 5217



Guatemala, 20 de julio de 2020

**Señor Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC**

Estimado Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE EL ENLACE POR MICROONDA NEC PASOLINK NEO HP DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante **Alexis Leonardo Hernández Enríquez**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julio César Solares Peñate'.

**Ing. Julio César Solares Peñate**  
**Coordinador de Electrónica**

REF. EIME 018.2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante Alexis Leonardo Hernández Enríquez titulado: **PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE EL ENLACE POR MICROONDA NEC PASOLINK NEO HP DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.** procede a la autorización del mismo.



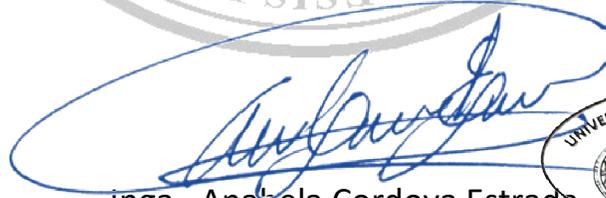
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 23 de febrero de 2021.

DTG. 203-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE EL ENLACE POR MICROONDA NEC PASOLINK NEO HP DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Alexis Leonardo Hernández Enríquez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, mayo de 2021

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mi madre**

María Luisa Enríquez Alfaro por ser fuente de motivación.

**Mi esposa**

Mildred Mercedes Cano López por su invaluable apoyo, paciencia y amor.

**Mis hermanos**

Verónica, Henscer y Marlon Hernández Enríquez por su cariño y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme vida y salud para poder culminar mis estudios.
<b>Mi madre</b>	Por su enorme sacrificio, amor y apoyo.
<b>Mi esposa</b>	Por motivarme día tras día.
<b>Javier Sisimit</b>	Por sus consejos y apoyo durante este proceso.
<b>Mis compañeros</b>	Hugo Tiul, Kenny Arias, Marko Arias, José González Tupas, William Fernández, Henry Camó, Allan Rosales, Erick López y Erick Miculax, por compartir su conocimiento y por su apoyo.
<b>Mis amigos de infancia</b>	Andrés González, Elio Monzón y Marlon Ramírez, por su amistad y cariño.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. INTRODUCCIÓN A LOS ENLACES POR MICROONDA.....	1
1.1. Características de los enlaces por microonda.....	2
1.2. Tecnologías de transmisión.....	5
1.2.1. TDM.....	6
1.2.2. IP.....	7
1.2.2.1. Velocidades soportadas.....	8
1.2.2.2. Modos de transmisión.....	8
1.2.3. CPRI.....	10
1.3. Técnicas para mejorar el desempeño de los enlaces.....	12
1.3.1. Configuraciones para su protección.....	12
1.3.1.1. Configuración 1+0.....	13
1.3.1.2. Configuración 1+1.....	13
1.3.1.3. Configuración 2+0.....	13
1.3.2. X-PIC.....	14
1.3.3. MIMO.....	17
1.3.4. AMR.....	177
1.3.5. ATPC.....	177

2.	DISEÑO DE ENLACE UTILIZANDO SOFTWARE SIMULADOR .....	19
2.1.	Consideraciones iniciales.....	19
2.2.	Generación del perfil .....	200
2.2.1.	Ingreso de los datos .....	211
2.2.2.	Datos del terreno.....	222
2.3.	Definición de altura de antenas.....	255
2.3.1.	Ingreso de alturas.....	266
2.3.1.1.	Libramiento.....	28
2.4.	Impresión del perfil.....	31
2.5.	Configuración del enlace.....	32
2.5.1.	Patrón de simulación de lluvia.....	33
2.5.2.	Factor geo climático .....	34
2.5.3.	Definición de la polarización.....	355
2.5.4.	Configuración de los canales de operación.....	366
2.5.4.1.	Distancia del enlace .....	37
2.5.4.2.	Uso del espectro .....	37
2.5.5.	Selección del equipo de radio .....	39
2.5.6.	Introducción de pérdidas por derivación.....	422
2.5.7.	Introducción de pérdidas por líneas de transmisión .....	433
2.5.8.	Selección de antenas .....	444
2.6.	Análisis de los resultados.....	48
2.6.1.	Disponibilidad.....	48
2.6.2.	Compensación de la señal recibida.....	49
2.7.	Reporte de la simulación.....	49
3.	PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	511
3.1.	Métodos de conexión al equipo.....	522
3.1.1.	Conexión vía puerto LCT.....	522

3.1.2.	Conexión vía puerto NMS/NE.....	533
3.2.	Transmisión en capa 1, <i>VLAN Mode: Disable</i> .....	57
3.3.	Transmisión en capa 2, <i>VLAN Mode: Tag VLAN Trunk</i> .....	60
3.4.	Transmisión en capa 2, <i>VLAN Mode: Tag VLAN Access</i> .....	633
3.5.	Relación capacidad máxima – modulación.....	644
3.6.	Relación capacidad máxima – channel spacing .....	6666
3.7.	Modo híbrido TDM/IP.....	68
3.8.	Control de potencia mediante ATPC .....	700
CONCLUSIONES .....		755
RECOMENDACIONES .....		77
BIBLIOGRAFÍA.....		79
APÉNDICES .....		811



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama de constelación para QPSK con código Gray.....	3
2.	Diagrama de constelación para 16QAM.....	5
3.	La trama IP según estándar IEEE802.3 .....	9
4.	Tipos básicos de polarización .....	144
5.	Formas de onda ortogonales .....	166
6.	Módulo Summary de la herramienta de simulación .....	200
7.	Ingreso de datos al módulo Summary.....	222
8.	Módulo Terrain Data de la herramienta de simulación.....	233
9.	Generación de perfil con la herramienta de simulación.....	244
10.	Perfil generado con la herramienta de simulación .....	255
11.	Ingreso a módulo de configuración de antenas.....	266
12.	Ingreso a la configuración de altura de antenas.....	27
13.	Configuración de altura de antenas.....	27
14.	Primera zona de Fresnel.....	29
15.	Generación de reporte de libramiento.....	300
16.	Definición del umbral de libramiento .....	300
17.	Reporte de libramiento .....	311
18.	Perfil de elevación del enlace.....	322
19.	Módulo Worksheets.....	333
20.	Carga del patrón de lluvia .....	344
21.	Carga del factor geo climático.....	355
22.	Configuración de polarización de onda .....	366
23.	Configuración de frecuencias de operación .....	3838

24.	Configuración del equipo de radio .....	400
25.	Selección del equipo de radio .....	411
26.	Ajustes del equipo de radio.....	422
27.	Pérdidas por derivación .....	433
28.	Pérdidas por líneas de transmisión.....	444
29.	Ventana inicial de configuración de antenas.....	455
30.	Selección de antenas.....	466
31.	Ventana final de configuración de antenas .....	47
32.	Resultados de la simulación .....	47
33.	Reporte de simulación .....	500
34.	Conexiones en el panel frontal de equipo.....	511
35.	Conexión por medio del puerto LCT .....	533
36.	Conexión por medio de puerto ethernet.....	544
37.	Pantalla de inicio PNMTj.....	555
38.	Módulos alarmados PNMTj.....	56
39.	Habilitación y configuración del puerto LAN 3 .....	58
40.	Inhabilitación del modo VLAN.....	59
41.	Diagrama para prueba de conexión en capa 1 .....	600
42.	Configuración Tag VLAN Trunk .....	622
43.	Configuración Tag VLAN Access.....	644
44.	Configuración 7 MHz-QPSK .....	655
45.	Configuración 7 MHz-64QAM .....	67
46.	Mapeo de E1s.....	69
47.	Configuración de rango de ATPC .....	722
48.	<i>Metering</i> previo a la atenuación.....	733
49.	<i>Metering</i> posterior a la atenuación.....	744

## TABLAS

I.	Capacidad de transmisión para un STM-N .....	7
II.	Estándares ethernet.....	12
III.	Datos para ingresar en la herramienta de simulación .....	211
IV.	Distancia máxima aproximada según frecuencia de operación .....	3737
V.	Información mostrada en pantalla de inicio de PNMTj .....	5656
VI.	Comparación capacidad – modulación .....	6666
VII.	Comparación capacidad – channel spacing.....	68
VIII.	Potencia máxima de transmisión según modulación utilizada .....	700



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>bps</b>	Bits por segundo
<b>byte</b>	Conjunto de 8 bits
<b>dB</b>	Decibelio
<b>dBm</b>	Decibelio-miliwatt
<b>bit</b>	Dígito básico del sistema binario
<b>K</b>	Factor de curvatura de la tierra
<b>FO</b>	Fibra óptica
<b>GHz</b>	Giga Hertz
<b>Gbps</b>	Gigabit por segundo
<b>°</b>	Grados
<b>Hz</b>	Hertz, ciclo por segundo
<b>km</b>	Kilómetro
<b>LOS</b>	<i>Line of Sight</i> . Línea de vista entre 2 puntos
<b>m</b>	Metro o cien centímetros
<b>kbps</b>	Mil bits por segundo
<b>N-LOS</b>	<i>No Line of Sight</i> , Sin línea de vista
<b>Ω</b>	Ohm
<b>MHz</b>	Un Millón de Hertz
<b>Mbps</b>	Un Millón de bits por segundo
<b>E1</b>	Unidad de medida de capacidad TDM equivalente a 2,048 Mbps



## GLOSARIO

<b>ACDP</b>	<i>Adjacent Channel Dual Polarized</i> o Canal adyacente de polarización dual. Técnica utilizada para ampliar la velocidad de transferencia de un radio enlace.
<b>AMR</b>	<i>Adaptative Modulation Rate.</i>
<b>Ancho de Banda</b>	Porción del espectro radioeléctrico utilizado por una señal.
<b>ATPC</b>	<i>Automatic Transmition Power Control</i> o Control Automático de Potencia de Transmisión. Sistema de control basado en la retroalimentación para el control de potencia de salida de una ODU.
<b>BER</b>	<i>Bit Error Rate</i> es la tasa de bits con error.
<b>CCDP</b>	<i>Co-Channel Dual Polarization</i> o Polarización Dual por Co-Canal. Técnica de ampliación de capacidad de transmisión que utiliza cada polarización de una onda como un canal separado.
<b>CPRI</b>	<i>Common Public Radio Interface</i> o Interfaz de Radio Pública Común.

<b>CSMA/CD</b>	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection</i> . Algoritmo para control de acceso a un medio compartido.
<b>DMR</b>	<i>Digital Microwave Radio</i> . Tecnología de transmisión digital por medio de microondas.
<b>Ethernet</b>	Tecnología más utilizada para la transmisión de datos.
<b>Feeder</b>	Dispositivo ubicado en el foco de una antena parabólica que capta las señales electromagnéticas.
<b>Fibra Óptica</b>	Guía de ondas de luz fabricada de plástico o vidrio.
<b>Frecuencia</b>	Número ciclos que completa una onda periódica en un segundo.
<b>HSB</b>	Hot/StandBy, modo de funcionamiento en el que hay un dispositivo principal en operación y otro idéntico en modo de espera como respaldo del primero.
<b>IDU</b>	<i>Indoor Unit</i> . Sección de un equipo de telecomunicaciones que se instala dentro de un gabinete o sala.
<b>IFG</b>	<i>Interframe Gap</i> . Tiempo de espera entre la transmisión de dos tramas de datos.

<b>Internet</b>	Red descentralizada de comunicaciones conformada por varias redes conectadas entre sí.
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i> . Protocolo de comunicación utilizado en redes de comunicación. Está clasificado en la capa 3 del modelo OSI.
<b>LAG</b>	<i>Link Aggregation Group</i> . Grupo de agregación de enlaces.
<b>LCT</b>	<i>Local Craft Terminal</i> . Interfaz para la gestión local de un equipo de telecomunicaciones.
<b>Longitud de onda</b>	Distancia que recorre una partícula en un período de la onda.
<b>Microondas</b>	ondas cuya longitud se encuentra en el rango de las millonésimas de metro.
<b>MIMO</b>	<i>Multiple Input Multiple Output</i> . Técnica que cuadruplica la capacidad de un canal de transmisión.
<b>MODEM</b>	Modulador/Demodulador.
<b>Monomodo</b>	Fibra óptica capaz de transportar luz en un solo modo.
<b>Multimodo</b>	Fibra óptica capaz de transportar luz en múltiples modos.

<b>NE</b>	<i>Network Element</i> o elemento de red.
<b>NMS</b>	<i>Network Management System</i> o Sistema de Gestión de Red.
<b>ODU</b>	<i>Outdoor Unit</i> . Es la sección de un equipo de telecomunicaciones que se instala a la intemperie.
<b>PDH</b>	Jerarquía Digital Plesiócrona o en inglés <i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i> . Tecnología que se utiliza en telecomunicaciones para enviar datos de varias fuentes a sus respectivos destinos a través de un mismo medio utilizando TDM.
<b>PNMTj</b>	<i>Pasolink Network Management Terminal Java</i> . Interfaz de usuario para la configuración del equipo.
<b>Protocolo</b>	Conjunto de normas que rigen el intercambio de información en un sistema.
<b>RX</b>	Recepción.
<b>SDH</b>	Jerarquía Digital síncrona o en inglés <i>Synchronous Digital Hierarchy</i> . Tecnología que se utiliza para el envío de datos de manera sincronizada.
<b>Split Mount</b>	Montaje por separado. Tipo de equipo que tiene una parte IDU y una ODU.

<b>STM-1</b>	Módulo de transporte síncrono o en inglés <i>Synchronous Transport Module</i> . Unidad elemental de SDH equivalente a una capacidad de 155 Mbps.
<b>STP</b>	<i>Shielded Twisted Pair</i> . Tipo de Cable que consta de 8 conductores ordenados en 4 pares trenzados y un blindaje metálico.
<b>TDM</b>	<i>Time Division Multiplexing</i> . Multiplexación por división de tiempo.
<b>Topología</b>	Representación gráfica de los elementos y conexiones de una red.
<b>TX</b>	Transmisión.
<b>UTP</b>	<i>Unshielded Twisted Pair</i> . Tipo de cable que está formado por 8 conductores ordenados en 4 pares trenzados y sin blindaje metálico.
<b>VLAN</b>	<i>Virtual Local Area Network</i> .
<b>WDM</b>	<i>Wavelength Division Multiplexing</i> . Multiplexación por División de longitud de onda.
<b>X-PIC</b>	<i>Cross-Polarization Interference Cancelation</i> . Cancelación de interferencia por polarización cruzada.



## **RESUMEN**

El Presente trabajo de graduación tiene como finalidad iniciar al estudiante de ingeniería electrónica en el diseño de enlaces por microonda, así como realizar prácticas que le permitan el conocimiento necesario para configurar los equipos.

El conocimiento sobre enlaces por microonda es importante en las telecomunicaciones dado que este medio es uno de los más utilizados en el transporte de datos.



# OBJETIVOS

## General

Redactar un manual de prácticas de laboratorio sobre el enlace por microonda NEC PASOLINK NEO HP del Laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Específicos

Al finalizar la lectura de este documento el estudiante será capaz de:

1. Saber qué es y para qué sirve un enlace por microonda.
2. Reconocer el escenario de aplicación de un enlace por microonda.
3. Diseñar un enlace por microonda utilizando software.
4. Aplicar criterios básicos para determinar la calidad de un enlace.
5. Realizar configuraciones sobre un equipo.



## INTRODUCCIÓN

Un enlace por microonda es la forma más usada para transportar datos en una red en la que no es factible implementar un enlace por fibra óptica. Un enlace por FO siempre será la primera opción dada su alta capacidad y confiabilidad en el transporte de datos, sin embargo, no siempre será viable su implementación ya que esta depende de varios factores como por ejemplo las licencias municipales para realizar los trabajos de tendido, los derechos de paso en toda la ruta del cable, la implementación de postes para sostener la fibra o bien el pago de renta a empresas que posean postes sobre la ruta a utilizar.

Un enlace por microonda tiene como ventaja que no se requiere licencias o derechos de paso para su implementación, sin embargo, en algunos casos requiere la licencia para el uso del espectro y espacio físico adecuado para la instalación de los equipos como las antenas y radios, equipo *Outdoor*, así como los chasis, equipo *Indoor*, lo cual también implica renta de espacio en la mayoría de los casos.

Entre las desventajas de los enlaces por microonda podemos encontrar su capacidad relativamente baja en comparación con la FO, en la actualidad se ha logrado aumentar significativamente la capacidad de transferencia de estos enlaces mediante la utilización de técnicas como XPIC o MIMO.



## 1. INTRODUCCIÓN A LOS ENLACES POR MICROONDA

Un enlace por microonda es un equipo de comunicación que permite el transporte de datos de un punto a otro aprovechando la capacidad de las ondas electromagnéticas de viajar por el espacio libre, es decir, utiliza el aire como medio de propagación. Para tal fin el equipo se vale de una unidad de procesamiento, un equipo de radio que proporciona la potencia y antenas que faciliten la propagación de las ondas, a este tipo de equipo se le llama *Split Mount* dado que una parte del equipo se instala a la intemperie *outdoor*, y la otra parte dentro de gabinetes o casetas adecuadas para tal fin, *indoor*.

Algunos fabricantes han integrado en un solo módulo la unidad de procesamiento y la unidad de radio para permitir el ahorro de espacio dentro de los gabinetes y utilizar así espacio únicamente en la parte *outdoor*, a este tipo de equipo se le llama *Full Outdoor*.

El enlace NEC PASOLINK NEO HP que será sujeto de estudio durante este trabajo de graduación es un equipo tipo *Split Mount* dado que la unidad de procesamiento, a la que llamaremos IDU, se encuentra instalada en un rack bajo techo y la unidad de radio, a la que llamaremos ODU se encuentra instalada al aire libre y acoplada a la antena.

Los enlaces por microonda pueden tener diferentes alcances y capacidades de transmisión, características que están determinadas por la frecuencia de operación, tamaño de las antenas, el ancho de banda y la modulación utilizados.

## 1.1. Características de los enlaces por microonda

Los enlaces por microonda se evalúan de acuerdo con su alcance y su capacidad de transmisión, parámetros que a su vez están determinados por diversas características que se revisarán a continuación.

La frecuencia de operación determina el alcance del enlace, mientras menor sea la frecuencia de operación, mayor será el alcance del enlace dado que las frecuencias más bajas poseen longitudes de onda mayores, y a su vez las señales con mayor longitud de onda tienden a tener mayor penetración en el espacio.

La frecuencia de operación de los enlaces por microonda se encuentra entre los 6 y los 38 GHz para las bandas que requieren licencia, en Guatemala el espectro radioeléctrico es administrado por la Superintendencia de Telecomunicaciones, SIT.

Existen también enlaces que operan en bandas que no requieren licencias tales como los de banda E, *E-Band*, que se encuentra en rango de frecuencia entre 60 y 90 GHz, o los de banda V, *V-Band*, que van de 40 a 75 GHz.

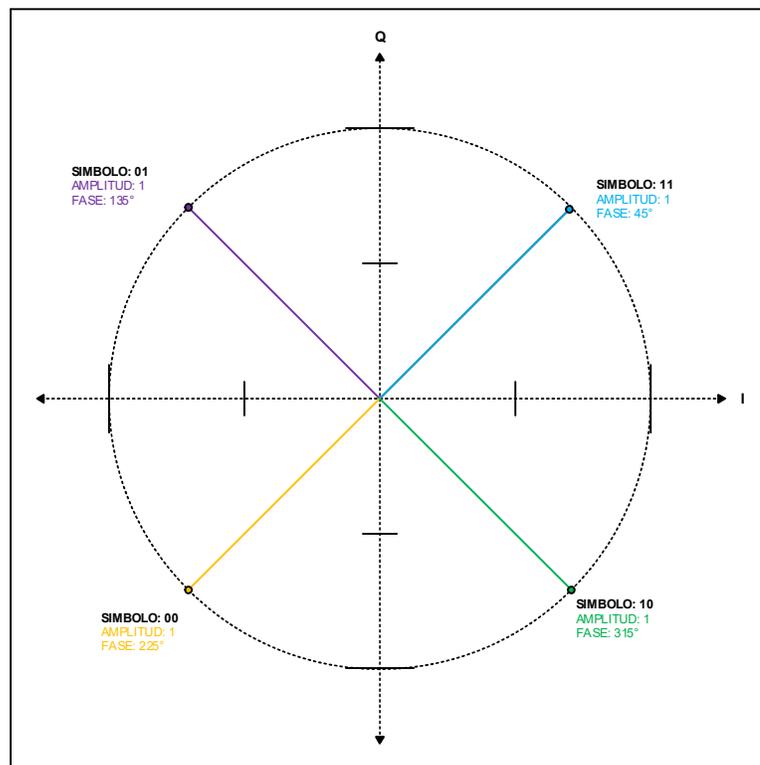
Otra característica importante es la capacidad de transmisión, esta se mide en bps y sus múltiplos: kbps, Mbps y Gbps; equivalentes a 1 000, 1 000 000 y 1 000 000 000 de bits por segundo respectivamente. La capacidad de transmisión está determinada por el Ancho de banda, *Channel Spacing*, y el esquema de modulación.

El término *Channel Spacing* hace referencia a la porción del espectro radioeléctrico que utiliza el canal de transmisión, se mide en Hz o bien en

múltiplos como MHz y en el equipo a estudiar se encuentra en opciones de 7, 14, 28, 56 y 112 MHz.

El esquema de modulación determina la cantidad de símbolos que se puede representar con cada cambio de fase de la señal portadora. En el NEC PASOLINK NEO HP se puede encontrar los esquemas de modulación que van desde QPSK hasta 256 QAM pasando por los saltos intermedios como 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM.

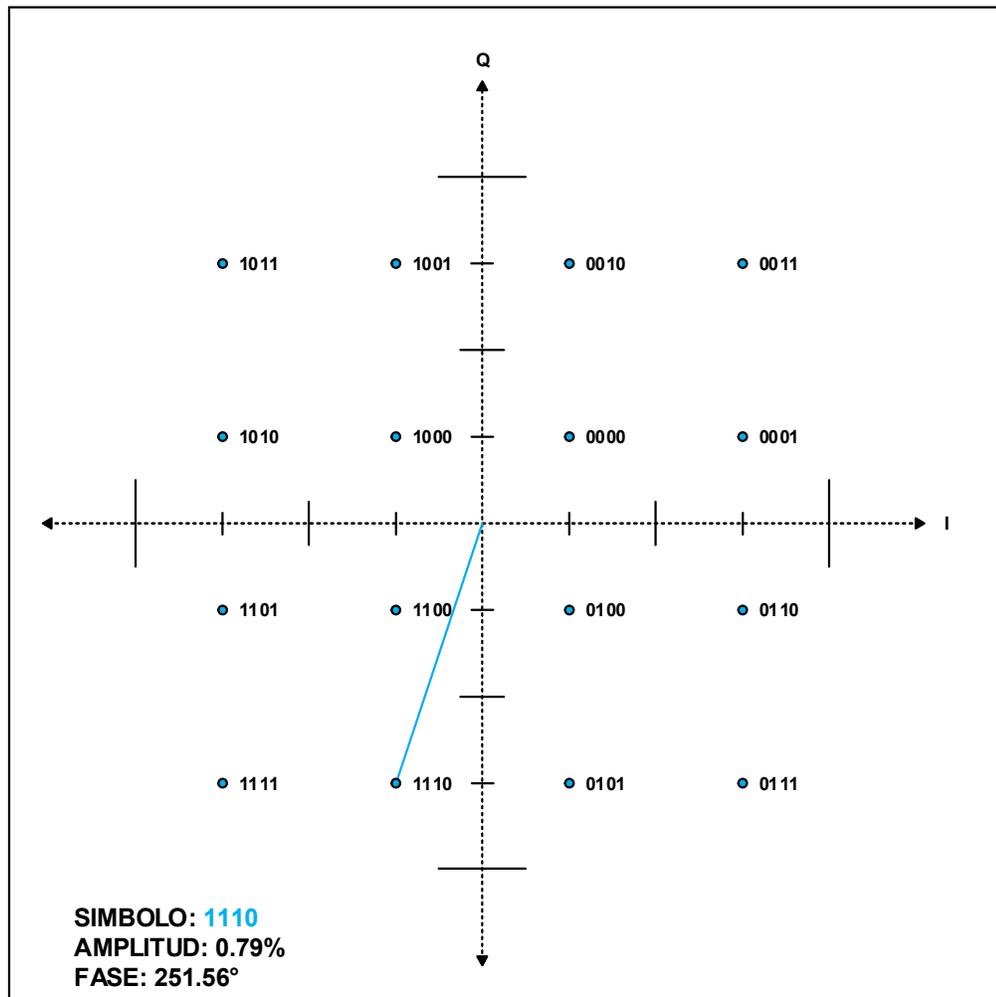
Figura 1. **Diagrama de constelación para QPSK con código Gray**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

Mientras mayor sea la cantidad de símbolos que se pueden representar por cada cambio de fase de la señal portadora, mayor será la cantidad de información que se pueda transmitir en un espacio de tiempo determinado, de esta forma es que se aumenta la capacidad de transmisión del equipo, sin embargo, esto tiene un costo para el desempeño del enlace, y es que a mayor cantidad de símbolos transmitidos se aumenta la probabilidad de error, dado que los errores se producen cuando la señal portadora sufre cambios de amplitud y fase indeseados provocados por el ruido del medio o bien por los retrasos que provoca la difracción multi-trayectoria. La señal transmitida está expuesta a cualquiera de estos fenómenos por lo que la ocurrencia de errores es un riesgo latente.

Figura 2. Diagrama de constelación para 16QAM



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

## 1.2. Tecnologías de transmisión

Dado que la información se puede encontrar en una gran cantidad de formas, los enlaces por microonda deben ser capaces de transportar esa información de un lado a otro adaptándose al formato y tipo de información.

Entre los tipos más comunes de tráfico que se pueden transportar vía microonda están: IP, CPRI y TDM tanto en PDH como en SDH.

### **1.2.1. TDM**

Se refiere a la forma en la que se acomodan varias señales dentro de un mismo canal asignándole distintos intervalos de tiempo a cada señal de tal forma que, mediante la sincronización de ambos extremos del canal, sea posible recuperar todas las señales.

Los protocolos que funcionan mediante multiplexación por división en el tiempo están agrupados en PDH y SDH. PDH surgió como una tecnología basada en el transporte de grandes cantidades de información mediante equipos digitales.

El término E1 es el estándar PDH para Europa y está formado por 30 canales de 64 kbps cada uno más 2 canales para señalización y sincronía, que dan como resultado una capacidad total de 2,048 Mbps.

En Norteamérica este mismo estándar se define con el T1 que consiste en 24 canales de 64 kbps, canales DS-0, la capacidad total es de 1,544 Mbps.

El J1 es el estándar PDH japonés y consiste en 24 canales de 64 kbps, la capacidad total es de 1,544 Mbps. Tiene una longitud de trama de 193 bits, 8 canales para voz y datos de 24 bits cada uno y un bit para sincronización, se transmiten 8 000 de estas tramas por cada segundo. De esta manera, 193 bits x 8 000 tramas da como resultado 1 544 000 bps o 1,544 Mbps.

El segundo conjunto de protocolos de transmisión de datos es el SDH, un sistema de comunicación que utiliza fibra óptica como medio de transmisión debido a que necesita transportar cantidades de datos más grandes en comparación con PDH. Pese a que revolucionó los sistemas de transmisión cuando apareció es cada vez menos común su uso.

El estándar de transmisión de una red SDH es el STM-N, donde la N determina el nivel de este módulo. El primer nivel utilizado es el 1, un STM-1 tiene una tasa de bits de 155,52 Mbps. Los niveles van aumentando en múltiplos de 4, así pues, encontramos los niveles STM-4, STM-16, STM-64, STM-256. La siguiente tabla muestra la capacidad de cada uno de estos niveles y la relación entre los mismos. Más allá del STM-256 se utiliza WDM en español Multiplexación por División de Longitud de Onda.

Tabla I. **Capacidad de transmisión para un STM-N**

<b>Nivel</b>	<b>Capacidad (Mbps)</b>
<b>1</b>	155,52
<b>4</b>	622,08
<b>16</b>	2 488,32
<b>64</b>	9 953,28
<b>256</b>	3 9814,32

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

### **1.2.2. IP**

Los enlaces por microonda permiten el transporte de datos en forma de paquetes que cumplen con el estándar IEEE 802.3. Este estándar está basado en un algoritmo llamado CSMA/CD que por sus siglas en inglés significa acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisión. Este algoritmo permite

que cualquier dispositivo conectado a una red *Ethernet* primero escuche si la portadora está siendo utilizada por algún otro dispositivo, en tal caso, el dispositivo no transmitirá ningún dato y esperará un tiempo llamado IFG que consta de 96 *bit times* antes de intentar transmitir de nuevo, cuando el canal se encuentre libre el nodo transmitirá los datos a través de la red.

### **1.2.2.1. Velocidades soportadas**

Soporta velocidades de 10 Mbps conocido como estándar *Ethernet*, 100 Mbps conocido como *Fast Ethernet* y 1 000 Mbps o *Gigabit Ethernet*. Los medios físicos pueden ser cable coaxial para velocidades de hasta 10 Mbps, cable UTP o cable STP para velocidades de entre 100 y 1 000 Mbps y Fibra Óptica para velocidades mayores a 1 000 Mbps. Los enlaces por microonda más modernos tienen puertos que pueden llegar a soportar velocidades de hasta 10 Gbps.

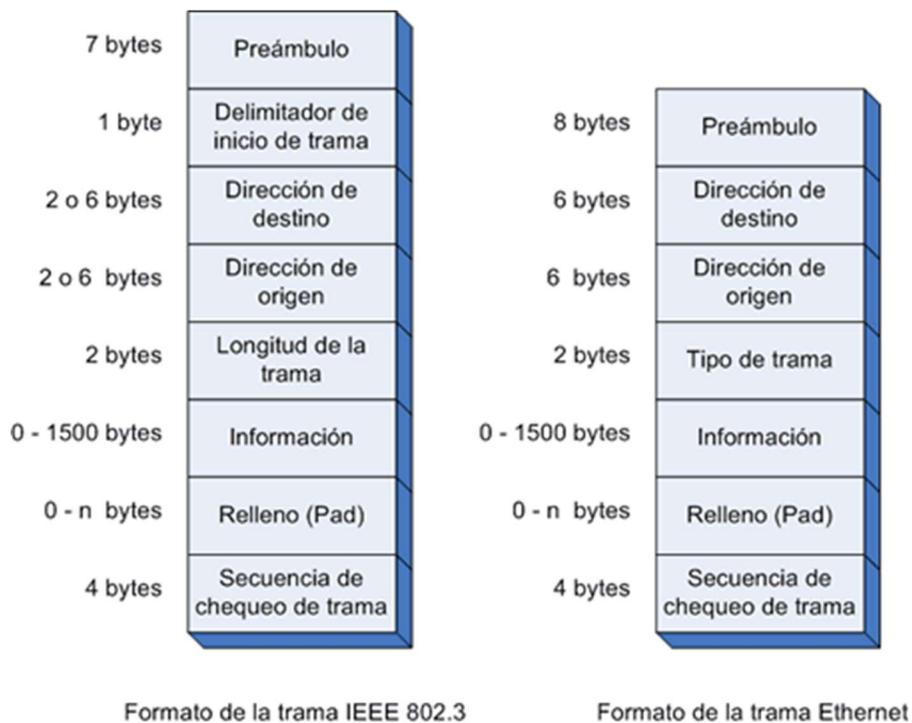
### **1.2.2.2. Modos de transmisión**

El IP permite configurar los equipos en 2 modos de transmisión, estos modos son *Half Duplex* y *Full Duplex*. El modo *Half Duplex* está Basado CSMA/CD. En este modo el acceso al canal está determinado por un mecanismo de control integrado en tarjeta de red *Ethernet* instalada en cada extremo. Todas las otras interfaces deben esperar el equivalente a un IFG.

El modo *Full Duplex* permite la transmisión de datos simultáneamente. Aunque se respeta el IFG, este modo no utiliza CSMA/CD. Permite cubrir mayores distancias que en el modo Half Duplex cuando se utiliza como medio la fibra óptica. Para el correcto funcionamiento, ambas estaciones deben estar

configuradas en modo *Full Duplex*, también es requisito que el medio tenga rutas independientes para la transmisión y la recepción.

Figura 3. **La trama IP según estándar IEEE802.3**



Fuente: TECH CLUB. *Tramas de Ethernet*. <https://techclub.tajamar.es/tramas-ethernet-ethernet-original-ieee-802-3-revisado-ieee-802-11/> Consulta: 14 de octubre 2018.

Los equipos modernos permiten utilizar el estándar 802.1q para la separación de los paquetes por medio de etiquetas lógicas llamadas VLAN. Se profundizará en esto en capítulos posteriores.

### 1.2.3. CPRI

Es un conjunto de especificaciones para redes de comunicación inalámbricas definidas por un grupo de fabricantes de estos equipos.

Dicha especificación indica los criterios claves para el transporte, control y conectividad entre los equipos controladores de radio, también llamados unidades de banda base, *BBU*, usualmente instalados en tierra y los radios, *RRU*, que se suelen colocar en torres o infraestructuras con cierta altura dado que son éstos últimos los encargados de entregar la potencia a las antenas de radiofrecuencia. Esta conexión se hace comúnmente con cable coaxial, el propósito de CPRI es permitir que dicha conexión pueda ser remota y no alámbrica, mitigar las desventajas de la implementación con fibra óptica, ofrecer mayor capacidad y conectar o servir a varias unidades.

Se podría implementar en sistemas distribuidos, entiéndase sistemas donde la unidad de control y las remotas estén a mayores distancias aún, en escenarios como carreteras, en grandes edificios, estadios, entre otros.

Bajo esta especificación hay varias compañías que ya han desarrollado microondas con CPRI tales como *Ericsson AB*, *Huawei Technologies Co. Ltd.*, *Alcatel Lucent*, *NEC Corporation* y *Nokia*.

Las ventajas de costo, conveniencia y facilidad de conexión que se traduce en este caso sólo en configuración, la no pérdida de potencia entre elementos activos y pasivos y, la efectividad de los elementos involucrados, hacen de este conjunto de directrices una alternativa atractiva.

El alcance de la primera versión de CPRI cubre:

- La interface o manera en que se comunica el equipo de control de radio y el equipo de radio.
- La especificación se aplica en capa 1 y 2 del modelo OSI. La capa 1 o capa física soportará ambas interfaces eléctricas, las tradicionales y las ópticas para radios remotos. La capa 2 soporta la escalabilidad y flexibilidad necesaria para diferentes aplicaciones.
- La primera especificación iba encaminada para acoplarse a tecnología 3G, hoy en día ya está adaptándose a *LTE* y redes *5G*.

*CommScope* junto con *Alcatel Lucent* que ahora es parte de Nokia, han habilitado una conexión óptica digital directa entre BBU y sistemas distribuidos vía CPRI, la interface digital elimina la necesidad de procesamiento redundante de radiofrecuencia.

El papel del equipo de microonda con este tipo de interfaz es proveer la comunicación entre unidades remotas prescindiendo de cableados y garantizando la sincronía requerida en las tecnologías en las que sea usado.

En redes 3G y LTE usando microondas que operan con CPRI a 1,22 Gbps o 2,5 Gbps las unidades remotas se pueden localizar a 10 o 20 km de la unidad central, esto permite aumentar la cobertura de forma flexible y, facilita y acorta la implementación de grandes segmentos. No hay latencia ni compresión de la señal, y dado que la propagación es en el aire la transmisión es 40 % más rápida que mediante fibra, debido al índice de refracción del medio, el aire.

Tabla II. **Estándares ethernet para transmisión en banda base**

<b>Especificación</b>	<b>Velocidad (Mbps)</b>	<b>Medio</b>	<b>Distancia (m)</b>
<b>10Base-2</b>	<b>10</b>	Coaxial	<b>185</b>
<b>10Base-5</b>	<b>10</b>	Coaxial	<b>500</b>
<b>10Base-T</b>	<b>10</b>	UTP	<b>100</b>
<b>100Base-TX</b>	<b>100</b>	UTP	<b>100</b>
<b>100Base-FX</b>	<b>100</b>	FO Multimodo	<b>2 000</b>
<b>1000Base-CX</b>	<b>1 000</b>	STP	<b>25</b>
<b>1000Base-T</b>	<b>1 000</b>	UTP	<b>100</b>
<b>1000Base-SX</b>	<b>1 000</b>	FO Multimodo	<b>550</b>
<b>1000Base-LX</b>	<b>1 000</b>	FO Monomodo	<b>5 000</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

### **1.3. Técnicas para mejorar el desempeño de los enlaces**

Dado que normalmente las bandas en las que operan los enlaces por microonda requieren el pago de un usufructo, y con el fin de disminuir los costos de operación, algunos fabricantes han implementado técnicas que permiten aumentar la capacidad de transmisión de sus equipos, estas técnicas van desde el uso de software para optimizar el uso de las tramas, la corrección de errores y la eliminación de interferencia, implementación de estándares y protocolos de transmisión, hasta la adaptación de dispositivos físicos como antenas y *feeders*.

#### **1.3.1. Configuraciones para su protección**

La *ODU* como ya se ha mencionado convierte los datos enviados en forma de pulsos eléctricos desde la *IDU* en señales RF, es decir variaciones electromagnéticas para transmitir. Además, convierte la señal RF desde el extremo lejano a un dato asimilable para la *IDU*. Una vez dicho esto, se puede

especificar que las ODUs pueden ser instaladas en varias configuraciones 1+0, 1+1, 2+0, 4+0.

#### **1.3.1.1. Configuración 1+0**

La más común es la 1+0, tiene una sola ODU generalmente conectada en forma directa a la antena microonda, aunque también puede estar conectada por medio de una guía de onda. 1+0 significa no protegido, ya que no hay equipo o ruta redundante en caso de falla.

#### **1.3.1.2. Configuración 1+1**

Consiste en 2 ODU en configuración HSB, es decir, una que está en funcionamiento y otra que está en modo de espera, ambas conectadas vía un acoplador a la antena. El acoplador o híbrido divide la potencia según se defina para la ruta principal y la secundaria, este puede generar una pérdida de entre 3 y 6 dB. cuando la ODU principal falla, la secundaria entra en funcionamiento para evitar afectación de los servicios.

#### **1.3.1.3. Configuración 2+0**

Tiene 2 ODU conectadas a una sola antena vía un acoplador o híbrido. La configuración del hardware es idéntica a la 1+1 pero con el método de diversidad de frecuencia, las ODU llevan señales montadas sobre portadoras con diferente frecuencia para incrementar la capacidad del enlace. Normalmente se utiliza software para hacer la sumatoria de las capacidades de ambos enlaces y simular un solo canal de comunicación o LAG.

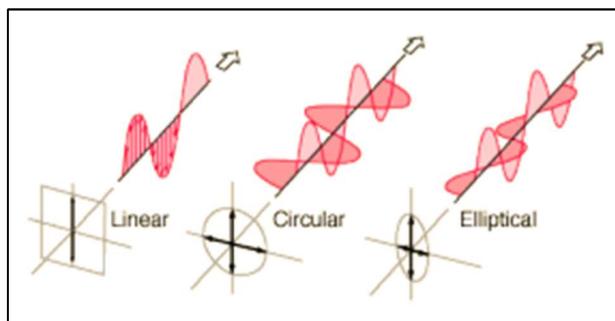
### 1.3.2. X-PIC

Es una técnica que permite aumentar al doble la capacidad de un canal de comunicación de radio mediante el uso de dos polarizaciones separadas por 90 grados u ortogonales.

En pocas palabras, mediante software, se procesa la señal y se cancela la interferencia entre las señales recibidas con polarización vertical y horizontal respectivamente, una gran ventaja con respecto a los enlaces de una sola polarización dado que utiliza exactamente el mismo espectro en ambas polarizaciones ahorrando costos por uso de espectro. Los enlaces X-PIC por microondas han tenido un papel protagónico en los principales puntos del backhaul móvil.

El término polarización se refiere a la figura trazada por la onda al desplazarse en una dirección determinada en función del tiempo, el extremo del vector de campo radiado y el sentido en el que gira visto desde la antena.

Figura 4. **Tipos básicos de polarización**



Fuente: HYPERPHYSICS. *Clasificación de la Polarización*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/imgpho/polcls.png>. Consulta: 18 de octubre de 2018.

La polarización de la onda depende de la dirección, normalmente la antena se polariza en la dirección de máxima radiación. Sin embargo, en el mundo real las polarizaciones nunca son perfectamente circulares o lineales, sino elípticas.

Lo anteriormente mencionado implica que toda antena se puede configurar para radiar con una polarización deseada, pero es inevitable la aparición de una componente menor de la polarización no deseada. Entonces, cualquier señal tendrá una componente co-polar y una componente contrapolar, para la polarización del campo deseada y no deseada respectivamente.

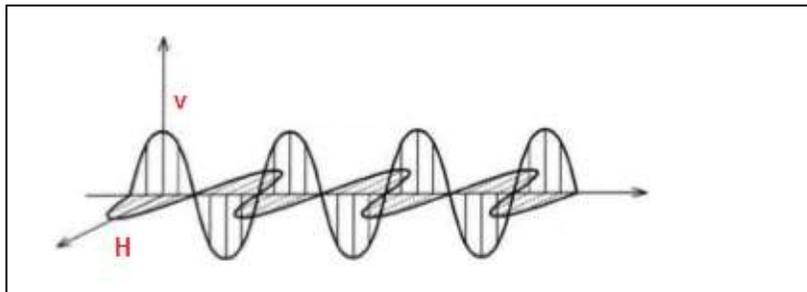
Las polarizaciones más utilizadas en los enlaces terrestres son lineales, es decir vertical y horizontal. La configuración que permite duplicar la capacidad usando dos polarizaciones de manera simultánea en la misma antena se llama Polarización Cruzada, *cross-polarization*.

Existen otras técnicas que permiten aprovechar este fenómeno, tal es el caso de ACDP o CCDP, estas permiten la transmisión y recepción de dos señales independientes mediante una sola antena con polarizaciones separadas por 90 grados. Se ha demostrado que XPIC funciona mejor cuando se combina con CCDP que cuando se hace con ACDP.

A pesar de la separación de 90 grados existente entre las dos señales, es inevitable estas se interfieran mutuamente, debido a la componente contrapolar de cada una de las señales, además de otros factores como el aislamiento imperfecto de las antenas, el efecto multi-trayectoria, precipitaciones meteorológicas, no-linealidades de la electrónica de los equipos. A esta interferencia se la conoce como interferencia por polarización dual, y es necesario un filtro de componente contrapolar en el receptor para su eliminación.

Los enlaces X-PIC a su vez pueden tener diferentes configuraciones para protección, por ejemplo, un X-PIC 2+0 está formado por una ODU para la polarización vertical, una para la polarización horizontal, ambas sin protección. Un X-PIC 1+1 consiste en 2 ODUs para cada polarización, cada polarización tiene una ODU principal y una ODU de protección. Un X-PIC 4+0 está compuesto físicamente como un X-PIC 1+1 con la diferencia que el 4+0 no utiliza ODUs de protección sino 4 diferentes canales de comunicación, es decir, 2 canales para la polarización vertical y dos para la polarización horizontal, ninguno de los 4 canales tendrá protección en este modo.

Figura 5. **Formas de onda ortogonales**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013

El sistema X-PIC está formado por dos demoduladores de polarización, estos reciben la señal y su componente contrapolar respectiva. Un filtro de correlación calcula la señal no deseada y la “resta” de la señal deseada. Así, el sistema X-PIC es capaz de recuperar las señales originales de forma casi perfecta, para posteriormente ser decodificadas y procesadas.

### **1.3.3. MIMO**

Hace referencia a la forma en la que se manejan las ondas de transmisión y recepción en antenas de dispositivos inalámbricos como puntos de acceso o enrutadores. Tradicionalmente las señales transmitidas de forma inalámbrica se ven afectadas por pequeñas copias de sí mismas que son reflejadas y desfasadas y que además provocan interferencia, degradación y pérdida de información.

MIMO saca ventaja de fenómenos físicos como la propagación multi-trayectoria para aumentar significativamente la velocidad de transmisión sin incrementar el uso de espectro mediante el uso de 2 o más antenas transmitiendo y recibiendo en diversidad de polarizaciones.

### **1.3.4. AMR**

Es una característica que permite a un enlace aumentar o bajar la modulación a la que trabaja de acuerdo con la BER, es decir, cuando un enlace está presentando demasiados errores el equipo disminuye la modulación con el fin de reducir la probabilidad de error, sin embargo, el costo de esta compensación es la reducción de la capacidad del enlace.

### **1.3.5. ATPC**

Esta característica permite la compensación de la señal de recepción mediante el aumento de potencia de transmisión en el extremo contrario del enlace. Tiene como principal función evitar que el enlace llegue a niveles críticos de recepción aumentando la potencia de transmisión mediante la retroalimentación constante de la contraparte.



## **2. DISEÑO DE ENLACE UTILIZANDO SOFTWARE SIMULADOR**

Actualmente existen diversas herramientas de *software* que facilitan el análisis y diseño de los enlaces, podemos mencionar entre ellas *Radio Mobile* y *Pathloss* como las más conocidas. El diseño del enlace es importante ya que permitirá determinar con antelación la frecuencia necesaria para el enlace, la altura y orientación de las antenas, considerar pérdidas por conectores, cableados, orientación y factores climáticos.

El presente capítulo trata sobre los aspectos a considerar durante el diseño de un enlace por microonda. Cabe aclarar que los resultados arrojados por las herramientas de simulación no garantizan que el enlace se pueda realizar por diversas razones que se explicará con más detalle en el resto del capítulo, ya que dichos resultados están basados en los datos proporcionados por el fabricante respecto a las características de los equipos, bases de datos para la generación de perfiles de terreno y simulación de patrones de lluvia y condiciones atmosféricas, sin embargo, en la mayoría de los casos las diferencias entre el resultado de la simulación y la realidad son compensables.

### **2.1. Consideraciones iniciales**

Se debe considerar que las estaciones en las que se instalará el equipo cuenten con las condiciones adecuadas de energía y ventilación para los equipos, así como la infraestructura para el correcto aterrizaje de estos. La instalación de los equipos no es un tema del presente trabajo, sin embargo, se hace mención ya que es de suma importancia para su correcto funcionamiento.

También se debe tomar en cuenta que las bases de datos de terreno, patrones de lluvia y de equipos ya deben estar cargadas a la herramienta de simulación de enlaces. Para el presente trabajo se utilizará *Pathloss* en su versión 4, al cual me referiré como la herramienta de simulación en adelante, sin embargo, tampoco la instalación y configuración del *software* es objeto de estudio de este trabajo y por lo tanto se asume que el alumno ya cuenta con esta herramienta instalada y configurada.

## 2.2. Generación del perfil

Lo primero que debe hacer es proporcionar los datos de los sitios involucrados en el enlace tales como nombre, identificador y coordenadas. Al abrir la herramienta de simulación lo primero que verá será el módulo *Summary*, este módulo le permite ingresar los datos mencionados. Por defecto los nombres que aparecerán en los campos *Site name* serán *Site 1* y *Site 2*.

Figura 6. Módulo *Summary* de la herramienta de simulación

	Site 1	Site 2	
Site Name			Operator code
Call Sign			LAB TELCO USAC
Station Code			Radio model
State			Code
Owner Code			Emission designator
Latitude			Traffic code
Longitude			TX power (dBm)
True azimuth (°)			Frequency (MHz)
Calculated Distance (km)			18000.00
Profile Distance (km)			Polarization
Datum	WGS 1984		Vertical
Elevation (m)			Free space loss (dB)
Tower Height (m)			EIRP (dBm)
TR Antenna Height (m)	0.00	0.00	RX signal (dBm)
Code			Radio configuration
TX loss (dB)	0.00	0.00	
RX loss (dB)	0.00	0.00	

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Summary* de la herramienta de simulación.

### 2.2.1. Ingreso de los datos

Las coordenadas se pueden obtener mediante una visita a los sitios involucrados, o bien se pueden obtener mediante alguna herramienta de posicionamiento como *Google Earth* o la misma herramienta de simulación. Los nombres de los sitios en casos reales son elegidos de una base de datos de nombres, IDs y coordenadas en las cuales los operadores tienen ubicadas sus radio bases o clientes. Para el diseño del presente enlace se supone que se pretende enlazar 2 estaciones ubicadas dentro del campus de la universidad, una localizada en el techo del edificio T1 y otra en el techo del edificio S12. A este tipo de estaciones se les denomina tipo *Rooftop* y son muy comunes hoy en día en poblaciones densas en las que no se busca instalar una radio base que tenga un área de cobertura grande sino una pequeña que supla las necesidades de capacidad demandada por los suscriptores; también es muy común cuando un cliente requiere un enlace dedicado, en éstos casos los techos deben ser objeto de adecuaciones para proporcionar las condiciones requeridas para la instalación del equipo.

Tabla III. Datos para ingresar en la herramienta de simulación

<b>Site Name 1</b>	EDIFICIO T1
<b>Call Sign 1</b>	T01
<b>Coordenadas Site 1</b>	14 35 18.59 N 090 33 11.94 W
<b>Site Name 2</b>	EDIFICIO S12
<b>Call Sign 2</b>	S12
<b>Coordenadas Site 2</b>	14 34 57.93 N 090 33 18.55 W

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Una vez definido el nombre, el ID y que haya certeza de las coordenadas proceda a ingresar los datos en los campos de la herramienta. Por el momento solo se requiere de estos campos, el resto de los datos de este módulo se completará conforme se avance en la configuración del resto del diseño.

Figura 7. Ingreso de datos al módulo Summary

The screenshot shows the Pathloss 4.0 software interface with the Summary module active. The interface is divided into several sections for configuring two sites: EDIFICIO T01 and EDIFICIO S12. The data entered is as follows:

Field	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Site Name	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Call Sign	T01	S12
Station Code		
State		
Owner Code		
Latitude	14 35 18.59 N	14 34 57.93 N
Longitude	090 33 11.94 W	090 33 18.55 W
True azimuth (°)	197.31	17.31
Calculated Distance (km)	0.67	
Profile Distance (km)		
Datum	WGS 1984	
Elevation (m)		
Tower Height (m)		
TR Antenna Height (m)	0.00	0.00
Code		
TX loss (dB)	0.00	0.00
RX loss (dB)	0.00	0.00

Additional configuration fields on the right side of the interface include:

- Operator code: LAB TELCO USAC
- Radio model: [Empty]
- Code: [Empty]
- Emission designator: [Empty]
- Traffic code: [Empty]
- TX power (dBm): [Empty]
- Frequency (MHz): 18000.00
- Polarization: Vertical
- Free space loss (dB): 114.03
- EIRP (dBm): [Empty]
- RX signal (dBm): [Empty]
- Radio configuration: [Empty]

The Pathloss logo is visible in the bottom right corner of the window.

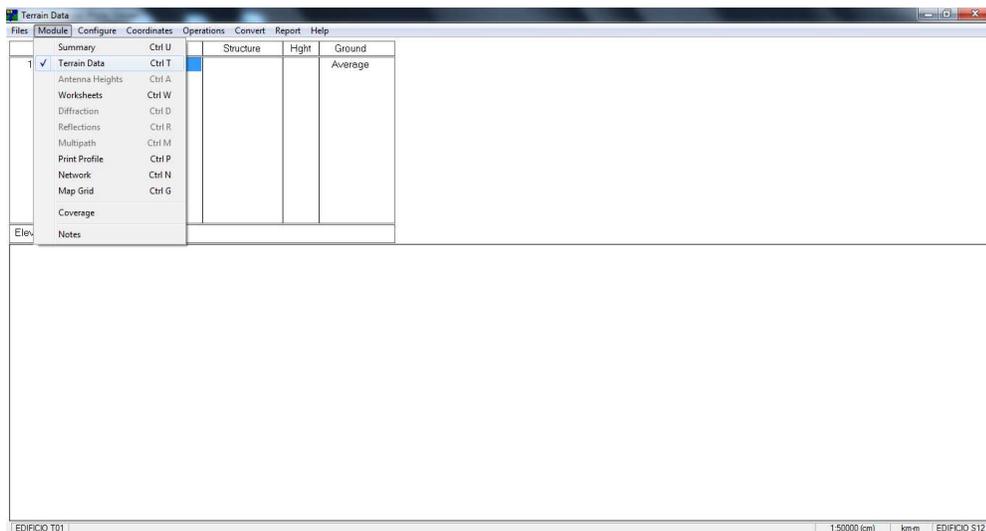
Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Summary* de la herramienta de simulación.

### 2.2.2. Datos del terreno

El módulo *Terrain Data* de la herramienta de simulación utiliza los datos proporcionados por el usuario respecto a los extremos de enlace y la información de las bases de datos geográficos para generar un perfil de elevación. El perfil de elevación es una especie de fotografía de un corte longitudinal del terreno entre ambos extremos del enlace, esta fotografía permite determinar a simple vista si existe alguna elevación del terreno entre ambos puntos que pueda impedir la línea de vista. Si la línea de vista está obstruida por alguna colina, cerro,

montaña o volcán que se encuentre entre ambos sitios el enlace no se podrá realizar con el equipo que se menciona en este trabajo, dado que el equipo requiere línea de vista, *LOS*. Actualmente algunos fabricantes ofrecen equipos que no requieren línea de vista para poder enlazar dos puntos determinados, *N-LOS*, este tipo de equipos utiliza los edificios o accidentes geográficos para aprovechar las propiedades del fenómeno llamado reflexión multi-trayectoria y recuperar así la señal del emisor y enviar por la misma ruta las señales de respuesta, sin embargo, no es el caso del equipo del cual es objeto el presente trabajo.

Figura 8. **Módulo Terrain Data de la herramienta de simulación**

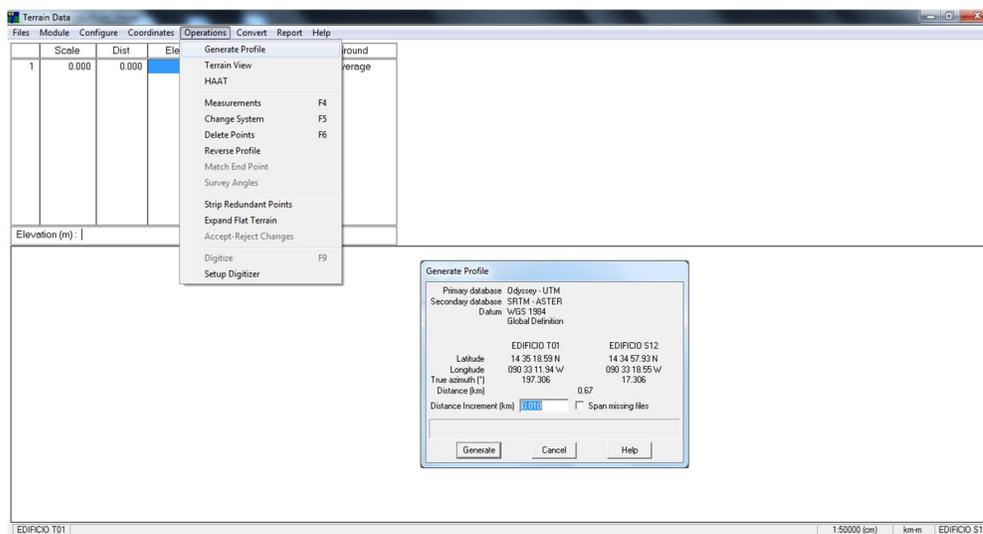


Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Terrain Data* de la herramienta de simulación.

En el módulo de *Terrain Data* se debe hacer click en el botón *Operations* y luego en *Generate Profile* como se muestra en la Figura 8. Se desplegará una ventana en la que se puede ajustar la resolución del perfil. El campo *Distance Increment (km)* define cada cuanto se tomará una muestra de la altura del terreno

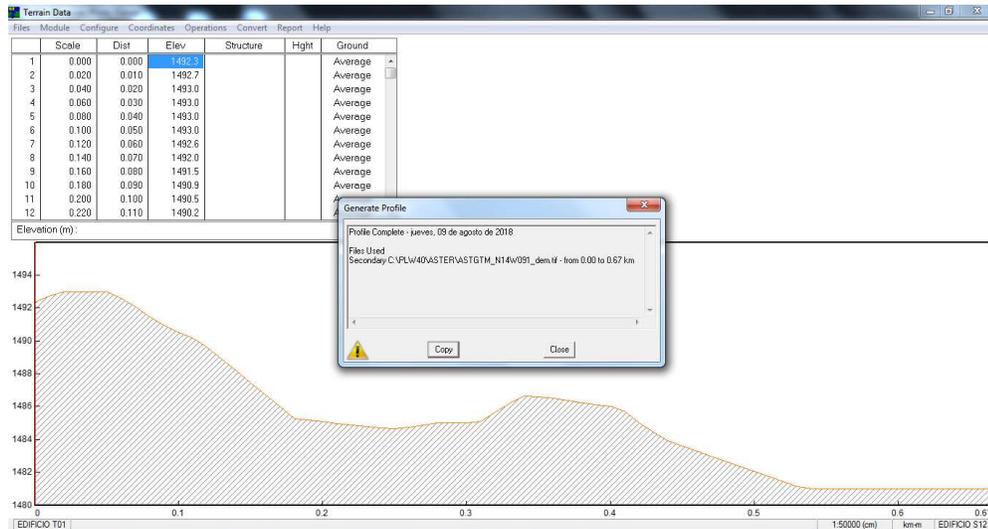
para generar el perfil, para el presente caso este parámetro está ajustado a 10 m, sin embargo, se puede cambiar de acuerdo con las preferencias del usuario, se debe tomar en cuenta que mientras más grande sea la resolución mayor será el tiempo que tarde la herramienta en generar el perfil. Luego de haber determinado el incremento de distancia se debe hacer click en el botón *Generate* para iniciar la generación del perfil. Al finalizar se mostrará el perfil y una ventana en la que se muestra el o los archivos de terreno utilizados para generar dicho perfil como se muestra en la figura 10.

Figura 9. **Generación de perfil con la herramienta de simulación**



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Terrain Data* de la herramienta de simulación.

Figura 10. Perfil generado con la herramienta de simulación



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Terrain Data* de la herramienta de simulación.

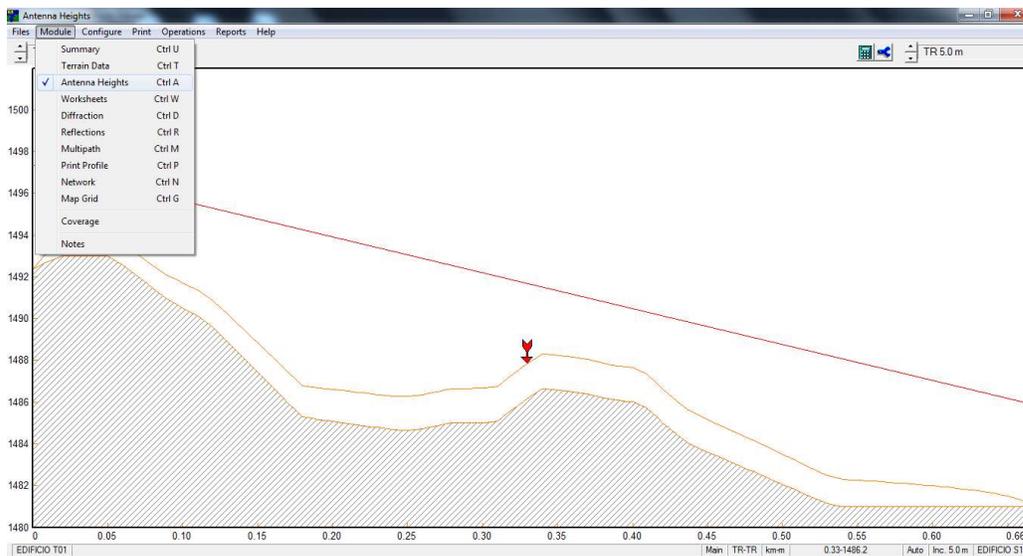
Se debe tomar en cuenta que mientras mayor sea la distancia entre ambos extremos del enlace, menor precisión se requiere para la generación del perfil, por lo que para enlaces largos se puede definir un *distance increment* más grande sin que se pierda información geográfica que sea relevante.

### 2.3. Definición de altura de antenas

La altura de las antenas estará determinada por la infraestructura de cada estación, en el campo los escenarios pueden ser muy variados, se puede encontrar desde torres de 72 m hasta *rooftops* de 5 m de altura. Desde que se hace el primer estudio de factibilidad para implementar una radio base en un sitio se debe definir el tipo de estructura sobre la que se instalará las antenas. En el caso de los *rooftops* normalmente se instala un mástil de entre 1 a 3 m de altura con sus respectivos aterrizajes. Para configurar la altura de las antenas se debe

hacer click en el botón *Module* y luego en el botón *Antenna Heights* como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Ingreso a módulo de configuración de antenas



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Antenna Heights* de la herramienta de simulación.

### 2.3.1. Ingreso de alturas

Para ingresar la información de las alturas de las antenas se debe hacer click en el botón *Configure* y luego en la opción *Antenna Heights* como lo muestra la figura 12.

Figura 12. Ingreso a la configuración de altura de antenas



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Antenna Heights* de la herramienta de simulación.

Aparecerá una ventana como la de la figura 13.

Figura 13. Configuración de altura de antenas

Set Microwave Antenna Heights		
OK Cancel Help		
	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
TR.Antenna Height (m)	13.00	13.00
Tower Height (m)		
Minimum Antenna Height (m)	5.00	5.00
True azimuth (°)	197.31	17.31
EDIFICIO S12 TR.Antenna Height (m):		

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Antenna Heights* de la herramienta de simulación.

*TR Antenna Height (m)*: es el parámetro más importante de esta ventana, en este campo se ingresa la altura que utilizará la herramienta de simulación para realizar el cálculo del enlace.

*Tower Height (m)*: acá se ingresa la altura máxima de la estructura sobre la que se instalará el equipo, solamente servirá como referencia para el diseñador del enlace, el parámetro *TR Antenna Height* debe ser igual o menor que el parámetro *Tower Height* para evitar que la herramienta de simulación indique un error.

*Minimum Antenna Height (m)*: es la altura mínima que se le puede colocar al parámetro *TR Antenna Height* para evitar que la herramienta de simulación despliegue un error.

*True Azimuth (°)*: este parámetro no es editable e indica la orientación de la antena en grados medida a partir del Norte y en dirección de las agujas del reloj.

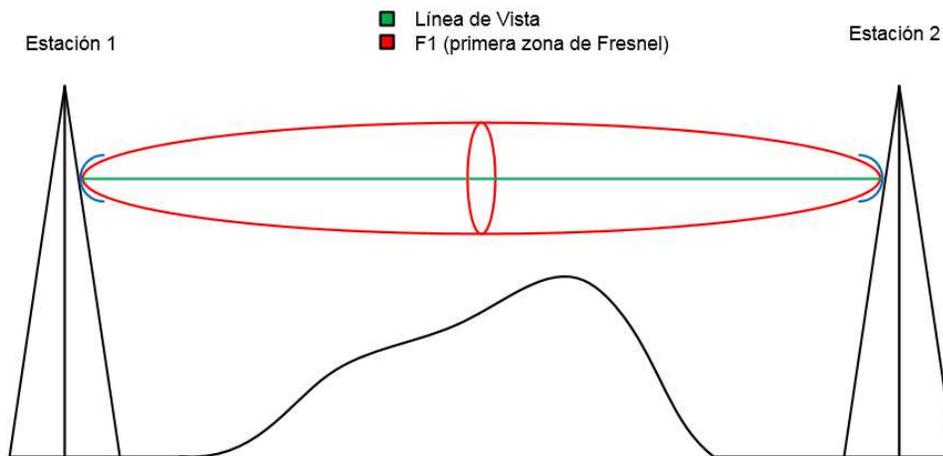
Para el cálculo de este enlace se sabe que cada uno de los edificios mide aproximadamente 9 m y se asume que se colocará un mástil de 4 m en cada uno para instalar las antenas. Es importante resaltar que la altura se mide desde el suelo hasta el foco de la antena.

### **2.3.1.1. Libramiento**

Es importante que además de tener libre la LOS haya cierta altura libre de obstáculos de tal manera que la primera zona de Fresnel también quede libre. La primera zona de Fresnel es aquella que comprende un elipsoide dentro del cual las ondas secundarias no alcanzan más de 180° de desfase en relación con la onda principal, la que tiene trayectoria directa. En la figura 14 se muestra un

diagrama en el que se puede observar la trayectoria directa y la que tendría la onda que se encuentra justo en la primera zona de Fresnel.

Figura 14. **Primera zona de Fresnel**

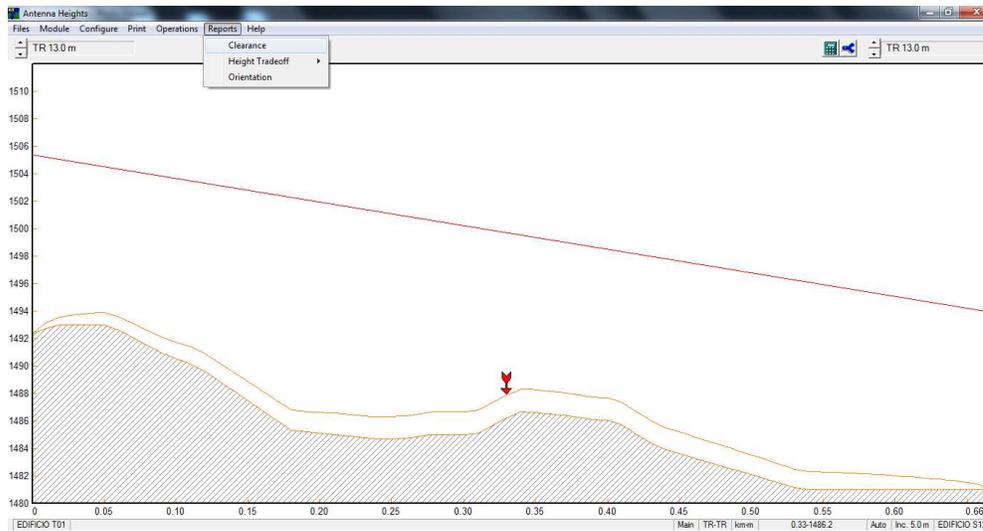


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2013.

La herramienta de simulación permite desplegar un reporte del libramiento del enlace que se está diseñando. El reporte mide la distancia entre la línea de vista y el obstáculo, además se puede establecer un umbral para que solo muestre aquellos obstáculos que estén dentro del mismo. Para obtener el reporte del libramiento se debe hacer click en el botón *Reports*, luego en *Clearance* como se muestra en la figura 15, se mostrará una ventana como la de la Figura 16 en donde se puede ingresar el valor umbral de tolerancia de libramiento; para el caso del presente enlace se establece un libramiento mínimo de 11 m que es suficiente para considerar que la primera zona de Fresnel quedará libre, cualquier obstáculo que impida que haya por lo menos 11 m de libramiento se mostrará en el reporte y se le debe poner mucha atención ya que un obstáculo muy alto podría provocar

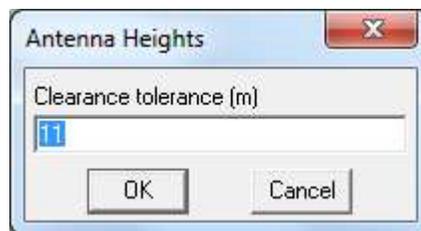
reflexión de ondas indeseadas que a su vez pueden provocar errores en la transmisión.

Figura 15. **Generación de reporte de libramiento**



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Antenna Heights* de la herramienta de simulación.

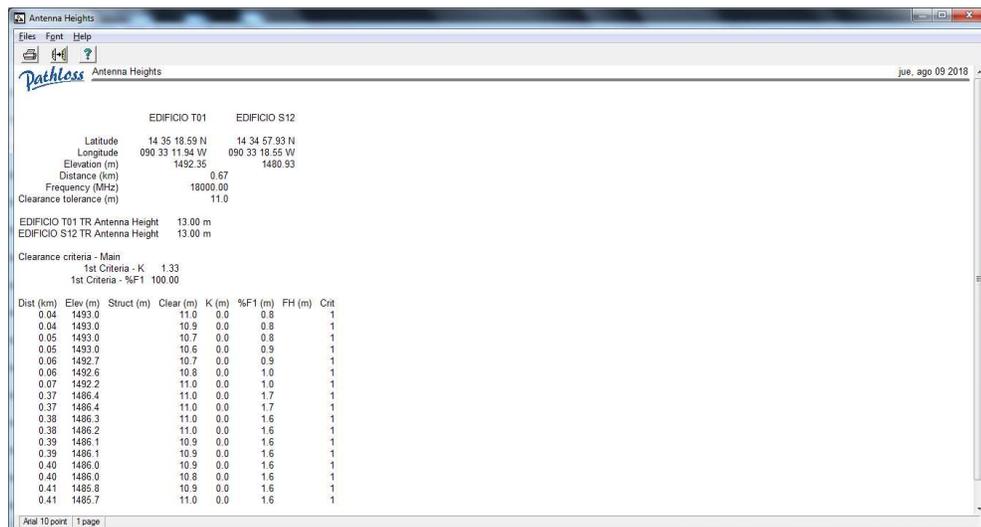
Figura 16. **Definición del umbral de libramiento**



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Antenna Heights* de la herramienta de simulación.

En la figura 17 se muestra el resultado del reporte de libramiento del cual podemos interpretar que hay 17 elevaciones en todo el trayecto que impiden que haya un libramiento de 11 m. se indica la distancia a la cual se encuentra cada obstáculo, el libramiento total que permite, además, indica K, el factor de curvatura de la tierra utilizado, y el porcentaje de libramiento de la primera zona de Fresnel.

Figura 17. Reporte de libramiento

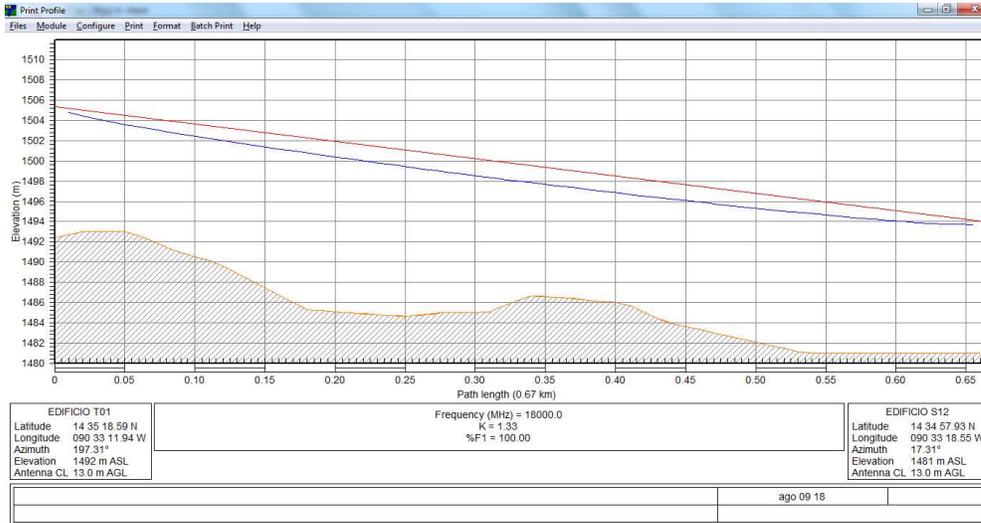


Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Antenna Heights* de la herramienta de simulación.

## 2.4. Impresión del perfil

Dando click en el botón *Module* y luego en *Print Profile* se podrá observar a detalle el perfil del terreno, se muestra en azul la primera zona de Fresnel.

Figura 18. Perfil de elevación del enlace

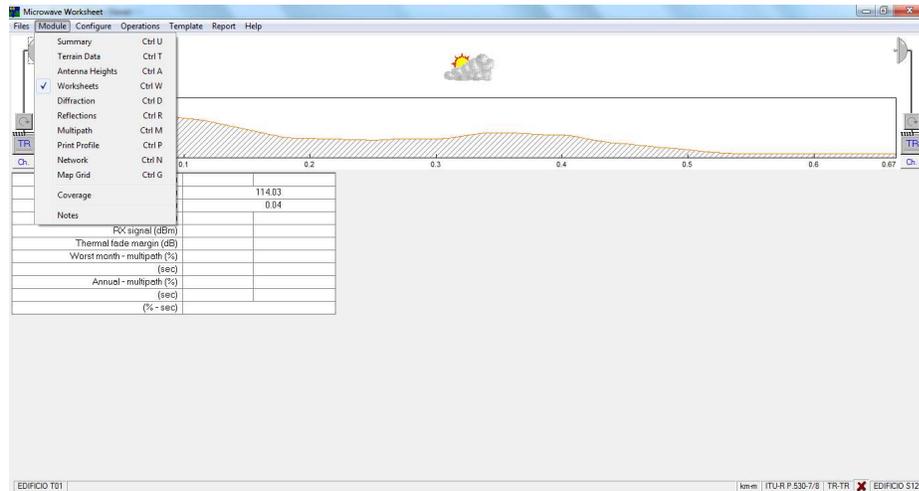


Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Print Profile* de la herramienta de simulación.

## 2.5. Configuración del enlace

Al dar click en el botón *Module* y luego en *Worksheets* se mostrará el módulo que le permitirá finalizar con la configuración del enlace. Este módulo permite agregar los datos de la información climática de la región en la que se instalará el enlace, las condiciones geo-climáticas, la polarización de la onda, la frecuencia y sub-banda de operación, el tipo de radio, la modulación de operación, la potencia de transmisión, el modelo de antena y las pérdidas ocasionadas por los conectores y el adaptador híbrido (en el caso de los enlaces 1+1). Al finalizar con el ingreso de los datos mencionados ya se podrá observar los resultados de la simulación y empezar a analizar los mismos para determinar si el enlace cumple con los requerimientos para su correcto funcionamiento.

Figura 19. **Módulo Worksheets**



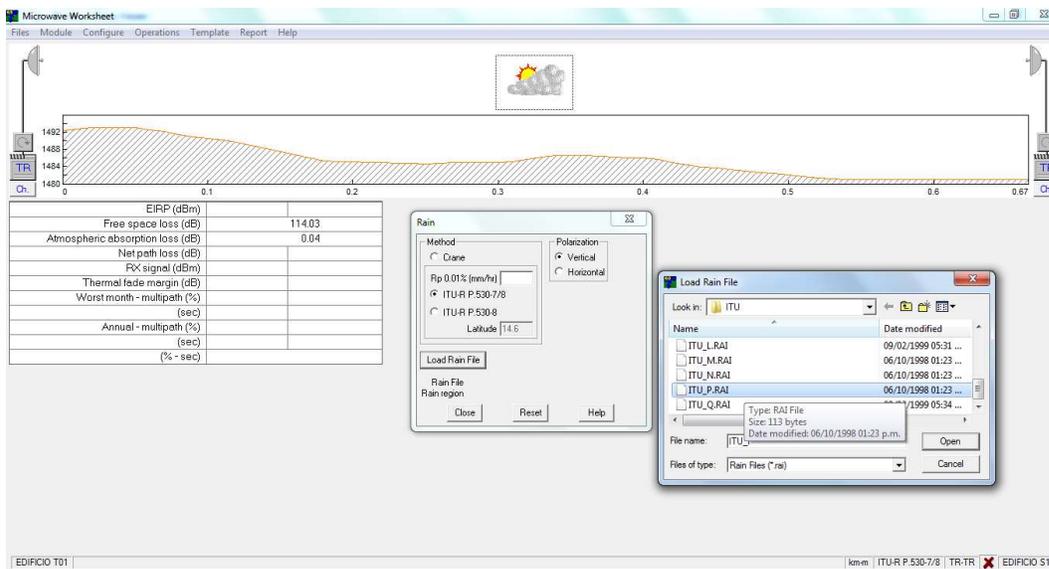
Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

### 2.5.1. Patrón de simulación de lluvia

La herramienta cuenta con un conjunto de archivos que le permiten agregar lluvia a la simulación del enlace, el enlace debe ser diseñado considerando el peor de los escenarios climáticos. Para el caso de la región de Guatemala el patrón que más se asemeja es el contenido en el archivo *itu\_p.rai*. Para agregar este patrón de lluvia a la simulación se debe dar click en la imagen de la nube y el sol ubicada en la parte superior central del módulo *Worksheets*, aparecerá una ventana titulada *Rain*, el algoritmo que se utilizará para la simulación el *ITU-R P.530-7/8* asegúrese que este se encuentre seleccionado en esta misma ventana, luego haga click en el botón *Load Rain File*, aparecerá una nueva ventana titulada *Load Rain File* que le permitirá navegar hasta la carpeta en la que se encuentran almacenados los archivos de lluvia, los cuales se guardan por defecto en la carpeta *C:\PLW40\\_geo\_data\\_rain*, haga click en el botón *Open* de

la ventana *Load Rain File* y luego en el botón *Close* de la ventana *Rain* para cargar el patrón de lluvia al cálculo del enlace.

Figura 20. Carga del patrón de lluvia



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

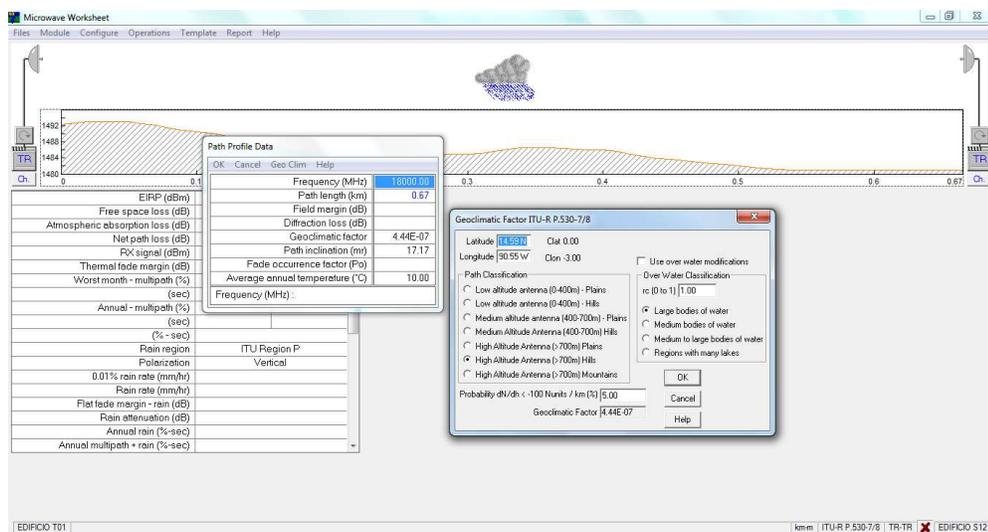
El ícono de la nube y el sol debió cambiar indicándole que se ha cambiado la configuración por defecto de la información de lluvia de la región.

### 2.5.2. Factor geo climático

El factor geo climático le brinda a la herramienta de simulación algunos datos que ayudarán a mejorar la precisión del cálculo, datos como la altura sobre el nivel del mar del terreno donde se instalará el enlace; la frecuencia de operación, si no fue ingresada en el módulo *Summary* se puede ingresar acá; la temperatura promedio anual, son utilizados para calcular el factor geo climático.

Para modificar el factor geo climático haga click sobre el cuadro donde se muestra el perfil del terreno, aparecerá una ventana llamada *Path Profile Data*, haga click sobre el botón *Geo Clim*, aparecerá una nueva ventana titulada *Geoclimatic Factor ITU-R P.530-7/8*, en esta ventana seleccione el rango de altura que más se asemeje a la altura del terreno.

Figura 21. Carga del factor geo climático



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

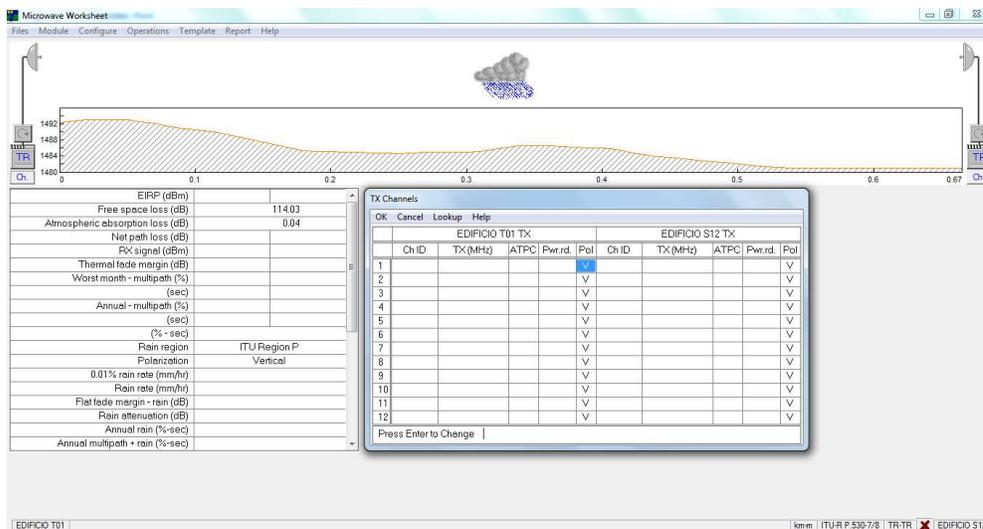
### 2.5.3. Definición de la polarización

En esta etapa del diseño se define la polarización en la que trabajará el enlace. Los enlaces se pueden configurar en polarización vertical u horizontal. La polarización vertical es la más comúnmente utilizada ya que es menos susceptible al ruido aditivo. La polarización de la onda emitida por la antena se define cambiando la posición del radio, en el caso de los enlaces en configuración 1+0, o del híbrido, en el caso de los enlaces en configuración 1+1, en relación

con el acople hacia la antena, es decir, que este parámetro se define de forma física y no por medio de software.

Para cambiar la polarización del enlace durante el diseño debe hacer click sobre el ícono de configuración del canal y luego debe hacer doble click sobre la casilla ubicada en la columna *Pol.* correspondiente al enlace que se está configurando, allí se muestra la letra V para polarización vertical o bien la H para polarización horizontal.

Figura 22. Configuración de polarización de onda



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

#### 2.5.4. Configuración de los canales de operación

Haga click en el botón *Ch.* del módulo *Worksheets*, se desplegará una ventana en la que se puede ingresar el ID del canal de operación, así como la frecuencia de este. En esa ventana también se puede ingresar la polarización en

la que se desea que opere el enlace. El análisis de la frecuencia a utilizar se debe hacer con antelación basado en los siguientes criterios:

#### 2.5.4.1. Distancia del enlace

Cabe destacar que el alcance no está determinado solamente por la frecuencia de operación del enlace y que intervienen factores como el tamaño de las antenas, la potencia máxima de los radios, la modulación, sin embargo, la siguiente tabla tiene como objetivo darle una idea de las distancias aproximadas que se puede cubrir con los rangos de frecuencia que manejas los enlaces por MW:

Tabla IV. **Distancia máxima aproximada según frecuencia de operación**

Frecuencia	Distancia Máxima Aproximada
80 GHz	< 1 km
60 GHz	< 1 km
30 GHz	1 km
23 GHz	1 - 2.5 km
18 GHz	2 - 4 km
15 GHz	3 - 6 km
11 GHz	5 - 8 km
8 GHz	8 - 25 km
7 GHz	> 25 km

Fuente: elaboración propia, empleando *Microsoft Excel 2013*.

#### 2.5.4.2. Uso del espectro

Se debe procurar no instalar más de un enlace por cada sub-banda en un sitio determinado, por lo que a la hora de elegir la frecuencia se debiese usar una que no esté siendo utilizada, sin embargo, en los casos en los que ya se agotó ese criterio se puede re-utilizar la sub-banda intercambiando los canales *TX* por *RX*. También se puede cambiar la polarización del enlace a instalar en relación

al que se encuentra instalado, por ejemplo, si el enlace instalado está funcionando en polarización Vertical, el enlace nuevo podría utilizar la misma sub-banda pero en polarización Horizontal. Influye mucho el ángulo de separación entre la LOS de los enlaces ya que mientras más pequeño sea el ángulo mayor probabilidad de interferencia habrá. Para cada uno de los casos se debe realizar un análisis de interferencia para garantizar que los enlaces no se afecten el uno al otro. La herramienta de simulación permite realizar este análisis mediante la interacción de 2 o más enlaces.

Figura 23. **Configuración de frecuencias de operación**

EDIFICIO T01 TX					EDIFICIO S12 TX					
	Ch ID	TX (MHz)	ATPC	Pwr.rd.	Pol	Ch ID	TX (MHz)	ATPC	Pwr.rd.	Pol
1	P1	17727.7500			V	P1'	18737.2500			V
2					V					V
3					V					V
4					V					V
5					V					V
6					V					V
7					V					V
8					V					V
9					V					V
10					V					V
11					V					V
12					V					V

EDIFICIO T01 TX Frequency (MHz) 1 :

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

Ninguno de los anteriores criterios debe ser tomado como algo definitivo dado que los distintos escenarios pueden traer retos para el ingeniero que diseña un enlace. Habrá casos que lo obliguen a utilizar frecuencias bajas para enlaces relativamente cortos, por ejemplo, aquellos casos en los que la infraestructura de

una de las estaciones limite el tamaño de la antena. Estos casos obligan al diseñador a compensar el tamaño de las antenas con frecuencias más baja con el fin de mantener los niveles de recepción y la disponibilidad que demande el enlace. También se puede presentar escenarios en los que el espectro ya no permita utilizar una frecuencia que se considere óptima para el enlace y se deba utilizar una frecuencia más baja. En la figura 23 se muestra la configuración de frecuencia que utilizará el enlace que es objeto de estudio del presente trabajo de graduación.

### **2.5.5. Selección del equipo de radio**

La herramienta permite cargar las características de distintos equipos de microonda, los archivos correspondientes normalmente son proporcionados por el fabricante. Estos archivos deben estar disponibles para su acceso al momento de diseñar un enlace. Los mismos son de suma importancia para realizar una adecuada simulación ya que aporta los datos de potencia máxima de transmisión, modelo del equipo a utilizar, modulación utilizada, *Channel Spacing*, el umbral para el BER, el umbral de desvanecimiento del enlace, el retraso introducido a la señal, etc. La ubicación por defecto de los archivos de los equipos de radio para el caso de *Pathloss 4* es la siguiente: C:\PLW40\EQUIPMNT, dentro de esta carpeta se puede organizar los archivos por fabricante, por frecuencia, por tipo de equipo, etc., sin embargo, pueden ser almacenados en cualquier ubicación dentro del equipo.

De no contar con los archivos mencionados anteriormente, los datos del equipo se pueden extraer de la hoja de datos del fabricante e ingresarlos manualmente, los resultados no deben variar.

Para agregar las características de un equipo de radio vaya a la pantalla principal del módulo *Worksheets* y haga click en el botón *TR*, se abrirá la ventana mostrada en la figura 24. Haga click en el botón *Code Index*, luego en el botón *New Index* y navegue hasta la carpeta en la que están ubicados los archivos de los equipos de radio correspondientes a la frecuencia, modelo, esquema de modulación y *Channel Spacing* seleccionados de acuerdo con los criterios brindados en la sección 2.5.4 y haga doble click sobre dicha carpeta, se agregará un listado de opciones como se muestra en la figura 25.

Figura 24. **Configuración del equipo de radio**

	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Radio model		
Traffic code		
Emission designator		
Code		
TX power (watts)		
TX power (dBm)		
RX threshold criteria		
RX threshold level (dBm)		
Maximum receive signal (dBm)		
RX Threshold BER 10-6 (dBm)		
T to I Cochannel (dB)		
Signature delay (ns)		
Signature width (MHz)		
Signature depth min phase (dB)		
Signature depth nonmin phase (dB)		

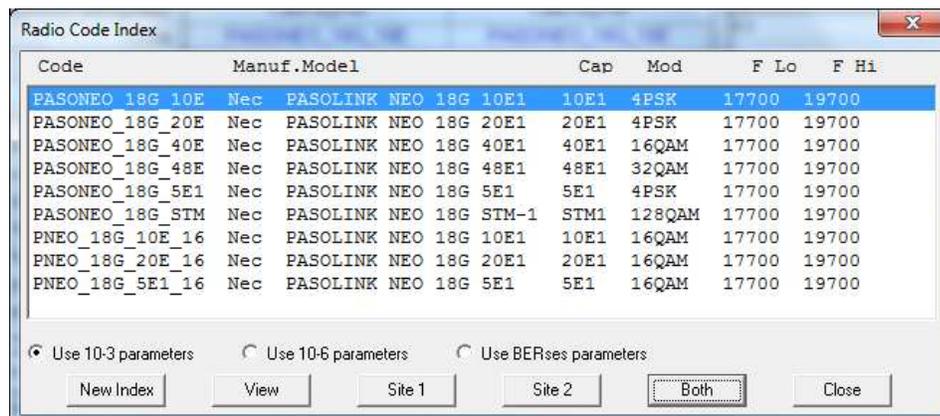
EDIFICIO T01 Radio model :

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

Para el caso del equipo estudiado debe elegir un equipo que opere a 18 GHz, modulación 4PSK y *Channel Spacing* de 7 MHz. Estas características se muestran ordenadas en forma de columnas en la ventana *Radio Code Index*, debe asegurarse que la frecuencia a utilizar se encuentre dentro del rango de

operación del equipo a seleccionar. Haga click sobre el equipo, este se mostrará en azul. Luego haga click en el botón *Both* para agregar un radio con estas características a cada una de las estaciones de trabajo involucradas.

Figura 25. Selección del equipo de radio



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

A continuación, haga click en el botón *Close* de la misma ventana y aparecerá una ventana como la de la figura 26 en la que se muestra con detalle la información del radio seleccionado.

Figura 26. Ajustes del equipo de radio

	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Radio model	PASOLINK NEO 18G 10E1	PASOLINK NEO 18G 10E1
Traffic code	10E1-4PSK	10E1-4PSK
Emission designator	13M75G7W	13M75G7W
Code	PASONEO_18G_10E	PASONEO_18G_10E
TX power (watts)	0.25	0.25
TX power (dBm)	24.00	24.00
RX threshold criteria	BER10-3	BER10-3
RX threshold level (dBm)	-88.00	-88.00
Maximum receive signal (dBm)		
RX Threshold BER 10-6 (dBm)	-86.50	-86.50
T to I Cochannel (dB)	15.00	15.00
Signature delay (ns)	6.30	6.30
Signature width (MHz)	12.00	12.00
Signature depth min phase (dB)	37.00	37.00
Signature depth nonmin phase (dB)	34.00	34.00

EDIFICIO T01 Radio model:

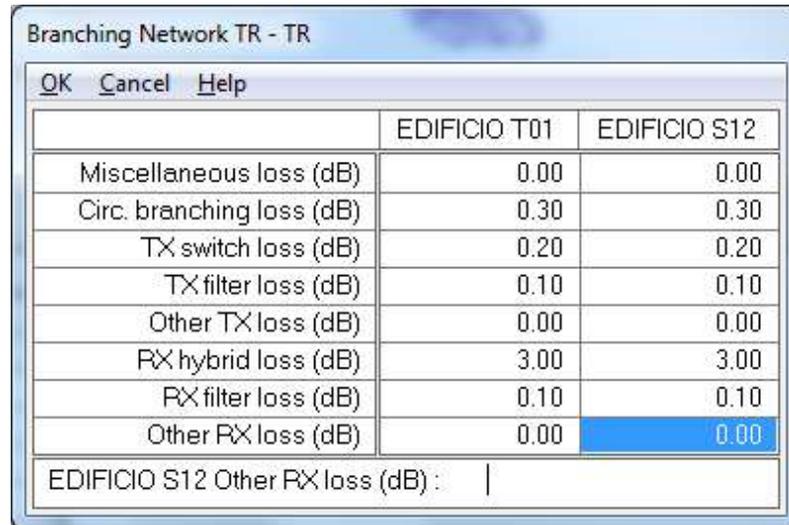
Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

Para finalizar la configuración del equipo de radio haga click en el botón *OK* de la ventana mostrada en la figura anterior.

### 2.5.6. Introducción de pérdidas por derivación

En este menú se introduce las pérdidas provocadas por el híbrido, divisor de potencia o acoplador que, como ya se mencionó en la sección 1.4.2.2, introduce una pérdida de entre 3 y 6 dB para el caso de los enlaces 1+1 o 2+0. También se debe agregar las pérdidas producidas por los filtros, *switches*, los acoples, guías de onda y uniones. Los valores de estas pérdidas se obtienen de las hojas de datos de los fabricantes o bien por mediciones realizadas en el campo. Para agregar las perdidas haga click en el ícono ubicado justo arriba del ícono del radio en el módulo *Worksheets*, aparecerá la ventana mostrada en la figura 27. Agregue los datos que se muestran a continuación:

Figura 27. Pérdidas por derivación



	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Miscellaneous loss (dB)	0.00	0.00
Circ. branching loss (dB)	0.30	0.30
TX switch loss (dB)	0.20	0.20
TX filter loss (dB)	0.10	0.10
Other TX loss (dB)	0.00	0.00
RX hybrid loss (dB)	3.00	3.00
RX filter loss (dB)	0.10	0.10
Other RX loss (dB)	0.00	0.00

EDIFICIO S12 Other RX loss (dB) : |

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

La pérdida total es la sumatoria de todos los valores introducidos.

### 2.5.7. Introducción de pérdidas por líneas de transmisión

Los conectores y el cable agregan pérdidas al enlace que deben ser considerados durante el diseño. El cable coaxial calibre RG8, utilizado en este enlace, agrega una pérdida de 0,005 dB/m por lo que considere que se agregará 0,1 dB de pérdida dado que se está utilizando 20 m de cable. Se considera que el conector agrega 1,5 dB de pérdida. En el módulo *Worksheets* haga click sobre el símbolo de la línea de transmisión, aparecerá la ventana mostrada en la figura 28 en la cual debe introducir los valores mencionados anteriormente en este párrafo.

Figura 28. Pérdidas por líneas de transmisión

	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
TX line type	RG-8	RG-8
TX line length (m)	20.00	20.00
TX line unit loss (dB/100 m)	0.50	0.50
TX line loss (dB)	0.10	0.10
Connector loss (dB)	1.40	1.40

EDIFICIO T01 TX line unit loss (dB/100 m): |

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

### 2.5.8. Selección de antenas

Las antenas utilizadas en este tipo de aplicación tienen la función de concentrar la mayor cantidad de potencia en una sola dirección ya que con esto se consigue mejorar el alcance del enlace, a diferencia, por ejemplo, de las antenas de cobertura que buscan radiar la potencia en un sector circular lo más amplio posible para cubrir un área amplia. Dicho de otra manera, las antenas para enlaces microondas deben ser de alta ganancia y directividad.

Al igual que con el equipo de radio, la aplicación permite ingresar las características de las antenas tanto de manera manual como por medio de archivos proporcionados por el fabricante, se debe guardar estos archivos en una ubicación conocida dentro del equipo utilizado para facilitar el acceso a los mismos. La ubicación por defecto que utiliza la herramienta de simulación para guardar los archivos de antenas es la misma que utiliza para los equipos de radio. Dentro de esta carpeta el usuario elige de qué forma ordenar los archivos.

Para agregar antenas a la simulación haga click sobre el símbolo de la antena en el módulo *Worksheets*, aparecerá una ventana como la de la figura 29, en dicha ventana haga click sobre el botón *Code Index*, si el modelo de antena que desea colocar en la simulación aparece en el listado de la ventana que se abre, seleccione dicho modelo, de lo contrario haga click en el botón *New Index* y navegue hasta la carpeta en la que se encuentran los archivos correspondientes al modelo de antena deseado.

Figura 29. **Ventana inicial de configuración de antenas**

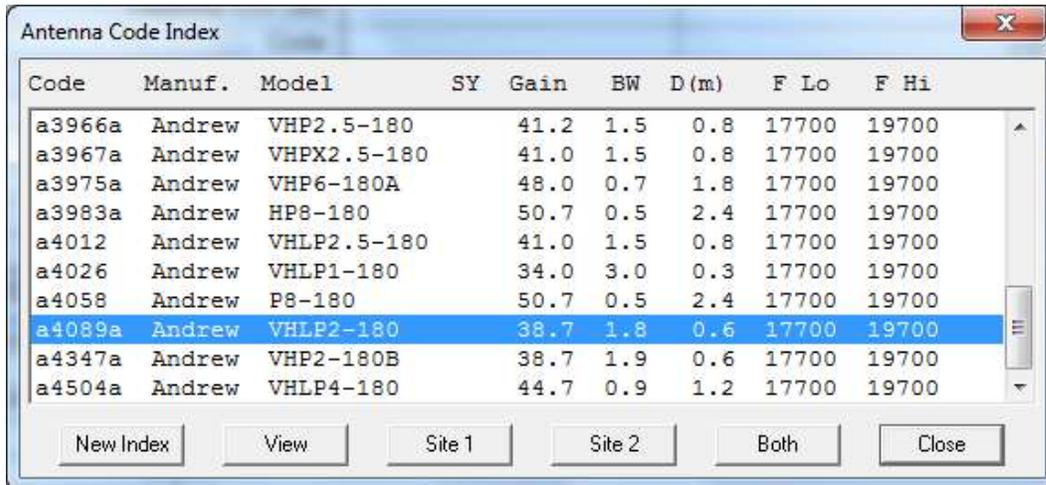
	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Antenna model		
Antenna diameter (m)		
Antenna height (m)	13.00	13.00
Antenna gain (dBi)		
Radome loss (dB)		
Code		
Antenna 3 dB beamwidth (°)		
True azimuth (°)	197.31	17.31
Vertical angle (°)	-0.99	0.98
Antenna Azimuth (°)		
Antenna Downtilt (±°)		
Orientation Loss (dB)		

EDIFICIO T01 Antenna model :

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

Una vez haya resaltado el modelo de antena deseado haga click en el botón *Site 1* o *Site 2* de acuerdo con la estación en la que desea colocar la antena o bien en el botón *Both* para colocar el mismo modelo de antena en ambas estaciones. Haga click en el botón *Close* para terminar de agregar las antenas.

Figura 30. Selección de antenas



The screenshot shows a window titled "Antenna Code Index" with a table of antenna specifications. The table has columns for Code, Manuf., Model, SY, Gain, BW, D(m), F Lo, and F Hi. The row for model "VHLP2-180" (code a4089a) is highlighted in blue. Below the table are buttons for "New Index", "View", "Site 1", "Site 2", "Both", and "Close".

Code	Manuf.	Model	SY	Gain	BW	D(m)	F Lo	F Hi
a3966a	Andrew	VHP2.5-180		41.2	1.5	0.8	17700	19700
a3967a	Andrew	VHPX2.5-180		41.0	1.5	0.8	17700	19700
a3975a	Andrew	VHP6-180A		48.0	0.7	1.8	17700	19700
a3983a	Andrew	HP8-180		50.7	0.5	2.4	17700	19700
a4012	Andrew	VHLP2.5-180		41.0	1.5	0.8	17700	19700
a4026	Andrew	VHLP1-180		34.0	3.0	0.3	17700	19700
a4058	Andrew	P8-180		50.7	0.5	2.4	17700	19700
a4089a	Andrew	VHLP2-180		38.7	1.8	0.6	17700	19700
a4347a	Andrew	VHP2-180B		38.7	1.9	0.6	17700	19700
a4504a	Andrew	VHLP4-180		44.7	0.9	1.2	17700	19700

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

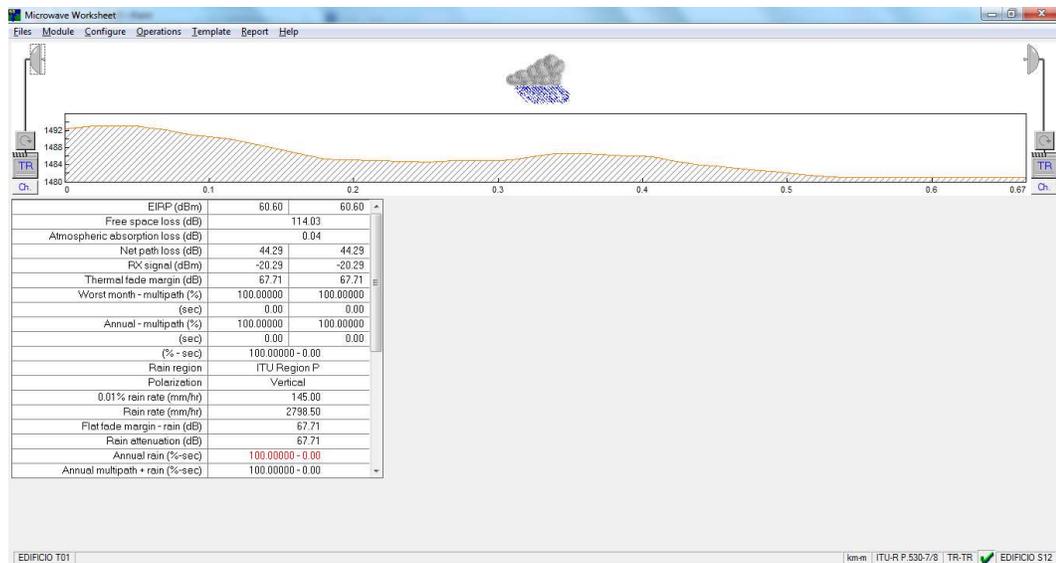
Para culminar con la configuración del enlace se debe agregar el *azimuth* real de la antena, el cual introduce una pérdida por orientación al diseño. Esta pérdida es debido a que, en el campo, el técnico a cargo de la instalación debe hacer coincidir físicamente el lóbulo principal de cada antena con el de su contraparte, a este proceso se le conoce como *alineación del enlace*. Debido a que las antenas no son ideales, el lóbulo principal no siempre está justo en el centro de la antena por lo que la alineación se debe realizar utilizando una brújula para orientar la antena hacia el *azimuth* indicado en el reporte del diseño del enlace y un multímetro conectado a la salida de prueba de la *ODU* para medir el voltaje de recepción, con la introducción de esta pérdida se busca compensar la incerteza que pueda introducir la construcción de la antena y el posible error en la lectura de la brújula por parte del técnico.

Figura 31. Ventana final de configuración de antenas

Antennas TR - TR		
OK Cancel Lookup Code Index View Help		
	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Antenna model	VHLP2-18-NC3	VHLP2-18-NC3
Antenna diameter (m)	0.61	0.61
Antenna height (m)	13.00	13.00
Antenna gain (dBi)	38.70	38.70
Radome loss (dB)		
Code	A4089A	A4089A
Antenna 3 dB beamwidth (°)	1.80	1.80
True azimuth (°)	197.31	17.31
Vertical angle (°)	-0.99	0.98
Antenna Azimuth (°)	197.00	17.00
Antenna Downtilt (±°)		
Orientation Loss (dB)	0.31	0.31
EDIFICIO T01 Antenna model :		

Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

Figura 32. Resultados de la simulación



Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Worksheets* de la herramienta de simulación.

En la figura 32 se observa los resultados de la simulación.

## **2.6. Análisis de los resultados**

Tras concluir con la configuración usted debe evaluar si los resultados que arroja la simulación satisfacen las necesidades de la aplicación. Por ejemplo, las antenas tienen, según el fabricante y el modelo, una sensibilidad de entre -30 dB y -31 dB, por lo que la señal de recepción debe estar por debajo de ese valor para evitar saturación y ruido en la señal recibida, se debe considerar también que estos niveles no estén por abajo de los niveles considerados críticos y que una recepción deficiente pueda poner en riesgo la disponibilidad del enlace. Un enlace por microonda puede operar de manera óptima mientras sus niveles de recepción se mantengan entre los -32 y -42 dB.

### **2.6.1. Disponibilidad**

La disponibilidad es otro factor que se debe considerar, esta se refiere al porcentaje del tiempo anual que el enlace estará en servicio. Normalmente para este tipo de enlaces se debe obtener una disponibilidad mínima de 99,995 %, lo cual significa que el enlace podría estar como máximo 26,28 minutos fuera de servicio durante un año calendario. En algunos casos este dato se incluye en el contrato y de no cumplir con dicha disponibilidad, el proveedor puede ser penalizado por el cliente. Cuando se obtiene una disponibilidad menor a la requerida, esta se puede aumentar mediante el incremento de la potencia de transmisión, el aumento del diámetro de las antenas, la disminución del esquema de modulación, o bien la reducción de la frecuencia de portadora.

### **2.6.2. Compensación de la señal recibida**

Como se mencionó al principio de la sección 2.6 se debe mantener los niveles de la señal de recepción en el rango de los -32 y los -42 dB, sin embargo, cuando se carga la información de un equipo de radio a la simulación esta se carga, por defecto, puesta a su potencia máxima de transmisión, este valor se puede modificar haciendo doble click en el campo que aparece como: *TX power (dBm)*, e introduciendo valores a conveniencia entre 0 y el valor máximo de potencia de transmisión del equipo hasta alcanzar un nivel de recepción en su contraparte que se encuentre dentro del rango antes mencionado.

### **2.7. Reporte de la simulación**

Este reporte consiste en una tabla en la que se resume la información acerca del enlace como los nombres y coordenadas de los sitios, la orientación y la altura de las antenas, frecuencias utilizadas, disponibilidad, modelo del radio y las antenas, BER y todos los datos necesarios para que tanto un ingeniero puede certificar un enlace como para que un técnico pueda configurarlo en campo. A continuación, se presenta dicha tabla.

Figura 33. Reporte de simulación

	EDIFICIO T01	EDIFICIO S12
Elevation (m)	1492.35	1480.93
Latitude	14 35 18.59 N	14 34 57.93 N
Longitude	090 33 11.94 W	090 33 18.55 W
True azimuth (°)	197.31	17.31
Vertical angle (°)	-0.99	0.98
Antenna model	VHLP2-18-NC3	VHLP2-18-NC3
Antenna height (m)	13.00	13.00
Antenna gain (dBi)	38.70	38.70
Antenna Azimuth (°)	197.00	17.00
Orientation Loss (dB)	0.31	0.31
TX line type	RG-8	RG-8
TX line length (m)	20.00	20.00
TX line unit loss (dB /100 m)	0.50	0.50
TX line loss (dB)	0.10	0.10
Connector loss (dB)	1.40	1.40
Miscellaneous loss (dB)	0.00	0.00
Circ. branching loss (dB)	0.30	0.30
TX switch loss (dB)	0.20	0.20
TX filter loss (dB)	0.10	0.10
Other TX loss (dB)	0.00	0.00
RX hybrid loss (dB)	3.00	3.00
RX filter loss (dB)	0.10	0.10
Other RX loss (dB)	0.00	0.00
Frequency (MHz)	18000.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	0.67	
Free space loss (dB)	114.03	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.04	
Net path loss (dB)	44.29	44.29
Radio model	PASOLINK NEO 18G 10E1	PASOLINK NEO 18G 10E1
TX power (watts)	0.02	0.02
TX power (dBm)	12.00	12.00
EIRP (dBm)	48.60	48.60
Emission designator	13M75G7W	13M75G7W
TX Channels	P1 17727.7500V	P1' 18737.2500V
RX threshold criteria	BER 10-3	BER 10-3
RX threshold level (dBm)	-88.00	-88.00
RX signal (dBm)	-32.29	-32.29
Thermal fade margin (dB)	55.71	55.71
Geoclimatic factor	2.50E-07	
Path inclination (mr)	17.17	
Fade occurrence factor (Po)	1.30E-10	
Average annual temperature (°C)	10.00	
Worst month - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	9.36e-10	9.36e-10
Annual - multipath (%)	100.00000	100.00000
(sec)	2.81e-09	2.81e-09
(% - sec)	100.00000 - 0.00	
Rain region	ITU Region P	
0.01% rain rate (mm/hr)	145.00	
Flat fade margin - rain (dB)	55.71	
Rain rate (mm/hr)	1499.25	
Rain attenuation (dB)	55.71	
Annual rain (%-sec)	100.00000 - 0.00	
Annual multipath + rain (%-sec)	100.00000 - 0.00	

vie, ago 10 2018

Reliability Method - ITU-R P.530-7/8  
Rain - ITU-R P530-7

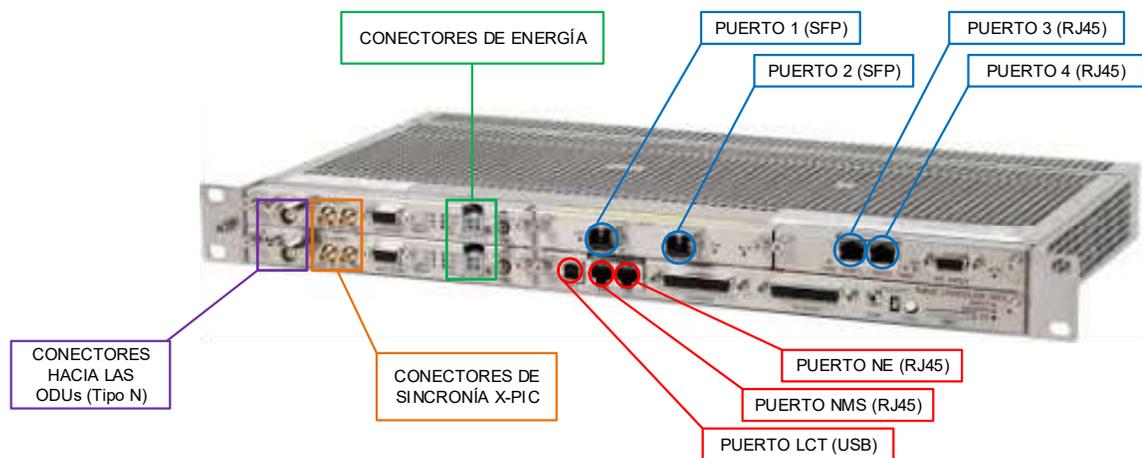
Fuente: elaboración propia, Captura del módulo *Report* de la herramienta de simulación.

### 3. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Para llevar a cabo las siguientes prácticas se necesita tener a mano los siguientes equipos y materiales:

- 1 computadora con puerto USB y Puerto Ethernet.
- 3 cables Ethernet con conectores RJ45.
- Enlace MW NEC Pasolink NEO HP configurado, encendido y alineado.
- 1 equipo o aplicación para generar tráfico ethernet.
- 1 equipo o aplicación de medición de tráfico ethernet.
- 2 balun.

Figura 34. Conexiones en el panel frontal de equipo



Fuente: NEC CORPORATION. PASOLINK NEO High Performance. p. 1.

Se hará cambios sobre la configuración del enlace con el objetivo de comprobar el desempeño de este en sus diferentes configuraciones. Para realizar los cambios se debe acceder al equipo por medio de la aplicación creada por el fabricante para tal efecto. Esta aplicación lleva por nombre PNMTj y tanto la aplicación como los drivers USB deben estar instalados en la computadora que utilizará para realizar las prácticas, a continuación, se describen los distintos métodos de conexión.

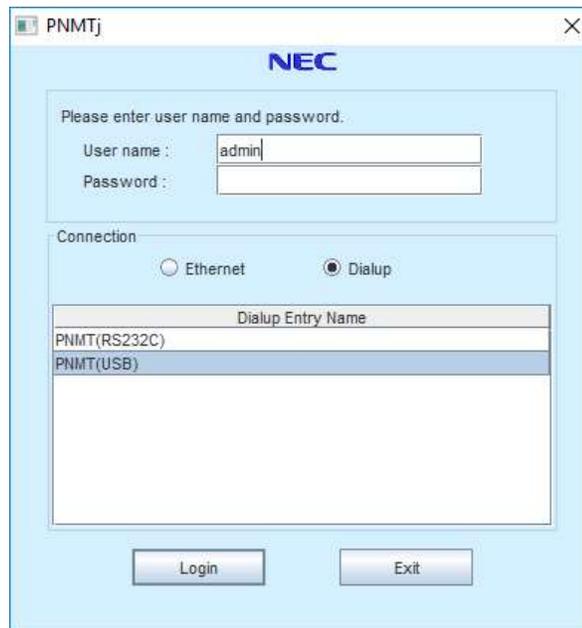
### **3.1. Métodos de conexión al equipo.**

Para realizar consultas sobre la configuración o efectuar cambios a la misma en el equipo es indispensable establecer una conexión física entre una computadora que tenga instalada la interfaz de usuario y el NEC PASOLINK NEO HP. Esto es posible de dos formas las cuales son explicadas a continuación.

#### **3.1.1. Conexión vía puerto LCT**

El puerto LCT es un puerto con conector USB localizado en el panel frontal. Para acceder al equipo por medio de este puerto conecte el extremo tipo A de un cable USB estándar a la computadora y el extremo tipo B al puerto LCT. Inicie la aplicación PNMTj, haga click en la opción *Dialup* y luego en la opción PNMT(USB), en el campo *User Name* introduzca el usuario *admin*, deje el campo *Password* en blanco y finalmente haga click en el botón *Login*.

Figura 35. **Conexión por medio del puerto LCT**



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

### 3.1.2. **Conexión vía puerto NMS/NE**

Conecte un cable RJ45 recto desde el puerto ethernet de la computadora hacia el puerto NMS o bien el puerto NE, inicie la aplicación PNMTj y seleccione la opción *Ethernet* como modo de conexión, haga click en la opción *PNMT(LAN/Direct)*, la dirección IP por defecto del equipo es 172.17.254.253. Introduzca el mismo usuario y clave indicados en la sección 3.1.1 y finalmente haga click en el botón Login para acceder a la configuración del equipo.

Figura 36. **Conexión por medio de puerto ethernet**

The screenshot shows a window titled "PNMTj" with the NEC logo. It contains a login section with fields for "User name" (containing "admin") and "Password". Below this is a "Connection" section with radio buttons for "Ethernet" (selected) and "Dialup". A table lists network elements with their IP addresses.

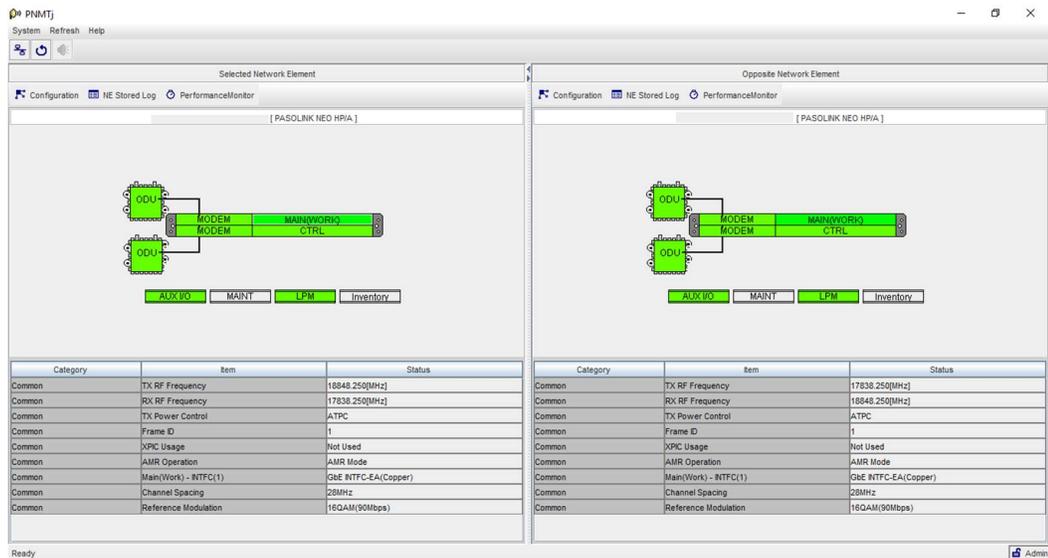
Network Element Name	IP Address
PNMT(LAN/Direct)	172.17.254.253

At the bottom of the window are "Login" and "Exit" buttons.

Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Cabe resaltar que el puerto ethernet de la computadora debe estar en modo de asignación automática de dirección IP para poder realizar la conexión. Al finalizar los pasos anteriores sin importar el método utilizado se mostrará un menú como el de la figura 37.

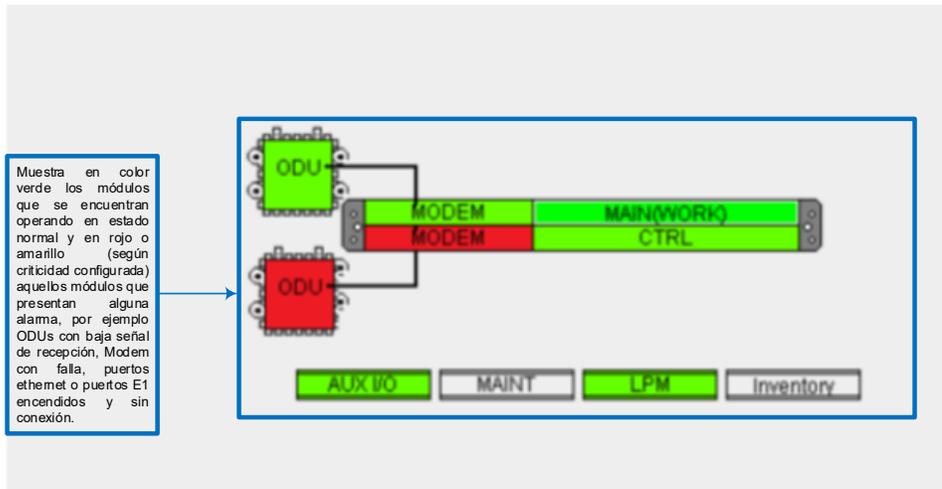
Figura 37. Pantalla de inicio PNMTj



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

La pantalla de inicio de la aplicación muestra la información básica del estado de operación del equipo, así como los botones que permiten hacer cambios en la configuración, se encuentra dividida a la mitad dado que muestra los extremos local y remoto del enlace, en el caso que haya comunicación entre ambos. La figura 38 y la tabla V explican a grandes rasgos la pantalla antes mencionada.

Figura 38. Módulos alarmados PNMTj



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Tabla V. Información mostrada en pantalla de inicio de PNMTj

Item	Descripción
TX RF Frequency	Frecuencia configurada para el canal de Transmisión.
RX RF Frequency	Frecuencia configurada para el canal de Recepción.
TX Power Control	Modo de control de potencia de transmisión: automático (ATPC) o manual (MTPC).
Frame ID	Identificador de trama: sirve para diferenciar las tramas de cada enlace.
XPIC Usage	Estado de la configuración XPIC
AMR Operation	Estado de la configuración de Tasa de modulación automática: modo AMR o modo Modulación Fija.
Main(Work) - INTFC (1)	Muestra el tipo de interfaz configurada para los puertos 1 y 2 cobre u óptica.
Channel Spacing	Ancho de banda configurado para el enlace: 7, 14, 24 o 56 MHz.
Reference Modulation	Muestra la modulación utilizada en modo fijo y la modulación de referencia en el modo AMR.

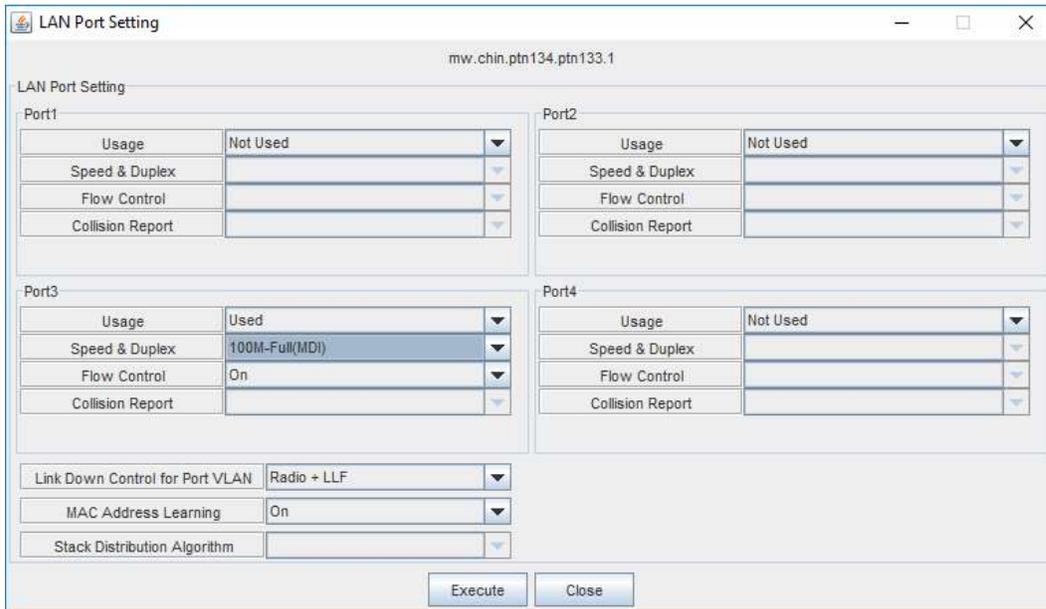
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

### 3.2. Transmisión en capa 1, *VLAN Mode: Disable*

Esta es la configuración más básica ya que en este modo simplemente se retransmiten las tramas tal cual son recibidas en cada puerto hacia el extremo contrario, sin darle ningún tipo de tratamiento a los datos. La ventaja que esto representa es que la configuración es mínima, sin embargo, esto provoca demasiadas colisiones en los puertos y también aumenta la cantidad de errores.

Paso 1: habilite el puerto ethernet 3 en cada extremo del enlace. Para tal efecto haga click en el botón *Configuration* ubicado en la esquina superior izquierda de cada división de la pantalla y luego en la opción *Provisioning*, en la columna *Item* busque la opción *LAN Port3 Usage* y haga click sobre ella, aparecerá la ventana llamada *LAN Port Setting* mostrada en la figura 39, en la casilla *Port3* coloque la configuración mostrada en la figura antes mencionada y finalmente haga click en *Execute* para aplicar la configuración deseada. Repita este procedimiento en el extremo contrario del enlace. Para realizar esta configuración no importa el extremo del enlace que se configure primero, sin embargo, en futuras prácticas ese orden tomará relevancia dependiendo del tipo de configuración a realizar.

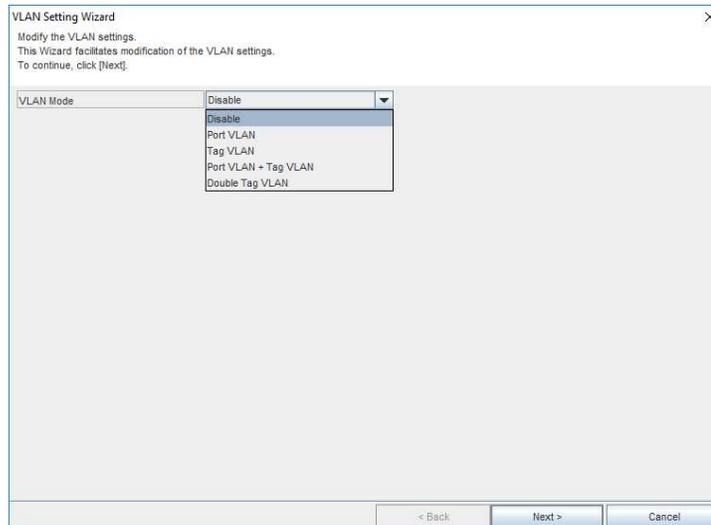
Figura 39. **Habilitación y configuración del puerto LAN 3**



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Paso 2: configure el enlace para transmisión en capa 1. Vaya nuevamente al botón *Configuration* luego haga click en la opción *Provisioning*, en la columna *Item* busque la opción *VLAN Mode* y haga click sobre ella, aparecerá la ventana llamada *VLAN Setting*, haga click sobre el botón *Configure* que se muestra en la parte inferior. Aparecerá la ventana *VLAN Setting Wizard* mostrada en la figura 40 en la cual podrá elegir el modo de trabajo, deshabilite el modo VLAN seleccionando la opción *Disable* y luego haga click en el botón *Next* que aparece en la parte inferior de la ventana, haga click en el botón *Finish* y luego en el botón *Execute* para aplicar los cambios. Repita este procedimiento en el extremo contrario del enlace ya que ambos equipos IDU deben tener la misma configuración para que sea posible la comunicación. No importa qué extremo del enlace se configure primero.

Figura 40. Inhabilitación del modo VLAN



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Paso 3: arme una red pequeña con un elemento de red conectado al puerto 3 de cada extremo del enlace, puede ser un par de computadoras, realice las configuraciones necesarias para colocar ambos elementos de red en el mismo dominio de *broadcast* y realice una prueba de ping entre ambos para comprobar la conexión. La figura 41 le muestra un ejemplo de esta red.

Figura 41. Diagrama para prueba de conexión en capa 1



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

### 3.3. Transmisión en capa 2, VLAN Mode: Tag VLAN Trunk

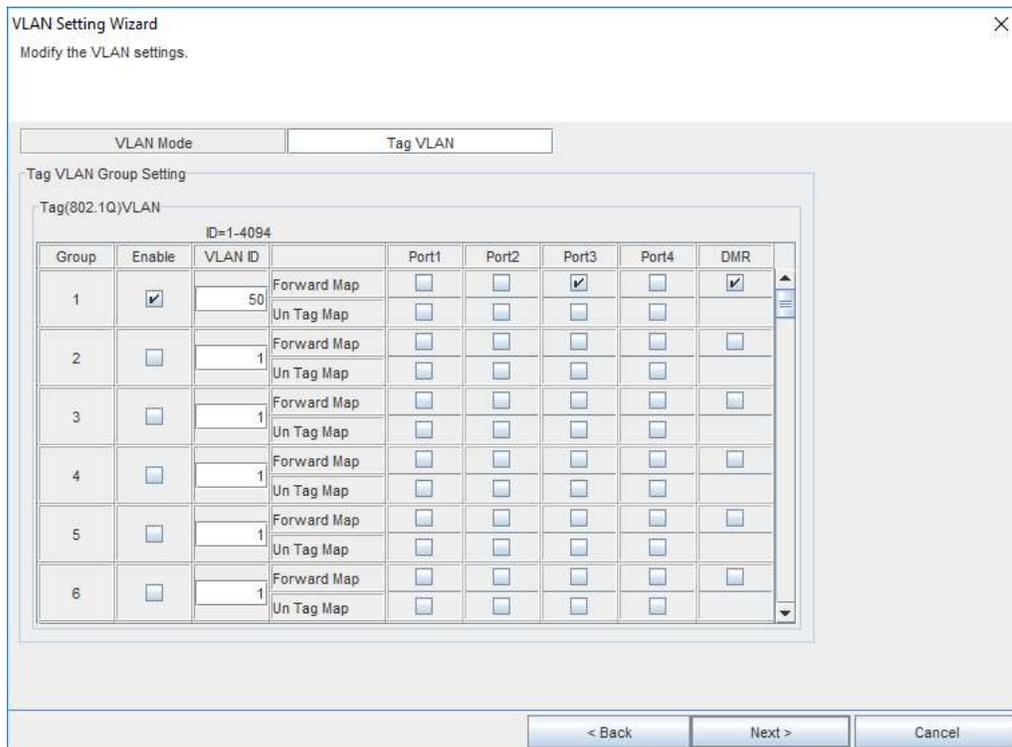
VLAN es un método utilizado para separar lógicamente tramas de datos que se encuentran fluyendo a través de una misma red física agregando una etiqueta o *tag* como identificador de VLAN a cada paquete. Este método está basado en el estándar IEEE 802.1q. Existen 2 configuraciones básicas *Trunk* y *Access*. Al configurar un puerto en modo *Trunk*, troncal, este le permitirá transportar una o más VLAN por dicho puerto, por otro lado, un puerto configurado como *Access*, acceso, permitirá el transporte de una sola. Por medio de la siguiente práctica usted comprobará el funcionamiento de este equipo configurado en modo troncal.

Paso 1: habilite el puerto ethernet 3 en cada extremo del enlace como se explica en el paso 1 de la práctica 3.1.

Paso 2: configure el equipo para funcionar en modo *Tag VLAN*. Vaya al botón *Configuration*, seleccione la opción *Provisioning*, luego en la columna *Item*

busque la opción *VLAN Mode* y haga click sobre ella, se abrirá la ventana para configurar el modo de VLAN. Haga click en el botón *Configure*, en la ventana que aparece coloque *Tag VLAN* en la opción *VLAN Mode* y haga click en el botón *Next*. Para la presente práctica se utilizará la VLAN 50 aunque el equipo acepta identificadores de VLAN entre el 1 y el 4094. Deberá habilitar el *Group 1* dando click en la casilla correspondiente, en el campo *VLAN ID* agregue 50, seleccione la casilla *Forward Map* para los puertos que quiere que pertenezcan a este grupo, es decir aquellos puertos que dejarán pasar la VLAN 50, para fines de esta práctica será solamente el puerto 3, también seleccione la casilla DMR que hace referencia al puerto ethernet virtual ubicado en los Modem. Haga click en el botón *Next* y luego nuevamente en *Next*, luego en *Finish*, esto lo regresará a la pantalla *VLAN Setting* en donde finalmente debe hacer click en *Execute* para finalizar la configuración. Repita este procedimiento para el extremo contrario del enlace. En la figura 42 se muestra la configuración a aplicar.

Figura 42. Configuración Tag VLAN Trunk



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Paso 3: replique la red de la figura 41 y compruebe la comunicación entre ambas computadoras. En este caso la comunicación no es posible dado que los paquetes enviados desde ambas computadoras no contienen etiqueta.

Paso 4: agregue la VLAN 50 a cada uno de los puertos ethernet de los elementos de red conectados al puerto 3 del enlace y compruebe la comunicación. La comunicación debe ser posible ahora dado que los paquetes enviados desde ambas estaciones contienen la etiqueta de la VLAN 50 y por tanto los puertos ethernet del enlace microonda los podrán procesar. El equipo es capaz de transportar más de una VLAN para tal efecto de debe agregar grupos

en la ventana *VLAN Setting Wizard*, para cada grupo de debe indicar la VLAN a utilizar, así como los puertos por los que se puede transportar dicha VLAN.

#### **3.4. Transmisión en capa 2, VLAN Mode: Tag VLAN Access**

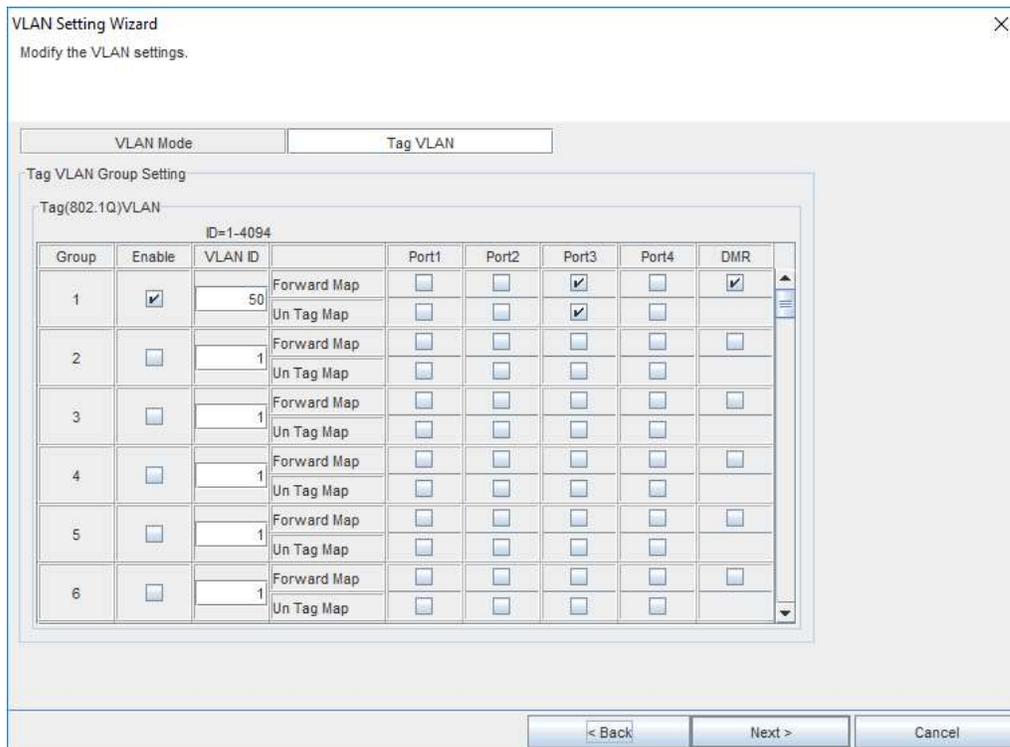
Configurar un puerto en modo *Access* le permitirá recibir tráfico sin etiqueta, etiquetar el tráfico para transportarlo a través del enlace y retirar esa etiqueta en el puerto previo a que el tráfico sea entregado al destinatario.

Paso 1: partiendo de las configuraciones realizadas en la práctica 3.3 elimine la etiqueta de los puertos de los elementos de red conectados al puerto 3 de cada extremo del enlace. La comunicación deberá ser interrumpida debido a que los paquetes están entrando sin etiqueta al puerto, pero el equipo espera tráfico con etiqueta por lo que descarta los paquetes.

Paso 2: repita el paso 2 de la práctica 3.3 para ambos extremos del enlace, pero esta vez habilite también la casilla *Un Tag Map* en la ventana *VLAN Setting Wizard*. La figura 43 le muestra la configuración a aplicar.

Paso 3: compruebe la comunicación entre los elementos de red conectados al puerto 3, la comunicación deberá ser restablecida dado que el tráfico está entrando sin etiqueta tal como lo espera recibir el puerto 3. Esta configuración es útil cuando se requiere enviar tráfico etiquetado, *tagged* y no etiquetado, *untagged*, a través de un mismo puerto, la misma permite esa interacción entre tráfico de distintos tipos en el puerto ethernet, pero mantenerlo separado en los modem.

Figura 43. Configuración Tag VLAN Access



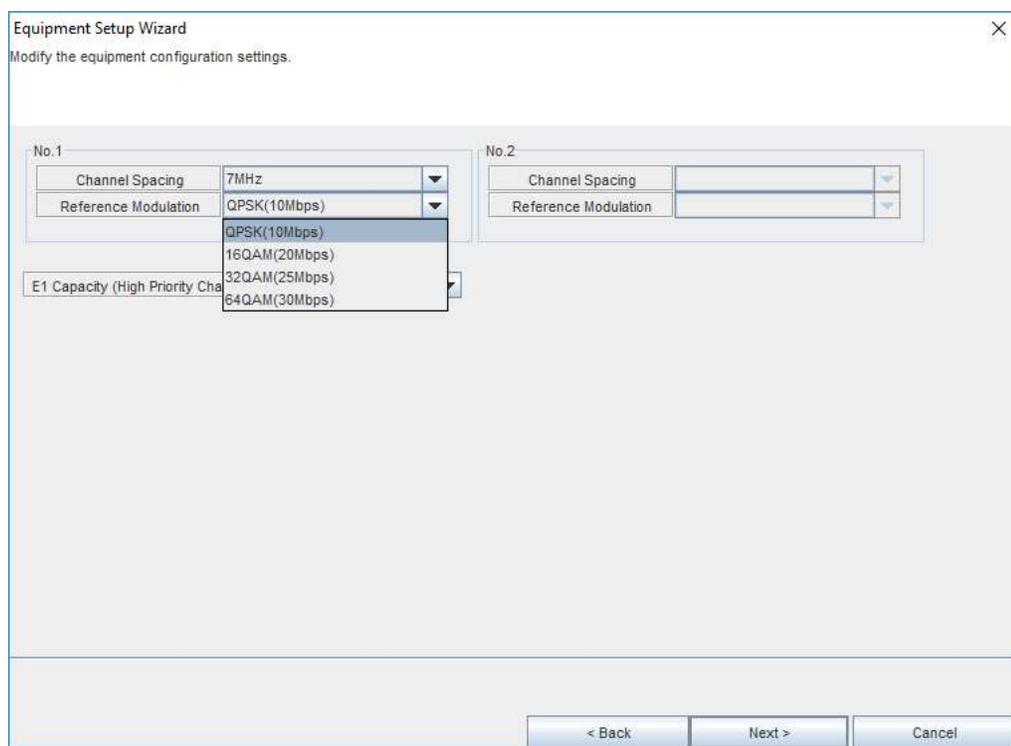
Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

### 3.5. Relación capacidad máxima – modulación

La capacidad de transmisión está directamente relacionada con el esquema de modulación utilizado, a mayor cantidad de símbolos utilizados mayor capacidad de transmisión, el aumento de la cantidad de símbolos también aumenta la probabilidad de error lo cual es un efecto adverso. Deberá realizar este procedimiento primero en el extremo remoto del enlace dado que perderá conexión con el mismo cuando aplique la configuración y la recuperará hasta que concluya el procedimiento en el lado local.

Paso 1: para la presente práctica inicie configurando el ancho de banda y la modulación del equipo a 7 MHz y QPSK respectivamente. Haga click en el botón *Configuration* y seleccione la opción *Equipment Setup*, en la ventana que aparece haga click en el botón *Setup* y luego en el botón *Configure*, en la ventana *Setup Wizard* haga click en el botón *Next*, haga click para desplegar las opciones de *Channel Spacing* y seleccione la opción 7 MHz, luego haga click para desplegar las opciones de *Reference Modulation* y seleccione QPSK (10 Mbps), a continuación, haga click en *Next* y luego en *Finish*. Finalmente, en la ventana *Equipment Setup* haga click en el botón *Execute* para aplicar la configuración. Repita el procedimiento para el lado local del enlace.

Figura 44. Configuración 7 MHz-QPSK



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Paso 2: utilice un elemento de red en cada extremo del equipo que le permita generar tráfico y medir el flujo, puede ser un par de *VeEX*. Consigne esas lecturas para llenar la tabla VI.

Paso 3: repita el paso 1 para el resto de las opciones de modulación: 16QAM, 32QAM, 64QAM y para cada una realice una medición de *throughput*.

Tabla VI. **Comparación capacidad – modulación**

Channel Spacing (MHz)	Modulación Configurada	Capacidad Nominal (Mbps)	Medición (Mbps)
7	QPSK	10	9,85
7	16QAM	20	20,22
7	32QAM	25	24,95
7	64QAM	30	29,67

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

### 3.6. Relación capacidad máxima – channel spacing

La capacidad de transmisión también se relaciona con el ancho de banda utilizado por el enlace, a mayor espectro utilizado mayor capacidad de transmisión, el aumento del channel spacing también requiere licencia para uso de los canales por lo que también se debe considerar el aspecto legal y económico. Al igual que en la práctica 3.5 deberá realizar este procedimiento primero en el extremo remoto del enlace dado que perderá conexión con el mismo cuando aplique la configuración y la recuperará hasta que concluya el procedimiento en el lado local.

Paso 1: para la presente práctica inicie configurando el ancho de banda y la modulación del equipo a 7 MHz y 64QAM respectivamente. Haga click en el botón

*Configuration* y seleccione la opción *Equipment Setup*, en la ventana que aparece haga click en el botón *Setup* y luego en el botón *Configure*, en la ventana *Setup Wizard* haga click en el botón *Next*, haga click para desplegar las opciones de *Channel Spacing* y seleccione la opción 7 MHz, luego haga click para desplegar las opciones de *Reference Modulation* y seleccione QPSK(30 Mbps), a continuación, haga click en *Next* y luego en *Finish*. Finalmente, en la ventana *Equipment Setup* haga click en el botón *Execute* para aplicar la configuración. Repita el procedimiento para el lado local del enlace.

Figura 45. **Configuración 7 MHz-64QAM**

No.1		No.2	
Channel Spacing	7MHz	Channel Spacing	
Reference Modulation	64QAM(30Mbps)	Reference Modulation	

E1 Capacity (High Priority Channel) Not Used

< Back    Next >    Cancel

Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Paso 2: utilice un elemento de red en cada extremo del equipo que le permita generar tráfico y medir el flujo, puede ser un par de computadoras con alguna aplicación para generar y medir tráfico como TfGen que incluso le permite graficar las mediciones.

Paso 3: repita el paso 1 para el resto de las opciones de channel spacing: 14 MHz, 28 MHz, 56 MHz y para cada una realice una medición de *throughput*. Utilice sus mediciones para completar la tabla VI y hacer una comparación.

Tabla VII. **Comparación capacidad – channel spacing**

Channel Spacing (MHz)	Modulación Configurada	Capacidad Nominal (Mbps)	Medición (Mbps)
7	64QAM	30	30,99
14	64QAM	65	66,12
28	64QAM	135	135,34
56	64QAM	270	272,3

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

### 3.7. Modo híbrido TDM/IP

El modo híbrido le permite compartir la capacidad total configurada al equipo entre el canal ethernet y el tráfico PDH, se le llama modo híbrido dado que permite transportar tráfico de tipos distintos a través de un mismo canal de aire. A la acción de agregar E1s a la configuración del equipo se le conoce como mapear y a la conexión lógica entre los puertos físicos ubicados en la platina y los puertos lógicos ubicados en el modem se le conoce como cros-conexión, al conjunto de cros-conexiones se le conoce como matriz de cros-conexión. En el caso del NEC PASOLINK NEO HP existe una cros-conexión recta que no se puede modificar, es decir, el puerto 1 del lado local está cros-conectado con el

puerto 1 del lado remoto del enlace y así sucesivamente, sin embargo, otros modelos y marcas permiten hacer cros-conexiones de forma libre.

Paso 1: Haga click en el botón *Configuration* en el extremo remoto del equipo y seleccione la opción *Equipment Setup*, haga click en el botón *Setup* y luego en el botón *Configure*, haga click en el botón *Next*, en la ventana que aparece vaya al campo *E1 Capacity (High Priority Channel)* y seleccione la opción *1(1)CH*, haga click en el botón *OK* de la pantalla de advertencia que aparece, luego haga click en el botón *Next* y luego en el botón *Finish*. Luego haga click en el botón *Execute* de la pantalla *Equipment Setup* para aplicar los cambios. Repita el procedimiento para el lado local del enlace.

Figura 46. Mapeo de E1s

The screenshot shows a window titled "Equipment Setup Wizard" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar, it says "Modify the equipment configuration settings." The main area is divided into two columns, "No.1" and "No.2". Each column contains two dropdown menus: "Channel Spacing" (set to 28MHz) and "Reference Modulation" (set to QPSK(45Mbps)). Below these is a larger dropdown menu labeled "E1 Capacity (High Priority Channel)" which is currently open, showing a list of options: "Not Used", "1(1)CH", "2(2)CH", "4(4)CH", "8(8)CH", and "16(16)CH". At the bottom of the window, there are three buttons: "< Back", "Next >", and "Cancel".

Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Paso 2: Configure nuevamente una pequeña red utilizando ahora como puerto de comunicación el E1 1 en cada extremo del enlace, utilice un *Balun* para balancear la impedancia de la red (75  $\Omega$ -120  $\Omega$ ). Compruebe la conexión mediante una prueba de ping.

### 3.8. Control de potencia mediante ATPC

El equipo tiene 2 modos de control de potencia MTPC (por *Manual Transmission Power Control*) y ATPC (por *Automatic Transmission Power Control*) en el modo manual le permite establecer una potencia de transmisión fija, el modo automático le permite configurar un rango de variación de potencia de tal manera que cuando ocurra algo que induzca pérdida en la señal de recepción como por ejemplo lluvia o niebla la pérdida sea compensada mediante un aumento en la potencia de transmisión y así evitar que el enlace se rompa. La potencia máxima de transmisión está determinada por el esquema de modulación ya que a mayor modulación menor potencia de transmisión.

Tabla VIII. **Potencia máxima de transmisión según modulación utilizada**

Modulación	Potencia Máxima (dB)
QPSK	24
16QAM	22
32QAM	19
64QAM	19
128QAM	19
256QAM	17

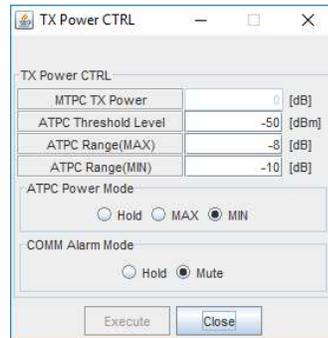
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

La práctica consiste en configurar el equipo en modo ATPC y provocar una atenuación para ver la respuesta del equipo ante tal atenuación.

Paso 1: Iniciando en el extremo remoto del enlace haga click en el botón *Configuration* y elija la opción *Equipment Configuration*, haga click en el botón *Setup* y luego en el botón *Configure*, en la ventana *Equipment Setup Wizard* haga click en el botón *Next* 2 veces, luego haga en la casilla *TX Power Control* despliegue las opciones y seleccione *ATPC*, luego haga click en el botón *Next* y luego en *Finish*. Para aplicar la configuración realizada haga click en el botón *Execute* de la ventana *Equipment Setup*. Repita el procedimiento para el lado local del enlace.

Paso 2: establezca el rango de acción del ATPC, vaya a *Configuration*, seleccione la opción *Provisioning*, en la ventana que aparece vaya al *Item ATPC Range(Max)* o *ATPC Range(Min)* y en la ventana mostrada indique en dB los valores máximo y mínimo para el rango de ATPC. Por defecto el máximo es 0 y el mínimo es -30, cualquier número introducido deben estar en ese rango, cabe resaltar que estos son los dB de atenuación que el radio aplica a la potencia máxima. Haga click en el botón *Execute* para aplicar los cambios. Configure el ATPC en el extremo contrario del enlace.

Figura 47. Configuración de rango de ATPC



Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Para calcular los valores máximo y mínimo de atenuación se debe referir al cálculo del enlace, de tal manera que el mismo se mantenga dentro del rango de niveles de señal de recepción mencionados en la sección 2.6 y tratando de mantener una variación no mayor a  $\pm 2$  dB. Por ejemplo, el cálculo mostrado en la figura 33 indica que para tener un nivel de señal de recepción de -32 dB en la contraparte el radio local debe transmitir con una potencia de 12 dB, por lo que si por ejemplo el equipo está utilizando un esquema de modulación de 16 QAM en el que la potencia máxima de transmisión es de 22 dB, se le debe aplicar una atenuación mínima de -10 dB, y de acuerdo a lo mencionado más arriba en este párrafo, el ATPC deberá poder compensar una pérdida no mayor a 2 dB por lo que la atenuación máxima debe ser de -8 dB.

Paso 3: verifique los niveles de potencia de transmisión y de señal de recepción haciendo click en el botón *Performance Monitor* y seleccionando la opción *Metering*.

Figura 48. **Metering previo a la atenuación**

Category	Item	Status
Common	TX Power	+12.0[dBm]
Common	RX Level	-32.6[dBm]
Common	ODU Power Supply	-50[V]
Common	BER	0.0E-10

Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

Paso 4: introduzca una pérdida al enlace ya sea provocando una desalineación o bien introduciendo una atenuación en la trayectoria de este, verifique nuevamente los niveles de potencia de transmisión y la señal de recepción en ambos lados del enlace. Deberá notar que para mantener el nivel de recepción se debió incrementar la potencia de transmisión.

Figura 49. **Metering posterior a la atenuación**

Category	Item	Status
Common	TX Power	+14.0[dBm]
Common	RX Level	-32.9[dBm]
Common	ODU Power Supply	-50[V]
Common	BER	0.0E-10

Ready      Next refresh time      5 sec.

Fuente: elaboración propia, Captura de la aplicación PNMTj.

## CONCLUSIONES

1. Un enlace por microonda es el medio más utilizado cuando se requiere transportar grandes cantidades de datos y no es viable la implementación de un enlace por fibra óptica.
2. Los enlaces por microonda tienen capacidades de transporte más bajas en relación con los enlaces por fibra óptica.
3. Dado que los enlaces por microonda utilizan el espacio libre como medio de propagación, sus anchos de banda están regidos por normas internacionales para la distribución del espectro radio eléctrico.
4. Existen enlaces que trabajan tanto en bandas que requieren el pago de un usufructo o licencia de operación, como enlaces que trabajan en bandas libres. El problema con las bandas sin licencia es que existe riesgo mayor de interferencia dada la falta de regulación.
5. Actualmente se pueden encontrar en el mercado enlaces que utilizan esquemas de modulación de hasta 4 096 QAM los cuales, dependiendo de la configuración y los anchos de banda utilizados, pueden llegar a alcanzar capacidades de hasta 2,5 Gbps.
6. Los enlaces por microonda son más susceptibles a la interferencia electromagnética que los enlaces por fibra óptica.



## RECOMENDACIONES

1. Incentivar a las autoridades de la Universidad de San Carlos a concluir con el montaje del laboratorio de telecomunicaciones de tal manera que los estudiantes de ingeniería electrónica que se encaminen al mercado laboral en el área de las telecomunicaciones tengan más conocimiento sobre enlaces por microonda.
2. Investigar sobre nuevas técnicas para la ampliación de la capacidad de los enlaces por microonda con el fin de mantener al estudiante actualizado en lo concerniente a este tipo de tecnología.
3. Realizar el montaje de los equipos de manera que permita recrear el escenario real para experimentar los problemas asociados a una implementación en campo.
4. Garantizar la correcta energización y aterrizaje de los equipos para evitar un mal funcionamiento al momento de realizar las prácticas.
5. Asegurar la inexistencia de enlaces instalados cerca de la ubicación de los equipos para evitar interferencia mientras se realizan las prácticas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ethernet / IEEE 802.3. *Comunicación de datos I*. [en línea]. <<http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/comdat1/material/Ethernet2010.pdf>>. [Consulta: octubre de 2018].
2. GESBERT, David; AKHTAR, Jabran. *Breaking the barriers of Shannon's capacity: An overview of MIMO wireless systems*. Noruega: University of Oslo, 2000. 9 p.
3. LATHI, Bhagwandas Pannalal. *Modern digital and analog communication systems*. 3a ed. United States of America: Oxford University Press, 1998. 401 p.
4. Pdh y Sdh. *Jerarquías Digitales PDH SDH*. [en línea]. <<https://doku.pub/documents/pdh-y-sdh-o0mzpxpg6eld>>. [Consulta: octubre de 2018].
5. PNMT (java version). *Operation Manulal (for PASOLINK NEO)*. [en línea]. <<file:///C:/Users/Asus/Downloads/PASOLINK+PDH.pdf>>. [Consulta: octubre de 2018].
6. TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. 4a ed. México: Prentice Hall, 2003. 972 p.

7. Unitec. Jerarquía digital plesiócrona PDH. [en línea].  
<[www.unitec.edu.ve/materiasenlinea/upload/T1022-1-2.ppt](http://www.unitec.edu.ve/materiasenlinea/upload/T1022-1-2.ppt)>.  
[Consulta: octubre de 2018].
  
8. WANs, PDH; SDH. *Área de ingeniería telemática*. [en línea].  
<[https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/arss/arss11\\_12/slides/13-WANsPDHySDH.pdf](https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/arss/arss11_12/slides/13-WANsPDHySDH.pdf)>. [Consulta: octubre de 2018].

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Tabla de comparación capacidad – modulación**

Channel Spacing (MHz)	Modulación Configurada	Capacidad Nominal (Mbps)	Medición (Mbps)
7	QPSK		
7	16QAM		
7	32QAM		
7	64QAM		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

### Apéndice 2. **Tabla de comparación capacidad – channel spacing**

Channel Spacing (MHz)	Modulación Configurada	Capacidad Nominal (Mbps)	Medición (Mbps)
7	64QAM		
14	64QAM		
28	64QAM		
56	64QAM		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Apéndice 3. **Potencia máxima de transmisión según modulación utilizada**

Modulación	Potencia Máxima (dB)
QPSK	
16QAM	
32QAM	
64QAM	
128QAM	
256QAM	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.