

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS A LA  
DEGRADACIÓN DE SEÑAL RECIBIDA, EN UN SEGMENTO DE  
INTERCONEXIÓN MICROONDAS HACIA LA CIUDAD DE IQUITOS, EN BASE  
A LA RECOMENDACIÓN ITU-R P.453”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN

**AUTOR** : DEL ROSARIO HIDALGO CHRISTOPHER IGOR

**ASESOR** : CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER

TRUJILLO - PERÚ

2019

## ACREDITACIONES

**“IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS A LA DEGRADACIÓN DE SEÑAL RECIBIDA, EN UN SEGMENTO DE INTERCONEXIÓN MICROONDAS HACIA LA CIUDAD DE IQUITOS, EN BASE A LA RECOMENDACIÓN ITU-R P.453”**

Elaborado por:

---

Br. Christopher Igor Del Rosario Hidalgo.

Aprobado por:

---

Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ  
PRESIDENTE  
CIP N° 97916

---

Ing. ALBERTIS FLORIAN VIGO  
SECRETARIO  
CIP N° 114879

---

Ing. LUIS ENRIQUE ALVARADO RODRIGUEZ  
VOCAL  
CIP N° 149200

---

Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ  
ASESOR  
CIP N° 80252

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS A LA  
DEGRADACIÓN DE SEÑAL RECIBIDA, EN UN SEGMENTO DE INTERCONEXIÓN  
MICROONDAS HACIA LA CIUDAD DE IQUITOS, EN BASE A LA  
RECOMENDACIÓN ITU-R P.453”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO, INTERCONEXIÓN Y GESTIÓN DE REDES DE  
COMUNICACIÓN

**AUTOR** : DEL ROSARIO HIDALGO CHRISTOPHER IGOR

**ASESOR** : CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER

TRUJILLO - PERÚ

2019

## DEDICATORIA

*A mis padres, hermanos, esposa e hijas por ser el pilar y motivo fundamental en este logro de mi vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

*Christopher Del Rosario.*

## **AGRADECIMIENTO**

Este trabajo de tesis realizado en la Universidad Privada Antenor Orrego refleja el crecimiento como profesional egresado de la Escuela de Ingeniería Electrónica, el cual se espera pueda aportar como conocimiento para futuras investigaciones.

Mi gratitud al asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por haber confiado en este trabajo, por su valiosa dirección en la culminación de esta tesis, y también por guiarnos como docente a lo largo de una exigente carrera universitaria.

También agradecer a las personas que, de alguna u otra manera, han sido claves en mi formación profesional, tales como los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende un estudio sobre identificación de condiciones climáticas desfavorables asociadas a la degradación de señal recibida en un segmento de interconexión dorsal microondas hacia la ciudad de Iquitos - Perú. El segmento analizado comprendió 12 radioenlaces que componen la ruta de interconexión Yurimaguas – Iquitos, habiéndose realizado 192 observaciones mediante el empleo una herramienta de software que permitía la variación del parámetro de refractividad. Una vez identificados los valores críticos de refractividad que generaron desvanecimientos profundos de señal, se empleó la recomendación ITU-R P.453 con el fin de relacionar los valores críticos de refractividad con las condiciones de Presión Atmosférica, Temperatura Ambiental y Humedad propios de la región. Los resultados obtenidos permitieron identificar ocurrencia de desvanecimientos tanto en condiciones de mínima humedad y temperatura (18°C y 65% humedad), como en condiciones de elevación de temperatura mayor a 27°C y humedad típica mayor a 80%.

## **ABSTRACT**

The present research work includes a study on the identification of unfavorable climatic conditions associated to the degradation of the signal received in a microwave dorsal interconnection segment towards the city of Iquitos - Peru. The analyzed segment comprised 12 radio links that make up the Yurimaguas - Iquitos interconnection route, having made 192 observations by using a software tool that allowed the variation of the refractivity parameter. Once the critical refractivity values that generated deep signal fades were identified, recommendation ITU-R P.453 was used in order to relate critical refractivity values with typical conditions of atmospheric pressure, ambient temperature and humidity of the region. The results obtained allowed to identify the occurrence of fades both in conditions of minimum humidity and temperature (18 °C and 65% humidity), as well as in conditions of temperature elevation higher than 27 °C and typical humidity greater than 80%.

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, pongo a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS A LA DEGRADACIÓN DE SEÑAL RECIBIDA, EN UN SEGMENTO DE INTERCONEXIÓN MICROONDAS HACIA LA CIUDAD DE IQUITOS, EN BASE A LA RECOMENDACIÓN ITU-R P.453”**.

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, excusándome anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, enero del 2019

Br. Christopher Igor Del Rosario Hidalgo



## ÍNDICE

ACREDITACIONES.....	1
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
PRESENTACIÓN.....	7
INDICE.....	8
INDICE DE FIGURAS.....	10
INDICE DE TABLAS.....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Problema de Investigación.....	12
a. Descripción de la realidad problemática.....	12
b. Formulación del problema.....	13
1.2. Objetivos.....	13
a. General.....	13
b. Específicos.....	13
1.3. Justificación del estudio.....	14
II. MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1. Antecedentes del estudio.....	15
2.2. Marco Teórico.....	16
2.3. Definiciones.....	24
2.4. Sistema de Hipótesis.....	26
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	30
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	30
3.2. Población y muestra de estudio.....	30
3.3. Diseño de Investigación.....	30
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	31
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	32

<b>IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. Análisis e interpretación de resultados.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2. Docimasia de hipótesis.....</b>	<b>63</b>
<b>V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>64</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Representación de un enlace con línea de vista .....	18
<b>Figura 2.2.</b> Representación de un enlace real microondas .....	19
<b>Figura 2.3.</b> Curvatura de la onda de radio con el índice de refracción .....	20
<b>Figura 3.1.</b> Representación de la ruta de interconexión microondas Yurimaguas – Iquitos .....	34
<b>Figura 3.2.</b> Configuración de simulación parámetros de red .....	40
<b>Figura 3.3.</b> Configuración de herramientas de simulación – parámetros de sistema de radio frecuencia.....	41
<b>Figura 3.4.</b> Reporte de cálculo de enlace obtenido de la herramienta de simulación .....	42
<b>Figura 3.5.</b> Yurimaguas – Santa Cruz, señal versus refractividad .....	44
<b>Figura 3.6.</b> Santa Cruz – Lagunas señal versus refractividad .....	45
<b>Figura 3.7.</b> Lagunas – Punta Arenas, señal versus refractividad .....	46
<b>Figura 3.8.</b> Punta Arenas – Urarinas, señal versus refractividad .....	47
<b>Figura 3.9.</b> Urarinas – San Jose de Saramuro, señal versus refractividad.....	48
<b>Figura 3.10.</b> San Jose de Saramuro – Santa Rosa, señal versus refractividad	49
<b>Figura 3.11.</b> Santa Rosa Chapajilla, señal versus refractividad.....	50
<b>Figura 3.12.</b> Chapajilla – San Regis, señal versus refractividad.....	51
<b>Figura 3.13.</b> San Regis – Loma San Antonio, señal versus refractividad .....	52
<b>Figura 3.14.</b> Loma San Antonio - Km 60. Señal versus refractividad .....	53
<b>Figura 3.15.</b> Km 60 – Varillal, señal versus refractividad .....	54
<b>Figura 3.16.</b> Varillal – Iquitos, señal versus refractividad .....	55
<b>Figura 3.17.</b> Variación de temperatura Iquitos 2009 – 2012 .....	60
<b>Figura 3.18.</b> Variacion de humedad Iquitos 2009 – 2012 .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.2.</b> Operacionalización de la Variable Independiente.....	28
<b>Tabla 2.3.</b> Operacionalización de la Variable Dependiente.....	29
<b>Tabla 3.1.</b> Técnicas e Instrumentos de Investigación .....	32
<b>Tabla 3.2.</b> Estaciones y enlaces microondas Yurimaguas hacia Iquitos .....	33
<b>Tabla 3.3.</b> Frecuencias de ida y vuelta banda 6 GHZ .....	35
<b>Tabla 3.4.</b> Lista de colores y Rangos Aceptables para RSRP.....	36
<b>Tabla 3.5.</b> Especificaciones referenciales transceiver, antena y guía onda ...	38
<b>Tabla 3.6.</b> Resultados de simulación Yurimaguas – Santa cruz .....	43
<b>Tabla 3.7.</b> Resumen y selección desvanecimientos obtenidos para cada valor de refractividad. ....	56
<b>Tabla 3.8.</b> Pareto para ocurrencia de desvanecimientos para cada valor refractividad. ....	57
<b>Tabla 3.9.</b> Valores de refractividad con mayor generación de desvanecimientos .....	58
<b>Tabla 4.1.</b> Identificación de condiciones climáticas desfavorables .....	61

## **I. INTRODUCCIÓN:**

### **1.1 Problema de Investigación:**

#### **a. Descripción de la Realidad Problemática:**

Tradicionalmente en nuestro país, las soluciones de comunicación dorsal se han dado a través de diferentes medios tales como radio microondas, enlaces de alto costo vía satélite, y a través de enlaces de fibra óptica. Es así que estas tres tecnologías básicas de interconexión son reconocidas por la Secretaria Técnica del Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones (FITEL) y el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

Respecto de las redes de interconexión dorsal vía microondas, éstas siempre representan un reto de diseño en lo que se refiere a la ingeniería de radiofrecuencia, puesto que se debe proyectar correctamente el comportamiento que tendrán dichos enlaces al ser sometidos a condiciones climáticas variantes, lo cual podría derivar en considerables desvanecimientos de señal y la consiguiente degradación y/o caída de los enlaces de radiocomunicación.

En el caso de la de la ciudad de Iquitos, departamento de Loreto, aunque el tramo de interconexión final se encuentra implementado mediante fibra óptica, sus enlaces dorsales provenientes desde la ciudad de Yurimaguas, están basados en enlaces de radio microondas terrestres, presentando actualmente un comportamiento deficiente, con presencia de desvanecimientos de señal, y capacidades de transporte de datos por debajo de los valores esperados. Esto genera un escenario de análisis que podría ser conducente a la identificación de factores climáticos que afectan el desempeño de los segmentos dorsales de interconexión.

En este sentido el presente trabajo de investigación propuso un estudio de ingeniería basado en las normativas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-R P.453, a fin de poder identificar los fenómenos climáticos asociados a la degradación de señal recibida en segmentos de una ruta dorsal de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos.

**b. Formulación del problema:**

¿Qué factores climáticos bajo recomendaciones de diseño microondas ITU-R P.453 están asociados a la degradación de señal en los segmentos de una ruta de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos?

**1.2 Objetivos:**

**a. General**

Identificar en base a la recomendación ITU-R P.453 los factores climáticos asociados a la degradación de señal recibida en segmentos de una ruta de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos.

**b. Específicos**

- Seleccionar los parámetros técnicos del equipamiento microondas empleado en la ruta de interconexión hacia Iquitos, para un proceso de simulación.
- Identificar parámetros de simulación complementarios que permitan reproducir el comportamiento inicial de los enlaces.
- Identificar la ocurrencia de desvanecimientos en cada enlace y los valores de refractividad asociados a esta degradación.

Determinar a partir de los valores críticos de refractividad las condiciones climáticas desfavorables que puedan afectar los segmentos de una ruta de interconexión microondas hacia Iquitos.

### **1.3 Justificación de la investigación**

#### **a. Importancia de la investigación**

El trabajo de investigación se justifica académicamente, al buscar relacionar una problemática existente con la base teórica para el diseño de enlaces microondas terrestres, aplicando conocimientos adquiridos en la formación de pre grado para el análisis de una problemática real.

#### **b. Viabilidad de la investigación**

Se va a realizar un estudio en base de reportes de simulación. Se tuvo acceso a los materiales, información, contando con los conocimientos requeridos para el desarrollo la tesis.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Antecedentes de la Investigación:

Alvarado J. y Mendoza J. (2005) en su investigación “Elección y diseño de una red de comunicaciones para la Región Loreto”, realizaron el estudio y diseño de una red de comunicaciones proyectando una creciente demanda y futuros requerimientos de comunicaciones de dicha región. Tras una comparación de tres tecnologías candidatas, se seleccionó una red terrestre microondas como la mejor alternativa técnica y económica. El principal aporte de este trabajo es la notable ingeniería de detalle desarrollada, en la cual se describe una ruta de interconexión hacia la ciudad de Iquitos, la cual fue empleada como referencia para el análisis requerido en el presente trabajo.

Alulema, J. (2002) en la investigación denominada “Diseño de una red de microondas entre Quito-Guayaquil, considerando análisis de interferencia y planeación del espectro electromagnético”, propuso como objetivos: brindar un esquema para la planificación de redes de microondas terrestre, mostrar que la planeación de los radioenlaces va más allá de considerar la interacción que éste tiene con enlaces adyacentes y además de considerar el desarrollo del diseño completo para una red de microondas. Como aporte del estudio realizado en la investigación, se consideran los criterios sobre el planeamiento del espectro radioeléctrico considerando aspectos de interferencia.

Fernández C. y Dávila L. (2013) en la investigación denominada “Diseño de una red de transporte para la integración de la Región Madre de Dios a la red troncal de telecomunicaciones del Perú”, desarrollaron la ingeniería requerida para una red de transporte que integrara a la Región Madre de Dios, a la red dorsal peruana. Los aspectos de diseño incluyeron el análisis socio económico de la región, comparativas de alternativas tecnológicas, análisis



de costos y el detalle de las características técnicas de los equipos de radio y sus configuraciones para enlaces dorsales, lo cual se considera el principal aporte al presente trabajo, para efectos de contar con parámetros de referencia en la configuración de los parámetros de simulación.

## **2.2 Marco Teórico:**

### **2.2.1 Radio microondas terrestres**

Se suelen describir las microondas como ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde unos 500 MHz hasta 300 GHz o más. Por consiguiente, las señales de microondas, a causa de sus altas frecuencias inherentes, tienen longitudes de onda relativamente cortas, de ahí el nombre “micro” ondas. (Tomasi, 2003, p.761)

Los radioenlaces microondas terrestres en un operador de comunicaciones se emplean para proveer interconexión punto a punto o punto multipunto empleando ondas de radiofrecuencia en las bandas típicas entre 3 GHz a 30 GHz. Estos enlaces emplean diversos protocolos de transporte de información especialmente diseñados para la transmisión exitosa de servicios orientados a los usuarios finales. Entre la multitud de aplicaciones en los que pueden emplearse este tipo de enlaces, se pueden señalar transporte de grandes volúmenes de comunicaciones de telefonía fija ó móvil, comunicaciones fijas o móviles de internet, transmisión de datos, interconexión de redes corporativas, transmisión de video, soporte de interconexión a otros operadores, traslado de señalización entre equipos de telecomunicaciones, respaldo de enlaces, etc.

### **2.2.2 Espectro radioeléctrico**

Según Pérez (2007, p.19) “Los sistemas de telecomunicación utilizan el espectro radioeléctrico, que comprende de las bandas de frecuencias útiles para los servicios de radiocomunicación y abarca desde frecuencias inferiores a 1 KHz hasta alrededor de 300 GHz”.

Según la designación de la Unión internacional de Telecomunicaciones (ITU), las principales bandas del espectro radioeléctrico se definen en términos de longitudes de Onda.

### **2.2.3 Regulación de Frecuencia**

El espectro de RF forma parte del espectro electromagnético compartido, y que no puede ampliarse o recrearse y debe ser compartida entre varias aplicaciones, requiere una cuidadosa asignación y coordinación. El órgano que es globalmente responsable de esto es la Unión Internacional de telecomunicaciones (UIT) y el brazo que dirige los asuntos de los sistemas de radio de microondas es la UIT-R (Agencia de Radiocomunicaciones). Cada país tiene un regulador que es responsable de la política nacional y de elegir un plan de canal en particular para que cada banda de frecuencias se implemente en ese país. Es importante entender que sólo porque dos planes son compatibles con la UIT, no los hace compatibles, por lo que sólo se permite un plan por banda de frecuencias en cada país y se requerirá una coordinación entre fronteras en la frontera del país (Manning, 2009, pp.198).

### **2.2.4 Mecanismo de propagación de radio microondas**

Las ondas de radio microondas se caracterizan por el modo de propagación denominado “onda espacial troposférica”, es decir su propagación se da en la capa más cercana a la tierra, que se extiende hasta una altura aproximada de 10 Km sobre la superficie terrestre.

El modelo empleado para representar un enlace microondas terrestre típicamente emplea una línea recta para indicar línea de vista requerida para la conexión entre los puntos a enlazar.

La Figura 2.1 muestra la representación típica de un radioenlace microondas con línea de vista. Este tipo de representación podría llevar a la interpretación de que la onda de radio microondas se propaga en línea recta, sin embargo, una representación más realista podría conducir a un mejor entendimiento de su propagación.

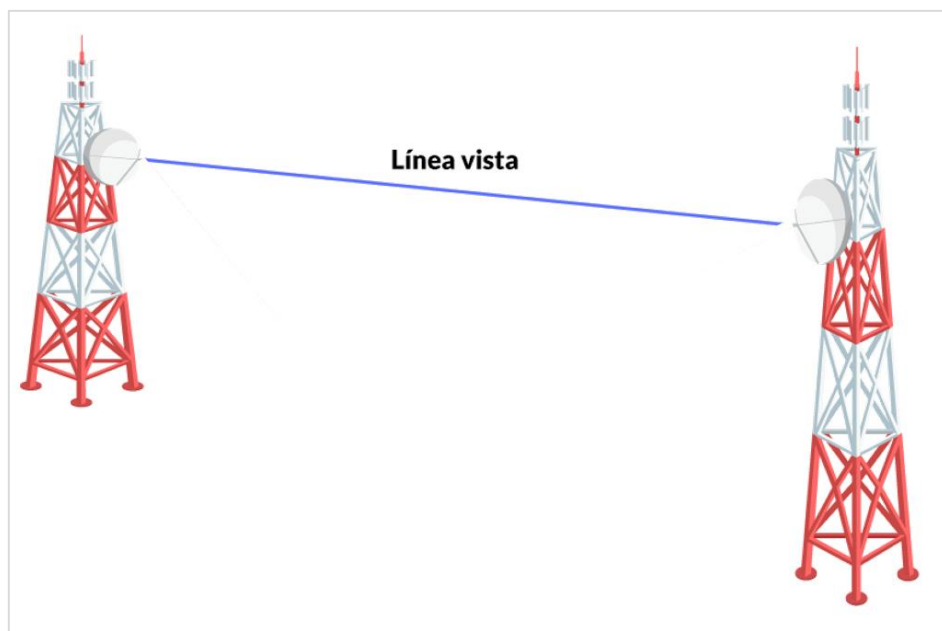


Figura 2.1.- Representación de un enlace con línea de vista

Fuente: [www.prored.com](http://www.prored.com) (2018)

En la Figura 2.2, se muestra la representación de un radioenlace microondas considerando la curvatura terrestre. De este modo las antenas se muestran como elementos radiales que irradian ondas de un punto a otro.

Se puede apreciar que, si la propagación microondas se diera en línea recta, sería imposible establecer enlace entre los dos puntos, puesto

que la onda se dirigiría hacia el espacio exterior. Sin embargo, si la onda de radio al propagarse sufriera una curvatura en su trayecto troposférico, se podría modelar correctamente su comportamiento hasta llegar al extremo distante.

En este sentido, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, a través de sus recomendaciones correspondientes a la sección radiocomunicaciones (ITU-R), considera un modelamiento del comportamiento de la onda de radio microondas, basado en el fenómeno de refracción troposférica. Dicho modelamiento, ha sido actualizado hasta su actual recomendación denominada UIT-R P.453-13.

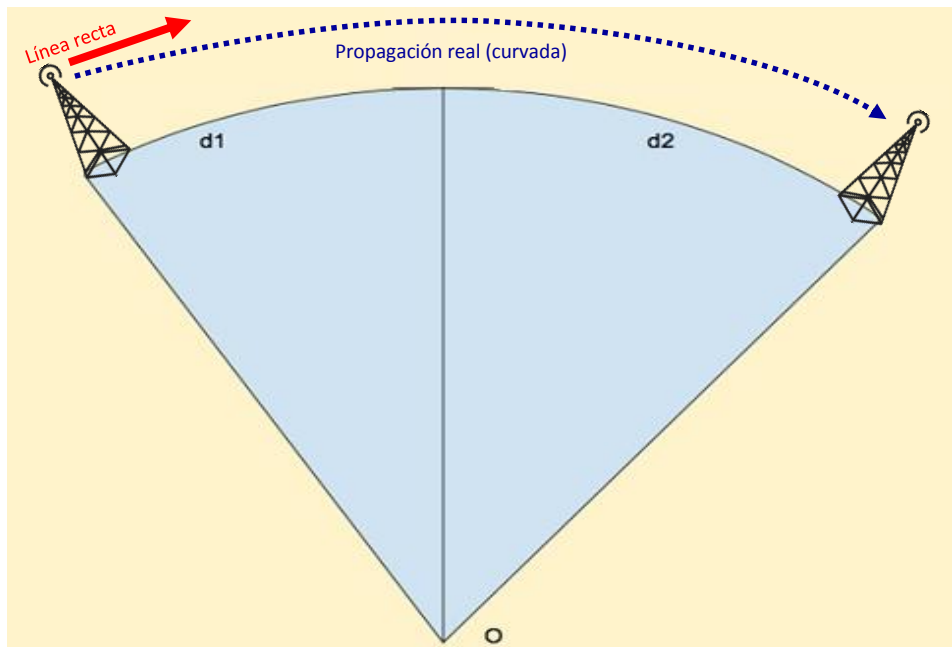


Figura 2.2 - Representación de un enlace real microondas

### 2.2.5 Índice de refracción y refractividad

Conforme las recomendaciones ITU-R, en la Figura 3.3 se modela la curvatura de la onda de radio microondas de acuerdo al modelo de refracción troposférica. En este sentido se asume que la curvatura de la onda de radio puede ser modelada de acuerdo a la variación del índice de refracción con la altura. En concordancia con la ley de Snell, la onda sufriría una curvatura consecutiva conforme vaya aumentando la altura, con lo cual se puede llegar a tener una aproximación directa entre el radio de curvatura de la onda electromagnética, y la variación (gradiente) del índice de refracción con la altura.

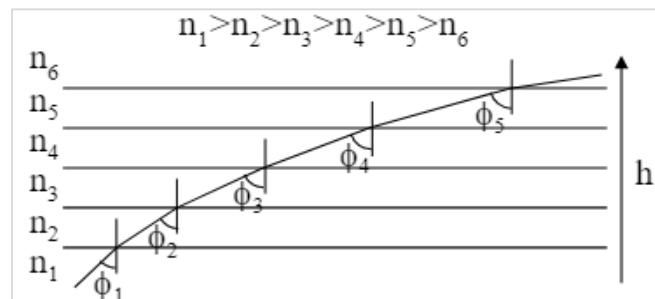


Figura N° 03.- Curvatura de la onda de radio con el índice de refracción

Fuente: Murillo, J. (2008)

Las investigaciones realizadas por ITU-R respecto de la estimación del índice de refracción y su comportamiento en todo el mundo, reportaron un valor promedio típico a nivel del mar  $n_1 = 1.000315$ . Asimismo, reportaron un valor típico del índice de refracción a 1 Km sobre el nivel del mar  $n_2 = 1.000275$ .

Bajo estas condiciones el gradiente del índice de refracción por cada kilómetro de altura sería  $-0.000004$  n/Km, lo cual no permite apreciar detalladamente la variación requerida para el modelamiento de las ondas de radio microondas.

En este orden de ideas, se hace necesario trabajar con un nuevo indicador asociado a la refracción, que cuantifique adecuadamente esta pequeña variación requerida como base para el modelamiento de la curvatura del haz microondas. Es así que el parámetro a emplear para el análisis de propagación microondas es el coíndice de refracción, o refractividad (N), el cual es definido por ITU-R tal como se indica a continuación:

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (1)$$

Además, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en su recomendación ITU-R P.453-13, indica que este parámetro se encuentra asociado a las posibles variaciones de Presión Atmosférica (P), Temperatura (T) y Presión de Vapor de Agua (e), lo cual permitiría identificar las condiciones climáticas que puedan estar asociadas a valores de refractividad favorables o desfavorables para la propagación de señal microondas.

### **2.2.6 Recomendación UIT-R P.453-13**

Conforme la Recomendación UIT-R P.453 (2017), se proporciona los métodos de cálculo para realizar una estimación de la refractividad y su comportamiento en regiones de todo el mundo. Asimismo, proporciona las ecuaciones para realizar la estimación de los valores de refractividad en función de la presión atmosférica, temperatura y presión de vapor de agua.

### **2.2.7 Fórmula del índice de refracción radioeléctrica (refractividad)**

El índice de refracción radioeléctrica de la atmósfera,  $n$ , se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$n = 1 + N \times 10^{-6} \quad (2)$$

Asimismo, la refracción radioelétrica,  $N$ , puede ser expresada como:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} - 5,6 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (\text{unidades N}) \quad (3)$$

donde:

- $P$  : Presión atmosférica total (hPa o mbar)  
 $e$  : Presión del vapor de agua (hPa o mbar)  
 $T$  : Temperatura absoluta (°K)

### 2.2.8 Relación entre la presión de vapor de agua y la humedad relativa

Para mayor facilidad, la relación entre la presión del vapor de agua,  $e$ , y la humedad relativa,  $H$ , se expresa por:

$$e = \frac{H \cdot e_s}{100} \quad (4)$$

donde

- $e$  : Presión de vapor de agua (mbar)  
 $H$  : Humedad Relativa (%)  
 $e_s$  : Presión de saturación de vapor de agua (mbar)

Asimismo, la presión de saturación de vapor de agua puede ser estimada con:

$$e_s = EF \cdot a \cdot \exp \left[ \frac{\left( b - \frac{t}{d} \right) \cdot t}{t + c} \right] \quad (5)$$

y:

$$EF_{agua} = 1 + 10^{-4} \left[ 7,2 + P \cdot \left( 0,0320 + 5,9 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \right) \right]$$

$$EF_{hielo} = 1 + 10^{-4} \left[ 2,2 + P \cdot \left( 0,0383 + 6,4 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \right) \right]$$

donde:

$t$  : Temperatura (°C)

$P$  : Presión atmosférica total (hPa)

$e_s$  : Presión de vapor de saturación (hPa) a la temperatura  $t$  (°C).

La Tabla 2.1 muestra los valores recomendados para los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$ :

Tabla 2.1 Valores recomendados para los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$ :  
agua y hielo.

<i>para agua</i>	<i>para hielo</i>
$a = 6,1121$	$a = 6,1115$
$b = 18,678$	$b = 23,036$
$c = 257,14$	$c = 279,82$
$d = 234,5$	$d = 333,7$
(valores válidos entre -40 °C y +50°C)	(valores válidos entre -80 °C y 0 °C)

Fuente: ITU-R P.453 (2017)



Aunque  $P$  se define como la presión atmosférica total, se puede utilizar la presión atmosférica seca con una reducción insignificante de la exactitud de la predicción. La presión del vapor de agua,  $e$ , se obtiene a partir de la densidad  $\rho$  mediante la ecuación:

$$e = \frac{\rho T}{216,7} \quad \text{hPa} \quad (6)$$

con  $\rho$  en ( $\text{g}/\text{m}^3$ ). En la Recomendación UIT-R P.836 se dan valores representativos de  $\rho$ .

### 2.3 Definiciones

Se definen conceptualmente los principales términos que serán utilizados en la investigación: variables, dimensiones, indicadores, unidad de análisis.

- Desvanecimiento de señal  
El desvanecimiento de señal es la caída del valor de la señal RF recibida en un enlace microondas (típicamente la señal RF es medida en dBm). Los desvanecimientos de señal se pueden clasificar por su profundidad y duración. Sus unidades de medida son dB.
  
- Refractividad  
La refractividad o índice de refracción de radiofrecuencia, es un parámetro que expresa la diferencia normalizada y amplificada  $10^6$  veces, entre la velocidad de la luz (o velocidad de propagación de una onda electromagnética en el vacío), y la velocidad efectiva de la onda de radiofrecuencia microondas. Se expresa en unidades de refractividad (N units), y posee dependencia con la variación de presión atmosférica, temperatura y presión de vapor de agua.

- **Presión atmosférica**  
Presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie de la Tierra. Sus unidades de medida para fines de análisis de radiofrecuencia conforme a recomendaciones ITU-R, pueden ser mbar o hPa.
  
- **Temperatura ambiental absoluta**  
La temperatura absoluta se refiere al valor de la temperatura medida respecto a la escala de cero absolutos (0 °K o -273,15 °C). Sus unidades de medida para fines de análisis de radiofrecuencia conforme a recomendaciones ITU-R, son °K.
  
- **Presión de vapor de agua**  
La presión de vapor de agua es una medida de la capacidad del agua de pasar de líquido o sólido (hielo), a un estado gaseoso. En un valor determinado de presión de vapor de agua, el líquido y vapor se encuentran en equilibrio a una determinada temperatura, Sus unidades de medida para fines de análisis de radiofrecuencia conforme a recomendaciones ITU-R, son mbar.

## **2.4 Sistema de Hipótesis:**

### **2.4.1 General:**

Un estudio realizado en base a la recomendación ITU-R P.453 permitirá identificar factores climáticos asociados a la degradación de señal recibida en segmentos de una ruta de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos.

### **2.4.2 Variables y definición operacional**

#### **2.4.2.1 Variables de Estudio:**

##### **Independiente:**

Estudio en base a recomendación ITU-R P.453.

##### **Definición Conceptual:**

El estudio basado en la recomendación ITU-R P.453, contempla la identificación de desvanecimientos de señal recibida en una ruta de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos, mediante la variación del parámetro de refractividad entre los rangos permitidos por una herramienta de simulación.

##### **Indicadores:**

- Rango de variación del parámetro de refractividad
- Respuesta señal recibida versus refractividad
- Desvanecimientos identificados
- Valores críticos de refractividad

**Dependiente:**

Factores climáticos asociados a degradación de señal recibida.

**Definición Conceptual:**

Los factores climáticos asociados a la degradación de señal recibida son obtenidos a partir de los valores críticos de refractividad. Según recomendación ITU-R P.453, la refractividad contempla variaciones respecto de la presión atmosférica, temperatura, y presión de vapor de agua.

**Indicadores:**

- Presión atmosférica
- Temperatura ambiental
- Presión de vapor de agua

### 2.4.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla 2.2. Operacionalización de la Variable Independiente

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>UNIDADES MEDIDA</b>
Estudio en base a recomendación ITU-R P.453.	Identificación de desvanecimientos de señal cobertura determinada.	Variación del nivel de señal recibida con la refractividad	Reporte de simulación	-	Nº reportes simulación
	Identificación de condiciones desfavorables de refractividad.	Valores de refractividad vinculados a desvanecimientos	Reporte de simulación	-	Nº reportes simulación

Tabla 2.3. Operacionalización de la Variable Dependiente

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>UNIDADES MEDIDA</b>
Factores climáticos asociados a degradación de señal recibida	Condiciones de presión	Presión atmosférica	Estimación analítica	(3)	mbar
	Condiciones de temperatura	Temperatura ambiental	Estimación analítica		°K
	Condiciones de humedad	Humedad	Estimación analítica		%

### **III. METODOLOGÍA EMPLEADA**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

El nivel de investigación propuesto en el presente proyecto es del tipo aplicada porque vamos a utilizar fundamentos y teorías ya establecidas.

El tipo de investigación es cuantitativa vamos a reportar datos usando magnitudes numéricas que pueden ser tratadas mediante herramientas del campo de la estadística.

#### **3.2. Población y muestra**

La población y muestra está constituida por 12 enlaces que forman parte de una ruta de interconexión dorsal hacia la ciudad de Iquitos.

#### **3.3. Diseño de investigación**

El nivel de investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo explicativa. Se va a indagar respecto al desvanecimiento de la señal recibida en función de la refractividad, a fin de poder identificar y explicar los factores climáticos que afectan una ruta de enlaces de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos.

El diseño de la investigación propuesta en este proyecto es de tipo documental. Se va recolectar datos mediante la generación de reportes de simulación de enlaces pertenecientes a una ruta de interconexión dorsal microondas hacia la ciudad de Iquitos, de manera que se puedan identificar condiciones desfavorables de refractividad y sus correspondientes condiciones climáticas

##### **3.3.1. Etapas**

1. Identificación y selección de parámetros técnicos del equipamiento de radio microondas de una ruta de interconexión hacia la ciudad de Iquitos, a emplear para la generación del escenario de simulación.

2. Configuración y calibración de parámetros complementarios de simulación, a fin de reproducir el escenario de simulación lo más cercano al escenario de implementación de una ruta de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos.
3. Obtención de reportes de simulación y elaboración de curvas de variación de la señal recibida en función de la refractividad, para cada enlace perteneciente a una ruta de interconexión dorsal microondas hacia la ciudad de Iquitos.
4. Identificación de escenarios de desvanecimientos de señal recibida, e identificación de valores de refractividad asociados a dichos desvanecimientos, para cada enlace analizado.
5. Estimación de valores de presión, temperatura y humedad que cumplan con la condición de refractividad asociada a los desvanecimientos para cada enlace perteneciente a una ruta de interconexión dorsal microondas hacia la ciudad de Iquitos.

#### **3.4. Técnicas e instrumentos de investigación**

La Tabla 3.1 muestra las técnicas de investigación empleadas en la presente investigación.

Respecto de los instrumentos de Investigación, se emplearon reportes del comportamiento de señal recibida en 04 enlaces pertenecientes a una ruta de interconexión dorsal microondas hacia la ciudad de Iquitos, obtenidos bajo un proceso de simulación de radio propagación en condiciones de refractividad variante.



Tabla 3.1. Técnicas e instrumentos de investigación

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Observación	Individual para cada enlace perteneciente a una ruta de interconexión dorsal microondas hacia la ciudad de Iquitos	Observación directa de cada enlace
Análisis de documentos	Individual para cada enlace perteneciente a una ruta de interconexión dorsal microondas hacia la ciudad de Iquitos	Reportes del comportamiento de señal recibida en cada enlace

### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

#### 3.5.1. Información de ruta microondas Yurimaguas – Iquitos

Conforme la investigación realizada por Alvarado J. y Mendoza J. (2005), en la Tabla 3.1, se muestra un resumen de las estaciones dorsales microondas que componen la ruta Yurimaguas hacia Iquitos. Se indican su denominación, coordenadas, y frecuencia central de operación de su enlace dorsal. Como se puede apreciar se opera en banda de 6 GHz, a partir de 13 estaciones que generan un total de 12 enlaces de radiocomunicación.

Tabla 3.2. Estaciones y enlaces microondas Yurimaguas hacia Iquitos

N°	SITE TX			SITE RX			FRECUENCIA CENTRAL	
1	YURIMAGUAS	05°48'42"	76°04'35"	SANTA CRUZ	05°30'45"	75°51'29"	6770	GHz
2	SANTA CRUZ	05°30'45"	75°51'29"	LAGUNAS	05°13'32"	75°40'40"	6770	GHz
3	LAGUNAS	05°13'32"	75°40'40"	PUNTA ARENAS	04°56'23"	75°24'20"	6770	GHz
4	PUNTA ARENAS	04°56'23"	75°24'20"	URARINAS	04°47'10"	75°16'29"	6770	GHz
5	URARINAS	04°47'10"	75°16'29"	SAN JOSE DE SARAMURO	04°43'06"	74°55'18"	6770	GHz
6	SAN JOSE DE SARAMURO	04°43'06"	74°55'18"	SANTA ROSA	04°47'10"	74°32'30"	6770	GHz
7	SANTA ROSA	04°47'10"	74°32'30"	CHAPAJILLA	04°37'54"	74°16'13"	6770	GHz
8	CHAPAJILLA	04°37'54"	74°16'13"	SAN REGIS	04°29'45"	73°54'43"	6770	GHz
9	SAN REGIS	04°29'45"	73°54'43"	LOMA SAN ANTONIO	04°31'51"	73°37'11"	6770	GHz
10	LOMA SAN ANTONIO	04°31'51"	73°37'11"	KM 60	04°15'08"	73°29'20"	6770	GHz
11	KM 60	04°15'08"	73°29'20"	VARILLAL	03°53'52"	73°21'50"	6770	GHz
12	VARILLAL	03°53'52"	73°21'50"	IQUITOS	03°45'00"	73°14'36"	6770	GHz

Fuente: Alvarado J. y Mendoza J. (2005)

A partir de la Tabla 3.2, mediante el empleo de software de simulación se ha construido la representación de la ruta de enlaces microondas. Como se puede apreciar se opera en banda de 6 GHz, a partir de 13 estaciones que generan un total de 12 enlaces de radiocomunicación.

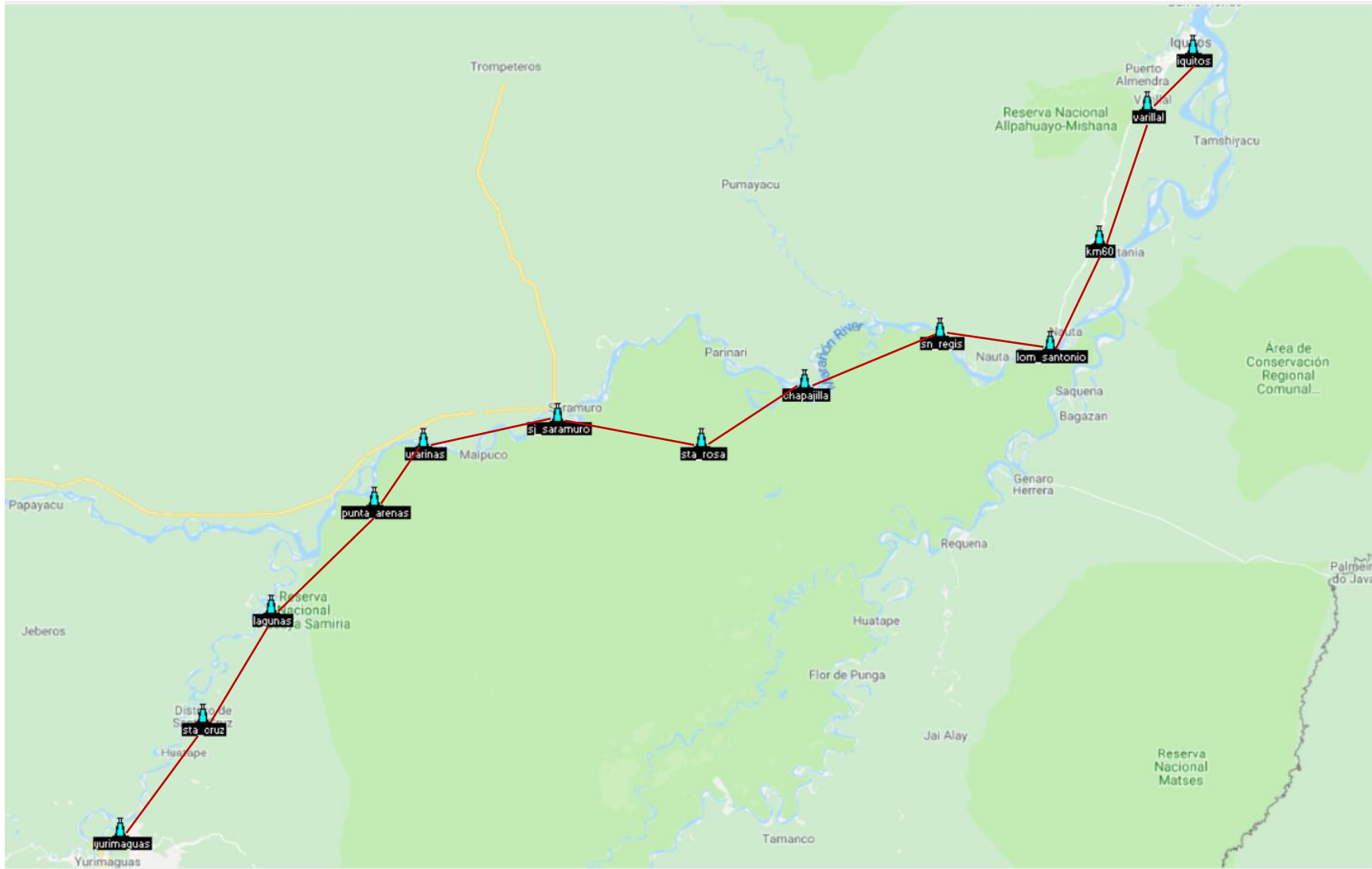


Figura 3.1.- Representación de la ruta de interconexión microondas Yurimaguas - Iquitos

### 3.5.2. Recolección de información de la banda de operación

Conforme la Recomendación ITU-R F.384 (2012), se indica que, para la banda comprendida entre 6425 MHz y 7125 MHz, se tiene una frecuencia central de 6770 MHz. Las ecuaciones para el cálculo a partir de la frecuencia central consideran que, a partir de  $f_0 = 6770$  MHz, se tiene:

$$f_n = f_0 - 350 + 40n$$

$$f_n' = f_0 - 10 + 40n$$

donde  $f_n$  y  $f_n'$  son las frecuencias de ida y vuelta de cada canal duplexado en frecuencia (FDD) expresadas en MHz. De esta forma se presenta la Tabla 3.3 donde se muestran las frecuencias y canales disponibles en la banda de operación

Tabla 3.3. Frecuencias de ida y vuelta banda 6 GHz

Nº canal	$f_{\text{ida}} / f_{\text{vuelta}}$	valor frecuencia
CH 1	$f_1$	6460 MHz
	$f_1'$	6800 MHz
CH 2	$f_2$	6500 MHz
	$f_2'$	6840 MHz
CH 3	$f_3$	6540 MHz
	$f_3'$	6880 MHz
CH 4	$f_4$	6580 MHz
	$f_4'$	6920 MHz
CH 5	$f_5$	6620 MHz
	$f_5'$	6960 MHz
CH 6	$f_6$	6660 MHz
	$f_6'$	7000 MHz
CH 7	$f_7$	6700 MHz
	$f_7'$	7040 MHz
CH 8	$f_8$	6740 MHz
	$f_8'$	7080 MHz

Cabe resaltar que se eligió el canal CH04, para representar las frecuencias de ida y vuelta centrales de la banda de 6 GHz, los cuales serán configurados en la herramienta de simulación

### 3.5.3. Recolección de información de altura de antenas

Conforme la investigación realizada por Alvarado J. y Mendoza J. (2005), en la Tabla 3.3, se muestra un resumen de las alturas referenciales de antenas empleadas en las estaciones dorsales microondas que componen la ruta Yurimaguas hacia Iquitos. Cabe destacar que sólo se han empleado las alturas de antenas principales (o primarias), no incluyéndose en el análisis condiciones de diseño que incluyan configuraciones de diversidad espacial o diversidad de frecuencia.

En la Tabla 3.4 se pueden visualizar por cada enlace la denominación de los sites, y la altura referencial de cada antena.

Tabla 3.4. Datos de alturas de antenas

N° LINK	SITE TX	ALT. ANTENA (m)	SITE RX	ALT. ANTENA (m)
1	YURIMAGUAS	100	SANTA CRUZ	105
2	SANTA CRUZ	125	LAGUNAS	73
3	LAGUNAS	73	PUNTA ARENAS	133
4	PUNTA ARENAS	70	URARINAS	68
5	URARINAS	110	SAN JOSE DE SARAMURO	110
6	SAN JOSE DE SARAMURO	120	SANTA ROSA	122
7	SANTA ROSA	100	CHAPAJILLA	111
8	CHAPAJILLA	111	SAN REGIS	90
9	SAN REGIS	90	LOMA SAN ANTONIO	92
10	LOMA SAN ANTONIO	95	KM 60	96
11	KM 60	125	VARILLAL	130
12	VARILLAL	120	IQUITOS	47

Fuente: Alvarado J. y Mendoza J. (2005)

#### **3.5.4. Recolección de información de transceptor, antena y guía de onda**




El diseño de la presente investigación se encuentra enfocado en el análisis de la señal recibida, identificando los desvanecimientos que ocurran al variar el parámetro de refracción mediante el empleo de una herramienta de simulación de radio propagación microondas.

La herramienta de simulación sólo requiere como valores de entrada parámetros de frecuencia, potencia, ganancia o atenuación para la realización de los cálculos correspondientes. En ese sentido, se hace transparente el uso de cualquier marca y modelo de equipamiento transceptor, antena y guía de onda, puesto que se evidenciará de igual forma la ocurrencia del desvanecimiento.

El análisis de desvanecimientos no buscará identificar valores específicos de señal recibida, sino identificar diferencias de la señal resultante, respecto de la señal máxima, por lo cual se decidió emplear un mismo modelo de sistema de radiofrecuencia (transceptor, antena y línea de transmisión) para cada enlace analizado.

La Tabla 3.5 muestra un resumen de especificaciones técnicas referenciales para los equipos a configurar en la herramienta de simulación. Es así que, considerando la banda de 6 GHz, se ha escogido las características técnicas de un equipo Alcatel 9667LSY, antena Andrew Commscope 2.4m de diámetro y 42 dBi de ganancia, y una guía de onda estándar Andrew Commscope, con una atenuación típica de 5 dB por cada 100 metros de longitud. Los valores empleados suelen ser comunes a valores equipos microondas de otros fabricantes.

Tabla 3.5. Especificaciones referenciales transceiver, antena y guía onda

MODEL 9667 LSY	Technical Especification	
	RF Frequency Band (GHz)	6.4 – 7.1 GHz
	RF Channel Arragements (ITU-R)	F.384
	RF Channel Spacing (MHz)	40
	Transmission Capacity (per RF Channel)	1xSTM-1 or 2xSTM-1
	Modulation	64 QAM
	Transmitted Power (ATPC máximo) dBm	32
	Receiver Threshold 64QAM; BER 10 <sup>-6</sup> dBm	-74.7
	Branching Losses (T+R) dB 1+1 SP (STM-1) dB	4
	Demodulation	Coherent
	Spectrum Shaping	Raised Cosine
	Frequency Reuse	YES
	Switching Configuration	N+0; N+1
	Switching Type	hitless
HPX8-65-D1A	Technical Especification	
	Diameter (m)	2.4
	Operating Frequency Band (GHz)	6.425 – 7.125
	Gain, Mid Band (dBi)	42
	Front to Back Ratio (dB)	68
	Beamwidth (H/V) (°)	1.3
EWP64-65	Technical Especification	
	Conductor Material	Corrugated copper
	Operating Frequency Band (GHz)	6.425 – 7.125
	Return Loss (VSWR)	1.06
	Attenuation (6.6 GHz – dB/m)	0.051

Fuente: Commscope datasheets (2018)

### 3.5.5. Proceso de simulación

En este apartado se buscará describir las principales pantallas de configuración asociadas a la herramienta de simulación.

La Figura 3.2 muestra una captura de pantalla con la configuración a emplear para reproducir el comportamiento de la ruta Yurimaguas – Iquitos en el simulador de enlaces microondas. Se resalta la configuración de la frecuencia de ida del canal 04 microondas correspondiente a 6580 MHz, la cual se ha dividido en la frecuencia mínima de 6560 MHz, y máxima de 6600 MHz, conforme el ancho de banda establecido por la recomendación ITU-R F.684, el cual posee un valor de 40 MHz.

Asimismo, se resalta la configuración tipo spot o haz de radiación, con un valor de % of situations fijado en 70% y un valor de 1% en lo que respecta a pérdidas adicionales por vegetación, con fines de acercarse a los valores de link budget recomendados por Alvarado J. y Mendoza J. (2005).

Para el escenario de región selva, buscado en la presente investigación, la herramienta de simulación ofrece la opción de configurar el tipo de clima Continental Sub Tropical, buscando emular el comportamiento lluvioso y con altas temperaturas, propios de la región oriental peruana.

El parámetro de refractividad se encuentra resaltado en color rojo en la Figura 3.2. Este parámetro se encuentra configurado en su valor por defecto 301 Nunits, lo cual indica condiciones normales de propagación.



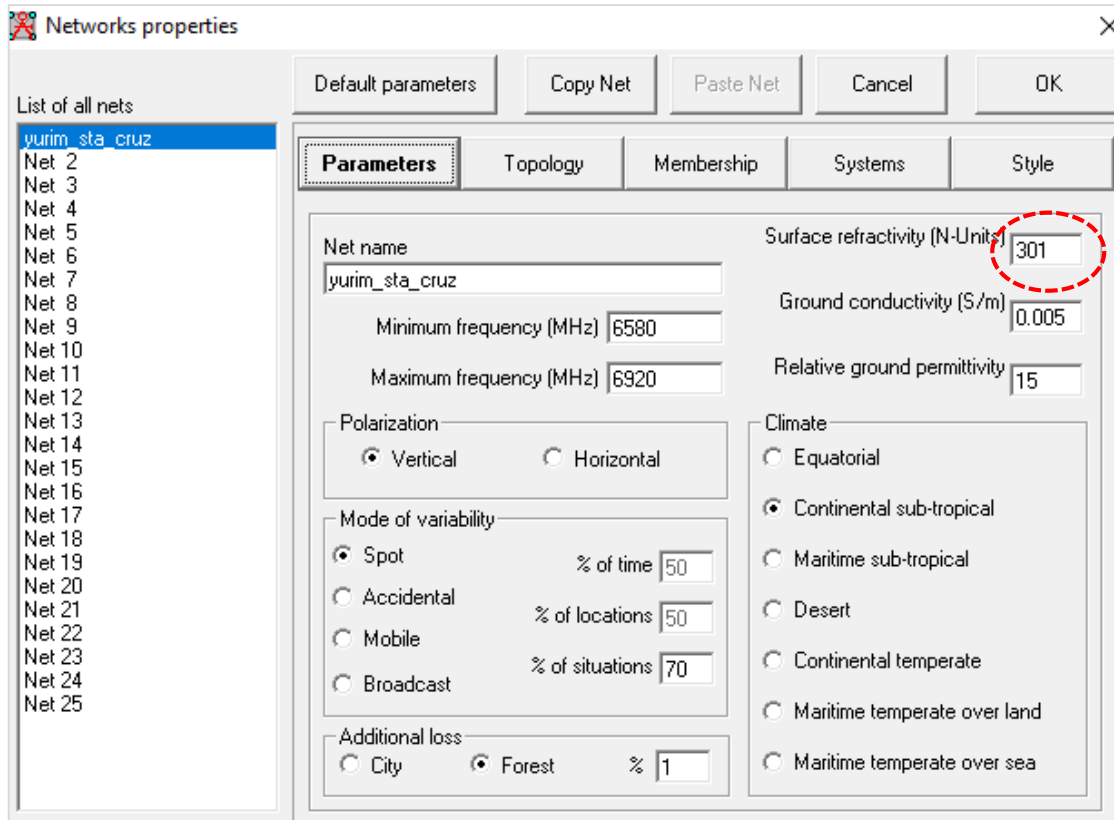


Figura 3.2 – Configuración de simulación - parámetros de red

Los parámetros seleccionados para el equipo tranceptor microondas, antena y guía de onda fueron ingresados en la pestaña de configuración correspondiente al sistema de radiofrecuencia. La Figura 3.3 muestra una captura de pantalla de esta configuración, en donde se registran las características técnicas de los componentes del sistema de radiofrecuencia que fueron seleccionados en la Tabla 3.5.

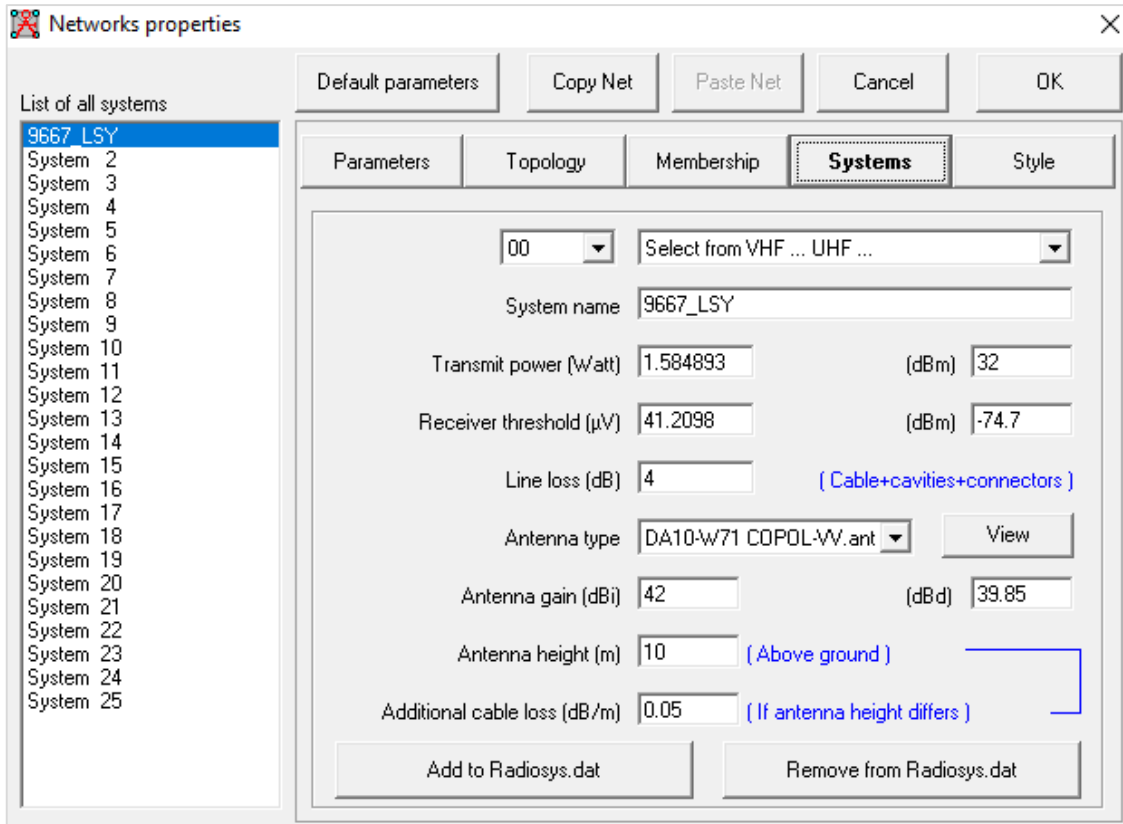


Figura 3.3 - Configuración de herramienta de simulación - parámetros de sistema de radiofrecuencia

La Figura 3.4 presenta la captura de pantalla del reporte de cálculo de radioenlace ofrecido por la herramienta de simulación. En este reporte se observa un resumen de las configuraciones previas ingresadas, y el reporte resultante en la parte superior, el cual indica entre otros parámetros, el nivel de señal RF recibido, el despejamiento de la primera zona de Fresnel, resumen de pérdidas en el trayecto, y el margen de desvanecimiento del radioenlace.

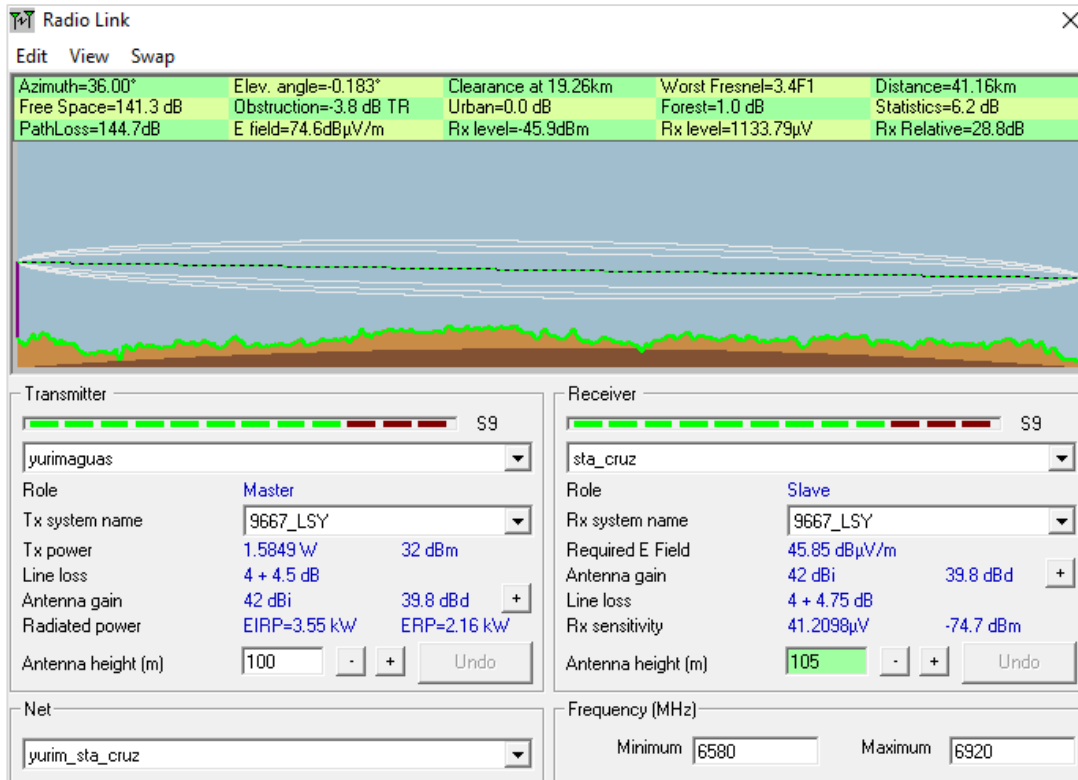


Figura 3.4 – Reporte de cálculo de enlace obtenido de la herramienta de simulación

Para la observación del comportamiento de cada radioenlace ante diversas condiciones climáticas, se varió el parámetro de refractividad, observando el comportamiento resultante en la señal RF recibida.

### 3.5.6. Gráficos de señal versus refractividad obtenidos

Luego de la simulación de cada uno de los doce enlaces que componen la ruta dorsal microondas Yurimaguas – Iquitos, se presentará en este apartado las gráficas obtenidas para el comportamiento de la señal, ante la variación de la refractividad entre los valores permitidos por la herramienta de simulación.

### a. Enlace Yurimaguas – Santa Cruz

La Tabla 3.6 muestra los resultados del proceso de simulación del radioenlace microondas entre la estación Yurimaguas y la estación Santa Cruz, cuando el enlace es sometido a la variación de 16 valores de refractividad. De esta forma la tabla citada, muestra la señal recibida y el desvanecimiento de señal (fading en dB) respecto del nivel más alto de recepción obtenido. Se indican las alturas de antenas empleadas (Tx y Rx) y la distancia del enlace. Cabe destacar que de esta misma forma se construyeron las tablas de simulación resultantes de los otros 11 enlaces.

Tabla 3.6. Resultados de simulación Yurimaguas – Santa Cruz

<b>Tx</b>	<b>Yurimaguas</b>		
$h_{ATX}$	100 m		
<b>Rx</b>	<b>Santa Cruz</b>		
$h_{ARX}$	105 m		
$d$	41.16 Km		
<b>N°</b>	<b><math>N_{refract}</math></b>	<b><math>N_{rx}</math> (dBm)</b>	<b>F(dB)</b>
1	250	-46.3	1.4
2	260	-45.6	0.7
3	270	-45.1	0.2
4	280	-44.9	0
5	290	-45	0.1
6	300	-45.6	0.7
7	310	-46.7	1.8
8	320	-48.7	3.8
9	330	-52.2	7.3
10	340	-58.8	13.9
11	350	-58.2	13.3
12	360	-51.3	6.4
13	370	-47.5	2.6
14	380	-45.5	0.6
15	390	-44.9	0
16	400	-45.6	0.7

En base a la Tabla 3.6, correspondiente al enlace Yurimaguas – Santa Cruz, se elaboró el gráfico de tendencia mostrado en la Figura 3.5. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la curva de variación de la señal recibida en la estación Santa Cruz, en función de la refractividad. Asimismo, la misma gráfica permite apreciar los desvanecimientos de señal.

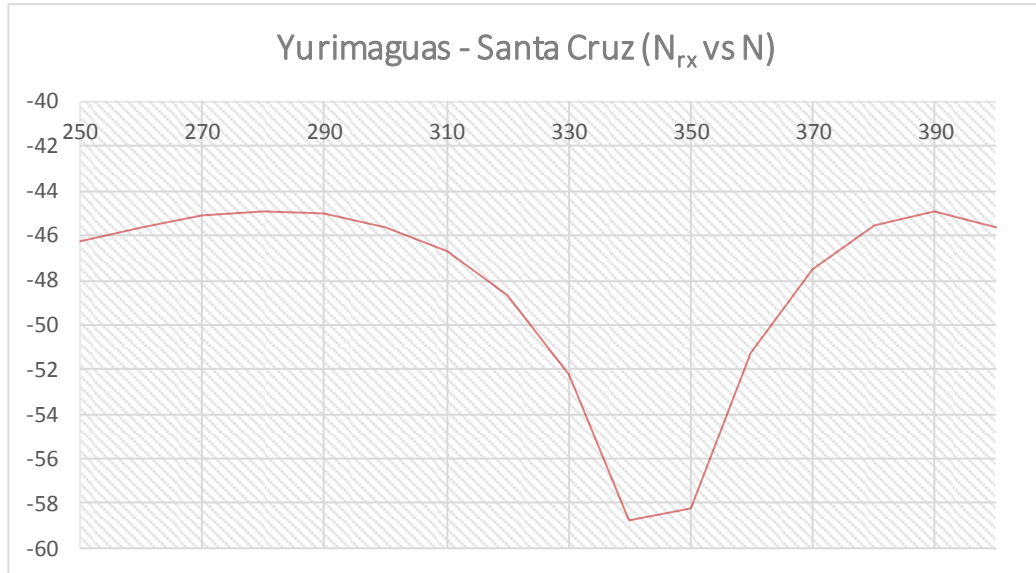


Figura 3.5 – Yurimaguas – Santa Cruz, señal versus refractividad

En el caso de la Figura 3.5, se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, que ocurre para el valor de refractividad aproximado de 340 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -59 dBm.

El valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -45 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 14 dB aproximadamente. Es así que, en este mismo orden de ideas, se procederá a presentar las gráficas resultantes para los once enlaces restantes.

### b. Enlace Santa Cruz – Lagunas

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.6. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, para el valor de refractividad aproximado de 350 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -58 dBm.

El valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -44 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 14 dB aproximadamente.

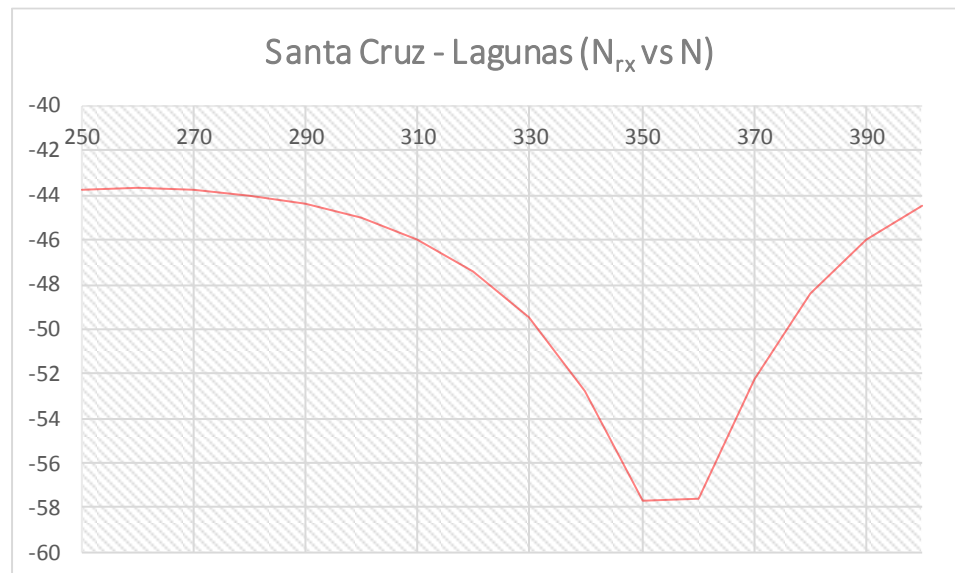


Figura 3.6. Santa Cruz - Lagunas, señal versus refractividad

### c. Enlace Lagunas – Punta Arenas

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.7. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, para el valor de refractividad aproximado de 300 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente

-63 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -47 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 16 dB aproximadamente.

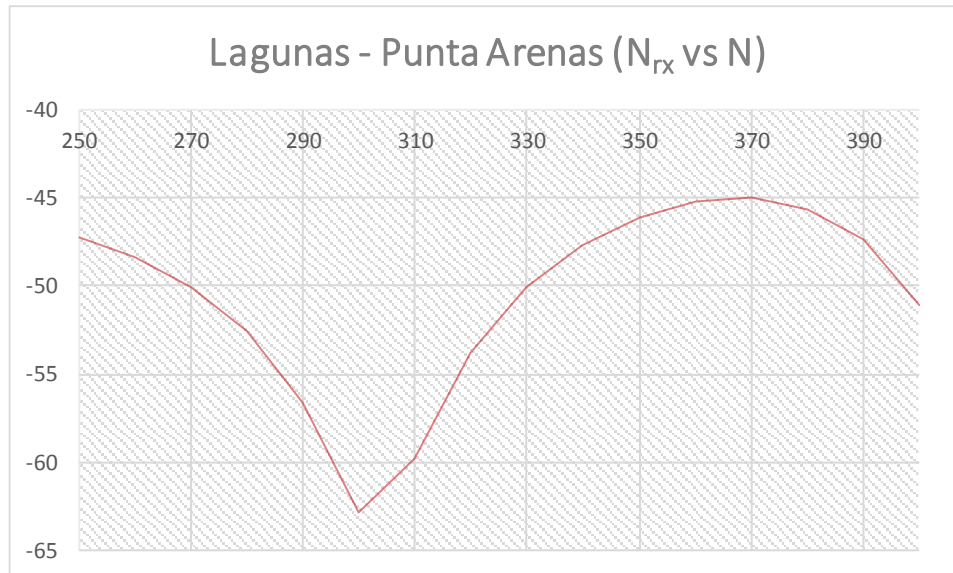


Figura 3.7. Lagunas – Punta Arenas, señal versus refractividad

#### d. Enlace Punta Arenas - Urarinas

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.8. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, para el valor de refractividad aproximado de 290 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -52 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -36 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 16 dB aproximadamente.

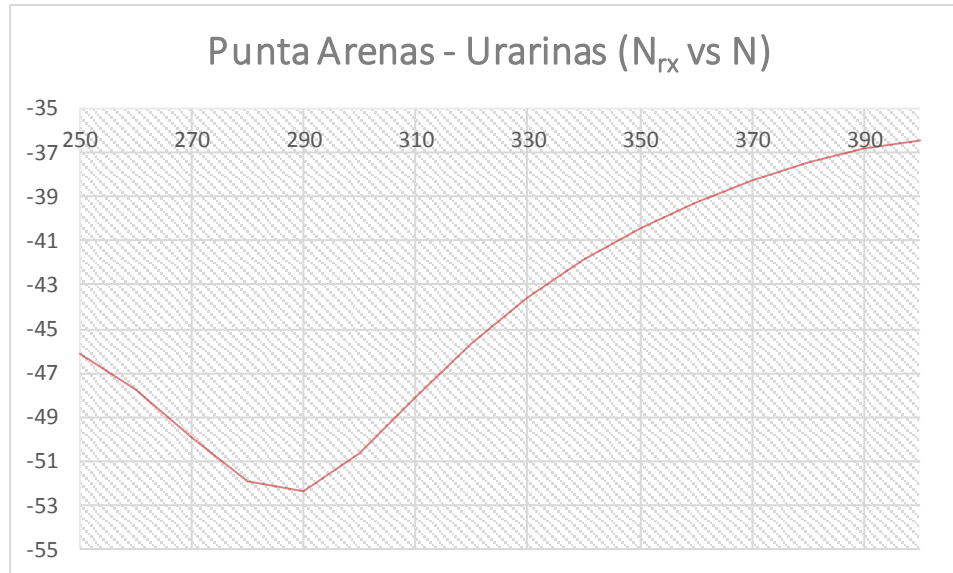


Figura 3.8. Punta Arenas - Urarinas, señal versus refractividad

#### e. Enlace Urarinas – San José de Saramuro

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.9. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, para el valor de refractividad aproximado de 340 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -62 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -45 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 17 dB aproximadamente.



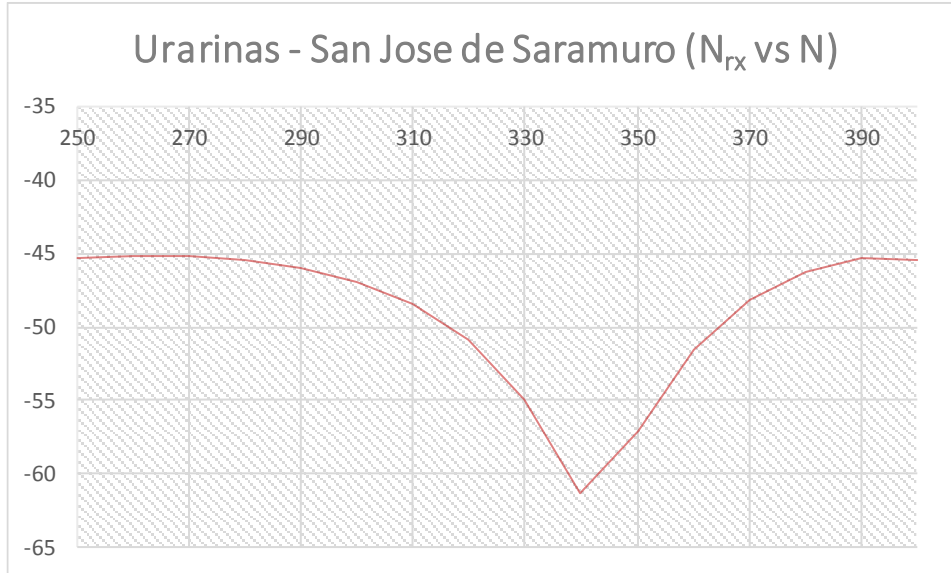


Figura 3.9. Urarinas – San José de Saramuro, señal versus refractividad

**f. Enlace San José de Saramuro – Santa Rosa**

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.10. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, para el valor de refractividad aproximado de 290 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -68 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -46 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 22 dB aproximadamente.

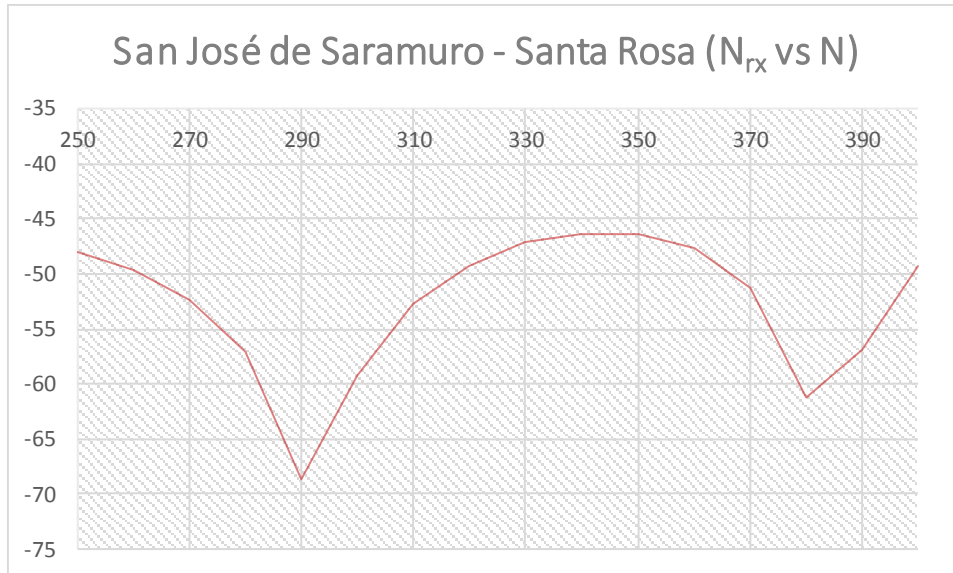


Figura 3.10. San José de Saramuro – Santa Rosa, señal versus refractividad

#### g. Enlace Santa Rosa - Chapajilla

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.11. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, para el valor de refractividad aproximado de 330 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -58 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -44 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 14 dB aproximadamente.

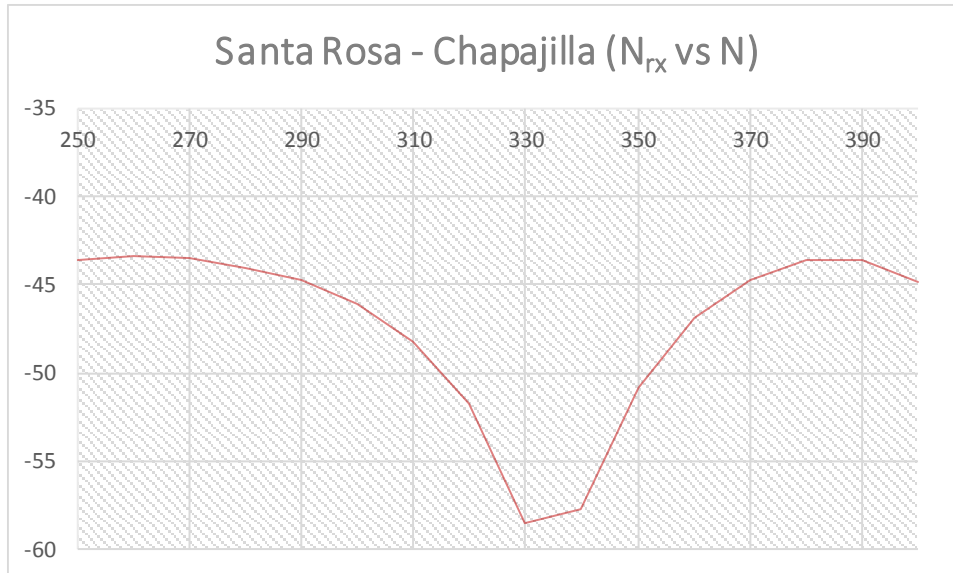


Figura 3.11. Santa Rosa - Chapajilla, señal versus refractividad

#### h. Enlace Chapajilla – San Regis

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.12. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de dos desvanecimientos pronunciados, para el valor de refractividad aproximados de 280 y 390 N units, siendo en estos puntos donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -59 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -45 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 14 dB aproximadamente.

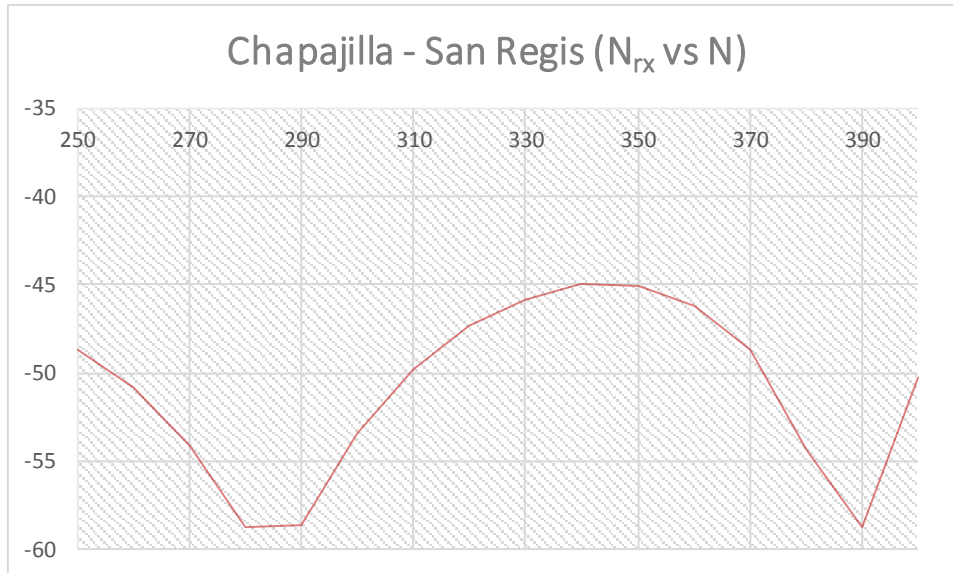


Figura 3.12. Chapajilla – San Regis, señal versus refractividad

**i. Enlace San Regis – Loma San Antonio**

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.13. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de dos desvanecimientos pronunciados, para el valor de refractividad aproximados de 250 y 400 N units, siendo en estos puntos donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -51 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -42 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 11 dB aproximadamente.

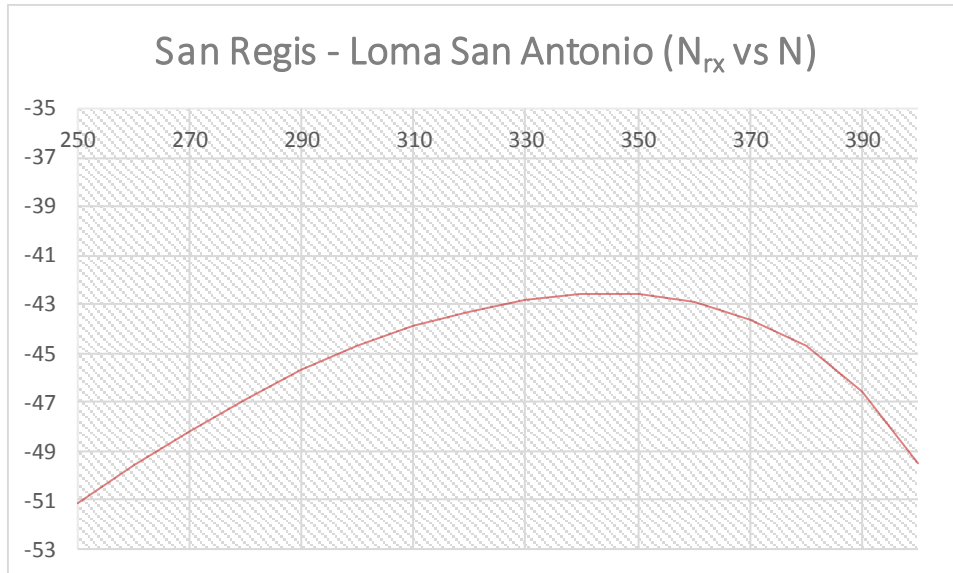


Figura 3.13. San Regis – Loma San Antonio, señal versus refractividad

**j. Enlace Loma San Antonio – Km 60**

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.14. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de un desvanecimiento pronunciado, para el valor de refractividad aproximado de 310 N units, siendo en este punto donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -51 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -45 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 6 dB aproximadamente.

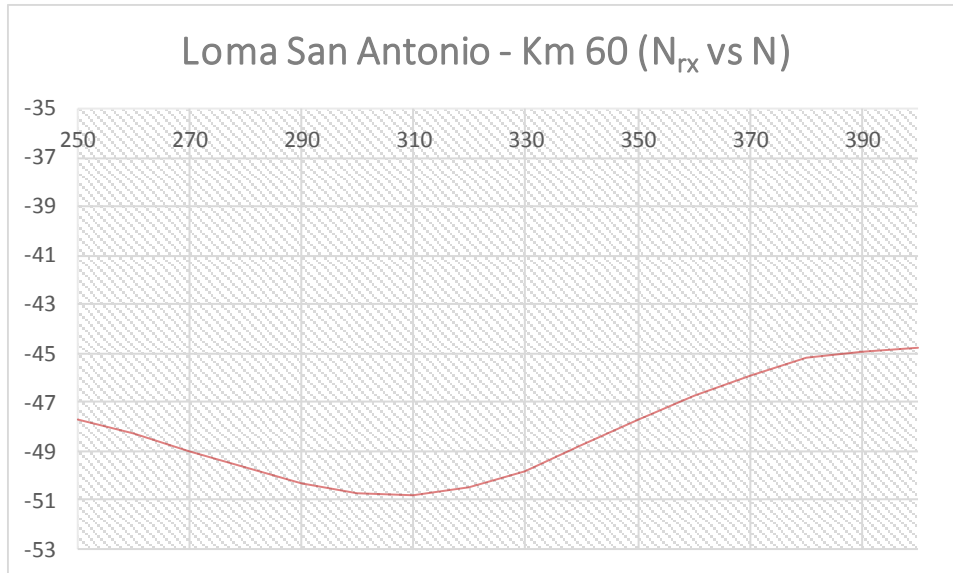


Figura 3.14. Loma San Antonio – Km 60, señal versus refractividad

#### k. Enlace Km 60 - Varillal

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.15. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de dos desvanecimientos pronunciados, para los valores de refractividad aproximados de 330 y 400 N units, siendo en estos puntos donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -60 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -47 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 13 dB aproximadamente.

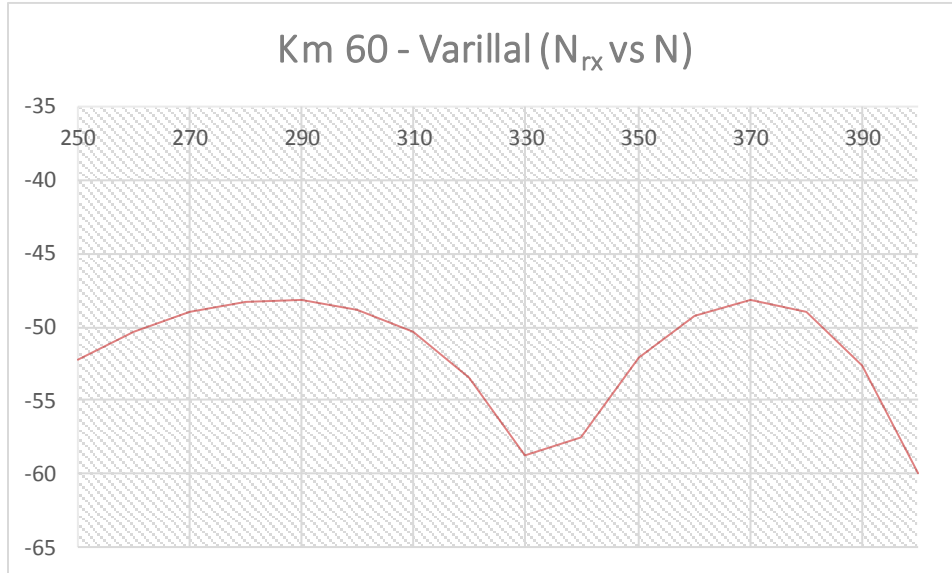


Figura 3.15. Km 60 - Varillal, señal versus refractividad

### I. Enlace Varillal - Iquitos

El resultado de simulación de este enlace se muestra en la Figura 3.15. Es así que en esta gráfica se puede apreciar la ocurrencia de dos desvanecimientos pronunciados, para los valores de refractividad aproximados de 250 y 400 N units, siendo en estos puntos donde la señal decae hasta su valor mínimo de aproximadamente -40 dBm. Asimismo, el valor mínimo de señal antes mencionado, puede también compararse con el nivel máximo de señal recibido (aproximadamente -37 dBm), obteniéndose un desvanecimiento de 3 dB aproximadamente.

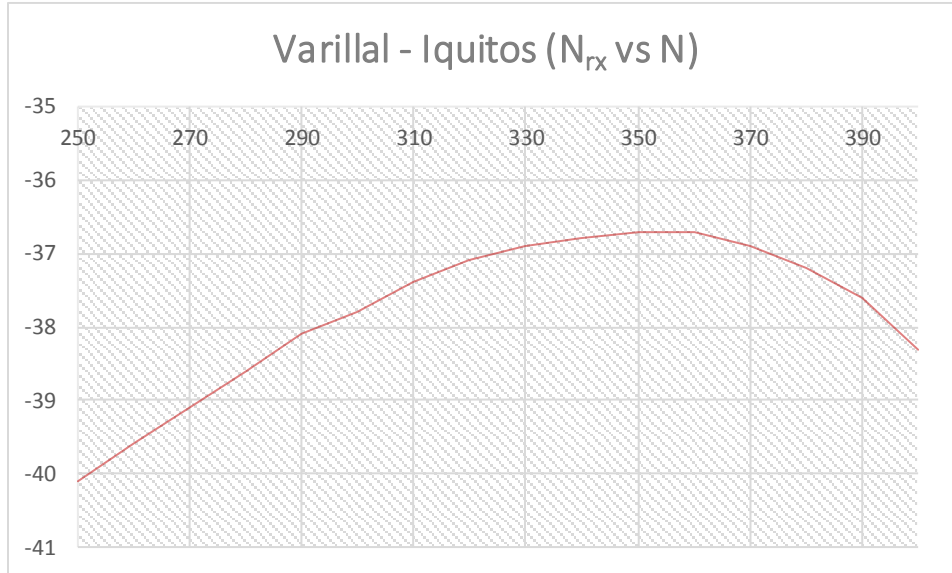


Figura 3.16. Varillal - Iquitos, señal versus refractividad

### 3.5.7. Resumen de desvanecimientos para cada valor de refractividad

En este apartado, a partir del cuadro resumen detallado en la Tabla 3.7, se buscará seleccionar los valores de refractividad más críticos observados en los 12 enlaces analizados.

Se puede observar en la Tabla 3.7 que para cada valor de refractividad, se ha cuantificado el valor del margen de desvanecimiento generado en cada uno de los enlaces que componen la ruta Yurimaguas – Iquitos. En ese sentido se ha buscado contabilizar los desvanecimientos más significativos (mayores a 6 dB), que cada valor de refractividad genera en cada uno de los enlaces.

Una vez cuantificadas las ocurrencias de desvanecimientos mayores a 6 dB, se realizará un ordenamiento de Pareto, de acuerdo a los valores de refractividad que han generado mayor cantidad de desvanecimientos.



Tabla 3.7. Resumen y selección desvanecimientos obtenidos para cada valor de refractividad

Refractivity	Y-SCruz	SCruz-Lag	Lag-PArena	PArena-Urari	Urari-SnJose	SnJose-SRosa	SRosa-Chapaj	Chapaj-SRegis	SRegis-SnAnton	SnAnton-Km60	Km60-Varill	Varill-IQUITOS	N° Deep Fading > 6dB
	41.16 Km Desv (dB)	37.68 Km Desv (dB)	43.86 Km Desv (dB)	22.43 Km Desv (dB)	39.89 Km Desv (dB)	42.82 Km Desv (dB)	34.67 Km Desv (dB)	42.54 Km Desv (dB)	32.66 Km Desv (dB)	34.25 Km Desv (dB)	41.83 Km Desv (dB)	21.21 Km Desv (dB)	
250	1.4	0.1	2.2	9.7	0.1	1.8	0.2	3.7	8.5	2.9	4.1	3.4	2
260	0.7	0	3.4	11.4	0	3.4	0	5.8	7	3.5	2.1	2.9	2
270	0.2	0.1	5.1	13.5	0	6	0.1	9.1	5.6	4.2	0.8	2.4	2
280	0	0.3	7.6	15.5	0.3	10.8	0.6	13.8	4.3	4.9	0.1	1.9	4
290	0.1	0.7	11.6	16	0.8	22.4	1.3	13.7	3.1	5.5	0	1.4	4
300	0.7	1.3	17.9	14.3	1.8	12.9	2.7	8.5	2.1	5.9	0.6	1.1	4
310	1.8	2.3	14.8	11.7	3.3	6.4	4.8	4.8	1.3	6	2.2	0.7	3
320	3.8	3.7	8.8	9.3	5.7	2.9	8.4	2.3	0.7	5.7	5.3	0.4	3
330	7.3	5.8	5.1	7.2	9.8	0.9	15.1	0.8	0.2	5	10.6	0.2	5
340	13.9	9.1	2.7	5.5	16.1	0	14.4	0	0	4	9.3	0.1	5
350	13.3	14	1.1	4	11.9	0.1	7.4	0.1	0	2.9	3.9	0	4
360	6.4	13.9	0.2	2.8	6.3	1.4	3.5	1.2	0.3	1.9	1	0	3
370	2.6	8.5	0	1.8	2.9	4.9	1.3	3.7	1	1.1	0	0.2	1
380	0.6	4.7	0.6	1	1	15	0.2	9.3	2.1	0.4	0.8	0.5	2
390	0	2.3	2.3	0.4	0.1	10.6	0.2	13.8	4	0.1	4.5	0.9	2
400	0.7	0.8	6.1	0	0.2	3	1.4	5.3	6.9	0	11.8	1.6	3

### 3.5.8. Criterio de Pareto para los desvanecimientos por refractividad

En este apartado, a partir de la cuantificación de los desvanecimientos significativos producidos por cada valor de refractividad, se buscará identificar los valores de refractividad que han generado la mayor cantidad de desvanecimientos.

En este orden de ideas, la Tabla 3.8, presenta el ordenamiento de los valores de refractividad, de mayor a menor número de incidencias de desvanecimientos. Asimismo, se presenta el porcentaje de aporte acumulado de cada valor de refractividad, con el fin de aplicar el criterio de Pareto, seleccionando como valores críticos, aquellos que generen un acumulado de 80% de los desvanecimientos.

Tabla 3.8. Pareto para ocurrencia de desvanecimientos por cada valor de refractividad

Refractivity	N° Deep Fading	% acum
330	5	10.20%
340	5	20.41%
280	4	28.57%
290	4	36.73%
300	4	44.90%
350	4	53.06%
310	3	59.18%
320	3	65.31%
360	3	71.43%
400	3	77.55%
250	2	81.63%
260	2	85.71%
270	2	89.80%
380	2	93.88%
390	2	97.96%
370	1	100.00%
TOTAL	49	

La Tabla 3.9 presenta los 11 valores seleccionados de refractividad que han generado el 80% de desvanecimientos. Estos valores deberán ser evaluados bajo el criterio de la recomendación ITU-R P.453 con el fin de identificar los factores climáticos asociados a la ocurrencia de los respectivos valores de refractividad.

Tabla 3.9. Valores de refractividad con mayor generación de desvanecimientos

N°	Refractivity	N° Deep Fading
1	250	2
2	280	4
3	290	4
4	300	4
5	310	3
6	320	3
7	330	5
8	340	5
9	350	4
10	360	3
11	400	3

### 3.5.9. Aplicación de los criterios establecidos por ITU-R P.453

Conforme la recomendación ITU-R P.453, los valores de refractividad pueden ser calculados en base a la dependencia de la Presión Atmosférica (P), la Temperatura Ambiental (T) y la Presión de Vapor de Agua (e), expresada por la siguiente ecuación:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} - 5,6 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$$

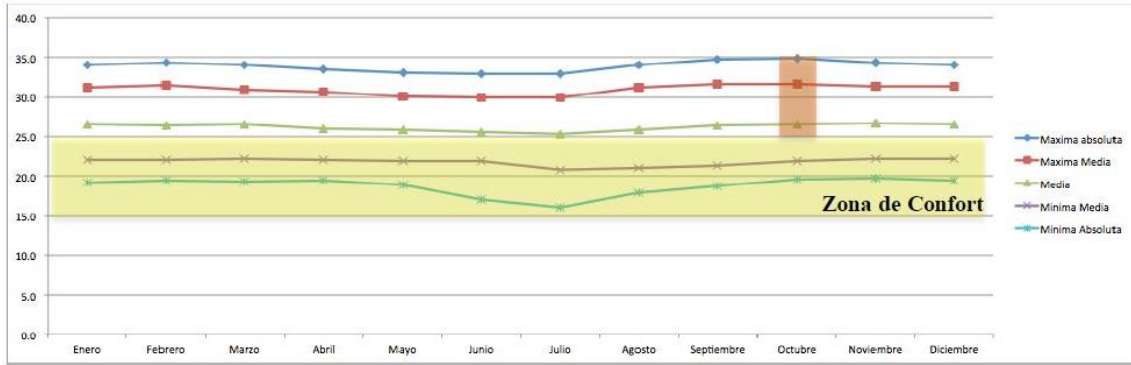
Sin embargo, cabe destacar que la presión de vapor de agua se puede calcular en base a la presión de saturación de vapor de agua (punto de rocío), la cual a su vez se encuentra relacionada a la temperatura ambiental por las siguientes ecuaciones:

$$e = \frac{H e_s}{100}$$

$$e_s = a \exp\left(\frac{b t}{t + c}\right)$$

La identificación de condiciones climáticas asociadas a la ocurrencia de desvanecimientos se realizó tomando en cuenta los valores de presión atmosférica, temperatura y presión de vapor de agua, que en concordancia con el clima característico de la región de Loreto pudieran generar cada uno de los 11 valores de refractividad críticos para las condiciones de desvanecimiento. Se consideró una variación mínima del valor de presión atmosférica (a partir de 1015 mbar), teniéndose además como datos de apoyo la gráfica histórica de variación de temperatura mostrada en la Figura 3.16 y gráfica histórica de variación de humedad mostrada en la Figura 3.17, elaboradas por Tello C. (2014), en las q se muestran los límites máximos y mínimos de estos factores climáticos observados durante los años 2009 al 2012.

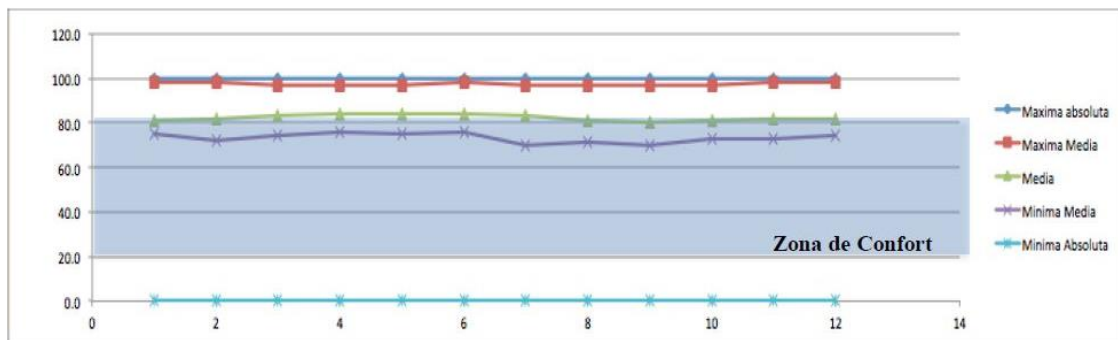
Los factores identificados se presentarán como resultados del presente trabajo de investigación.



Adaptado Tello 2014 - Senamhi 2009-2012

Figura 3.17. Variación de Temperatura Iquitos 2009 – 2012

Fuente: Tello C. (2014)



Adaptado Tello 2014 - Senamhi 2009-2012

Figura 3.17. Variación de Humedad Iquitos 2009 – 2012

Fuente: Tello C. (2014)

## IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis e interpretación de resultados

La Tabla 4.1 presenta los resultados obtenidos luego de las estimaciones realizadas en base a la Recomendación ITU-R P.453, con el fin de obtener las combinaciones de valores de presión atmosférica, temperatura y humedad (presión de vapor de agua), que generen los once valores críticos de refractividad seleccionados mediante las reglas de Pareto.

Se puede apreciar que de los once valores críticos de refractividad, sólo se lograron obtener combinaciones climáticas válidas a partir de valores de refractividad de 330 N units o superiores.

Tabla 4.1. Identificación de condiciones climáticas desfavorables

N°	Refractivity	P <sub>1(mbar)</sub>	T <sub>1(°C)</sub>	T <sub>1(°K)</sub>	H%	e <sub>1(mbar)</sub>	N	P <sub>2(mbar)</sub>	T <sub>2(°C)</sub>	T <sub>2(°K)</sub>	H%	e <sub>2(mbar)</sub>	N
1	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	310	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	330	1005	18	291	68	14.03	330	-	-	-	-	-	-
8	340	1015	20	293	70	16.36	340	-	-	-	-	-	-
9	350	1015	20	293	80	18.7	350	-	-	-	-	-	-
10	360	1015	20	293	90	21.04	360	1015	25	298	72	22.8	360
11	400	1015	27	300	93	33.15	400	1015	30	303	81	34.37	400

Los valores de presión atmosférica suelen poseer una variación mínima en la región Loreto (promedio 1015mbar), por lo cual la mayor variación de las condiciones de refractividad se generan a partir de la variación de temperatura (entre 16°C a 35°C) y humedad (70% a 100% de humedad relativa), lo cual se relaciona directamente con la presión de vapor de agua.

Considerando que los valores de temperatura y humedad decrecen hasta un mínimo de 18°C y 68% respectivamente, es que se logra obtener el valor de refractividad de 330 N units. Las combinaciones para valores de refractividad

más bajos, implicarían condiciones de temperatura demasiado frías para la región Loreto, o condiciones de clima seco extremo que no concuerdan con la naturaleza de la zona geográfica. Ante ello se descarta la ocurrencia de desvanecimientos generados por los seis primeros valores de refractividad.

Para el análisis de los valores de refractividad superiores a 330 N units, se tiene mayor coherencia con el clima típico de la zona. Es así que ya sea al aumentar la temperatura sobre los 18°C o al aumentar la humedad sobre el 70% se llegan a cubrir los valores críticos reportados entre 330 N units y 400 N units.

Conforme los valores presentados en la Tabla 4.1, se puede identificar que, para los valores más bajos de temperatura en la región (20 °C) y una degradación de humedad hasta 70%, se producirán desvanecimientos en su ruta de interconexión.

Asimismo, se puede identificar que, al acercarse el clima de la región a temperaturas de 30 °C o superiores, con humedad mayor al 90%, se producirán igualmente desvanecimientos considerables en su ruta de interconexión microondas.

## 4.2. Docimasia de hipótesis

Conforme el análisis de resultados, se pudieron identificar los siguientes factores climáticos que influyen en el desvanecimiento de señal, en la ruta de interconexión microondas entre Yurimaguas e Iquitos:

### a. Temperatura

Este factor influye de manera directa sobre la presión de vapor de agua. Particularmente se encuentra asociado al desvanecimiento de señal microondas en la ruta dorsal hacia Iquitos, al acercarse a valores límites mínimos de 18 °C a 20 °C con humedad baja. Asimismo, al acercarse a valores mayores a 27 °C con humedad alta.

### b. Humedad

Este factor influye de manera directa sobre la presión de vapor de agua. Particularmente se encuentra asociado al desvanecimiento de señal microondas en la ruta dorsal hacia Iquitos, al acercarse a valores límites mínimos de 70% con temperaturas mínimas. Asimismo, se asocia a los desvanecimientos al acercarse a valores superiores al 90% con temperaturas altas.

Finalmente, conforme los resultados obtenidos, se puede afirmar que en base a un estudio basado en la recomendación ITU-R P.453 se identificaron los factores climáticos asociados al desvanecimiento de señal microondas en un segmento de la ruta de interconexión hacia la ciudad de Iquitos, desde la ciudad de Yurimaguas.



## **V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:**

Conforme los resultados obtenidos se han identificado dos condiciones climáticas en donde se asocian temperatura y humedad para producir efectos de desvanecimiento en los enlaces dorsales microondas de la ruta Yurimaguas - Iquitos.

Las condiciones identificadas señalan que, tanto en condiciones de humedad y temperatura mínimas, como humedad y temperatura altas se producirán desvanecimientos. Dado que las condiciones identificadas son de característica común en la región, esto lleva a discutir si la aparición de desvanecimientos podría ser frecuente en la ruta Yurimaguas - Iquitos.

En el trabajo realizado Alvarado J. y Mendoza J. (2005) se pudo observar que los seis enlaces que igualan o superan los 40 Km de distancia en la ruta Yurimaguas - Iquitos, emplean diversidad espacial, lo cual indica un criterio de prevención de efectos permanentes de desvanecimiento. En tal sentido los resultados obtenidos por la presente investigación coinciden con los criterios de diseño señalados.

En ese mismo orden de ideas existen otros seis enlaces de menor distancia que no cuentan con diversidad espacial. Conforme a los resultados obtenidos, los enlaces Santa Cruz – Lagunas, y Santa Rosa – Chapajilla son los que podrían estar sujetos a mayores condiciones de desvanecimiento, pudiendo ser los más vulnerables a generar indisponibilidad en la ruta Yurimaguas - Iquitos.

## VI. CONCLUSIONES

- En el proceso de simulación se seleccionaron parámetros técnicos de sistemas microondas similares a los empleados en rutas dorsales en nuestro país. Los parámetros más importantes que lograron identificarse son: frecuencia, potencia, pérdidas y umbral de transceptor, patrón, ganancia y altura de antenas, y coeficiente de atenuación de guía de onda.
- Respecto de los parámetros complementarios de simulación, se resalta la variación de la refractividad de 250 Nunits a 400 Nunits, lo cual permitió analizar los desvanecimientos de señal en base a las diferencias con los valores máximos alcanzados.
- La mayor ocurrencia de desvanecimientos se dio entre los valores de 330 Nunits a 400 Nunits, habiéndose descartado las demás ocurrencias debido a que no fueron compatibles con las condiciones climáticas de la región bajo el análisis de las recomendaciones ITU-R P.453.
- Se identificó una condición climática conducente a desvanecimientos a temperaturas entre 18°C y 20 °C y humedad entre valores 68% a 90%. La segunda condición climática conducente a desvanecimientos se identificó al llegar a valores de temperaturas superiores a 25°C con valores de humedad superiores al 80%. Estas condiciones guardan relación con la necesidad de proteger los enlaces de mayor longitud mediante técnicas de diversidad espacial.

## VII. RECOMENDACIONES

- El análisis de refractividad empleado para la identificación de condiciones climáticas desfavorables se ha realizado a partir de la evaluación de 16 valores de refractividad en cada enlace, sin embargo, es posible aumentar este valor para mejorar la caracterización de los desvanecimientos, o identificar desvanecimientos selectivos.
- De igual forma la cantidad de enlaces empleados para el análisis de refractividad han sido únicamente 12 enlaces. En ese sentido el empleo de una mayor cantidad de enlaces dorsales permitiría mejorar la identificación de condiciones desfavorables en las rutas de interconexión hacia Iquitos. Sin embargo, esto requeriría el acceso a la información del diseño de red de operadores, lo cual suele ser restringido. Asimismo, otros diseños de red microondas podrían emplear otra banda de frecuencia, ampliando con ello el criterio de análisis.
- El análisis de refractividad realizado en el presente trabajo ha partido de un esquema de red dorsal hacia la ciudad de Iquitos, lo cual supone un exigente proceso de diseño previo, sin embargo, conforme los resultados obtenidos, los enlaces Santa Cruz – Lagunas, y Santa Rosa – Chapajilla son los que podrían estar sujetos a mayores condiciones de desvanecimiento, pudiendo recomendarse en este sentido la revisión de la necesidad de emplear diversidad espacial.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **Tesis**

- Alvarado, J. & Mendoza, J. (2005) Elección y diseño de una red de comunicaciones para la región Loreto (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Alulema, J. (2002) Diseño de una red de microondas entre Quito-Guayaquil, considerando análisis de interferencia y planeación del espectro electromagnético (proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Fernández C. & Dávila L. (2013) Diseño de una red de transporte para la integración de la Región Madre de Dios a la red troncal de telecomunicaciones del Perú (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

- **Libros**

- Tomasi, W. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (4ª ed.). México, México: Pearson Education
- Pérez, C., Zamanillo, J., y Casanueva A. (2007) Sistemas de Telecomunicación. Santander, España: Servicios de publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Manning T. (2009) Microwave Radio Transmission Design Guide (2a ed.). Canton Street Norwood Massachusetts, United States of America: Artech House.

- **Publicaciones**

- Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (2017). Recomendación UIT-R P.453-13 (12/2017) Índice de refracción radioeléctrica: su fórmula y datos sobre la refractividad, Serie P, Propagación de las ondas radioeléctricas. Recuperado el 12/2018 de: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.453-13-201712-I/es>

- **Páginas en el world wide web**

- Murillo J. J. (2005) Radioprogación. Transparencias de la asignatura radiación y radiocomunicación. ETSI. Universidad de Sevilla. Recuperado el 12/2018 de: <https://personal.us.es/murillo/docente/radio/documentos/tema7.pdf>

## ANEXO I: TABLAS DE SIMULACIÓN

### A.1.1. ENLACE YURIMAGUAS – SANTA CRUZ

<b>Tx</b>	<b>Yurimaguas</b>
$h_{ATX}$	100 m
<b>Rx</b>	<b>Santa Cruz</b>
$h_{ARX}$	105 m
$d$	41.16 Km

<b>N°</b>	<b><math>N_{refract}</math></b>	<b><math>N_{rx}</math> (dBm)</b>	<b>F(dB)</b>
1	250	-46.3	1.4
2	260	-45.6	0.7
3	270	-45.1	0.2
4	280	-44.9	0
5	290	-45	0.1
6	300	-45.6	0.7
7	310	-46.7	1.8
8	320	-48.7	3.8
9	330	-52.2	7.3
10	340	-58.8	13.9
11	350	-58.2	13.3
12	360	-51.3	6.4
13	370	-47.5	2.6
14	380	-45.5	0.6
15	390	-44.9	0
16	400	-45.6	0.7
	MAX	-44.9	

## A.1.2. ENLACE SANTA CRUZ – LAGUNAS

Tx	Sta. Cruz	
$h_{ATX}$	125	m
Rx	Lagunas	
$h_{ARX}$	73	m
d	37.68	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-43.8	0.1
2	260	-43.7	0
3	270	-43.8	0.1
4	280	-44	0.3
5	290	-44.4	0.7
6	300	-45	1.3
7	310	-46	2.3
8	320	-47.4	3.7
9	330	-49.5	5.8
10	340	-52.8	9.1
11	350	-57.7	14
12	360	-57.6	13.9
13	370	-52.2	8.5
14	380	-48.4	4.7
15	390	-46	2.3
16	400	-44.5	0.8
	MAX	-43.7	

### A.1.3. ENLACE LAGUNAS – PUNTA ARENAS

Tx	Lagunas	
$h_{ATX}$	73	m
Rx	Pta. Arenas	
$h_{ARX}$	133	m
d	43.86	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-47.2	2.2
2	260	-48.4	3.4
3	270	-50.1	5.1
4	280	-52.6	7.6
5	290	-56.6	11.6
6	300	-62.9	17.9
7	310	-59.8	14.8
8	320	-53.8	8.8
9	330	-50.1	5.1
10	340	-47.7	2.7
11	350	-46.1	1.1
12	360	-45.2	0.2
13	370	-45	0
14	380	-45.6	0.6
15	390	-47.3	2.3
16	400	-51.1	6.1
	MAX	-45	



#### A.1.4. ENLACE PUNTA ARENAS – URARINAS

Tx	Pta. Arenas	
$h_{ATX}$	70	m
Rx	Urarinas	
$h_{ARX}$	68	m
d	22.43	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-46.1	9.7
2	260	-47.8	11.4
3	270	-49.9	13.5
4	280	-51.9	15.5
5	290	-52.4	16
6	300	-50.7	14.3
7	310	-48.1	11.7
8	320	-45.7	9.3
9	330	-43.6	7.2
10	340	-41.9	5.5
11	350	-40.4	4
12	360	-39.2	2.8
13	370	-38.2	1.8
14	380	-37.4	1
15	390	-36.8	0.4
16	400	-36.4	0
	MAX	-36.4	

### A.1.5. ENLACE URARINAS – SAN JOSÉ DE SARAMURO

Tx	Urarinas	
$h_{ATX}$	110	m
Rx	Sn José	
$h_{ARX}$	110	m
d	39.89	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-45.3	0.1
2	260	-45.2	0
3	270	-45.2	0
4	280	-45.5	0.3
5	290	-46	0.8
6	300	-47	1.8
7	310	-48.5	3.3
8	320	-50.9	5.7
9	330	-55	9.8
10	340	-61.3	16.1
11	350	-57.1	11.9
12	360	-51.5	6.3
13	370	-48.1	2.9
14	380	-46.2	1
15	390	-45.3	0.1
16	400	-45.4	0.2
	MAX	-45.2	

### A.1.6. ENLACE SAN JOSÉ DE SARAMURO – SANTA ROSA

Tx	Sn José	
$h_{ATX}$	120	m
Rx	Sta. Rosa	
$h_{ARX}$	122	m
d	42.82	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-48.1	1.8
2	260	-49.7	3.4
3	270	-52.3	6
4	280	-57.1	10.8
5	290	-68.7	22.4
6	300	-59.2	12.9
7	310	-52.7	6.4
8	320	-49.2	2.9
9	330	-47.2	0.9
10	340	-46.3	0
11	350	-46.4	0.1
12	360	-47.7	1.4
13	370	-51.2	4.9
14	380	-61.3	15
15	390	-56.9	10.6
16	400	-49.3	3
	MAX	-46.3	

### A.1.7. ENLACE SANTA ROSA - CHAPAJILLA

Tx	Sta. Rosa
$h_{ATX}$	100 m
Rx	Chapajilla
$h_{ARX}$	111 m
d	34.67 Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-43.6	0.2
2	260	-43.4	0
3	270	-43.5	0.1
4	280	-44	0.6
5	290	-44.7	1.3
6	300	-46.1	2.7
7	310	-48.2	4.8
8	320	-51.8	8.4
9	330	-58.5	15.1
10	340	-57.8	14.4
11	350	-50.8	7.4
12	360	-46.9	3.5
13	370	-44.7	1.3
14	380	-43.6	0.2
15	390	-43.6	0.2
16	400	-44.8	1.4
	MAX	-43.4	

### A.1.8. ENLACE CHAPAJILLA – SAN REGIS

Tx	Chapajilla	
$h_{ATX}$	111	m
Rx	San Regis	
$h_{ARX}$	90	m
d	42.54	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-48.7	3.7
2	260	-50.8	5.8
3	270	-54.1	9.1
4	280	-58.8	13.8
5	290	-58.7	13.7
6	300	-53.5	8.5
7	310	-49.8	4.8
8	320	-47.3	2.3
9	330	-45.8	0.8
10	340	-45	0
11	350	-45.1	0.1
12	360	-46.2	1.2
13	370	-48.7	3.7
14	380	-54.3	9.3
15	390	-58.8	13.8
16	400	-50.3	5.3
	MAX	-45	

### A.1.9. ENLACE SAN REGIS – LOMA SAN ANTONIO

Tx	San Regis	
$h_{ATX}$	90	m
Rx	Loma Sn Antonio	
$h_{ARX}$	92	m
d	32.66	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-51.1	8.5
2	260	-49.6	7
3	270	-48.2	5.6
4	280	-46.9	4.3
5	290	-45.7	3.1
6	300	-44.7	2.1
7	310	-43.9	1.3
8	320	-43.3	0.7
9	330	-42.8	0.2
10	340	-42.6	0
11	350	-42.6	0
12	360	-42.9	0.3
13	370	-43.6	1
14	380	-44.7	2.1
15	390	-46.6	4
16	400	-49.5	6.9
	MAX	-42.6	

### A.1.10. ENLACE LOMA SAN ANTONIO – KM 60

Tx	Loma Sn Antonio	
$h_{ATX}$	95	m
Rx	Km 60	
$h_{ARX}$	96	m
d	34.25	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-47.7	2.9
2	260	-48.3	3.5
3	270	-49	4.2
4	280	-49.7	4.9
5	290	-50.3	5.5
6	300	-50.7	5.9
7	310	-50.8	6
8	320	-50.5	5.7
9	330	-49.8	5
10	340	-48.8	4
11	350	-47.7	2.9
12	360	-46.7	1.9
13	370	-45.9	1.1
14	380	-45.2	0.4
15	390	-44.9	0.1
16	400	-44.8	0
	MAX	-44.8	

### A.1.11. ENLACE KM 60 - VARILLAL

Tx	Km60	
$h_{ATX}$	125	m
Rx	Varillal	
$h_{ARX}$	130	m
d	41.83	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-52.3	4.1
2	260	-50.3	2.1
3	270	-49	0.8
4	280	-48.3	0.1
5	290	-48.2	0
6	300	-48.8	0.6
7	310	-50.4	2.2
8	320	-53.5	5.3
9	330	-58.8	10.6
10	340	-57.5	9.3
11	350	-52.1	3.9
12	360	-49.2	1
13	370	-48.2	0
14	380	-49	0.8
15	390	-52.7	4.5
16	400	-60	11.8
	MAX	-48.2	



### A.1.12. ENLACE VARILLAL – IQUITOS

Tx	Varillal	
$h_{ATX}$	120	m
Rx	Iquitos	
$h_{ARX}$	47	m
d	21.21	Km

N° observ	$N_{refract}$	Nrx (dBm)	$\Delta_{max}$
1	250	-40.1	3.4
2	260	-39.6	2.9
3	270	-39.1	2.4
4	280	-38.6	1.9
5	290	-38.1	1.4
6	300	-37.8	1.1
7	310	-37.4	0.7
8	320	-37.1	0.4
9	330	-36.9	0.2
10	340	-36.8	0.1
11	350	-36.7	0
12	360	-36.7	0
13	370	-36.9	0.2
14	380	-37.2	0.5
15	390	-37.6	0.9
16	400	-38.3	1.6
	MAX	-36.7	

## ANEXO II: TABLAS DE EVALUACIÓN DE ENLACES

	Y-SCruz 41.16 Km Desv (dB)	SCruz-Lag 37.68 Km Desv (dB)	Lag-PArena 43.86 Km Desv (dB)	PArena-Urari 22.43 Km Desv (dB)	Urari-SnJose 39.89 Km Desv (dB)	SnJose-SRosa 42.82 Km Desv (dB)	SRosa-Chapaj 34.67 Km Desv (dB)	Chapaj-SRegis 42.54 Km Desv (dB)	SRegis-SnAnton 32.66 Km Desv (dB)	SnAnton-Km60 34.25 Km Desv (dB)	Km60-Varill 41.83 Km Desv (dB)	Varill-Iquitos 21.21 Km Desv (dB)
EVALUACIÓN	OK	R. DIV	OK	OK	OK	OK	R. DIV	OK	OK	OK	OK	OK
DIVERSIDAD	SI		SI		SI	SI		SI			SI	
REFRACTIVIDAD												
330	7.3	5.8	5.1	7.2	9.8	0.9	15.1	0.8	0.2	5	10.6	0.2
340	13.9	9.1	2.7	5.5	16.1	0	14.4	0	0	4	9.3	0.1
350	13.3	14	1.1	4	11.9	0.1	7.4	0.1	0	2.9	3.9	0
360	6.4	13.9	0.2	2.8	6.3	1.4	3.5	1.2	0.3	1.9	1	0
370	2.6	8.5	0	1.8	2.9	4.9	1.3	3.7	1	1.1	0	0.2
380	0.6	4.7	0.6	1	1	15	0.2	9.3	2.1	0.4	0.8	0.5
390	0	2.3	2.3	0.4	0.1	10.6	0.2	13.8	4	0.1	4.5	0.9
400	0.7	0.8	6.1	0	0.2	3	1.4	5.3	6.9	0	11.8	1.6