

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

**“Identificación de condiciones de refractividad asociadas a
variabilidad de señal recibida en radioenlaces de acceso rural,
banda 5.8 GHz, Huancavelica-2021”**

Área de Investigación:

Antenas y Propagación

Autor(es):

Br. Eudes Napoleón Salas Laureano

Br. David Jonatan Gilmer Mendez Vera

Jurado Evaluador:

Presidente: Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando

Secretario: Gonzalez Cadenillas, Clayder Alejandro

Vocal: León Cerna, Alejandro Martín

Asesor:

Cerna Sanchez, Eduardo Elmer

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

**TRUJILLO – PERU
2022**

Fecha de sustentación: 2022/08/03

ACREDITACIONES

“IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES DE REFRACTIVIDAD ASOCIADAS A VARIABILIDAD DE SEÑAL RECIBIDA EN RADIOENLACES DE ACCESO RURAL, BANDA 5.8 GHz, HUANCVELICA-2021”

Elaborado por:



Br. DAVID JONATAN MENDEZ VERA.

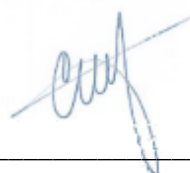


Br. EUDES NAPOLEÓN SALAS LAUREANO.

Aprobado por:



MS. Ing. OVIDIO HILDEBRANDO RAMOS ROJAS
PRESIDENTE
CIP N°92622



MS. Ing. CLAYDER ALEJANDRO GONZALEZ
CADENILLAS
SECRETARIO
CIP N°240498



MS. Ing. ALEJANDRO MARTIN LEON CERNA
VOCAL
CIP N°177967



MS. Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ
ASESOR
CIP N°80252

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRONICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRONICO

**“Identificación de condiciones de refractividad asociadas a
variabilidad de señal recibida en radioenlaces de acceso rural,
banda 5.8 Ghz, Huancavelica-2021”**

Área de Investigación:

Antenas y Propagación

Autor(es):

Br.Eudes Napoleon Salas Laureano

Br.David Jonatan Mendez Vera

Jurado Evaluador:

Presidente: Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando

Secretario: Gonzalez Cadenillas, Clayder Alejandro

Vocal: León Cerna, Alejandro Martín

Asesor:

Cerna Sanchez, Eduardo Elmer

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

**TRUJILLO – PERU
2022**

DEDICATORIAS

A Dios por permitir que este objetivo sea posible en mi vida, a mis padres María y Luciano por su apoyo incondicional y por sus consejos, a Melva Martha, a mi esposa y mis hijos María y Santiago gracias por su infinito apoyo para este logro profesional.

NAPOLEÓN SALAS LAUREANO

A Dios por una nueva oportunidad de vida y la salud y bendiciones que me brinda día a día. A mis padres, por apoyarme en toda mi educación, y nunca darse por vencidos conmigo, gracias a su incondicional amor y apoyo ahora puedo finalizar una etapa importante en mi vida y empezar una vida profesional. Y a una persona muy especial que siempre me brindó su apoyo y creyó en mí aun en contra de todo YLV.

DAVID MENDEZ VERA

AGRADECIMIENTO

A Dios, por habernos dado fuerzas y ganas de seguir superarnos profesionalmente para establecer objetivos, realizar metas y cumplir responsabilidades.

A nuestros padres por enseñarnos que la mejor herencia es la educación, por sus consejos, valores, motivación y amor.

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

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

RESUMEN

El presente trabajo se centra en un análisis mediante simulación, de los desvanecimientos de señal recibida en función de la refractividad superficial, en enlaces de acceso rural 5.8 GHz en el Departamento de Huancavelica, Perú, con el fin de poder identificar las condiciones climáticas bajo las cuales se puede asociar la aparición de dichos desvanecimientos.

Para la simulación de las diferentes condiciones de refractividad superficial, se empleó la herramienta de software Radiomobile, simulando la variación de condiciones de propagación entre los valores 250 Nunits a 400 Nunits.

Los resultados al aplicar la recomendación ITU-R P.468 mostraron un valor máximo de 300 Nunits considerable para la zona de Huancavelica. Bajo este escenario se lograron identificar 10 enlaces con desvanecimientos de señal centrados mayormente en los rangos 250 Nunits a 270 Nunits. A partir de estos valores de refractividad se pudo identificar que este rango se encuentra asociado a los valores más altos de temperatura (15°C a 20°C) y humedad (75% a 90%), típicos del clima de Huancavelica. Del mismo modo se pudo identificar que los desvanecimientos se encuentran mayormente focalizados en zonas específicas de la provincia de Acobamba.

Palabras clave: Desvanecimiento, refractividad superficial, temperatura, humedad, presión atmosférica.

ABSTRACT

The present work focuses on an analysis of the received signal fading as a function of the surface refractivity, by means of simulation in 5.8 GHz band for rural access links in the Department of Huancavelica, Peru. The objective was oriented to identify the climatic conditions under such fadings can be associated.

For the simulation of the different surface refractivity conditions, the Radiomobile software tool was used, simulating the variation of propagation conditions between the values 250 Nunits to 400 Nunits.

The results when applying the ITU-R P.468 recommendation showed a considerable maximum value of 300 Nunits for the Huancavelica area. Under this scenario, 10 links with signal fading were identified, mostly centered in the 250 Nunits to 270 Nunits range. From these refractivity values, it was possible to identify that this range is associated with the highest values of temperature (15°C to 20°C) and humidity (75% to 90%), typical of the Huancavelica climate. In the same way, it was possible to identify that the fading is mostly focused on specific areas of the province of Acobamba.

Keywords: Fading, surface refractivity, temperature, humidity, atmospheric pressure

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 del Programa Académico de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES DE REFRACTIVIDAD ASOCIADAS A VARIABILIDAD DE SEÑAL RECIBIDA EN RADIOENLACES DE ACCESO RURAL, BANDA 5.8 GHz, HUANCVELICA-2022”**

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

Trujillo, julio del 2022

Br. Eudes Napoleón Salas Laureano

Br. David Jonatan Méndez Vera

INDICE

I. INTRODUCCION	7
1.1. Problema de Investigación	7
1.2. Objetivos de la investigación	8
1.3. Justificación del estudio	9
II. MARCO DE REFERENCIA	11
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	11
2.2. Fundamentación teórica de la investigación	144
2.2.1. Propagacion de Microondas	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2 Refracción radioeléctrica	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3 Indice de Refraccion	14
2.2.4 Radio Refractividad.....	15
2.2.5 Gradiente de Refractividad	¡Error! Marcador no definido.6
2.2.6. Factor K	¡Error! Marcador no definido.6
2.2.7 Absorcion.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.8 Clasificacion de los Desvanecimientos	21
2.2.8.1 Desvanecimiento de Potencia.....	22
2.2.8.2 Desvanecimiento Multitrayecto	22
2.2.8.3 Desvanecimientos Profundos	22
2.2.8.4 Margen de Desvanecimiento	23
2.3. Marco conceptual.....	¡Error! Marcador no definido.24
- 2.3.1. Desvanecimiento	¡Error! Marcador no definido.25
- 2.3.2. Multitrayecto	25
- 2.3.3. Enlace	25
- 2.3.4. Propagacion	¡Error! Marcador no definido.5
- 2.3.5. Potencia	¡Error! Marcador no definido.
- 2.3.6. Onda Electromagnetica	25
- 2.3.7. Refractividad.....	25
- 2.3.8. Gradiente	25
- 2.3.9. Microonda	25
- 2.3.10. RadioFrecuencia.....	25
2.4. Hipótesis	246

2.5. Variables e Indicadores.....	266
2.5.1 Variables de estudio	267
III. METODOLOGIA EMPLEADA.....	2930
3.1 Operacionalización de las variables	299
3.2. Tipo y Nivel de Investigación.....	3030
3.3. Población y Muestra de Estudio.....	30
3.4. Diseño de investigación	3030
3.5. Técnicas e instrumentos de investigación.....	3131
3.5.1. Recolección de datos.....	3231
3.5.1.1 Enlaces seleccionados para el analisis.....	3231
3.5.1.2 Recolección de información de enlaces - huancavelica.....	¡Error!
Marcador no definido.	32
3.5.1.3 Recolección de información de Equipos de Transmisión de radio	3535
3.5.2. Procesamiento de información.....	3737
3.5.2.1. Proceso de Simulación	377
3.6. Procesamiento y Análisis de Datos.....	4040
3.6.1. Obtención de valores de Recepción	4042
3.6.2. Desvanecimiento en función de refractividad	4044
3.6.3. Valores de refractividad con mayor desvanecimiento.....	4047
IV. PRESENTACION DE RESULTADOS	6060
4.1 Análisis e interpretación de resultados.....	6060
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
VI. CONCLUSIONES	67
VII. RECOMENDACIONES.....	68
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
IX.	
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1:** Curvatura de la Tierra K factor. ¡Error! Marcador no definido.7
- Figura 2:** Relación de K factor y gradiente de refractividad ¡Error! Marcador no definido.8
- Figura 3:** Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas..... ¡Error! Marcador no definido.9
- Figura 4:** Desvanecimiento Profundo ¡Error! Marcador no definido.9
- Figura 5:** condiciones de desvanecimiento profundo. 342
- Figura 6:** Localidades con presencia y sin presencia de servicio mobil ... ¡Error! Marcador no definido.32
- Figura 7:** Localidades con requerimiento de servicio movil ¡Error! Marcador no definido.33
- Figura 8:** Software utilizado radio mobile..... ¡Error! Marcador no definido.37
- Figura 9:** Ubicación geográfica de los radioenlaces ¡Error! Marcador no definido.38
- Figura 10:** Captura de pantalla configuración de las redes ¡Error! Marcador no definido.39
- Figura 11:** Temperaturas maximas y minimas huancavelica ¡Error! Marcador no definido.46
- Figura 12:** Curvas de desvanecimientos vs Ns con valores mayores 0.5dB ¡Error! Marcador no definido.53
- Figura 13:** Curvas de desvanecimientos vs Ns con valores menores 0.5dB ... 55
- Figura 14:** Curvas de desvanecimiento vs Ns con valores cercanos a 0 dB ¡Error! Marcador no definido.56
- Figura 15:** Desvanecimientos en funcion de NS ¡Error! Marcador no definido.61
- Figura 16:** Desvanecimientos en funcion de Ns ¡Error! Marcador no definido.62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los Desvanecimientos	291
Tabla 2: Operacionalización de la Variable Dependiente	298
Tabla 3: Operacionalización de la Variable independiente . ¡Error! Marcador no definido.	8
Tabla 4: Técnicas de recolección de datos..... ¡Error! Marcador no definido.	31
Tabla 5: ubicación y frecuencias de los enlaces.....	364
Tabla 6: Equipos de Radiotransmisión	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7: valores de recepción de enlaces para refractividad 250 <NS<300 ¡Error! Marcador no definido.	41
Tabla 8: valores de recepción de enlaces para refractividad 301 <NS<350 ¡Error! Marcador no definido.	42
Tabla 9: valores de recepción de enlaces para refractividad 350 <NS<400 ¡Error! Marcador no definido.	43

Tabla 10: Humedad relativa promedio anual por departamento; **Error! Marcador no definido.**44

Tabla 11: Humedad temperatura y precipitacion promedio anual por region; **Error! Marcador no definido.**45

Tabla 12: Valores de presion atmosferica promedio por ciudad; **Error! Marcador no definido.**47

Tabla 13: Tabulacion de temperatura y presion admosferica huancavelica; **Error! Marcador no definido.**48

Tabla 14: Niveles maximos de potencia en los enlaces 10 al 18; **Error! Marcador no definido.**49

Tabla 15: Identificacion de enlaces con mayor desvanecimiento ; **Error! Marcador no definido.**50

Tabla 16: Clasificacion de enlaces por magnitud de desvanecimientos. ... ; **Error! Marcador no definido.**52

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

Según Tauro del Pino (2001), Huancavelica es una ciudad que se encuentra en la parte central del Perú, capital del Departamento de Huancavelica, está situada en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes. Tiene una altitud de 3,676 msnm.

Según El Instituto Geofísico del Perú la temperatura promedio anual máxima es de 16°C (61°F), y la mínima de 2°C (36°F). Tiene una temporada seca que comprende los meses de mayo a octubre, y una temporada húmeda a lluviosa entre los meses de noviembre hasta abril. El departamento de Huancavelica tiene mucha diversidad de pisos ecológicos, y con un clima tan variado desde cálido y seco hasta frío y húmedo, lo cual presenta un desafío muy grande para todo tipo de proyectos de comunicación y radioenlaces.

Actualmente se vienen desplegado en zonas andinas del Perú radioenlaces en frecuencias de 5.8 GHz para el acceso de banda ancha a centros poblados rurales. Conforme el orden de ideas antes descrito, las zonas andinas de Huancavelica podrían ser vulnerables a desvanecimientos de señal bajo ciertas condiciones climáticas asociadas a su degradación.

Según Manning, T. (2009), en el diseño de enlaces microondas prima el criterio de línea de vista y despejamiento de la primera zona de fresnel en base a un rango de valores del factor de modificación del radio terrestre denominado factor K. Conforme las recomendaciones ITU-R P.453, este parámetro se encuentra asociado a la refractividad superficial, la cual depende a su vez de la humedad, temperatura y presión de vapor agua.

a. Descripción de la Realidad problemática

Identificación de las condiciones de refractividad desfavorables las cuales son generadas por las variaciones del clima de zonas de la sierra, influyendo de manera negativa en la recepción de señal de microondas entre los enlaces de la zona de Huancavelica.

b. Descripción del problema

En localidades como la sierra de Huancavelica, la geografía propia de la zona dificulta que el tramo de acceso rural hacia los abonados sea desplegado mediante fibra óptica, siendo los radioenlaces en banda 5.8 GHz, la alternativa más accesible por tecnología y economía para el operador.

En este contexto se abrió la posibilidad al presente trabajo de investigación, centrando el problema de investigación en la identificación de posibles condiciones de refractividad superficial que puedan asociarse a la variabilidad de señal, originadas por las condiciones climáticas a las que son sometidos los radioenlaces rurales en el departamento de Huancavelica, los cuales puedan ser estimados a partir de un proceso de simulación.

c. Formulación del Problema

¿Cuáles son las condiciones de refractividad asociadas a la variabilidad de señal en radioenlaces de acceso rural en el Departamento de Huancavelica?

1.2. Objetivos de la investigación

a. Objetivo General

Identificar condiciones de refractividad asociadas a la variabilidad de señal recibida mediante simulaciones de radioenlaces de acceso rural de 5.8 GHz en el departamento de Huancavelica.

b. Objetivos Específicos

- Seleccionar radioenlaces de acceso rural en el Departamento de Huancavelica bajo criterio de distancia y curvatura terrestre.
- Estimar mediante un proceso de simulación, el comportamiento de señal recibida en los enlaces seleccionados al variar las condiciones de refractividad.
- Analizar la variabilidad de señal recibida y su dependencia con la refractividad en cada uno de los enlaces.
- Identificar los valores de refractividad críticos y condiciones climáticas que puedan influir en la degradación de los enlaces analizados.

1.3. Justificación del estudio

Se justificó en términos académicos porque va dirigido a la aplicación de conocimientos adquiridos por el investigador durante su formación de pregrado hacia la solución de un problema real de diseño mayor de ingeniería de radiocomunicaciones en el área de investigación correspondiente a propagación y antenas.

Se justifica socialmente porque la identificación de los valores de refractividad críticos, permitirán obtener un estudio que podrá ser tomado como referencia para la mejora del diseño de enlaces, cuyos fines son mejorar el acceso a información a la población en zonas rurales.

CAPÍTULO II

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes de la Investigación

- Samaniego, E. (2016) en la investigación titulada ***“Influencia de las variables climatológicas sobre la conexión inalámbrica: base emisora-receptora”***, se propuso como objetivo “encontrar un modelo basado en reglas difusas que relacione un conjunto de variables climatológicas con la pérdida de la señal”, para lo cual, se utilizó un escenario real de estudio. Los datos fueron facilitados por una estación meteorológica, ubicada en la zona donde se encuentran los radioenlaces de la empresa que brinda el servicio de telecomunicaciones a la ciudad. Los datos obtenidos evaluaron no solo las condiciones desfavorables de refractividad presentadas por lluvia, sino también con la variación de la temperatura, alta y baja y humedad relativa. Se considera el aporte de esta investigación los datos obtenidos que sirvieron como muestra comparativa, así mismo las tendencias encontradas en las cuales se espera un mayor desvanecimiento de los enlaces en condiciones tanto de altas precipitaciones y temperatura elevada, tanto como de aquellos con temperaturas bajas y una humedad baja o relativamente normal, estas últimas son las condiciones que más se asemejan en la zona de Huancavelica en el presente estudio.
- Otasowie, P. (2015) en la investigación titulada ***“Radio Refractivity Study in Akure-owo digital microwave link in south western Nigeria”*** se propuso obtener la refractividad, el gradiente de refractividad y el factor del radio de la tierra, mediante datos meteorológicos de la temperatura del aire, la presión atmosférica, la humedad relativa y la presión del vapor de agua que se midieron entre los meses de enero y diciembre 2015, en el centro de observación de la agencia meteorológica nigeriana (NIMET), Los datos obtenidos mostraron que el gradiente de refractividad fue mayor que cero y que este, varía ligeramente a lo largo

de los meses del año en que se llevó a cabo el estudio. Siendo el valor más alto del gradiente de refractividad en abril y el valor más bajo en septiembre, se observó que el factor del radio terrestre efectivo fue menor que uno concluyendo que existe una condición de sub-refracción en el enlace. El aporte principal que se tiene de este antecedente, es la metodología del estudio empleada para llegar a los datos obtenidos sirviendo como comparativo en la presente investigación.

- Akinwumi, S., Omotosho, T., (2015) En la investigación titulada ***“Seasonal Variation of Surface Radio Refractivity and Water Vapour Density for 48 Stations in Nigeria”*** se tuvo como objetivos estudiar la variación mensual y estacional de la refractividad y densidad del vapor de agua, para lo cual se utilizaron datos meteorológicos de treinta y nueve años para cuarenta y ocho estaciones en Nigeria. Los resultados mostraron que la refractividad de la superficie y la densidad del vapor de agua generalmente tienen valores más altos durante la temporada de lluvias a diferencia de la temporada seca en todas las estaciones estudiadas. Además, los resultados muestran que el valor de la refractividad de la superficie y la densidad del vapor de agua varía desde aproximadamente 263 Nunits y 3 g/m³ en la región árida, hasta aproximadamente 393 Nunits y 23g/ m³ en el área costera respectivamente, con los resultados obtenidos de esta investigación podemos validar los rangos de variación de N que se pueden dar en una zona específica, ya que los rangos utilizados en la presente investigación, coinciden con rangos encontrados en otros lugares, lo cual es el principal aporte que brinda esta investigación.
- Akpootu, D., Iliyasu, M., (2017) en la investigación titulada ***“Estimation of Tropospheric Radio Refractivity and Its Variation with Meteorological Parameters over Ikeja, Nigeria”***, tuvieron como objetivos investigar la refractividad de las ondas radio troposféricas en Ikeja, en Nigeria y la sensibilidad de la radio refractividad debido a los parámetros meteorológicos promedio mensuales tales como presión

atmosférica, humedad relativa y temperatura observados por un período de 12 años. La estimación estadística de la refractividad de la capa radio troposférica se evaluó utilizando el método recomendado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). El resultado indicó que la radio refractividad durante la temporada de lluvias es mayor que durante la estación seca. Se observó que el valor promedio máximo de radio refracción es de 389.45 Nunits y el valor promedio mínimo de 373.04 Nunits, ocurrieron durante las estaciones lluviosas y secas en los meses de abril y enero, respectivamente. El término seco contribuye con un 67,98% al valor total de la refractividad de la radio, mientras que el término húmedo contribuye a la variación principal. Se considera el principal aporte de esta investigación la comparativa con la estimación obtenida en la presente investigación dado que el clima se podría asemejar en las temporadas secas y lluviosas.

- Amajama. J., (2015) en la investigación titulada ***“Mathematical Relationships between Radio Refractivity and Its Meteorological Components with A New Linear Mathematical Equation to Determine Radio Refractivity”***, tuvo como objetivo investigar la relación matemática que existe entre la refractividad y los componentes meteorológicos, basándose en una ecuación matemática para determinar dicho parámetro de relación. Se concluyó que la refractividad es directamente proporcional a la presión atmosférica, temperatura atmosférica, humedad relativa, siempre que alguno de los parámetros relacionados anteriormente, incluida la velocidad y dirección del viento, se mantengan constante. Llegando a una fórmula que describía dicha relación, la cual puede ser usada en cualquier región climática. Se considera el principal aporte de este estudio la corroboración de los resultados obtenidos por la presente investigación, verificando de esta manera la relación que se debe tener en cuenta al filtrar los datos que se tienen, para determinar la variación de la refractividad en Huancavelica.

2.2. Fundamentación teórica de la investigación

2.2.1. Propagación de Microondas

Según Tomasi (2005) La propagación de las ondas electromagnéticas por el espacio libre se suele llamar propagación de radiofrecuencia (RF), o simplemente radio propagación. Aunque el espacio libre implica al vacío, con frecuencia la propagación por la atmósfera terrestre se llama propagación por el espacio libre, y se puede considerar casi siempre así.

En un enlace de microondas, la señal que es emitida del emisor, se lanza hacia la tropósfera, las condiciones climáticas que se presentan en la troposfera son diversas, estas condiciones climáticas influyen directamente en la línea de transmisión de la onda y en la absorción de la señal.

Una línea de transmisión es una estructura que limita la propagación de los campos electromagnéticos permitiéndoles al mismo tiempo viajar encerrados a lo largo de su longitud. La onda electromagnética genera tensiones y corrientes sobre una línea de transmisión, y si no existiera una estructura en los que pueden generar los voltajes y corrientes, aun así la onda se propagaría. En el espacio libre, los campos no están limitados por cualquier estructura de confinamiento, por lo que pueden asumir cualquier magnitud y dirección, determinado por una antena. Román et al. (2014) p.19.

Las variaciones o cambios climáticos, los cuales se presentan a distintas horas durante el día y los diferentes cambios que se dan con las estaciones a lo largo del año, afectan directamente la transmisión de la onda de radio

2.2.2. Índice de Refracción

Según Manning (2009), El índice de refracción (n) es la relación de la velocidad de una onda electromagnética que viaja en el vacío (a veces llamado espacio libre) con relación a la velocidad que lo haría viajando en un medio finito según lo expresado por:

Propagación de Microondas

$$n = \frac{c_0}{c} \dots\dots\dots EC 1$$

Donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío y c es la velocidad de la onda (en este caso la señal de microondas) en el medio finito (aire en el caso de transmisión por el trayecto radioeléctrico). Como el índice de refracción del aire es muy cercano a la unidad (1,0002926), la velocidad de la señal de microondas está muy cerca (99,97%) a la velocidad de la luz, por lo que, para todos fines prácticos, puede considerarse que viaja a la velocidad de la luz sobre el camino.

2.2.3. Radio refractividad

Según Manning (2009), el índice de refracción, en la atmósfera no ionizada en la que las ondas microondas de radio viajan, es siempre mayor que la unidad. Es una función de la densidad del aire (temperatura, presión y humedad). Por lo general, es sólo una pequeña fracción mayor que la unidad, por ejemplo, 1.000315 (el índice de refracción promedio de tierra). La Radio refractividad N ha sido definido por los planificadores de radio para producir más convenientes valores, donde la refractividad radio (N) se define como:

$$N = (n - 1)10^6 \dots\dots\dots EC 2$$

Sustituyendo el valor para el índice de refracción de tierra ($n = 1,000315$) en (Ec.1) se obtiene un valor para N de 315 unidades N .

La radio refractividad para enlaces inferiores a 100 GHz se define como:

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.732 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \dots\dots\dots EC 3$$

Donde P es la presión atmosférica en mbar, T es la temperatura absoluta en Grados Kelvin, y e es la presión parcial debida al vapor de agua en

Mbar. El valor de N varía con la altitud ya que la presión, la temperatura y humedad varían con la altura. La presión y la humedad normalmente disminuyen exponencialmente con la altura. La Temperatura normalmente disminuye linealmente con la altitud en aproximadamente $-6^\circ / \text{km}$. La humedad y la temperatura hacen, sin embargo, cambiar en determinadas condiciones, dando como resultado variaciones de refractividad radio. En general, la atmósfera muestra una disminución exponencial de N con la altura. Como muestra la figura 2.20, el coeficiente de refractividad varia con la altura, a 0 msnm se tiene un $N_1=250$ mientras que a 1000 msnm se tiene un $N_2=275$

2.2.4. Gradiente de refractividad (G).

Para Manning (2009), el gradiente de refractividad se define como el cociente de la diferencia del coeficiente de refractiva (N) y la diferencia de altura:

$$G = \frac{dN}{dh} \dots\dots EC 4$$

Bajo condiciones atmosféricas normales este valor es aproximadamente (-39 N unidades/Km), varia con el tiempo dando lugar a condiciones de propagación anómalas.

2.2.5. Factor K.

Para Manning (2009), al momento de realizar un diseño de cobertura radio eléctrica, conviene trabajar con haces rectilíneos (curvatura cero). Esto puede conseguirse sustituyendo el radio de la tierra real, a, por otro equivalente, de radio Ka, tal que podamos indicar el rayo por una línea recta:

$$a_0 = Ka \dots\dots EC 5$$

Donde el factor k se define por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{157}{157 + G} \dots \text{EC 6}$$

a: Radio de la tierra 6.37×10^3 Km

G: Gradiente de Refractividad.

Consiguiendo así una curvatura de la tierra haciendo uso de la ecuación. Como ilustra la figura 1 se puede tener un equivalente de la curvatura de la tierra, haciendo variar el factor k.

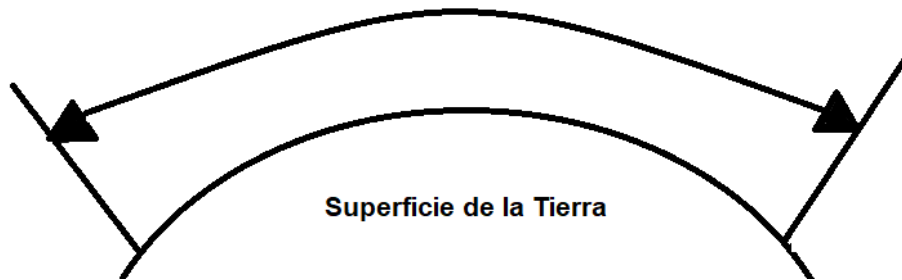


Figura N° 1. Curvatura de la Tierra K factor.

Fuente: Manning, Trevor (2009).

Tanto el gradiente de refractividad (G) como el factor k en ciertos rangos de valores, indican condiciones anómalas o normales de propagación del rayo microondas.

La figura 2 muestra la relación que guarda el factor k y el gradiente de refractividad, ambos indican cierto tipo de condiciones de propagación del rayo. Asimismo, muestran cuatro zonas de propagación, siendo la zona 2 con $K=4/3$ para un $G=-39$ los valores normales de propagación en el cual el rayo se curva hasta llegar al receptor, mientras que en las demás zonas como por ejemplo en la zona 1 la trayectoria del rayo esta dibujada por debajo de la tierra (Sub-Refractivo), en la zona 4 cuando el $k=\infty$ para un $G=-157$ el sistema es inestable (Ducting) y con $k=3$ para un $G=-100$ el rayo

llega un poco más lejos del receptor (Super refractivo)

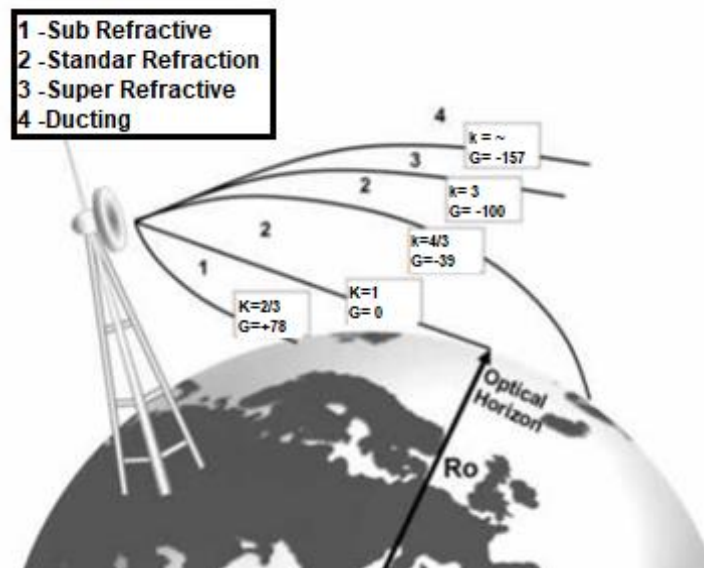


Figura N° 2 Curvatura de la Tierra K factor.

Fuente: Manning, Trevor (2009).

2.2.6. Absorción

Para Tomasi (2005), la atmósfera de la tierra no es un espacio vacío. Por el contrario, está compuesta por átomos y moléculas de diferentes tipos y sustancias gaseosas, líquidas y sólidas. Algunos de los materiales que la componen pueden absorber las ondas electromagnéticas. Cuando una onda electromagnética atraviesa o se propaga a través de la atmósfera de la tierra, se produce una transferencia de energía de la onda electromagnética hacia los átomos y moléculas atmosféricos. La absorción de onda por la atmósfera es análoga a una pérdida de potencia

$$I^2 R \dots EC 7$$

Una vez que la energía de la onda es absorbida, esta se pierde para siempre, lo cual conlleva a producir una atenuación en las intensidades de voltaje y campo magnético, así también se produce una reducción correspondiente de densidad de potencia. La absorción de las ondas de radio en una atmósfera normal depende directamente de la frecuencia de la misma, esta absorción puede considerarse relativamente insignificante en una señal de menos de unos 10 GHz, En la fig. 3, se aprecia la absorción atmosférica, en decibeles por kilómetro, la cual es debido al oxígeno y al

vapor de agua, esto es aplicable para radiofrecuencias mayores de 10 GHz. Se puede ver que ciertas frecuencias son afectadas en mayor o menor proporción por la absorción, debido a las frecuencias de resonancia molecular.

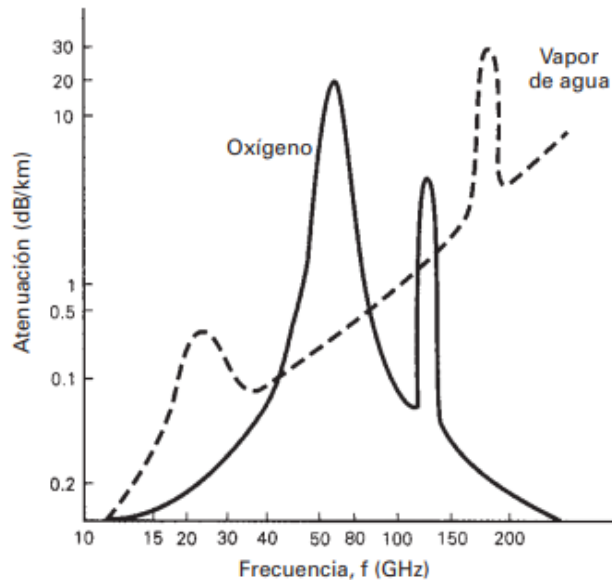


Figura N° 3 Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas

Fuente: Tomasi, W. 2005

La atenuación que se produce en las ondas electromagnéticas debido a la absorción, no es dependiente de la distancia a la fuente de radiación.

Para un medio homogéneo, cuyas propiedades son uniformes en todo él, la absorción sufrida durante el primer kilómetro de propagación es igual que la del último kilómetro. También, las condiciones atmosféricas anormales, como por ejemplo lluvias intensas o neblina densa, absorben más energía que una atmósfera normal. (Tomasi, 2005, p.352).

Siendo entonces que la atenuación depende de la distancia total que la onda recorre propagándose a través de la atmósfera.

2.2.7. Desvanecimiento

Según Hernando J. (2008) La propagación de señales radioeléctricas a través de una variedad de medios está condicionada a la variación de las características físicas de estos medios. Por lo que la pérdida básica de

propagación es una variable aleatoria. Hernando (2008) afirma:

El desvanecimiento es toda disminución de la potencia recibida de señal con relación a su valor nominal. La diferencia de este nivel nominal y el nivel recibido en condiciones de desvanecimiento se llama profundidad de desvanecimiento, y se expresa en dB. Al intervalo de tiempo que media entre la disminución y la recuperación del nivel nominal se llama duración del desvanecimiento. (p.200).

En la figura 4, se podemos observar las pequeñas y aleatorias variaciones de la señal, las cuales se producen en torno al valor nominal de potencia P_0 (dBm)

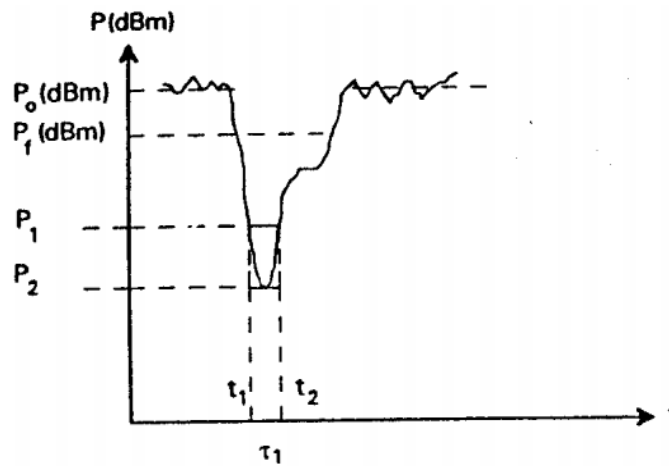


Figura N° 4 Desvanecimiento Profundo

Fuente: Hernando, J. Transmisión por Radio (2008) p.200

De vez en cuando y muy rara vez, se presenta un desvanecimiento intenso, y en ese caso el valor medio de la potencia es P_f (dBm), el cual como se aprecia en la figura 4 es inferior a P_0 , esta disminución del valor medio de la potencia, es conocida como depresión o depresión de Pearson.

2.2.8. Clasificación de los desvanecimientos

Para Hernando, (2008) Los criterios que se tienen en cuenta para clasificar los desvanecimientos son variados, en la tabla que se muestra a continuación se ofrece una posible clasificación.

Tabla 1: Clasificación de los Desvanecimientos

<u>Características</u>	<u>Tipos de los Desvanecimientos</u>	
Profundidad	Profundo	Muy Profundo
Duración	Lento	Rápido
Espectro de Frecuencias	Plano	Selectivo
Mecanismos de Producción	Factor K	Multitrayecto
Distribución Probabilística	Gaussiano	Rayleigh, Rice
Dependencia Temporal	Continuado	Puntual

Fuente: Hernando, J. Transmisión por Radio (2008) p.201

Como se puede apreciar en el cuadro, se han considerado las distintas clases de desvanecimientos en dos columnas. Como ejemplo tenemos que: un desvanecimiento muy profundo suele ser selectivo, es producido por interferencia multitrayecto y es modelado por una distribución Rayleigh. Según Hernando (2008). Un desvanecimiento es plano, cuando la caída de nivel afecta por igual a todos los componentes del espectro de una portadora modulada.

a. Desvanecimiento de potencia

Según Hernando (2008) se conoce como desvanecimientos de potencia o de factor K a los que son producidos por variabilidad del índice de refracción troposférica, este tipo de desvanecimientos suele ser lento, con mucha duración y alcanzando profundidades de hasta 6 dB, este desvanecimiento también varía según la frecuencia, pero a una escala grande, es decir, de una banda a otra.

b. Desvanecimiento Multitrayecto

Los desvanecimientos Multitrayecto son aquellos que tienen como origen la aparición de varias líneas de propagación entre el transmisor y el receptor, esto conlleva a que se produzca una interferencia entre el rayo directo y los rayos que llegan a la antena receptora con diversos ángulos, obteniendo

como resultante la suma de una componente casi constante y de las demás componentes de amplitudes variables y con fases aleatorias.

c. Desvanecimientos Profundos.

Hernando (2008), nos dice que, para diseñar sistemas de microondas, se debe evaluar la probabilidad de que se rebase una determinada profundidad de desvanecimiento F dB, para esto debe utilizarse distribuciones estadísticas como las Rayleigh, Rice u otras obtenidas experimentalmente, obteniéndose como resultado:

$$P_R (F > F_1) = 1 - \exp \left(-\frac{10^{-F_1/10}}{\sigma_r^2} \right) = \frac{1}{\sigma_r^2} 10^{-F_1/10} \dots\dots\dots \text{Ec 8}$$

De la ecuación resultante podemos ver que cuando F_1 varia el 10 dB, la probabilidad lo hace también en una década, por lo cual la ley expresada en la ecuación 8 es denominada “Ley de 10 dB/década” y es una ecuación característica de los desvanecimientos profundos, ahora bien, la probabilidad de que el desvanecimiento sea superior a F_1 (dB) será:

$$P_R (F > F_1) = \eta. P_R (F > F_1) = \frac{\eta}{\sigma_r^2} 10^{-F_1/10} \dots\dots\dots \text{Ec 9}$$

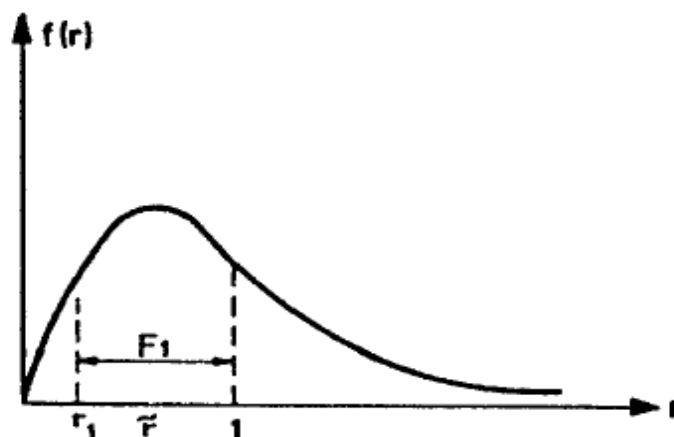


Figura N° 5 condiciones de desvanecimiento profundo

Fuente: Hernando, J. Transmisión por Radio (2008) p.205

2.2.9. Margen de desvanecimiento

Según Tomasi (2005) En todo tipo de comunicación a larga distancia, sea en un enlace de radio terrestre o en un enlace de radio satelital, se necesita de la propagación de señales electromagnéticas. Siempre nos hemos encargado desde ya tiempo atrás realizar la propagación de ondas electromagnéticas por la atmosfera terrestre, ya sabemos que todos esos conjuntos tan grandes de señales siempre sufrirán de pérdidas. Estas pérdidas son ocasionadas por distintos fenómenos cuyos efectos se muestran tanto a corto como a largo plazo. Esta variación de pérdida de señal se le llama desvanecimiento, a su vez esta pérdida se debe a un sin número de fenómenos naturales como la lluvia, la nieve, el granizo, etc. Si definimos la señal puesta sobre los bordes de receptor y la sensibilidad del mismo. Entonces podemos definir el margen de desvanecimiento como la diferencia entre ambos valores. Todo esto claro está, se cumple en caso ideal, donde no hay obstrucciones y donde la atmosfera mantiene los valores ideales, y no existen factores climáticos que perturben al enlace. Todo esto por supuesto no se cumple en la realidad, además existen otro tipo de estaciones que emiten señales de radio las cuales también influyen y causan interferencia.

Tomasi (2005) dice “El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema. Así, el margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia de un sistema como una pérdida” (p.367).

Resolviendo las ecuaciones de confiabilidad de Barnett-Vignant para una disponibilidad anual especificada en un sistema no protegido sin diversidad se obtiene la siguiente ecuación:

$$F_m = \underbrace{30 \log D}_{\text{Efecto de trayectoria múltiple}} + \underbrace{10 \log(6ABf)}_{\text{Sensibilidad del terreno}} - \underbrace{10 \log \left[\frac{1-R}{1-R} \right]}_{\text{Objetivos de Confiabilidad}} - \underbrace{70}_{\text{Constante}} \dots \text{Ec 9}$$

Siendo:

Fm= Margen de desvanecimiento

D= Distancia (kilómetros)

F= frecuencia (Giga Hertz)

R= Confiabilidad en tanto por uno (es decir 99.99% = 0.9999 de confiabilidad)

1-R= Objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 km en un sentido

A= Factor de rigurosidad

B= Factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual

2.3. Marco Conceptual

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

a. Desvanecimiento

Desaparición de señal recibida que se produce con rapidez o con lentitud, con ligera o pronunciada variación.

b. Multitrayecto

Es un fenómeno consistente en la propagación de una onda por varios caminos diferentes.

c. Enlace

Relación que une dos o más cosas o elementos. En el caso de Telecomunicaciones implica un enlace de comunicación a distancia.

d. Propagación

Fenómenos físicos que conducen a las ondas del transmisor al receptor

e. Potencia

Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

f. Onda Electromagnética

Onda producida por cargas eléctricas en movimiento.

g. Refractividad

Cuantifica el efecto de la refracción en las ondas de radio, es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo.

h. Gradiente

Variación de una magnitud de refractividad en función de la altura.

i. Microondas

Ondas electromagnéticas generalmente de entre 300 MHz y 30 GHz y una longitud de onda en el rango de 1 m a 10 mm.

j. Radiofrecuencia

Porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre los 3 hercios (Hz) y 300 gigahercios.

k. Tropósfera

Capa de la atmósfera terrestre que está en contacto con la superficie de la Tierra y se extiende hasta una altitud de unos 10 km.

l. Transmisión

Acción de transmitir un mensaje a través de una onda electromagnética.

m. Precipitaciones:

Cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre.

2.4. Hipótesis

a. General

Las condiciones de refractividad superficial con mayor temperatura y humedad se asocian con una variabilidad desfavorable de señal al evaluarse por simulación en radioenlaces de acceso rural en el departamento de Huancavelica.

2.5. Variables e Indicadores

a. Variables de estudio

a.1. Variable Categórica 01

Refractividad superficial.

a.2. Definición Conceptual

Es la cuantificación de la variación significativa del efecto de refracción en una onda de radiofrecuencia cercana a la superficie terrestre. Depende de las variables climáticas presentes en la superficie terrestre.

a.3. Indicadores

- Presión Atmosférica
- Temperatura ambiental
- Presión de Vapor de Agua
- Humedad Relativa

b.1. Variable Categórica 02

Variabilidad de señal recibida en enlaces de acceso rural Huancavelica.

b.2. Definición Conceptual

Es la variación o fluctuación de los niveles de señal recibidos en función de la refractividad superficial.

b.3. Indicadores

- Valor máximo
- Valor promedio
- Desviación
- Desvanecimientos

CAPÍTULO III

III METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1 Operacionalización de las variables

Tabla 2: Operacionalización de la Variable Categórica 01

VARIABLE CATEGÓRICA 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Refractividad Superficial	La reactividad superficial varía en función de las condiciones climáticas de la capa troposférica, las cuales poseen variación de presión atmosférica temperatura ambiental presión de vapor de agua o humedad relativa	Presión atmosférica	Estimación Analítica	mbar
		Temperatura		°K
		Humedad		%

Tabla 3: Operacionalización de la Variable Categórica 02

VARIABLE CATEGÓRICA 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Variabilidad de señal	La señal recibida puede fluctuar variando el nivel recibido entre valores máximos, mínimos, produciendo desvanecimientos de señal que pueden ser desfavorables al enlace	Valor Máximo	Estimación analítica	dBm
		Valor Promedio		dBm
		Desviación		dB
		Desvanecimiento		dB

3.2 Tipo y Nivel de Investigación

El nivel de investigación propuesto en la presente tesis es del tipo aplicada porque se utilizaron fundamentos y teorías ya establecidos.

El tipo de investigación se considera que es descriptiva, cuantitativa puesto que se han reportado datos usando magnitudes numéricas mediante un proceso de simulación.

3.3 Población y Muestra de Estudio

a. Población

La población a tomar en cuenta en el presente trabajo está constituida por todos los enlaces de acceso rural posibles de simular en el Departamento de Huancavelica.

b. Muestra

Por tratarse de una condición no determinística, la muestra quedo limitada por la selección de 26 enlaces de acceso rural en el departamento de Huancavelica, sobre los cuales se realizaron 150 observaciones de refractividad, generando un total de 3900 simulaciones, lo cual constituyo la muestra a emplear, asimismo con ello se justificó la participación de dos investigadores.

3.4 Diseño de investigación

El diseño de investigación propuesto en el proyecto es tipo documental. Se recolectaron datos a partir de la simulación del comportamiento de la señal en condiciones variantes de refractividad, en enlaces microondas de acceso rural en el departamento de Huancavelica.

a. Procedimiento:

- Recolección de información de emplazamientos posibles para implementar radioenlaces de acceso rural en la zona de Huancavelica.
- Selección de los 26 enlaces más críticos y de mayor longitud y velocidad de datos en la zona de Huancavelica.
- Simulación de los enlaces con la condición de variación de refractividad superficial.
- Elaboración de curvas de tendencia para identificación de valores críticos de refractividad.
- Estimación de los valores de temperatura presión y humedad asociados a los valores críticos de refractividad

3.5. Técnicas e instrumentos de investigación

La técnica de recolección de datos, las formas en que se aplicaron, así como la representación que se obtuvo para el desarrollo del trabajo se muestra en la tabla 4

Tabla 4 Técnicas de recolección de datos

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Simulación	Individual para cada simulación de enlace en una zona de acceso rural en Huancavelica	Simulación directa de cada enlace.
Análisis documental	Individual para cada emplazamiento posible en donde sea posible implementar enlaces de acceso rural en Huancavelica	Reportes del emplazamiento de acceso rural en Huancavelica

3.5.1. Recolección de datos

3.5.1.1 Recolección de información enlaces - Huancavelica

Conforme a datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2022), en la Figura 6 se muestra un mapa con localidades que cuentan con servicios de telecomunicaciones móviles. Existe una gran cantidad de localidades no cuenta estos servicios de telecomunicaciones (color rojo).

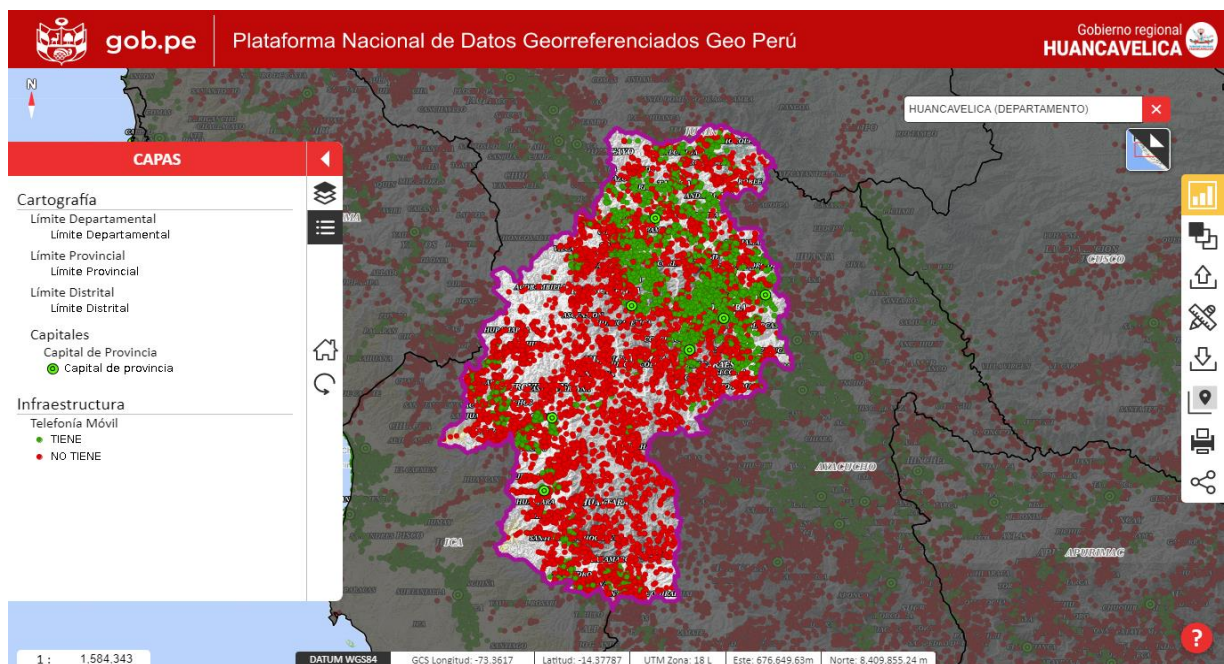


Figura N° 6 Localidades con presencia y sin presencia de servicio móvil

Fuente: Plataforma Nacional de Datos Georeferenciales Senami (2022)

De esta forma en la Figura 7 se presenta un mayor acercamiento de las zonas con requerimiento de acceso a telecomunicaciones rurales del departamento de Huancavelica. En la figura se muestran los posibles emplazamientos para interconectar los diferentes centros poblados, de los cuales se realizó un análisis para identificar aquellos que podrían ser más susceptibles a las condiciones de refractividad superficial. En ese sentido, el criterio de selección se basa en la longitud del enlace y en la posibilidad de poder interconectar a mayor cantidad de otros centros poblados, actuando como nodales o repetidores.

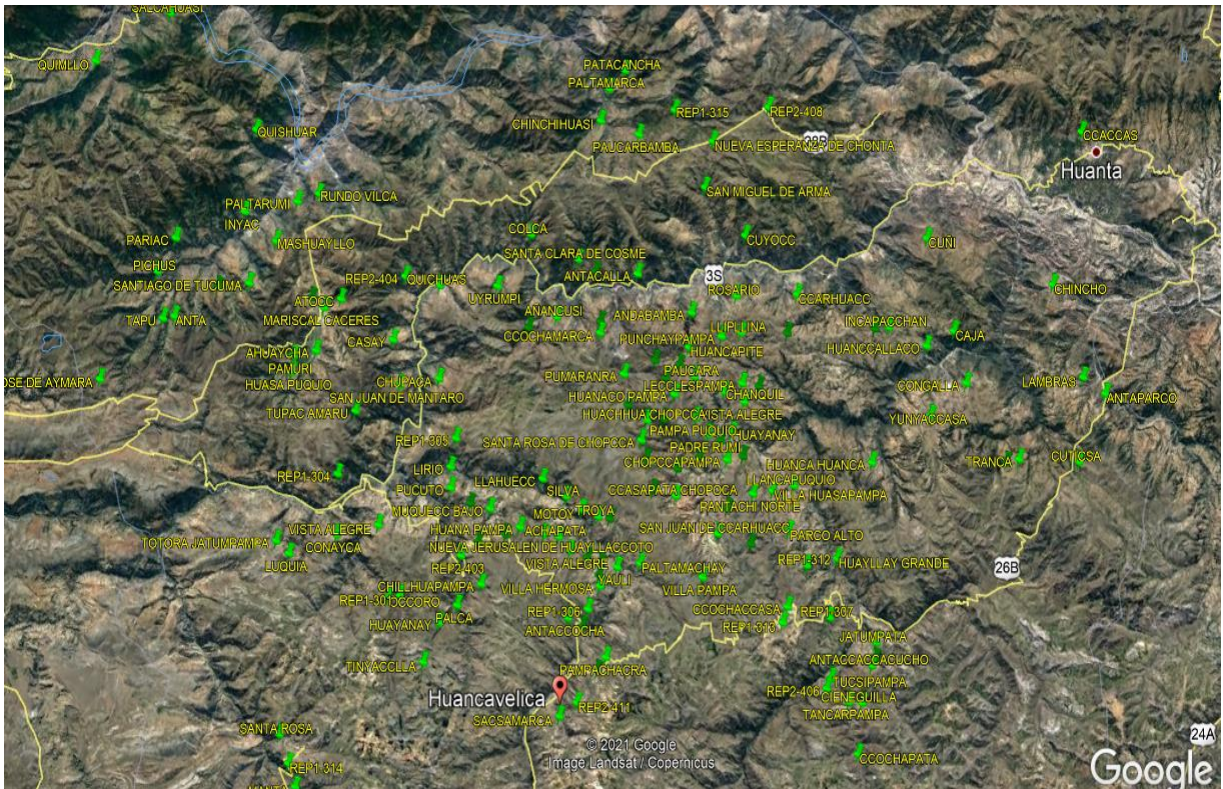


Figura N° 7 Ampliación de posibles emplazamientos en zona nor este de Huancavelica, localidades con requerimiento de servicio móvil

3.5.1.2 Enlaces seleccionados para el análisis.

En la Tabla N° 5 se presentan los enlaces seleccionados del departamento de Huancavelica. Como se mencionó en el apartado anterior, estos enlaces fueron elegidos por un criterio de distancia donde se pueda tener mayor notoriedad en la influencia del efecto de radiorefractividad superficial.

Considerando la cantidad de enlaces presente en el departamento de Huancavelica y por las características geográficas propias de dicho departamento, se tiene una referencia de la ubicación de posibles emplazamientos, alturas de antenas, así mismo la frecuencia de trabajo de enlaces de acceso rural, (Tabla 5). En el Anexo 03 se puede ver en mayor detalle los parámetros de los enlaces seleccionados.

Tabla N°5: ubicación y frecuencias de los enlaces Huancavelica




Nº	SITE A	SITE A LATITUDE (°)	SITE A LONGITUDE (°)	SITE A ANTENNA HEIGHT (m)	SITE B	SITE B LATITUDE (°)	SITE B LONGITUDE (°)	SITE B ANTENNA HEIGHT (m)	LINK DISTANCE (Km)
1	CAJA	-12.91802	-74.4655	17	CUTICSA	-13.08955	-74.47642	14	19.13
2	CHILCAPITE	-12.8518	-74.5155	41	REP2-408	-12.647336	-74.428233	27	24.66
3	CHINCHO	-12.974489	-74.3682	14	CCACCAS	-12.917194	-74.241012	17	25.34
4	CONAYCA	-12.520812	-75.009049	39	REP1-305	-12.567329	-74.864155	37	16.58
5	CONGALLA	-12.955556	-74.494311	21	CURIMARAY	-12.782671	-74.575507	41	21.17
6	CONGALLA	-12.955556	-74.494311	17	LECCLESPAMPA	-12.772408	-74.640074	23	25.81
7	HUANCAHUANCA	-12.920361	-74.611611	41	PUNCHAYPAMPA	-12.730691	-74.6206	14	21.14
8	INCAPACCHAN	-12.86234	-74.50546	15	HUARACCOPATA	-13.030204	-74.523847	17	18.79
9	MASHUAYLLO	-12.315129	-74.842386	59	SAN JOSE DE AYMARA	-12.24377	-75.05357	59	24.31
10	REP1-304	-12.48955	-74.965729	29	AYACCOCHA	-12.640567	-74.922171	29	17.47
11	REP1-305	-12.567329	-74.864155	39	REP2-404	-12.44001	-74.783342	25	16.68
12	HUANCAHUANCA	-12.920361	-74.611611	37	CHILCAPITE	-12.8518	-74.5155	39	12.93
13	HUANCAHUANCA	-12.920361	-74.611611	35	INCAPACCHAN	-12.86234	-74.50546	17	13.21
14	LLAHUECC	-12.659856	-74.836477	39	PUCUTO	-12.589495	-74.902191	39	10.6
15	MASHUAYLLO	-12.315129	-74.842386	53	PARIAC	-12.23072	-74.90517	23	11.62
16	PACOMARCA	-14.00465	-74.956996	15	OCOBAMBA	-13.96609	-75.045752	14	10.51
17	QUISHUAR	-12.23905	-74.77685	19	MASHUAYLLO	-12.315129	-74.842386	57	11.07
18	QUISHUAR	-12.23905	-74.77685	23	SANTIAGO DE TUCUMA	-12.315276	-74.889478	14	14.9
19	REP1-304	-12.48955	-74.965729	25	CCACCASIRI	-12.613851	-74.900387	14	15.55
20	REP1-305	-12.567329	-74.864155	29	TUPAC AMARU	-12.4706	-74.91	17	11.87
21	REP1-307	-12.967635	-74.747842	17	CCOCHAPATA	-13.062928	-74.825505	53	13.55
22	REP1-313	-12.931968	-74.781896	19	VILLA PAMPA	-12.842517	-74.802058	21	10.2
23	REP3-501	-12.690464	-74.729501	21	CCASAPATA CHOPOCA	-12.777649	-74.762225	23	10.34
24	ROSARIO	-12.721222	-74.582278	23	CUÑI	-12.846898	-74.417634	14	22.7
25	ROSARIO	-12.721222	-74.582278	15	SAN MIGUEL DE ARMA	-12.637908	-74.526168	17	11.1
26	YAULI	-12.767496	-74.850027	27	LLAHUECC	-12.659856	-74.836477	49	12.08

3.5.1.3 Recolección de información de Equipos de Transmisión de radio

A continuación, en la Tabla N°6 se presenta la descripción de los equipos de radiotransmisión sugeridos para radioenlaces, esta selección se ha basado en equipos que son típicamente usados en enlaces de acceso rural, en diferentes zonas de Peru, entre los cuales destacan los equipos Radwin 2000 con sus correspondientes antenas integradas exteriores y con sus respectivas características técnicas. Cabe destacar que, a pesar que se configure la simulación buscando el mayor acercamiento posible a la realidad, lo que se va a evaluar van a ser las diferencias encontradas al variar la refractividad. En ese sentido, un valor distinto de potencia de transmisión o de ganancia de antena, finalmente no marcara mucha diferencia en los resultados obtenidos.

Los valores mostrados para cada equipo son rangos entre los cuales trabajan según las especificaciones brindadas por el fabricante. Los cálculos y simulaciones se realizaron en base del modelo de propagación Longley Rice, permitido por el simulador, tomando en cuenta las diferencias obtenidas en potencia de recepción, es decir las diferencias deben ser las mismas más allá de las características técnicas del equipo.

Tabla 6: Equipos de Radiotransmisión

RADWIN 2000 D+	Unidades para Exteriores	
 <p>Unidad para interiores Ethernet + 4, 8, 16 E1/T1</p>	Ethernet	750 Mbps
	Alcance	Hasta 120 Km
	Ancho de banda de canal	10/20/40/80 MHz
	Potencia máxima de transmisión	25 dBm @ 3,3-3,8 GHz, 4,9-6,4 GHz, 26 dBm @ 2,3-2,5 GHz
	Modulación y codificación adaptativa	10 niveles: BPSK a 256QAM 8 niveles: BPSK a 64QAM
	Esquema de acceso de radio	MIMO 2x2 - OFDM
	Tecnología dúplex	TDD
	Selección dinámica de ancho de banda de canal	20/40/80 MHz o 20/40 MHz
	Diversidad	Compatible con polarización y diversidad espacial
	Tamaño máximo de trama	2048 bytes
Latencia	< 3ms	
ODU	Dimensiones y peso	
 <p>ODU con antena integrada</p>	ODU integrado (ancho x alto x profundidad en cm)	30 x 30 x 10; 2,9 kg (6,4 lb)
		Con antena de 23 dbi: 30 x 30 x 10; 2,9 kg (6,4 lb)
		Con antena de 17 dbi: 17 x 21 x 7; 1,2 kg (2,65 lb)
Energía		
	Alimentación de energía	Unidad para interiores o dispositivo PoE
	Consumo de energía	25 W (ODU + POE)

3.5.2. Procesamiento de información

3.5.2.1. Proceso de Simulación

Con los datos de la tabla N°5 se procedió a preparar los parámetros necesarios para el proceso de simulación. Se implantó la configuración de parámetros y la cantidad de muestras que permitieron la mayor cantidad de procesos de simulación con el fin de obtener los datos resultantes. Para el presente estudio se tuvo en cuenta las frecuencias de trabajo, así como las alturas de las antenas de todos los radioenlaces presentes para poder obtener las condiciones de señal recibidas para cada valor establecido durante la simulación. Para poder determinar estos valores se utilizó el software de simulación Radio Mobile, cuya referencia se muestra en la Figura N° 8; La versión 11.6.5 de este software permite poder configurar las características principales de los radioenlaces (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, clima, etc.).

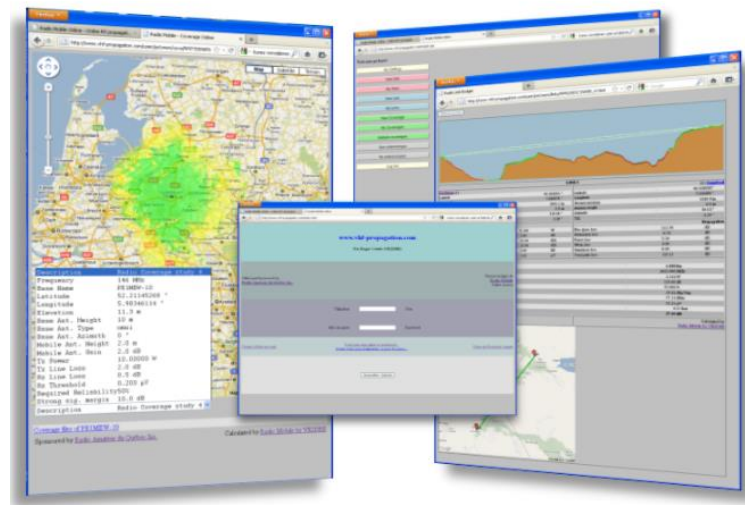


Figura N°8 Software Utilizado Radio Mobile

Fuente: Software Radio Mobile (2021)

Del mismo modo, en la Figura N°9 se puede apreciar la configuración de las distintas unidades de acuerdo a la ubicación geográfica de cada una de ellas, generando los diferentes radioenlaces que se presentaron en la Tabla N°4. Con los datos ingresados en el simulador se configuraron los diferentes radioenlaces correspondientes a la parte a estudiar en el departamento de Huancavelica.

Una vez definida la ubicación de todas las unidades (Figura 9) se procedió a configurar las redes. Para ejemplo de parámetros se tomó los datos ingresados y/o configurados en las pestañas del enlace Caja - Cuticsa:

Parámetros:

- Frecuencia mínima : 5725 MHz
- Frecuencia máxima : 5745 MHz
- Polarización : Vertical
- Clima : Continental sub-tropical,
- Refractividad Superficial (Nunits) :
Sus valores se trabajaron desde $N_s = 250$ Nunits, hasta $N_s = 400$ Nunits.

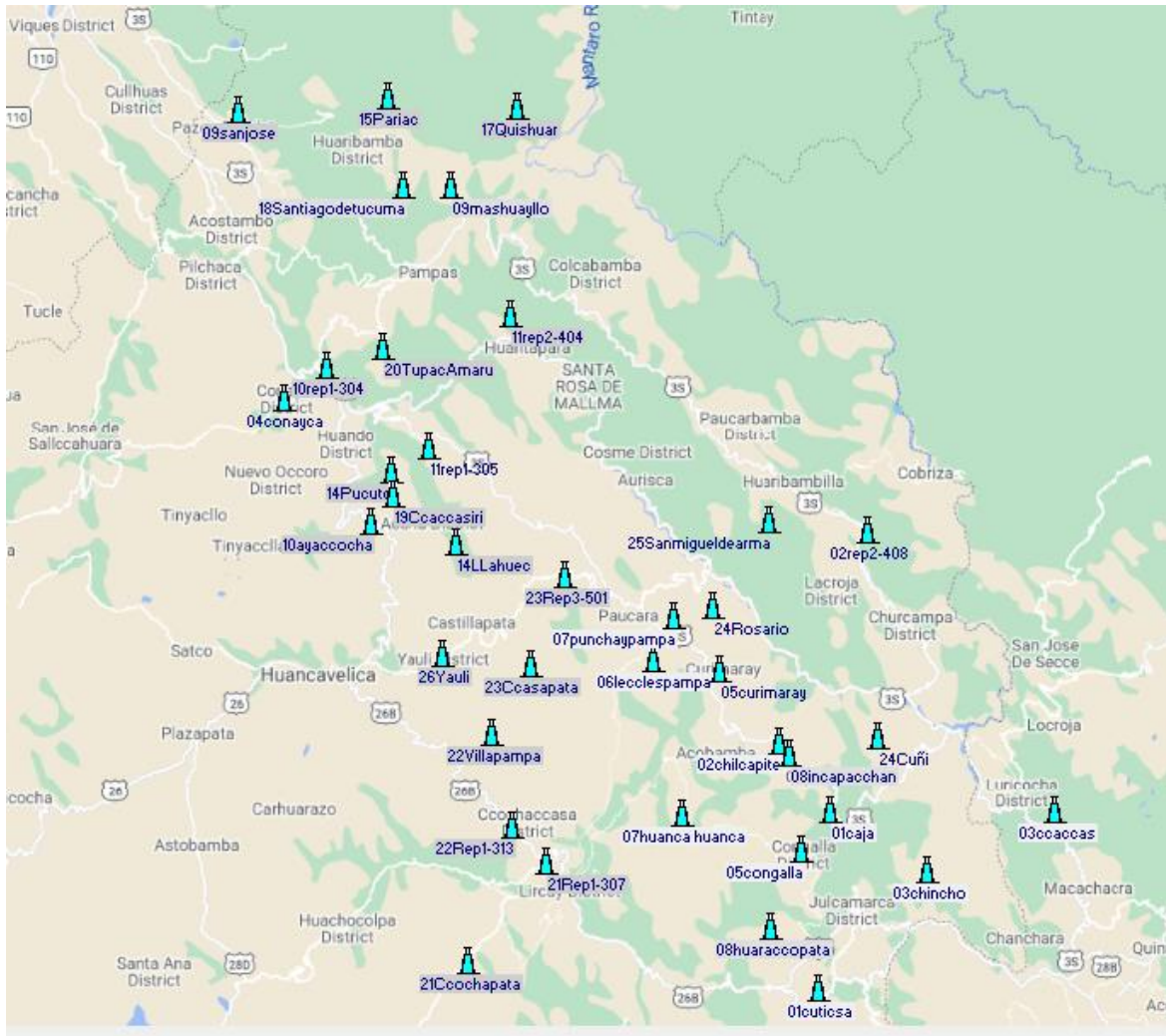


Figura N° 9 Ubicación geográfica de los radioenlaces

Topología:

La topología seleccionada para la simulación fue la del tipo: red de datos, topología estrella (master/esclavo)

Membresía:

Se configuró el comportamiento de las unidades miembros de la red respecto al rol dentro del radio enlace como son master y/o esclavo, así como la respectiva altura de antenas y la dirección de apuntamiento. En la figura 10 se muestra la configuración para la Red: Link01 Caja-Cuticsa.

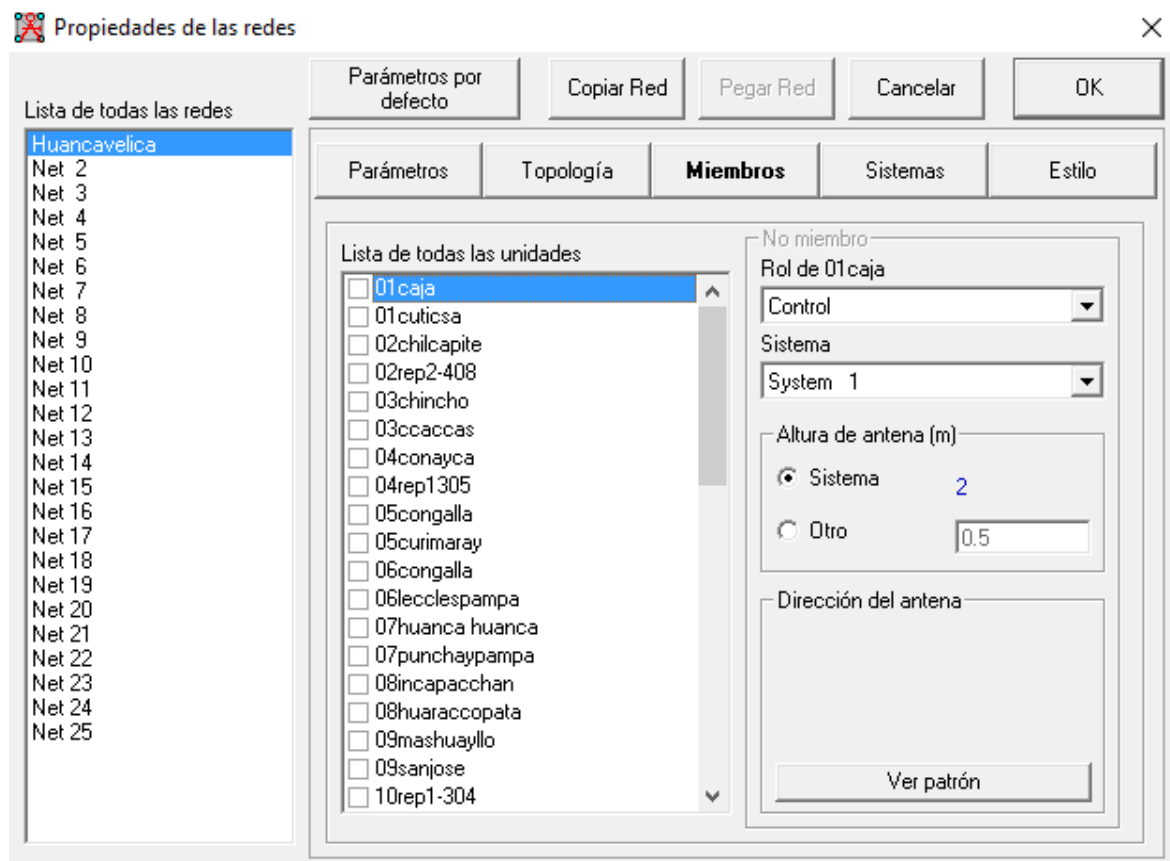


Figura N° 10 Red Caja - Cuticsa parámetros estación Caja

Fuente: Software Radio Mobile (2022).

Sistemas

En la pestaña sistemas se configuraron los valores respecto a la potencia del transmisor, pérdida de línea, así como el tipo de antena y la ganancia de la misma, conforme la tabla N°5

3.6. Procesamiento y Análisis de Datos

3.6.1. Obtención de valores de señal recibida.

Una vez realizado el trabajo de generar la red con sus respectivas unidades y luego de configurar los valores y datos referentes a cada uno de los radioenlaces, se procedió a realizar el cambio de los valores en las propiedades de las redes en la pestaña “Parámetros”, ítem “refractividad de superficie” (unidades N) con valores desde $N_s = 250$ Nunits hasta $N_s = 400$ Nunits, obteniendo una muestra de 151 valores de recepción de señal para cada uno de los radioenlaces en zona rural del departamento de Huancavelica.

A continuación, se muestran las Tablas N° 7, 8 y 9 en las cuales se muestran los valores de señal obtenidos por simulación para cada radioenlace. En la tabla N° 7 se muestran los valores para los rangos de $250 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 300 \text{ Nunits}$, en la tabla N° 8 para los valores de $301 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 350 \text{ Nunits}$ y finalmente en la Tabla N° 9 para los valores de $351 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 400 \text{ Nunits}$.

3.6.2. Selección de valores de refractividad superficial en Huancavelica

Para caracterizar valores de refractividad superficial propios de la zona climática de Huancavelica, se estimaron valores a partir de condiciones climáticas de presión atmosférica (mbar), temperatura (°C) y humedad (%), de los reportes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2021). Cabe destacar que los valores promedio correspondientes al año 2020, se muestran incompletos debido a la imposibilidad de haber podido recopilar datos de las estaciones meteorológicas por la pandemia COVID-19.

Tabla 10 Humedad relativa promedio anual por departamento (2011-2020)

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ANUAL H_{prom} (%), SEGÚN DEPARTAMENTO, 2011-2020										
Departamento	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Amazonas	77	81	87	83	81	78	79	80	81	79
Áncash	85	80	77	78	76	75	76	74	68	-
Apurímac	93	87	83	79	82	80	81	80	76	-
Arequipa	50	54	51	49	48	47	51	48	54	-
Ayacucho	78	73	77	77	79	78	63	63	68	67
Cajamarca	65	65	64	63	63	64	64	62	66	62
Cusco	76	67	74	68	69	64	68	70	72	70
Huancavelica	81	84	84	86	85	84	85	86	86	86
Huánuco	67	65	66	65	64	62	65	66	67	64
Ica	75	70	68	74	73	68	67	67	70	70
Junín	65	63	62	59	59	56	58	59	59	59
La Libertad	91	87	92	91	85	85	86	85	86	91
Lambayeque	82	81	82	80	81	82	81	82	81	81
Lima	85	86	86	87	86	85	86	87	88	-
Loreto	83	85	85	84	92	90	89	90	87	88
Madre de Dios	83	83	85	90	93	92	93	93	91	90
Moquegua	63	61	62	63	65	...	...	74	74	-
Pasco	82	84	86	85	86	85	85	82	81	-
Piura	73	70	75	74	76	72	73	74	74	-
Puno	63	61	64	65	68	62	61	62	62	-
San Martín	82	82	82	83	83	81	83	84	83	-
Tacna	75	75	76	78	80	76	81	83	80	80
Tumbes	90	85	91	91	78	79	86	82	81	-
Ucayali	90	90	88	90	88	88	88	88	89	-

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2021)

De la Tabla 10 se puede identificar que los niveles promedio de humedad relativa en el Departamento de Huancavelica llegan hasta un valor de 86%. De la misma forma, en la Tabla 11, se presentan datos de promedio anuales respecto de humedad relativa, temperatura del aire y precipitaciones, por región, entre los años 1995 al 2019. En este sentido, se puede apreciar que para el caso de sierra los valores humedad llegan hasta valores mínimos de 50% de humedad relativa.

Tabla 11 Humedad, Temperatura y Precipitación promedio anual por región, (años 1995 - 2019)

Año	Humedad relativa (%)			Temperatura del aire (°C)			Precipitación (mm)		
	Costa	Sierra	Selva	Costa	Sierra	Selva	Costa	Sierra	Selva
1995	77.1	50.8	93.0	22.1	12.4	26.6	28.4	666.8	1 350.2
1996	79.0	50.9	93.7	21.1	12.2	26.5	22.6	599.8	1 423.7
1997	76.9	52.3	92.8	24.2	12.4	26.6	200.1	654.0	2 735.9
1998	79.9	53.2	90.8	23.1	12.9	26.8	696.3	726.2	2 278.9
1999	80.4	64.3	88.1	21.4	11.7	26.1	99.9	713.8	2 411.1
2000	79.6	60.9	86.8	21.7	12.0	26.2	43.7	678.7	2 616.5
2001	81.5	52.0	86.0	21.4	10.5	25.9	84.9	568.1	2 082.7
2002	82.4	64.0	87.9	20.8	11.5	26.7	94.1	734.3	2 554.1
2003	78.9	65.9	86.4	21.1	12.4	25.4	25.0	725.8	2 227.1
2004	77.3	68.1	82.1	20.7	12.4	22.9	25.7	659.9	1 484.1
2005	76.4	68.2	81.1	20.1	13.5	23.2	26.3	585.7	1 364.2
2006	77.3	70.6	81.9	21.4	12.7	24.7	57.8	709.3	1 681.2
2007	80.0	72.7	81.8	20.3	12.7	23.1	27.0	649.7	1 516.7
2008	77.0	69.0	79.0	21.4	12.6	23.1	46.3	570.0	1 463.9
2009	80.2	73.1	81.8	21.4	13.0	22.9	55.9	775.6	1 747.4
2010	81.0	71.2	79.0	20.9	13.2	22.7	75.7	667.7	1 156.0
2011	79.3	72.8	80.2	21.1	12.4	22.7	30.4	834.3	1 586.6
2012	76.9	71.7	81.0	21.5	12.4	22.8	74.2	809.9	1 571.4
2013	78.9	73.1	82.3	20.1	12.6	23.0	47.3	800.8	1 715.6
2014	79.8	70.8	82.4	21.5	12.7	22.9	22.3	692.5	1 605.4
2015	78.0	71.4	83.5	22.4	12.9	23.2	99.4	824.8	1 790.9
2016	78.0	69.4	81.7	22.6	13.4	23.5	92.2	573.2	1 540.3
2017	79.7	69.1	82.7	22.1	12.9	23.3	174.1	828.4	1 700.0
2018	80.1	68.9	86.8	21.7	13.8	23.3	36.3	704.3	1 917.6
2019	...	...	...	22.0	14.0	25.7	62.0	787.2	2 093.0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2015)

Respecto de la temperatura; para caracterizar su comportamiento en las zonas de acceso rural, se ha tomado como referencia los datos de la estación meteorológica mas cercana (Estación Acobamba). En la Figura 11 se presentan datos acumulados desde los años 1989 al 2014, en donde se puede apreciar que en el Departamento de Huancavelica las temperaturas ambientales han oscilado entre valores maximos de hasta 25 °C, en tanto que los valores minimos han llegado hasta valores de -10 °C.

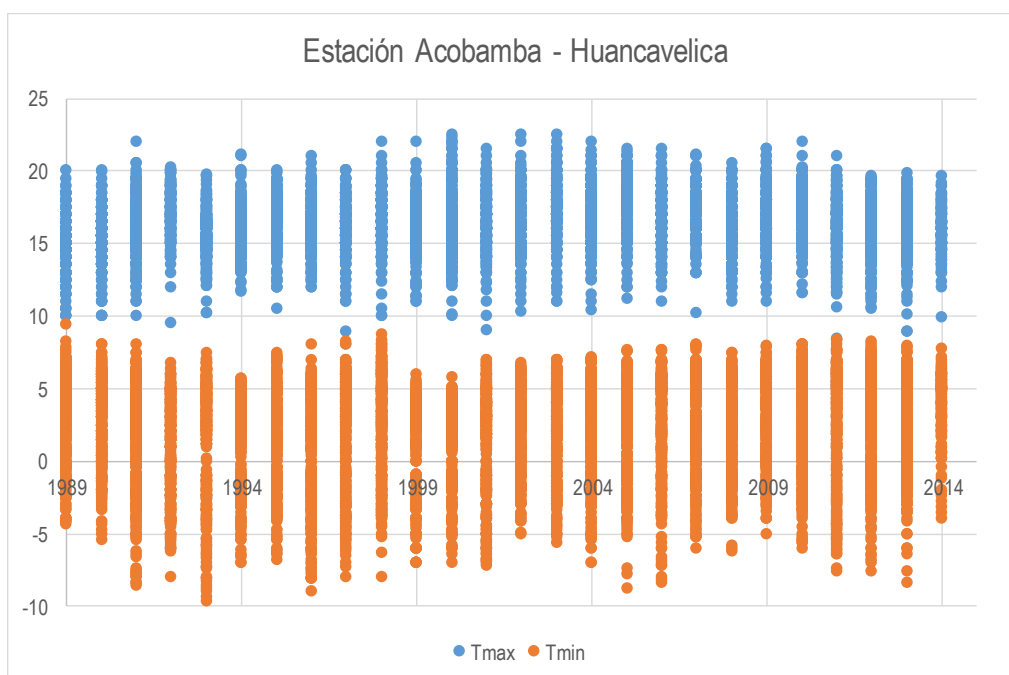


Figura 11 temperaturas maximas y minimas Huancavelica

Fuente: Reporte SENAMHI Estación Acobamba Huancavelica (2021)

Respecto de la Presión Atmosférica, conforme a reporte del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2015), se presentan en la Tabla N° 12 los valores promedio para diferentes lugares del Perú. En particular para Huancavelica la presión atmosférica promedio tiene un valor de 644.3 mbar. El valor de presión atmosférica es el menos variante, considerándose una fluctuación de ± 5 mbar sobre el valor mostrado en la tabla.

Tabla 12 Valores de presión atmosférica promedio por ciudad

CIUDAD	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	CIUDAD	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	CIUDAD	PRESIÓN ATMOSFÉRICA
Ica	723 mm Hg	Andahuaylas	536 mm Hg	Iquitos	751 mm Hg
Chiclayo	758 mm Hg	Cajamarca	552 mm Hg	Jaen	696 mm Hg
Nazca	709 mm Hg	Ayacucho	542 mm Hg	La Merced	692 mm Hg
Lima	751 mm Hg	Cuzco	504 mm Hg	Moyobamba	685 mm Hg
Tumbes	759 mm Hg	Huancavelica	483 mm Hg	Oxapampa	606 mm Hg

CIUDAD	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	CIUDAD	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	CIUDAD	PRESIÓN ATMOSFÉRICA
Ica	963.92 mbar	Andahuaylas	714.61 mbar	Iquitos	1001.25 mbar
Chiclayo	1010.58 mbar	Cajamarca	735.94 mbar	Jaen	927.92 mbar
Nazca	945.25 mbar	Ayacucho	722.61 mbar	La Merced	922.59 mbar
Lima	1001.25 mbar	Cuzco	671.94 mbar	Moyobamba	913.26 mbar
Tumbes	1011.91 mbar	Huancavelica	643.95 mbar	Oxapampa	807.93 mbar

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 2015

3.6.3. Estimación de valores de refractividad superficial en Huancavelica

Según recomendación ITU-R P.453, en base a los valores referenciales de presión atmosférica (P), temperatura (T) y humedad (H), máximos, mínimos y promedio, descritos en el apartado anterior, se realizaron los cálculos correspondientes para la obtención de los valores característicos de refractividad superficial (Ns).

De esta forma, para Huancavelica se tomó como referencia un valor promedio de presión atmosférica de 644 mbar, considerado una fluctuación de ± 10 mbar (desde 634 mbar hasta 654 mbar). Del mismo modo se consideró una temperatura promedio de 10°C cuya variación fluctúa desde -10°C hasta 25 °C.

Respecto de la humedad se ha considerado un valor promedio referencial de 84% de humedad relativa, con una fluctuación que puede variar desde 50% hasta 90%. En la Tabla N° 13 se presentan los resultados de las tabulaciones correspondientes utilizando los diversos valores considerados para temperatura, presión y humedad.

Tabla 13 Tabulaciones de temperatura y presión atmosférica Huancavelica

N°	P _(mbar)	t (°C)	T(°K)	H%	a	b	c	e _s (mbar)	e (mbar)	N	N°	P _(mbar)	t (°C)	T(°K)	H%	a	b	c	e _s (mbar)	e (mbar)	N	N°	P _(mbar)	t (°C)	T(°K)	H%	a	b	c	e _s (mbar)	e (mbar)	N											
1	634	-10	263	55	6.11	17.50	240.97	2.86	1.58	196	49	634	0	273	55	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.36	197	97	634	10	283	55	6.1121	17.502	240.97	12.28	6.75	205	145	634	20	293	55	6.1121	17.502	240.97	23.37	12.86	224
2	644	-10	263	55	6.11	17.50	240.97	2.86	1.58	199	50	644	0	273	55	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.36	200	98	644	10	283	55	6.1121	17.502	240.97	12.28	6.75	208	146	644	20	293	55	6.1121	17.502	240.97	23.37	12.86	226
3	654	-10	263	55	6.11	17.50	240.97	2.86	1.58	201	51	654	0	273	55	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.36	203	99	654	10	283	55	6.1121	17.502	240.97	12.28	6.75	211	147	654	20	293	55	6.1121	17.502	240.97	23.37	12.86	229
4	634	-10	263	60	6.11	17.50	240.97	2.86	1.72	196	52	634	0	273	60	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.67	199	100	634	10	283	60	6.1121	17.502	240.97	12.28	7.37	208	148	634	20	293	60	6.1121	17.502	240.97	23.37	14.02	229
5	644	-10	263	60	6.11	17.50	240.97	2.86	1.72	199	53	644	0	273	60	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.67	201	101	644	10	283	60	6.1121	17.502	240.97	12.28	7.37	211	149	644	20	293	60	6.1121	17.502	240.97	23.37	14.02	232
6	654	-10	263	60	6.11	17.50	240.97	2.86	1.72	202	54	654	0	273	60	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.67	204	102	654	10	283	60	6.1121	17.502	240.97	12.28	7.37	214	150	654	20	293	60	6.1121	17.502	240.97	23.37	14.02	234
7	634	-10	263	65	6.11	17.50	240.97	2.86	1.86	197	55	634	0	273	65	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.97	200	103	634	10	283	65	6.1121	17.502	240.97	12.28	7.98	211	151	634	20	293	65	6.1121	17.502	240.97	23.37	15.19	234
8	644	-10	263	65	6.11	17.50	240.97	2.86	1.86	200	56	644	0	273	65	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.97	203	104	644	10	283	65	6.1121	17.502	240.97	12.28	7.98	214	152	644	20	293	65	6.1121	17.502	240.97	23.37	15.19	237
9	654	-10	263	65	6.11	17.50	240.97	2.86	1.86	203	57	654	0	273	65	6.1121	17.502	240.97	6.11	3.97	206	105	654	10	283	65	6.1121	17.502	240.97	12.28	7.98	217	153	654	20	293	65	6.1121	17.502	240.97	23.37	15.19	239
10	634	-10	263	70	6.11	17.50	240.97	2.86	2.01	198	58	634	0	273	70	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.28	202	106	634	10	283	70	6.1121	17.502	240.97	12.28	8.59	214	154	634	20	293	70	6.1121	17.502	240.97	23.37	16.36	239
11	644	-10	263	70	6.11	17.50	240.97	2.86	2.01	201	59	644	0	273	70	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.28	204	107	644	10	283	70	6.1121	17.502	240.97	12.28	8.59	217	155	644	20	293	70	6.1121	17.502	240.97	23.37	16.36	242
12	654	-10	263	70	6.11	17.50	240.97	2.86	2.01	204	60	654	0	273	70	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.28	207	108	654	10	283	70	6.1121	17.502	240.97	12.28	8.59	219	156	654	20	293	70	6.1121	17.502	240.97	23.37	16.36	244
13	634	-10	263	75	6.11	17.50	240.97	2.86	2.15	199	61	634	0	273	75	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.58	203	109	634	10	283	75	6.1121	17.502	240.97	12.28	9.21	217	157	634	20	293	75	6.1121	17.502	240.97	23.37	17.53	244
14	644	-10	263	75	6.11	17.50	240.97	2.86	2.15	202	62	644	0	273	75	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.58	206	110	644	10	283	75	6.1121	17.502	240.97	12.28	9.21	220	158	644	20	293	75	6.1121	17.502	240.97	23.37	17.53	247
15	654	-10	263	75	6.11	17.50	240.97	2.86	2.15	205	63	654	0	273	75	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.58	209	111	654	10	283	75	6.1121	17.502	240.97	12.28	9.21	222	159	654	20	293	75	6.1121	17.502	240.97	23.37	17.53	249
16	634	-10	263	80	6.11	17.50	240.97	2.86	2.29	199	64	634	0	273	80	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.89	205	112	634	10	283	80	6.1121	17.502	240.97	12.28	9.82	220	160	634	20	293	80	6.1121	17.502	240.97	23.37	18.70	249
17	644	-10	263	80	6.11	17.50	240.97	2.86	2.29	202	65	644	0	273	80	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.89	208	113	644	10	283	80	6.1121	17.502	240.97	12.28	9.82	222	161	644	20	293	80	6.1121	17.502	240.97	23.37	18.70	252
18	654	-10	263	80	6.11	17.50	240.97	2.86	2.29	205	66	654	0	273	80	6.1121	17.502	240.97	6.11	4.89	210	114	654	10	283	80	6.1121	17.502	240.97	12.28	9.82	225	162	654	20	293	80	6.1121	17.502	240.97	23.37	18.70	255
19	634	-10	263	85	6.11	17.50	240.97	2.86	2.44	200	67	634	0	273	85	6.1121	17.502	240.97	6.11	5.20	206	115	634	10	283	85	6.1121	17.502	240.97	12.28	10.43	222	163	634	20	293	85	6.1121	17.502	240.97	23.37	19.87	254
20	644	-10	263	85	6.11	17.50	240.97	2.86	2.44	203	68	644	0	273	85	6.1121	17.502	240.97	6.11	5.20	209	116	644	10	283	85	6.1121	17.502	240.97	12.28	10.43	225	164	644	20	293	85	6.1121	17.502	240.97	23.37	19.87	257
21	654	-10	263	85	6.11	17.50	240.97	2.86	2.44	206	69	654	0	273	85	6.1121	17.502	240.97	6.11	5.20	212	117	654	10	283	85	6.1121	17.502	240.97	12.28	10.43	228	165	654	20	293	85	6.1121	17.502	240.97	23.37	19.87	260
22	634	-10	263	90	6.11	17.50	240.97	2.86	2.58	201	70	634	0	273	90	6.1121	17.502	240.97	6.11	5.50	208	118	634	10	283	90	6.1121	17.502	240.97	12.28	11.05	225	166	634	20	293	90	6.1121	17.502	240.97	23.37	21.04	259
23	644	-10	263	90	6.11	17.50	240.97	2.86	2.58	204	71	644	0	273	90	6.1121	17.502	240.97	6.11	5.50	211	119	644	10	283	90	6.1121	17.502	240.97	12.28	11.05	228	167	644	20	293	90	6.1121	17.502	240.97	23.37	21.04	262
24	654	-10	263	90	6.11	17.50	240.97	2.86	2.58	207	72	654	0	273	90	6.1121	17.502	240.97	6.11	5.50	213	120	654	10	283	90	6.1121	17.502	240.97	12.28	11.05	231	168	654	20	293	90	6.1121	17.502	240.97	23.37	21.04	265
25	634	-5	268	55	6.11	17.50	240.97	4.22	2.32	196	73	634	5	278	55	6.1121	17.502	240.97	8.72	4.80	200	121	634	15	288	55	6.1121	17.502	240.97	17.05	9.38	213	169	634	25	298	55	6.1121	17.502	240.97	31.67	17.42	238
26	644	-5	268	55	6.11	17.50	240.97	4.22	2.32	199	74	644	5	278	55	6.1121	17.502	240.97	8.72	4.80	203	122	644	15	288	55	6.1121	17.502	240.97	17.05	9.38	216	170	644	25	298	55	6.1121	17.502	240.97	31.67	17.42	241
27	654	-5	268	55	6.11	17.50	240.97	4.22	2.32	201	75	654	5	278	55	6.1121	17.502	240.97	8.72	4.80	206	123	654	15	288	55	6.1121	17.502	240.97	17.05	9.38	218	171	654	25	298	55	6.1121	17.502	240.97	31.67	17.42	244
28	634	-5	268	60	6.11	17.50	240.97	4.22	2.53	197	76	634	5	278	60	6.1121	17.502	240.97	8.72	5.23	202	124	634	15	288	60	6.1121	17.502	240.97	17.05	10.23	217	172	634	25	298	60	6.1121	17.502	240.97	31.67	19.00	245
29	644	-5	268	60	6.11	17.50	240.97	4.22	2.53	200	77	644	5	278	60	6.1121	17.502	240.97	8.72	5.23	205	125	644	15	288	60	6.1121	17.502	240.97	17.05	10.23	220	173	644	25	298	60	6.1121	17.502	240.97	31.67	19.00	248
30	654	-5	268	60	6.11	17.50	240.97	4.22	2.53	203	78	654	5	278	60	6.1121	17.502	240.97	8.72	5.23	208	126	654	15	288	60	6.1121	17.502	240.97	17.05	10.23	222	174	654	25	298	60	6.1121	17.502	240.97	31.67	19.00	250
31	634	-5	268	65	6.11	17.50	240.97	4.22	2.74	198	79	634	5	278	65	6.1121	17.502	240.97	8.72	5.67	204	127	634	15	288	65	6.1121	17.502	240.97	17.05	11.08	221	175	634	25	298	65	6.1121					

Conforme la Tabla N° 13 se observan 192 tabulaciones de valores de refractividad superficial realizadas para Huancavelica. Los valores de refractividad superficial obtenidos oscilan en el rango $196 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 290 \text{ Nunits}$. En este punto, a fin de poder continuar el análisis de desvanecimientos, se deben sincerar los rangos permitidos por la herramienta de simulación. En tal sentido el análisis de desvanecimiento de señales recibidas para la zona de Huancavelica, se realizó en el rango de refractividad superficial $250 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 300 \text{ Nunits}$ (dentro del rango permitido por el simulador RadioMobile).

3.6.4. Identificación de desvanecimientos

Conforme los datos obtenidos de las variaciones de señal con la refractividad superficial en el rango $250 \text{ Nunits} < N_s < 300 \text{ Nunits}$, se procedió a identificar el nivel máximo de potencia, como referente del nivel de recepción esperado para cada uno de los 26 radioenlaces analizados. Estos se muestran en la Tabla N° 14.

Tabla 14: Niveles máximos de potencia de los enlaces 10 al 18

	Link1 Nrx (dBm)	Link2 Nrx (dBm)	Link3 Nrx (dBm)	Link4 Nrx (dBm)	Link5 Nrx (dBm)	Link6 Nrx (dBm)	Link7 Nrx (dBm)
Nrx max	-61.9	-64.3	-60	-59.3	-62.4	-63.5	-64.4
	Link8 Nrx (dBm)	Link9 Nrx (dBm)	Link10 Nrx (dBm)	Link11 Nrx (dBm)	Link12 Nrx (dBm)	Link13 Nrx (dBm)	Link14 Nrx (dBm)
Nrx max	-62.1	-64.2	-60.2	-61.2	-57.9	-57.8	-57.4
	Link15 Nrx (dBm)	Link16 Nrx (dBm)	Link17 Nrx (dBm)	Link18 Nrx (dBm)	Link19 Nrx (dBm)	Link20 Nrx (dBm)	Link21 Nrx (dBm)
Nrx max	-57.2	-57.3	-57.8	-58.9	-59.7	-56.9	-58.5
	Link22 Nrx (dBm)	Link23 Nrx (dBm)	Link24 Nrx (dBm)	Link25 Nrx (dBm)	Link26 Nrx (dBm)		
Nrx max	-55.5	-55.3	-63.1	-57.3	-57		

De esta manera, por cada enlace analizado, se ha calculado la diferencia en dB respecto del nivel máximo que debe ser alcanzando, Esta diferencia se identifica como desvanecimiento (fading). En la Tabla N° 15 se muestran los desvanecimientos superiores a 0.5 dB respecto del valor máximo, dentro de los rangos de refractividad superficial de 250 Nunits a 300 Nunits.

3.6.5. Análisis del desvanecimiento en función de refractividad superficial.

Para el análisis de los desvanecimientos en función de la refractividad superficial. A partir de la Tabla 15, se generó una nueva tabla de selección y clasificación de los enlaces, en base a la magnitud de sus desvanecimientos.

Conforme a los resultados obtenidos por simulación los valores más altos de desvanecimiento se encuentran en el rango de 0.5 dB a 4.1 dB. Los enlaces cuyos valores de desvanecimiento oscilan entre 0.1 dB y 0.4 dB se han clasificado dentro de los valores de simulación intermedios, en tanto los enlaces cuyos desvanecimientos obtenidos han sido menores a 0.1 dB se han categorizado dentro de los valores de simulación más bajos.

De esta manera se presenta en la Tabla 16 una clasificación de los desvanecimientos, ordenados de acuerdo a la magnitud obtenida por simulación. Se puede resaltar que se han identificado diez enlaces con mayor desvanecimiento, entre los cuales resalta el de mayor profundidad (4.1 dB) correspondiente al enlace N° 023 (Rep3_501 - Ccasapata Chopoca). Seguidamente, se han identificado trece enlaces cuyos desvanecimientos se encuentran en el rango medio de valores obtenidos, entre ellos se destaca el enlace N° 019 (Rep1_304 - Ccaccasiri) con un valor de 0.4 dB.

Dentro de los rangos mas bajos de desvanecimientos obtenidos, se encuentran tres enlaces cuyos desvanecimientos oscilan muy cerca de los 0 dB, lo cual da cuenta de una muy baja variabilidad de señal, favorable para estos 03 enlaces.

En este orden de ideas se decidió asignar una escala de colores a fin de categorizar la aparición de los desvanecimientos analizados. De este modo se asignó el color verde (favorable - menor), a los enlaces con menor desvanecimiento, color amarillo (regular - medio) a los enlaces con desvanecimiento poco pronunciado, y color rojo (desfavorable - mayor) a los enlaces con mayor rango de desvanecimiento.

3.6.6. Gráficas del desvanecimiento en función de refractividad superficial.

A fin de poder enfocar mejor el análisis del desvanecimiento de cada enlace, se presentan las gráficas N° 12, 13 y 14 en donde se han ordenado las gráficas de desvanecimiento versus refractividad superficial, por tendencia de variación.

Tabla 16 Clasificación de enlaces por magnitud de desvanecimiento

N°	ID_LINK	DENOMINACIÓN DEL ENLACE		DISTANCIA (Km)	CLASIFICACIÓN FADING
1	023	REP3-501	- CCASAPATA CHOPOCA	10.34	mayor
2	002	CHILCAPITE	- REP2-408	24.66	mayor
3	011	REP1-305	- REP2-404	16.68	mayor
4	024	ROSARIO	- CUÑI	22.7	mayor
5	012	HUANCA HUANCA	- CHILCAPITE	12.93	mayor
6	007	HUANCA HUANCA	- PUNCHAYPAMPA	21.14	mayor
7	021	REP1-307	- CCOCHAPATA	13.55	mayor
8	014	LLAHUECC	- PUCUTO	10.6	mayor
9	018	QUISHUAR	- SANTIAGO DE TUCUMA	14.9	mayor
10	016	PACOMARCA	- OCOBAMBA	10.51	mayor
11	019	REP1-304	- CCACCASIRI	15.55	medio
12	004	CONAYCA	- REP1-305	16.58	medio
13	006	CONGALLA	- LECCLESPAMPA	25.81	medio
14	008	INCAPACCHAN	- HUARACCOPATA	18.79	medio
15	009	MASHUAYLLO	- SAN JOSE DE AYMARA	24.31	medio
16	015	MASHUAYLLO	- PARIAC	11.62	medio
17	001	CAJA	- CUTICSA	19.13	medio
18	003	CHINCHO	- CCACCAS	25.34	medio
19	005	CONGALLA	- CURIMARAY	21.17	medio
20	017	QUISHUAR	- MASHUAYLLO	11.07	medio
21	020	REP1-305	- TUPAC AMARU	11.87	medio
22	025	ROSARIO	- SAN MIGUEL DE ARMA	11.1	medio
23	026	YAULI	- LLAHUECC	12.08	medio
24	010	REP1-304	- AYACCOCHA	17.47	menor
25	013	HUANCA HUANCA	- INCAPACCHAN	13.21	menor
26	022	REP1-313	- VILLA PAMPA	10.2	menor

Cabe destacar que el detalle de los gráficos N° 12, 13 y 14 puede ser consultado en el Anexo 01 (pág. 72), Anexo 02 (pág. 81) y Anexo 03 (pág. 88) del presente informe.

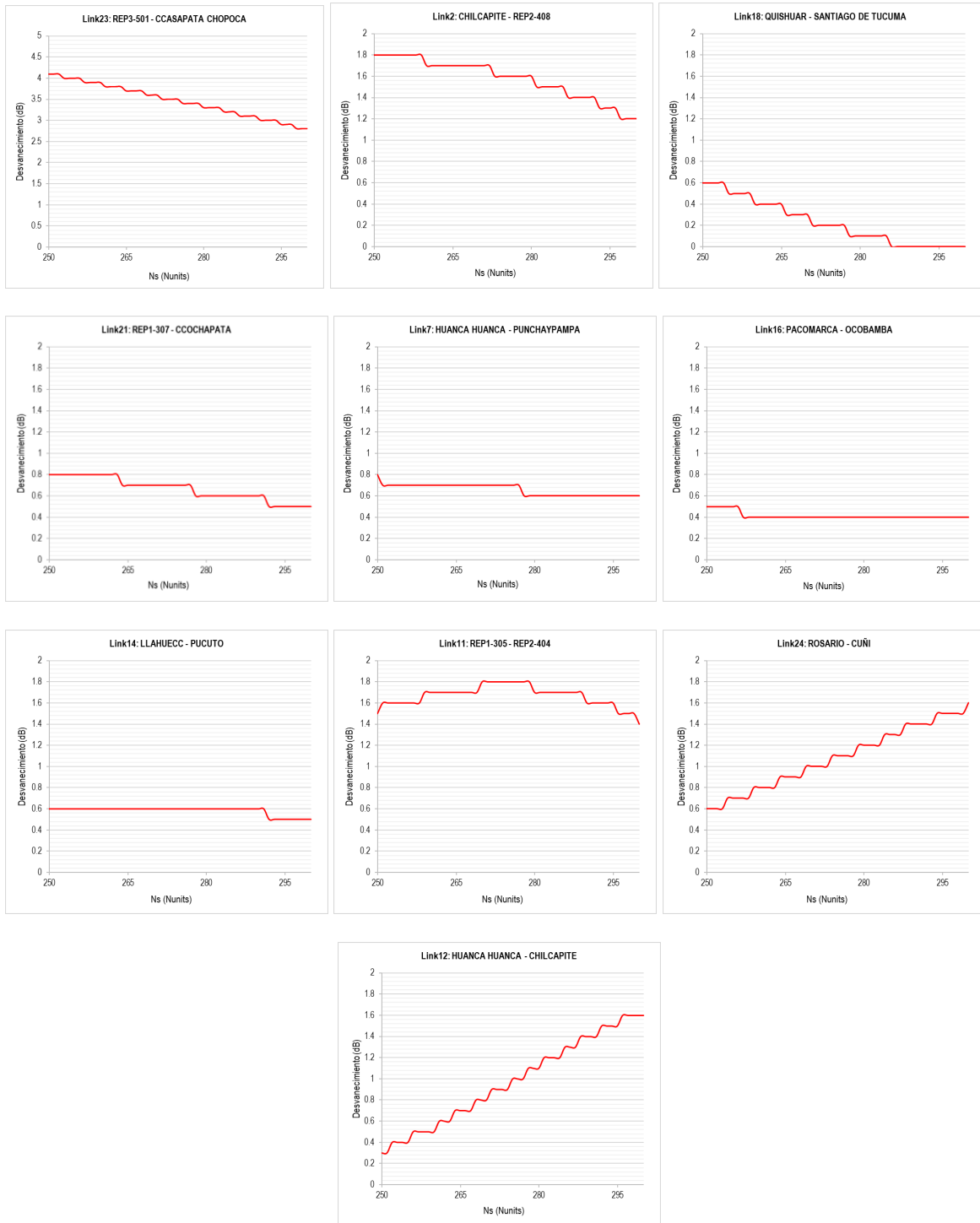


Figura 12 Curvas de desvanecimientos versus Ns con valores mayores a 0.5 dB en enlaces acceso rural Huancavelica

En la Figura 12, se presenta un resumen de las curvas desvanecimiento versus refractividad superficial, obtenidas por simulación para los trece enlaces con mayor desvanecimiento.

A fin de poder clasificar las tendencias de las curvas presentadas, se han ordenado de acuerdo al mayor valor de desvanecimiento obtenido en los valores más bajos de refractividad superficial permitidos por la herramienta de simulación, es así que las tres primeras curvas: Link 023 (Rep3-501 - Ccasapata Chopoca), Link 002 (Chilcapite - Rep2-408), Link 018 (Quishuar - Santiago De Tucuma), se aprecia un notorio aumento de la magnitud del desvanecimiento conforme se reduce el valor de refractividad superficial.

Para las cuatro curvas siguientes: Link 021 (Rep1-307 - Ccochapata), Link 007 (Huanca Huanca - Punchaypampa), Link 016 (Pacomarca - Ocobamba), Link 014 (Llahuecc - Pucuto), se aprecia un aumento moderado de la magnitud del desvanecimiento de señal en valores más bajos de refractividad superficial.

La curva correspondiente al enlace Link 011 (Rep1-305 - Rep2-404) posee una tendencia más selectiva en refractividad superficial, observándose un aumento moderado del desvanecimiento en el rango $270 < N_s < 280$.

Asimismo, las curvas desvanecimiento versus N_s , correspondientes a los enlaces: Link 024 (Rosario - Cuñi), y Link 012 (Huanca Huanca - Chilcapite) poseen una notoria curva de tendencia a aumentar la magnitud del desvanecimiento conforme se aumenta el valor de la refractividad superficial.

De esta misma forma, en la Figura 13, se presentan trece curvas de enlaces en donde se observa primeramente que los rangos de desvanecimientos son mucho más moderados, y respecto de sus tendencias de variación.

Sólo uno de los enlaces (Link 006 Congalla – Lecclespampa), posee un ligero incremento en la magnitud del desvanecimiento para los valores más bajos de refractividad superficial.

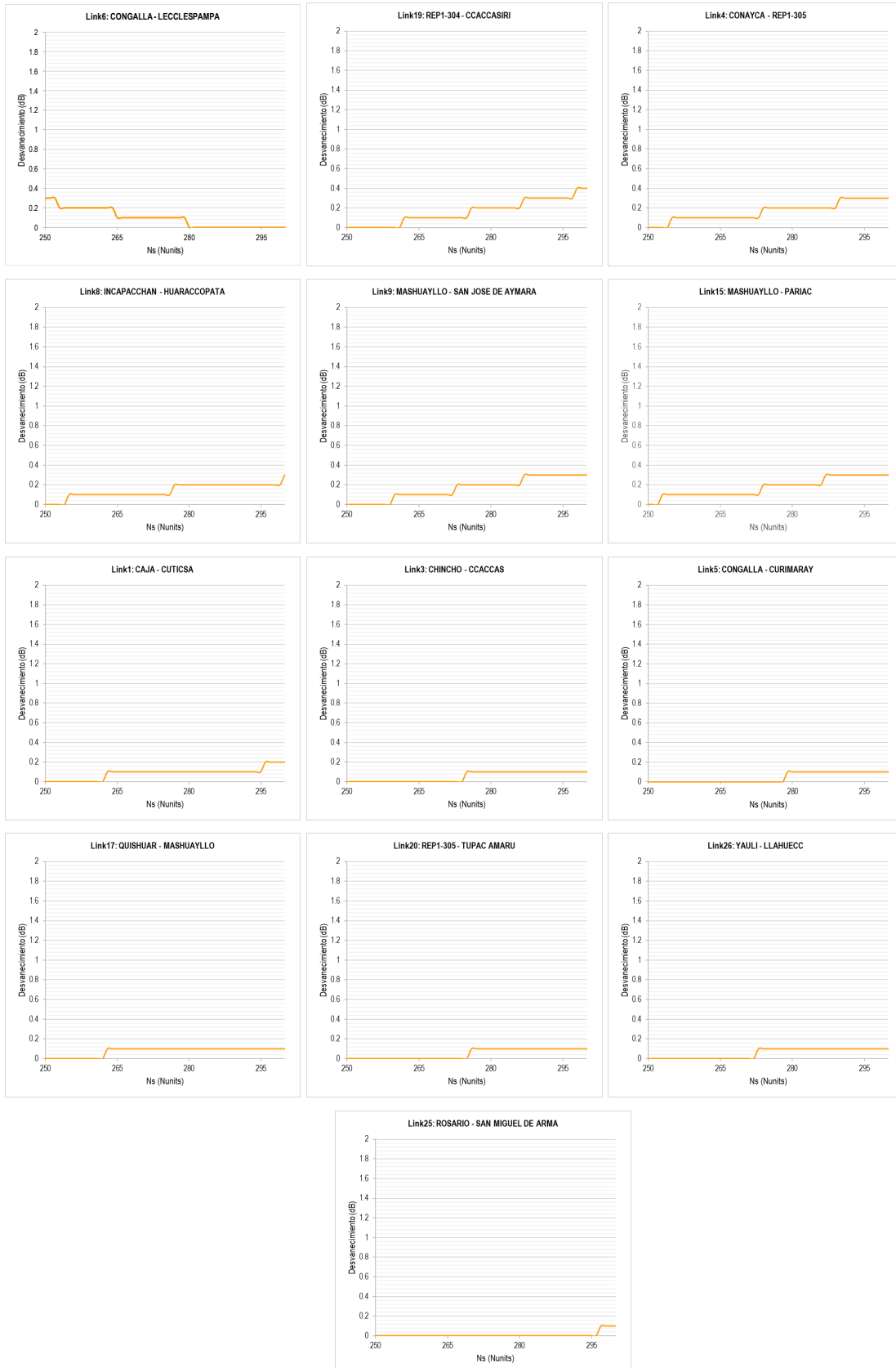


Figura 13 Curvas de desvanecimientos versus Ns con valores menores a 0.5 dB en enlaces acceso rural Huancavelica

De la Figura 13, se observa que, las doce curvas restantes, pertenecientes a los enlaces: Link 019 (Rep1-304 - Ccaccasiri), Link 004 (Conayca - Rep1-305), Link 008 (Incapacchan - Huaraccopata), Link 009 (Mashuayllo - San José de Aymara), Link 015 (Mashuayllo - Pariac), Link 001 (Caja - Cuticsa), Link 003 (Chincho - Ccaccas), Link 005 (Congalla - Curimaray), Link 017 (Quishuar - Mashuayllo), Link 020 (Rep1-305 - Tupac Amaru), Link 025 (Rosario - San Miguel De Arma), Link 026 (Yauli - Llahuecc) poseen una tendencia moderada a aumentar el valor de desvanecimiento con el aumento de la refractividad superficial, hasta un valor de $N_s = 300$ Nunits.

Del mismo modo en la Figura 14, se presentan las curvas de desvanecimiento versus refractividad superficial (N_s), para los tres enlaces con menor rango de desvanecimiento. En este sentido se observa que los enlaces: Link 010 (Rep1-304 - Ayaccocha), Link 013 (Huanca Huanca - Incapacchan), Link 022 (Rep1-313 - Villa Pampa).

Se puede apreciar en la Figura 14 que los desvanecimientos para estos tres enlaces poseen un rango de variación muy pequeño, lo cual es el escenario mas favorable de todos los enlaces analizados, es decir desvanecimiento aproximado a cero para todos los valores de refractividad superficial evaluados.

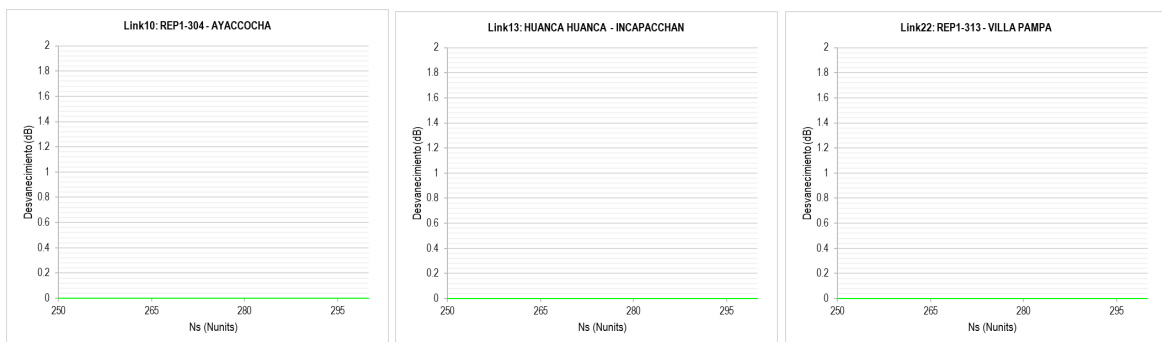


Figura 14 Curvas de desvanecimientos versus N_s con valores cercanos a 0 dB en enlaces acceso rural Huancavelica

3.6.7. Valores de refractividad con mayor ocurrencia de desvanecimientos.

Con los datos obtenidos se contabilizó para cada enlace y para cada valor de refractividad el número de desvanecimientos mayores a 0.5 dB que se han identificado en los reportes de simulación. Este proceso permitió identificar el número de desvanecimientos mayores a 0.5 dB respecto del valor máximo que se ha obtenido por cada valor de refractividad evaluado, lo cual se presenta en la Tabla N°17.

Tabla 17: Valores de refractividad

<u>Ns</u>	<u>N° fad</u>	<u>Ns</u>	<u>N° fad</u>
250	5	276	7
251	5	277	7
252	5	278	5
253	5	279	5
254	6	280	5
255	6	281	5
256	6	282	5
257	6	283	5
258	6	284	5
259	6	285	5
260	6	286	5
261	6	287	5
262	6	288	5
263	6	289	5
264	7	290	5
265	7	291	5
266	7	292	5
267	7	293	5
268	7	294	5
269	7	295	5
270	7	296	5
271	7	297	5
272	7	298	5
273	7	299	5
274	7	300	5
275	7		

Para la selección de los valores de refractividad más influyentes en los resultados de simulación, se utilizaron hojas de cálculo con la aplicación de la metodología de Pareto.

En este sentido se ordenaron los valores de refractividad que presentaron mayor número de desvanecimientos y en orden descendente los valores de refractividad superficial que obtuvieron menor cantidad de desvanecimientos. Se seleccionaron sólo los valores de refractividad que acumulan el 80% de hallazgos de desvanecimientos. De esta manera, del total de 928 desvanecimientos obtenidos por simulación se identificaron los 742 valores de refractividad que representan el 80% de hallazgos con valores iguales o superiores a 0.5 dB. Se cuantifico asimismo para cada valor de refractividad el porcentaje de desvanecimientos que representa respecto del total.

CAPÍTULO IV

4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.2 Análisis e interpretación de resultados

En este apartado se presentarán en dos partes los resultados obtenidos. La primera parte presentará los resultados respecto de los valores de refractividad superficial que han generado la mayor cantidad de desvanecimientos. La segunda parte presentará los resultados respecto de la concentración de enlaces con desvanecimiento en las zonas de acceso rural evaluadas en el Departamento de Huancavelica.

4.3 Valores de refractividad con mayor desvanecimiento

En la Tabla 17, presentada en el apartado anterior, se cuantificó el número de desvanecimientos obtenidos por cada valor de refractividad en el rango de 250 Nunits \leq Ns \leq 300 Nunits, por ser el más representativo para la simulación de la zona de acceso rural en Huancavelica. En tal sentido al haberse realizado un análisis de Pareto, se pudo identificar que los valores más bajos de refractividad superficial evaluados (rango 250 Nunits \leq Ns \leq 270 Nunits), son los que guardan relación con la mayor aparición y profundidad de los desvanecimientos, caracterizando el 80% de los desvanecimientos identificados. Conforme a la recomendación ITU-R P.453, esta condición se encuentra asociada a una mayor temperatura que oscila entre los rangos entre 15°C a 20°C y mayor humedad que oscila entre los rangos de humedad relativa entre 75% a 90%. En la figura N°15. se puede apreciar lo anteriormente expuesto, mostrando los rangos que caracterizan a los desvanecimientos identificados en las simulaciones para las zonas de acceso rural de Huancavelica.

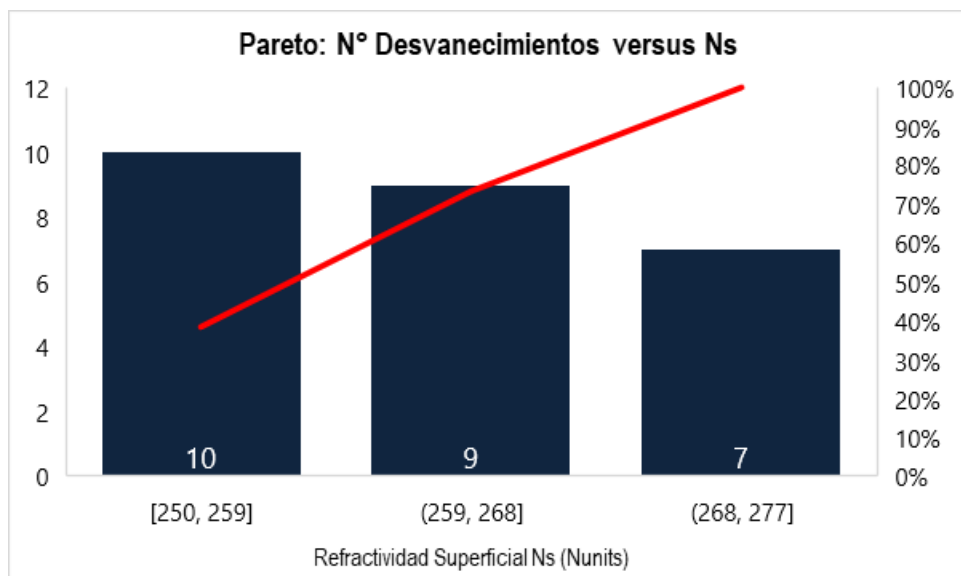


Figura N°15 Desvanecimientos en función de Ns

4.4 Concentración enlaces y desvanecimientos, acceso rural Huancavelica

Respecto de la concentración de enlaces en zonas específicas de acceso rural en la zona de Huancavelica, en la Figura 16 se muestran todos los enlaces analizados y resaltados conforme la clasificación de sus desvanecimientos. Es así que los enlaces con desvanecimientos más notables se han resaltado en color rojo en diferentes zonas de acceso rural de Huancavelica. En tal sentido se puede apreciar que los enlaces con identificación de mayor magnitud de desvanecimientos, están ubicados en la zona geográfica correspondiente a la Provincia de Acobamba, dentro de la cual se identifican dos zonas específicas: una zona de concentración en la zona norte del propio distrito de Acobamba (capital de provincia), y otra zona ubicada al nor este del distrito de Llahuec, provincia de Acobamba.

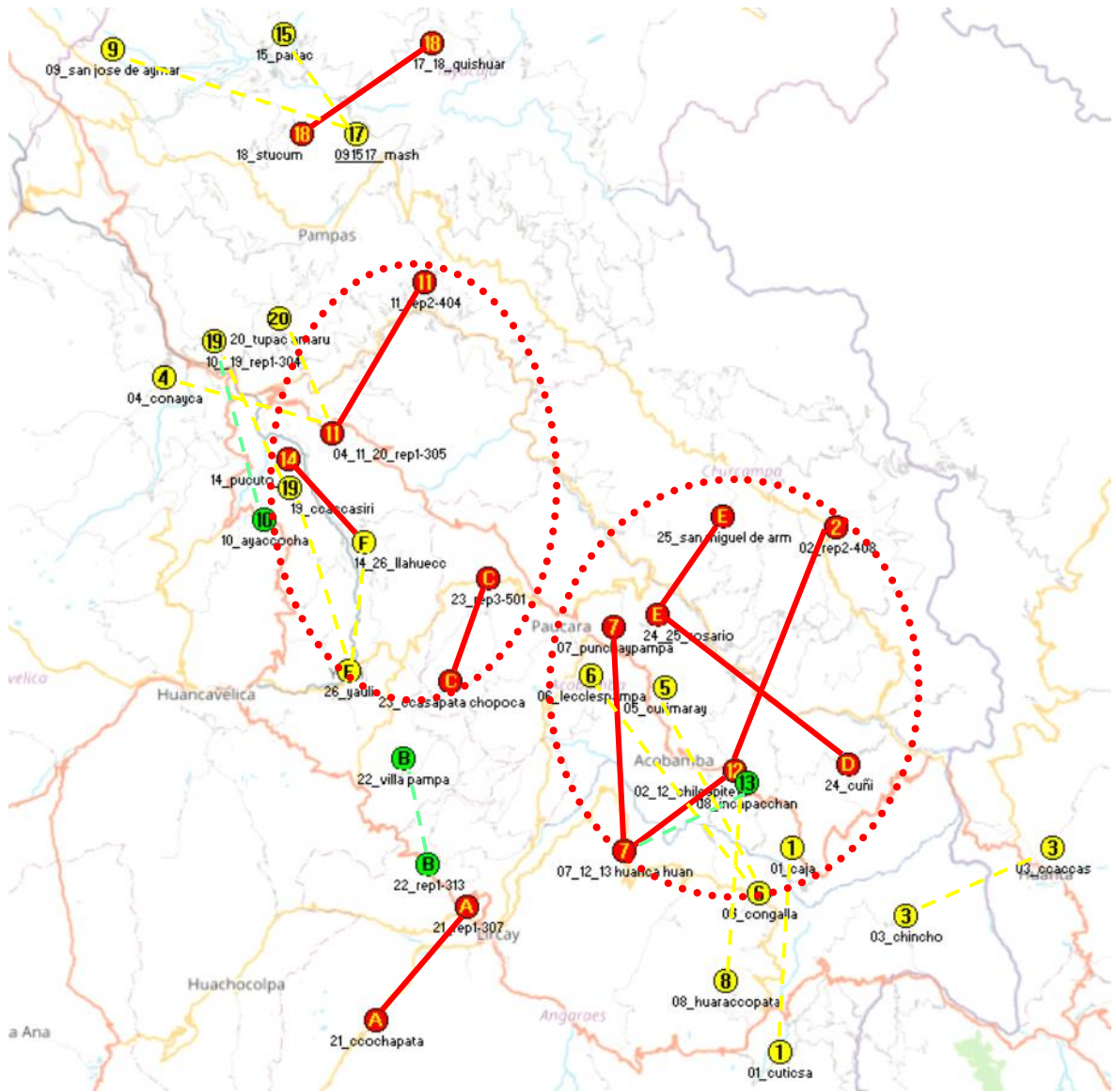


Figura N°16 Desvanecimientos en función de Ns

Docimasia de Hipótesis

Conforme a los resultados presentados, los valores de refractividad superficial entre 250 Nunits a 270 Nunits son los que se asocian a los desvanecimientos de mayor rango identificados en el presente trabajo. Estos valores, conforme la recomendación ITU-R P.453 están asociados con los niveles de temperatura ms altos (15°C a 20°C) y los mayores porcentajes humedad relativa (75% a 90%), que pueden presentarse en enlaces acceso rural concentrados mayormente en la provincia de Acobamba, Huancavelica. Con ello, se puede asegurar el cumplimiento de la hipótesis planteada.

CAPÍTULO V

5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Respecto de la selección de radioenlaces, éstos fueron seleccionados bajo criterio de mayor distancia y posibilidad de operar como sites nodales, ya que dichos enlaces presentan la condición de ser vinculantes entre los centros poblados, como por ejemplo los sites repetidores. Podrían existir otros enlaces que también sean susceptibles a desvanecimientos o a efectos de refractividad superiores a los seleccionados en el presente trabajo, sin embargo, no fueron incluidos, por motivo que no representaban, dentro del criterio asumido por los investigadores, enlaces que sean lo suficientemente relevantes en el tema de la conexión de los centros poblados.
- Sobre el proceso de simulación, el comportamiento de señal recibida al variar condiciones de refractividad se realizó bajo las condiciones límites del simulador, en este caso con valores $250 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 400 \text{ Nunits}$, luego con la aplicación de la recomendación ITU-R P.453, se realizó la selección de valores correspondientes a Huancavelica, los cuales se identificaron entre $250 \leq N_s \leq 300 \text{ Nunits}$, obtenidos con los rangos de mayor temperatura y humedad para sus zonas de acceso rural. A pesar de ello existen un conjunto de valores que no llegaron a ser simulados, puesto que el software utilizado, no permite simular valores menores a 250 Nunits de refractividad superficial. En tal sentido el espectro de análisis puede ser mejorable, abriendo una oportunidad de ampliar la investigación con el uso de una herramienta de simulación que permita dichos valores.
- Respecto de la variabilidad de señal recibida en función de la refractividad superficial, los rangos de fluctuación obtenidos en los diferentes enlaces oscilan en el rango de 0.1 a 4.1 dB, generándose tendencias notables de variación a partir de 0.5 dB. En este sentido las fluctuaciones de señal más altas poseen una tendencia a aumentar en valores cercanos a 250 Nunits. Respecto de las fluctuaciones menores a 0.5 dB, presentan una tendencia a aumentar en valores cercanos a 300 Nunits, lo cual no se ha tomado en cuenta por encontrarse en los valores límites máximos de temperatura y humedad.

- En este mismo sentido la presente investigación guarda similitud con los estudios realizados por Samaniego, referentes a la incidencia que tiene la humedad relativa y la temperatura en el desvanecimiento de la señal por la refractividad en los radioenlaces expuestos a este tipo de condiciones. Respecto de la investigación de Amajama, los criterios empleados coinciden con la presente investigación puesto que, en dicho antecedente se sostiene que la relación con la presión, temperatura y humedad relativa, aplica para cualquier condición climática, independientemente de la zona o región.
- Respecto de los valores de refractividad que generan mayor cantidad de desvanecimientos, estos se han identificado en el rango de $250 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 300 \text{ Nunits}$. En este sentido los resultados difieren de los obtenidos por Akinwumi y Omotosho, puesto que los valores notables de refractividad en este antecedente, abarcan un rango de valores más altos de refractividad superficial orientados a una región desértica. Del mismo modo al compararse con la investigación de Akpootu y Iliyasu se puede apreciar diferencias marcadas entre las zonas desérticas donde hace más calor y menor humedad.

Sin embargo, dado que las curvas de los desvanecimientos más notables del presente trabajo poseen una tendencia a aumentar en valores cercanos a 250 Nunits, se considera una oportunidad de ampliación de la investigación el determinar si los desvanecimientos pueden aumentar en condiciones de clima más frío y seco (menor humedad relativa).

6 CONCLUSIONES

- Se seleccionaron 26 enlaces, en base al criterio de mayor distancia de vano radioeléctrico, los cuales corresponden a emplazamientos que pueden interconectar la mayor cantidad de centros poblado a sus alrededores, a fin de poder establecer una referencia de los enlaces que pueden ser evaluados para interconexión de telecomunicaciones en la ciudad de Huancavelica.
- El proceso de simulación consideró que inicialmente los valores de refractividad superficial correspondían de 250 Nunits a 400 Nunits, en base a la capacidad del simulador, pero finalmente al aplicar la recomendación ITU-R P.453, las condiciones limitaron el valor máximo hasta 300 Nunits, de acuerdo a las condiciones climáticas que se analizaron para el caso de las zonas de acceso rural en Huancavelica.
- La variabilidad de señal recibida posee tendencias diferenciadas a partir de las fluctuaciones mayores o iguales a 0.5 dB. Estas fluctuaciones tienden a incrementar en los valores cercanos a $N_s = 250$ Nunits. Por otro lado, las fluctuaciones menores a 0.5 dB tienden a aumentar en los valores límites de refractividad $N_s = 300$ Nunits, sin embargo, los valores de refractividad mayores a $N_s = 300$ Nunits no resultan pertinentes de analizar por superar los límites de condiciones climáticas de la zona de Huancavelica.
- Según el análisis realizado, los valores de refractividad que caracterizan a los desvanecimientos de mayor magnitud se encuentran en el rango $250 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 270 \text{ Nunits}$. Conforme a la recomendación ITU-R P.453 estos valores están asociados con los rangos más altos de temperatura (15°C a 20°C) y humedad (75% a 90%), de Huancavelica. Asimismo, la identificación de desvanecimientos se encuentra mayormente focalizada en la provincia de Acobamba.

7 RECOMENDACIONES

- Como una ampliación de la investigación, se recomienda obtener más datos acerca de cómo se comporta el enlace para valores más bajos de refractividad, ya que las limitaciones del simulador, solo han permitido analizar los enlaces en el rango de $N_s = 250$ Nunits hacia arriba, sin embargo, existen factores climáticos en Huancavelica, que pueden representar valores menores a 250 Nunits, para lo cual se requeriría un simulador que tenga un mayor espectro para dicho análisis.
- Se recomienda ampliar el número de enlaces a más zonas rurales de Huancavelica, ya que el avance de las redes de acceso rural y el crecimiento de los centros poblados hace que se amplíe la cantidad de posibles enlaces implementados a poder analizar.
- Se recomienda, asimismo, estudiar y analizar posibles enlaces en otras ciudades del Perú, principalmente en la sierra a fin de comparar si los resultados se pueden ampliar para las demás zonas de la sierra peruana o varían en algunas diferencias entre región y región de la sierra.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros

Manning, T. (2009). *Microwave Radio Transmission Design Guide*, Artech House, Norwood.

RAMOS F. (2005). *Cálculo de la atenuación por lluvia*. Disponible en: <http://www.cálculo de la atenuación por lluvia en un radio enlace> [Con Acceso el 20/01/2019].

BARBOZA Z. (1996). *Antenas y Propagacion*. Editorial: Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.

Anguera, J., & P. A. (2008). *Teoría de Antenas*. España: La Salle.

Páginas en el world wide web

Benites, J. (07 de 12 de 2012). *Microondas*. Obtenido de Calameo: <http://en.calameo.com/read/0019071545d747bd14889>

Buettrich, S. (2007). *Calculo de Radioenlace*. Obtenido de Itrain Online: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf

BUTLER, J. (2013). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo* (4ta ed.). Merida, Venezuela: Creative Commons Attribution - ShareAlike 3.0.

Coimbra, E. (05 de 03 de 2010). *Radioenlace*. Obtenido de Coimbraweb un sitio dedicado a las telecomunicaciones: http://coimbraweb.com/documentos/radio/4.11_radioenlace.pdf

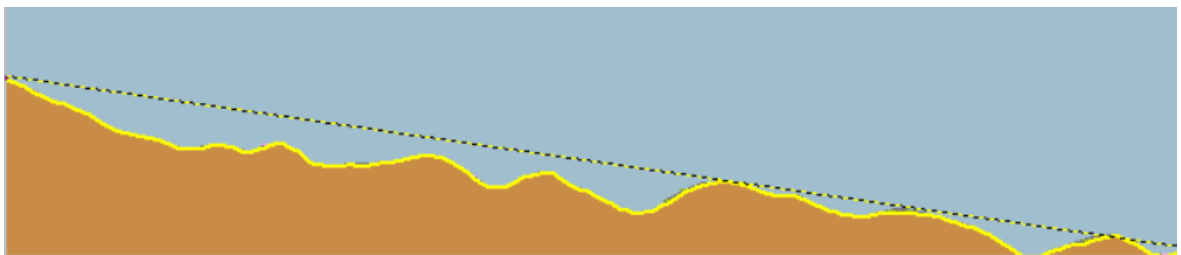
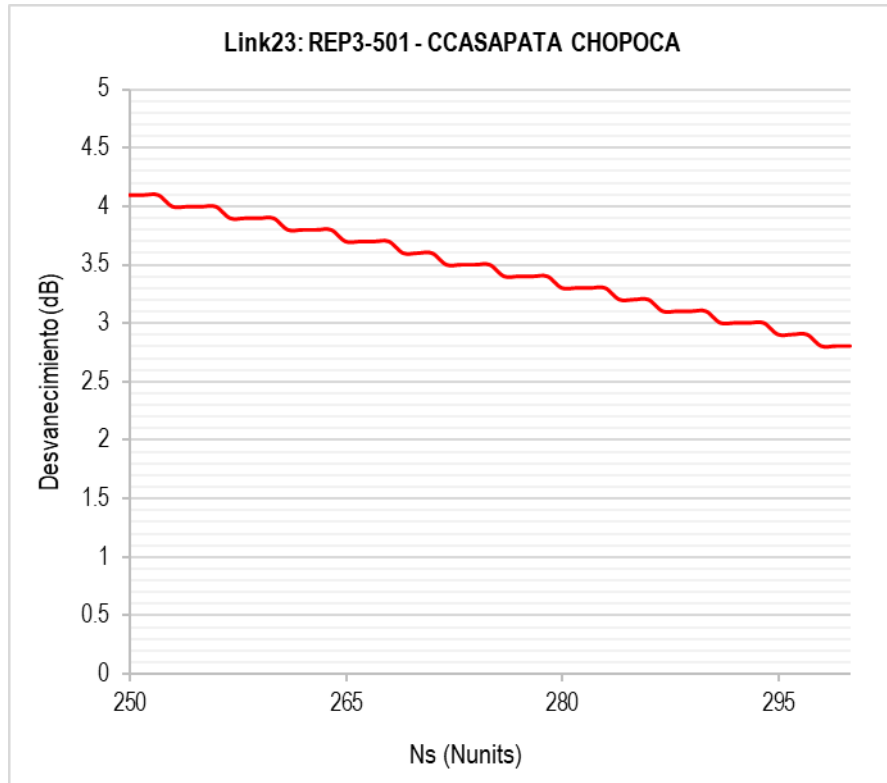
Die, R. H. (18 de 03 de 2010). *Radioenlaces*. Obtenido de OpenCourseWare Universidad Politecnica de Madrid: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/Radiocomunicacion-07.pdf>

Huancavelica Perú. (2017). *Clima de Huancavelica*. Obtenido de <http://www.huancavelica.org/clima>

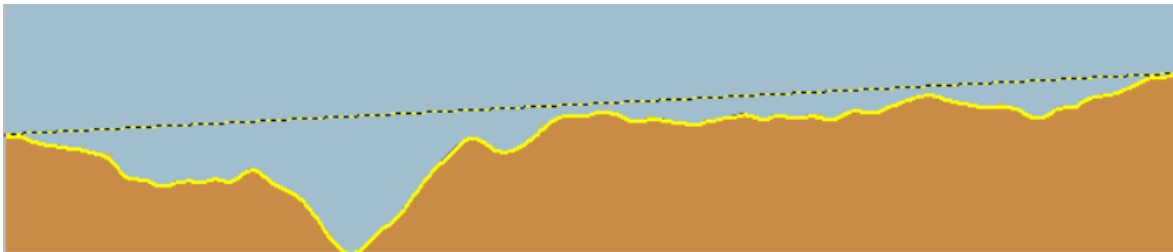
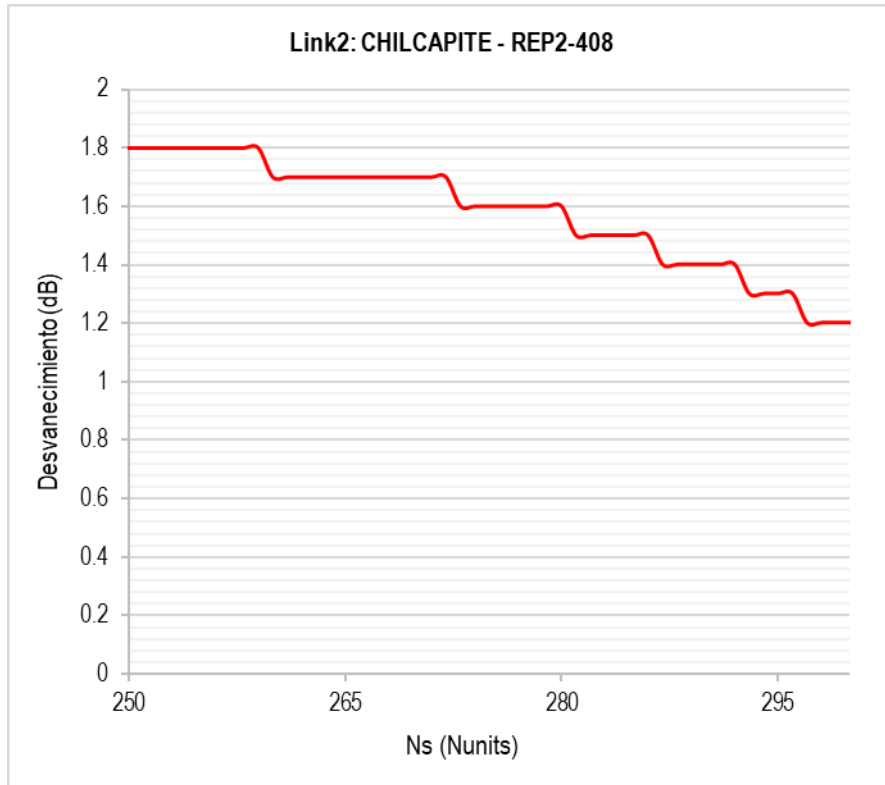
- Luna, A. P. (2014). *Instalación de Telecomunicaciones*. Madrid: Parainfo SA.
- M. F., & A. V. (2015). *Antenas Introducción y Parametros*. Obtenido de UPV Universitat Politecnica de Valencia: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF
- MANNING, T. (2009). *Microwave Radio Transmission Design Guide* (Segunda ed.). USA: Artech House.
- RÁBANOS, J. M. (1993). *Transmision por Radio*. Madrid: Centro de Estudios Ramón Aceres S.A.
- TOMASI, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electronicas* (4ta ed.). Naucalpan de Juárez, Mexico: Pearson Educación.
- TRICALCAR. (2007). *Guia Radio Fisica*. Obtenido de ITRAIN ONLINE: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/03_es_radio-fisica_guia_v02.pdf
- Tropeano, F. (2003). Mediciones sobre redes de comunicaciones de datos. *AHCIET*, 15. Recuperado el 2017 de 06 de 06, de https://www.calidad.com.mx/docs/art_39_8.pdf
- Vargas, N. E. (2014). *Radioenlace*. Obtenido de Academia Edu: <https://www.academia.edu/15816526/Radioenlace>
- Vega, C. P., López, A. C., & de la Maza, J. S. (2007). *Sistemas de Telecomunicación* (1ra ed.). Santander: Universidad de Cantabria.
- Román, E. G., Castillo, P. R., Sotomayor M. G., Gonzales, L. V., & Zenteno, E. (2014). *Aplicaciones y Teoría de Ingeniería de Microondas* (1ra ed.). LATIn.
- Hernando, J. M., (2008) *Transmision por radi*. Madrid, Editorial Centro de estudios Ramon Areces S.A
- Tauro del Pino, A., (2001) *Enciclopedia ilustrada del Perú*, Perú, Editorial PEISA

ANEXOS

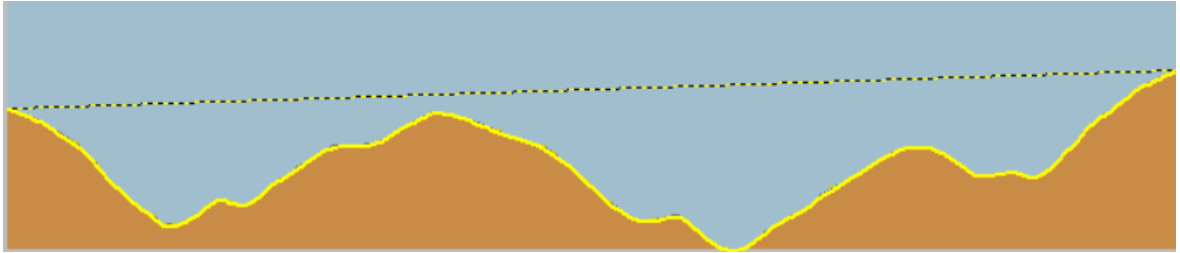
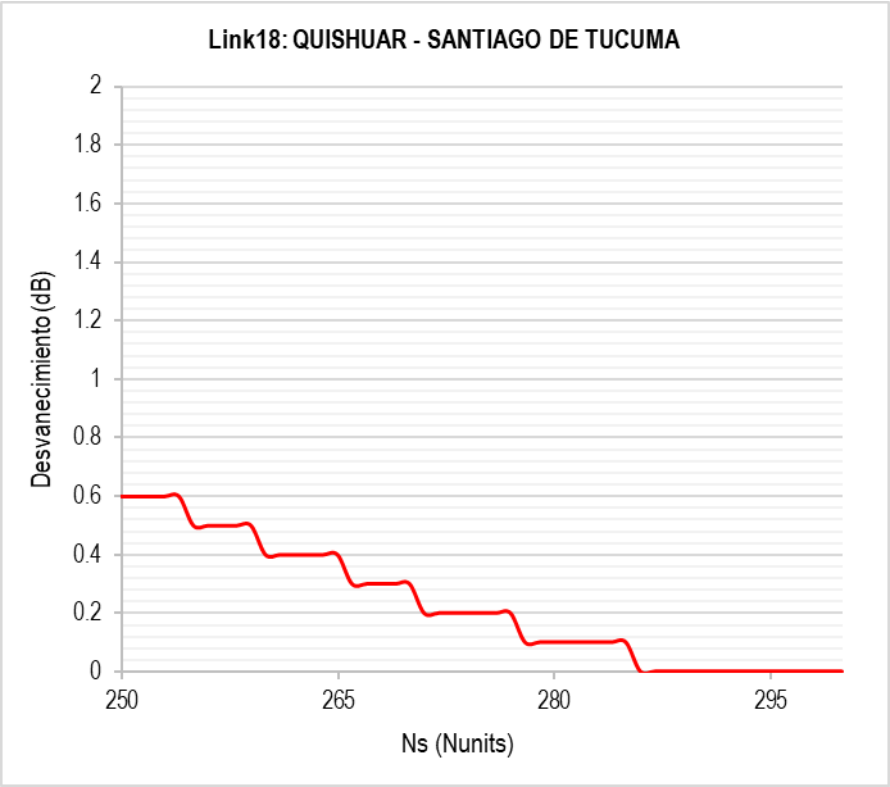
ANEXO 01: CURVAS DE DESVANECIMIENTOS VERSUS REFRACTIVIDAD, INCLUYENDO PERFILES DE ENLACES



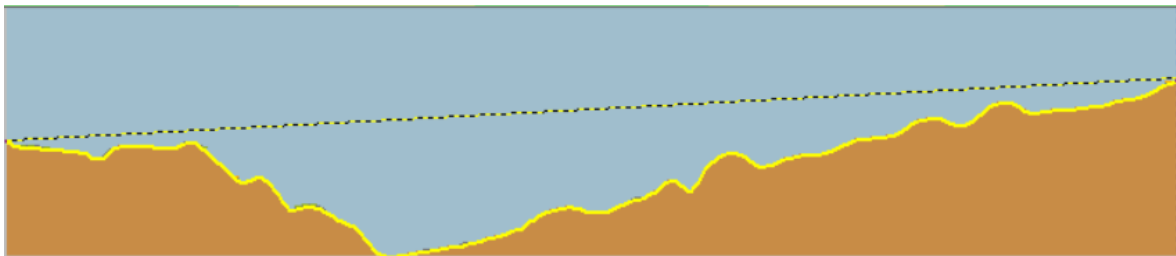
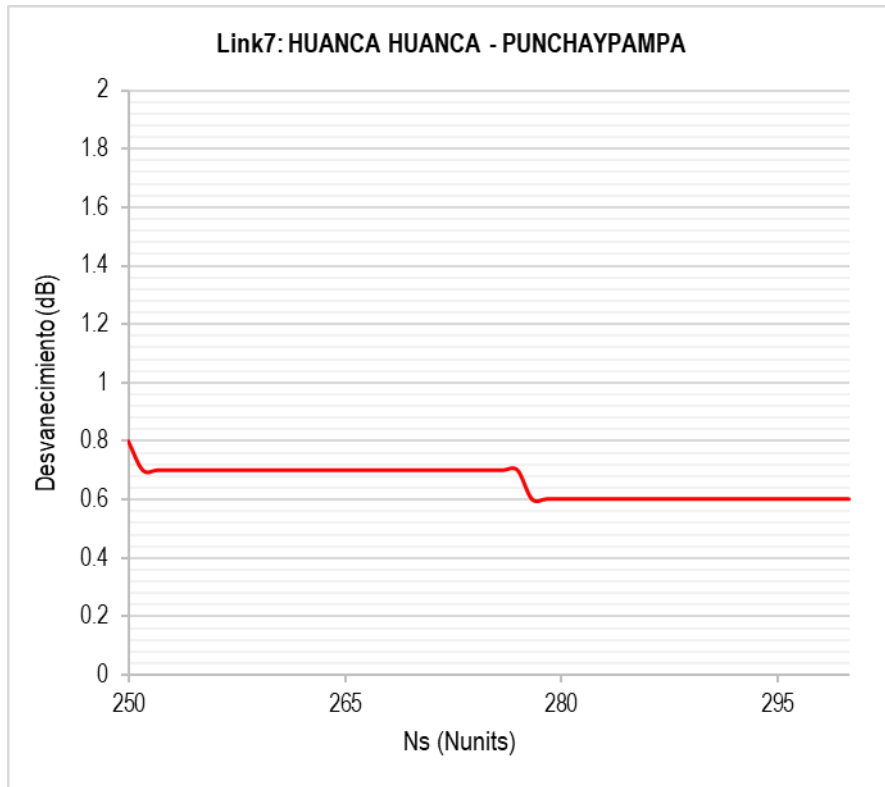
Perfil del enlace: 10.32 Km



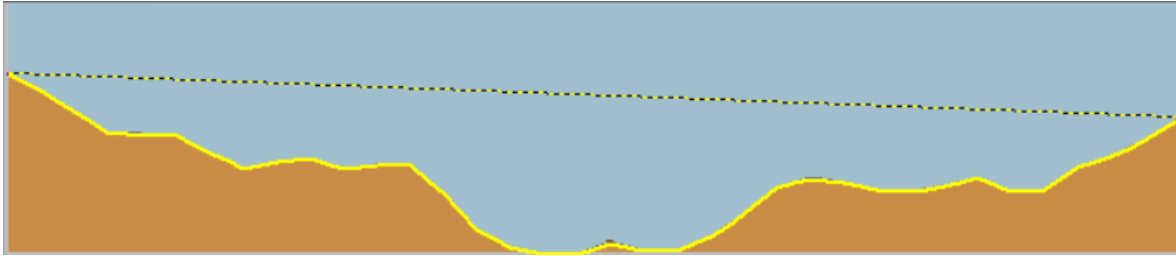
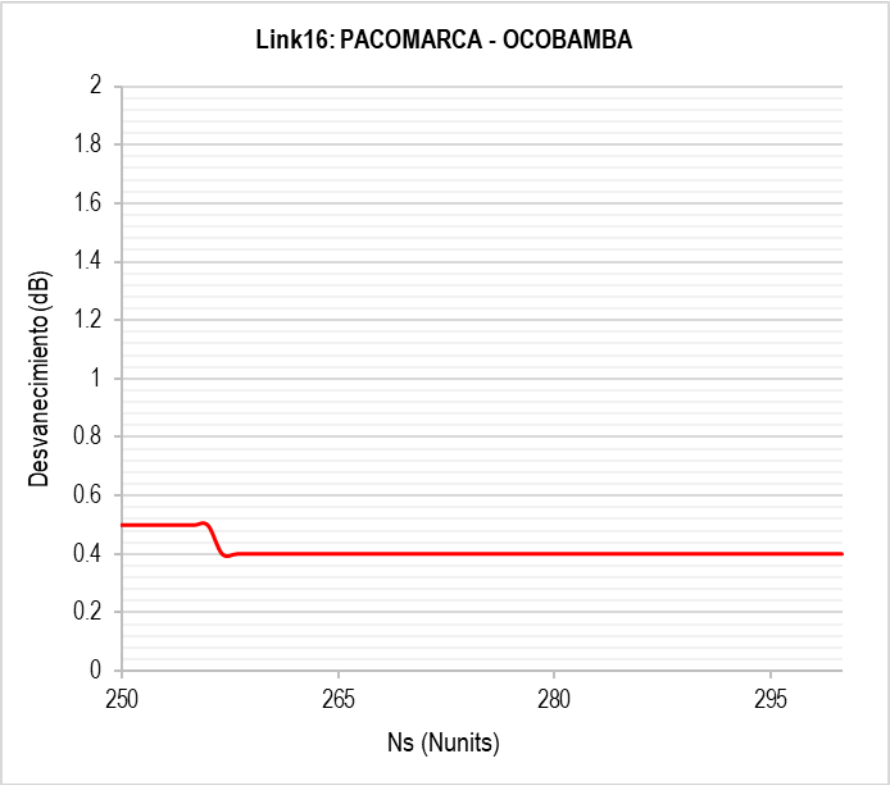
Perfil del enlace: 24.61 Km



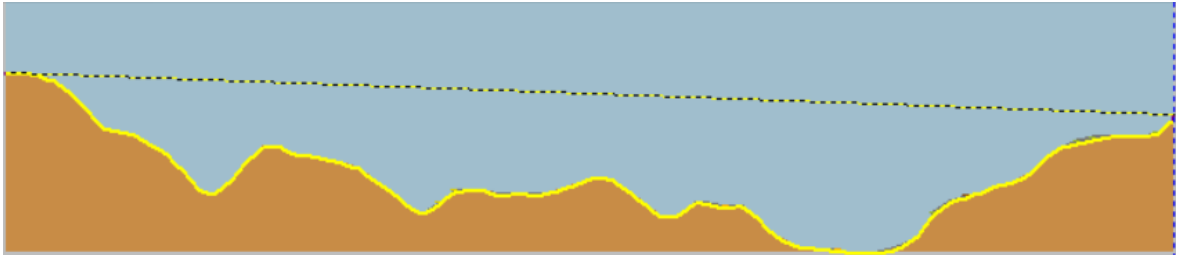
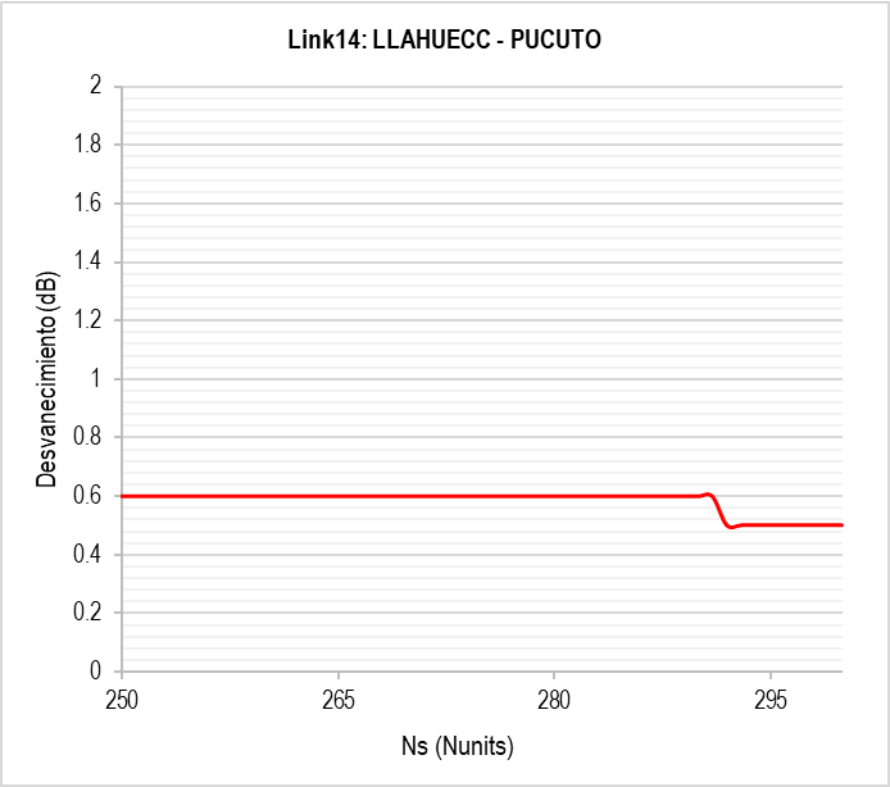
Perfil del enlace: 14.66 Km



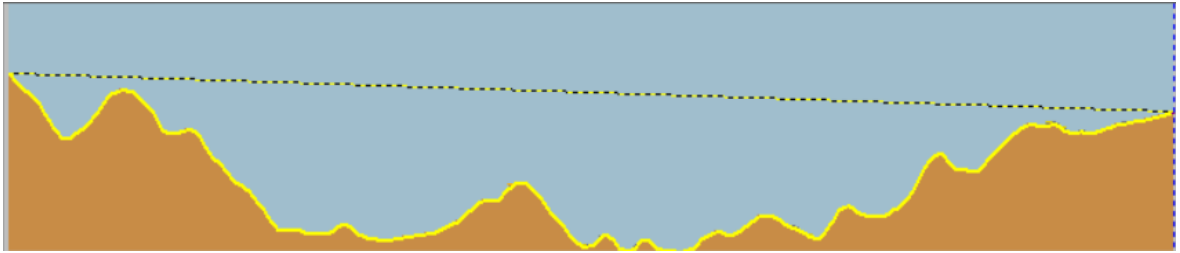
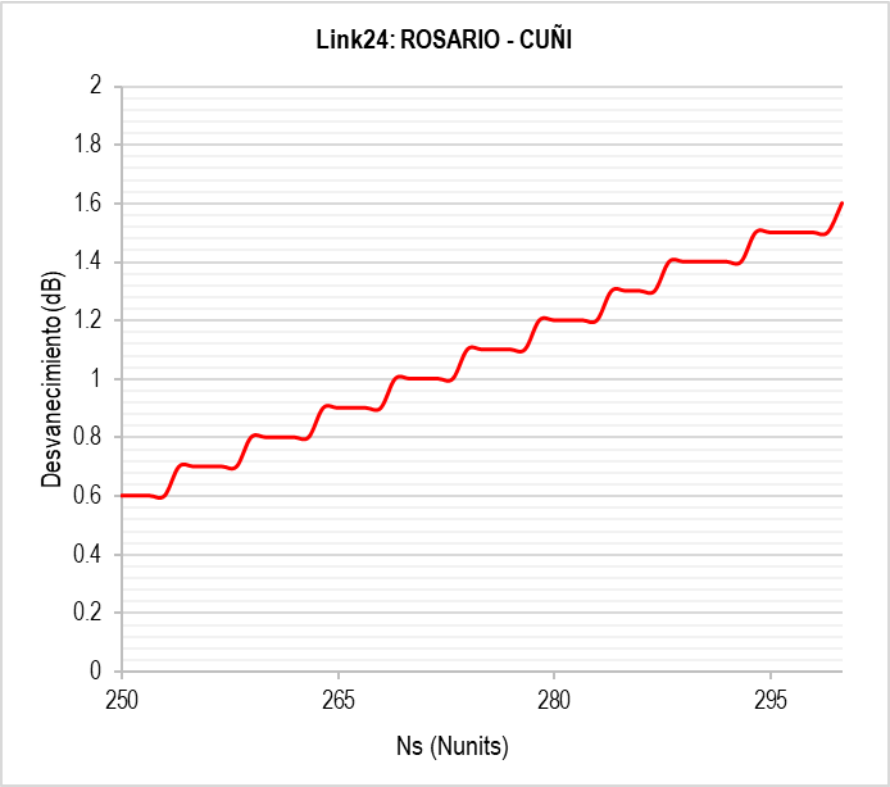
Perfil del enlace: 21.1 Km



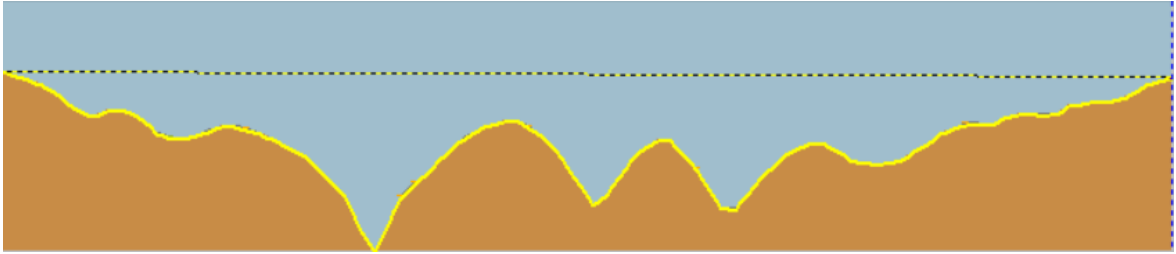
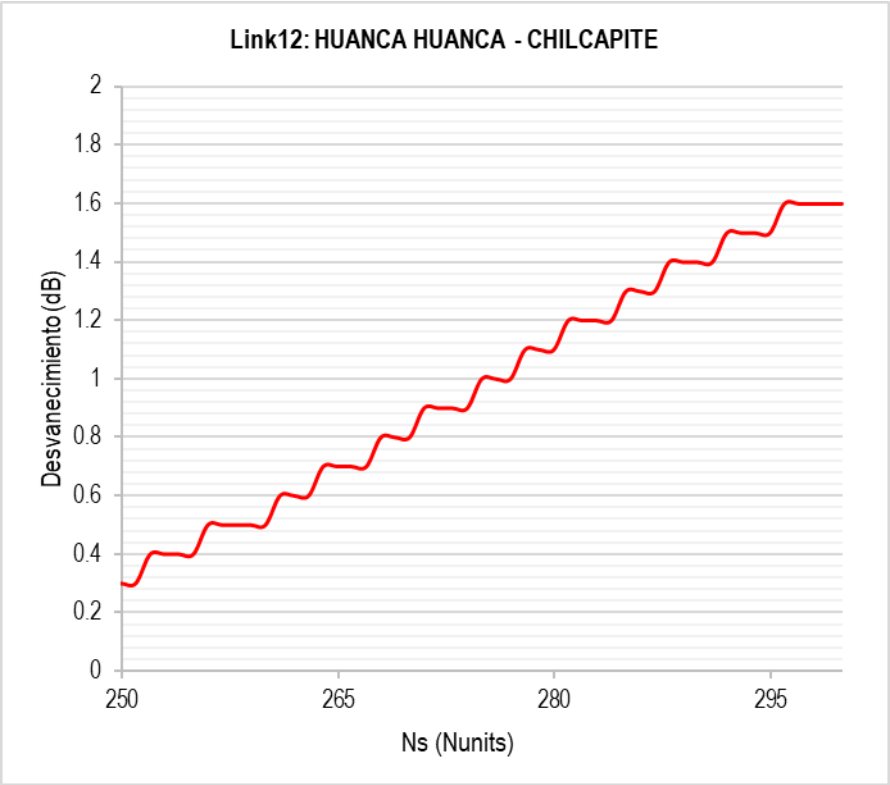
Perfil del enlace: 10.52 Km



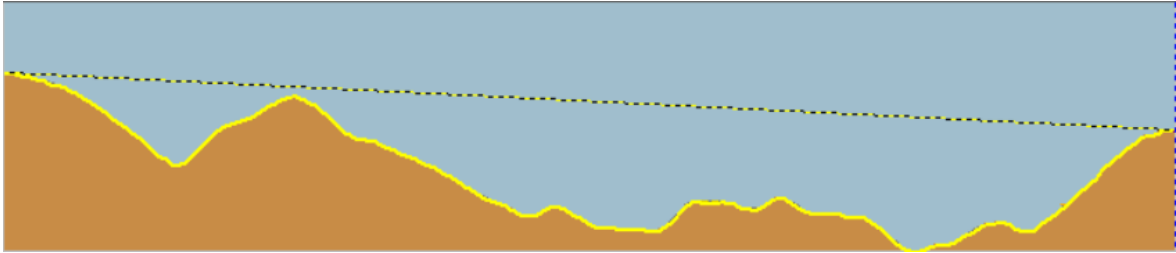
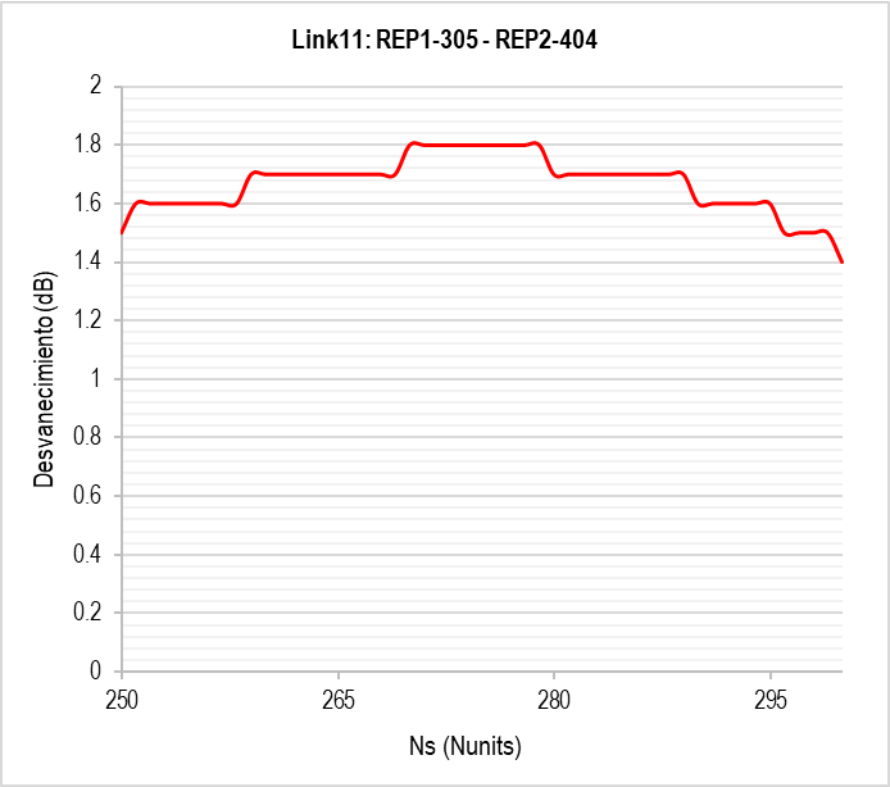
Perfil del enlace: 10.58 Km



Perfil del enlace: 22.66 Km

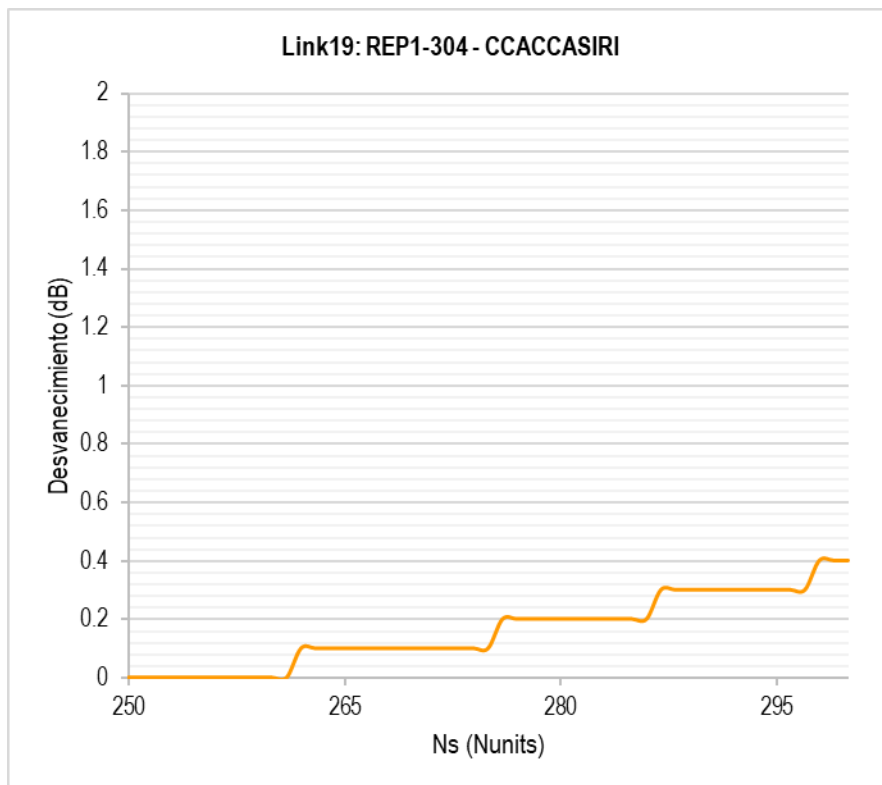
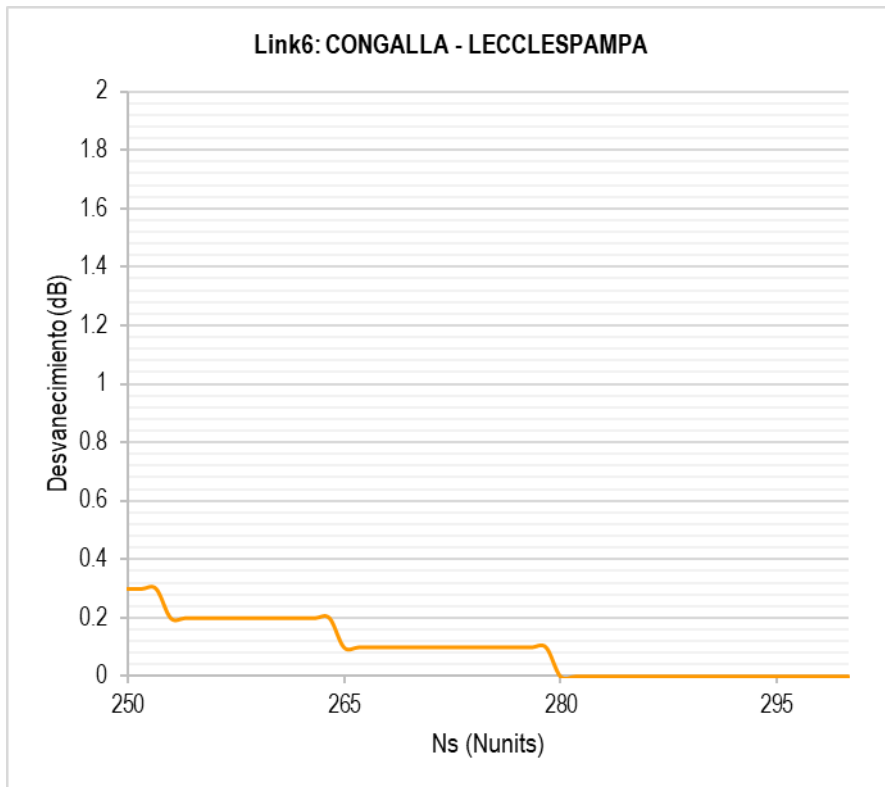


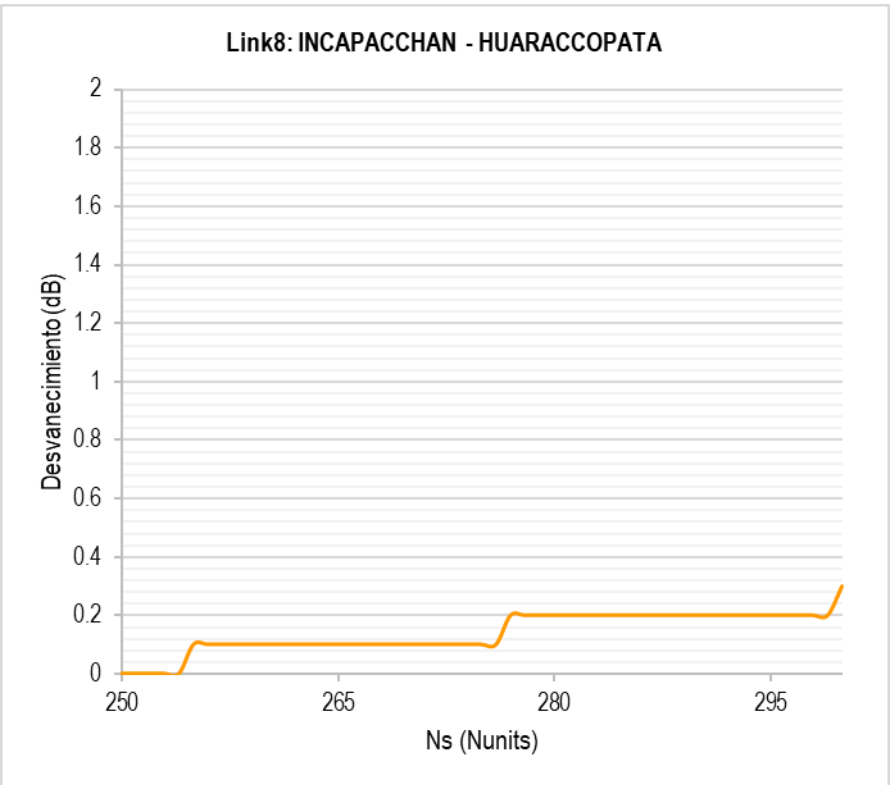
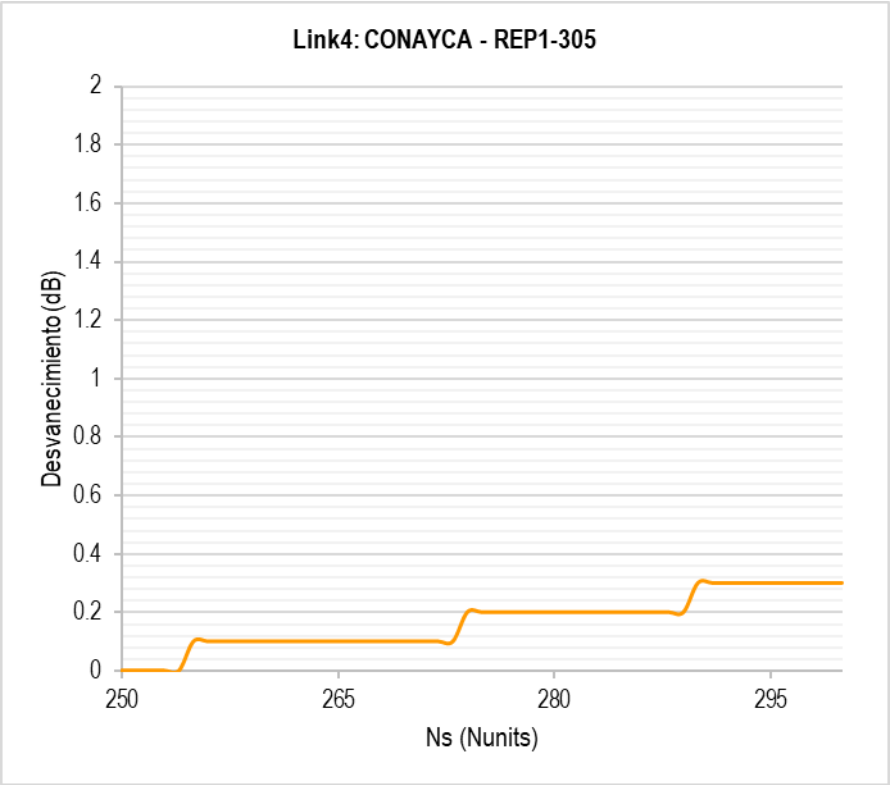
Perfil del enlace: 12.91 Km

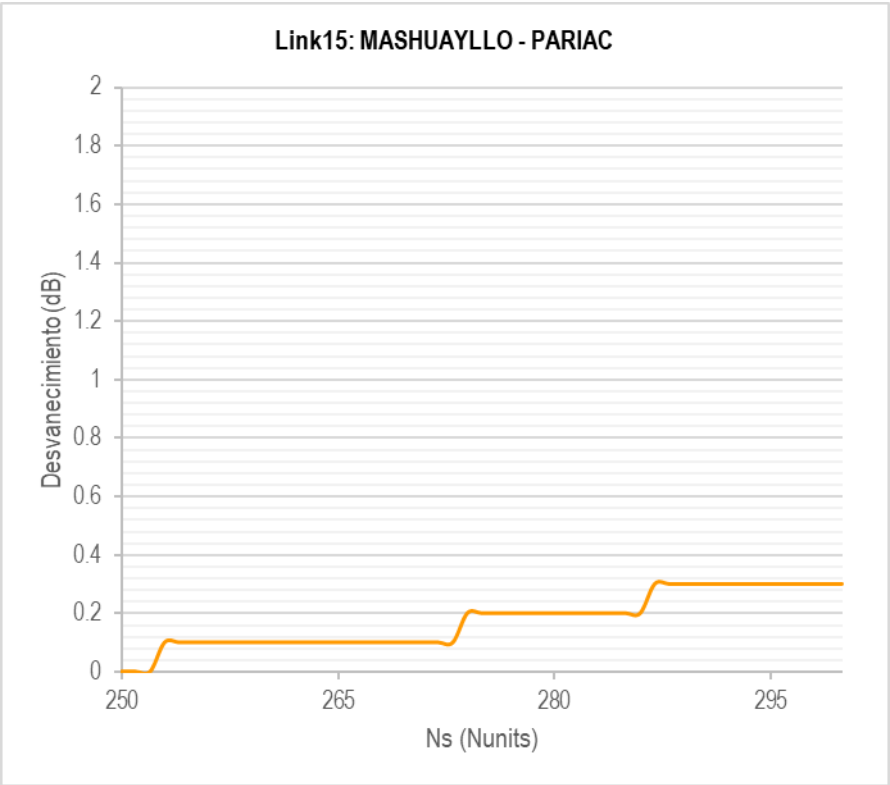
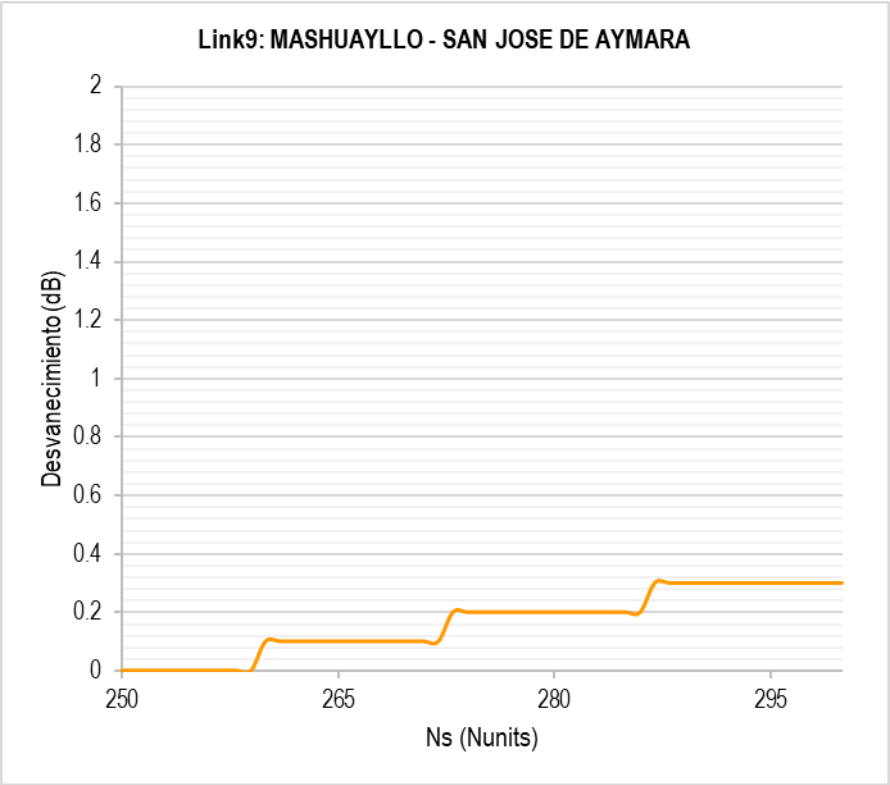


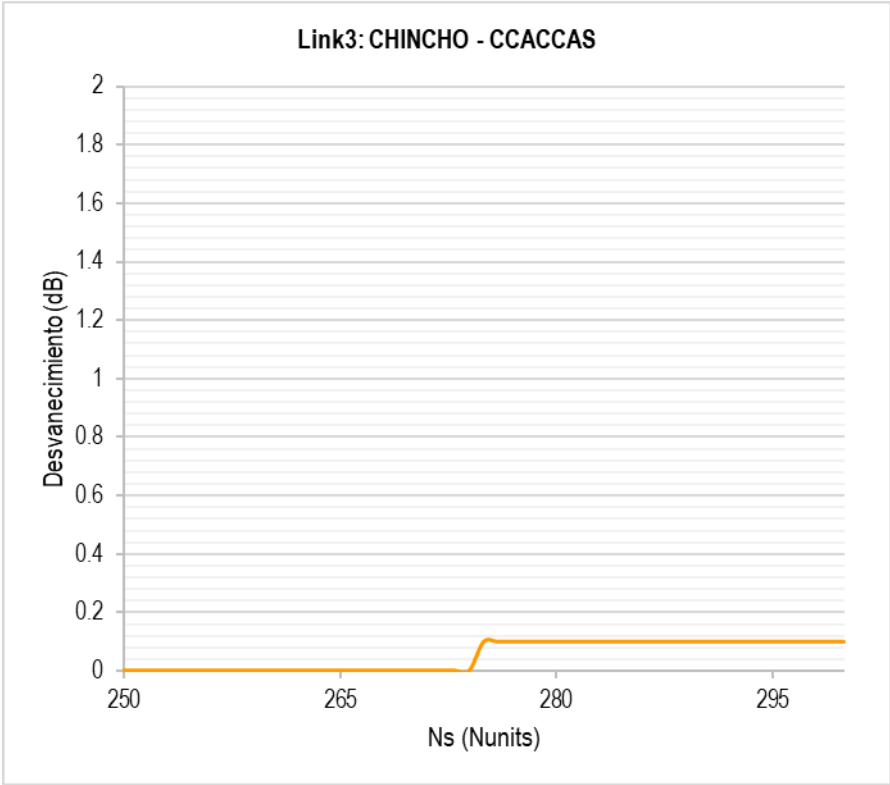
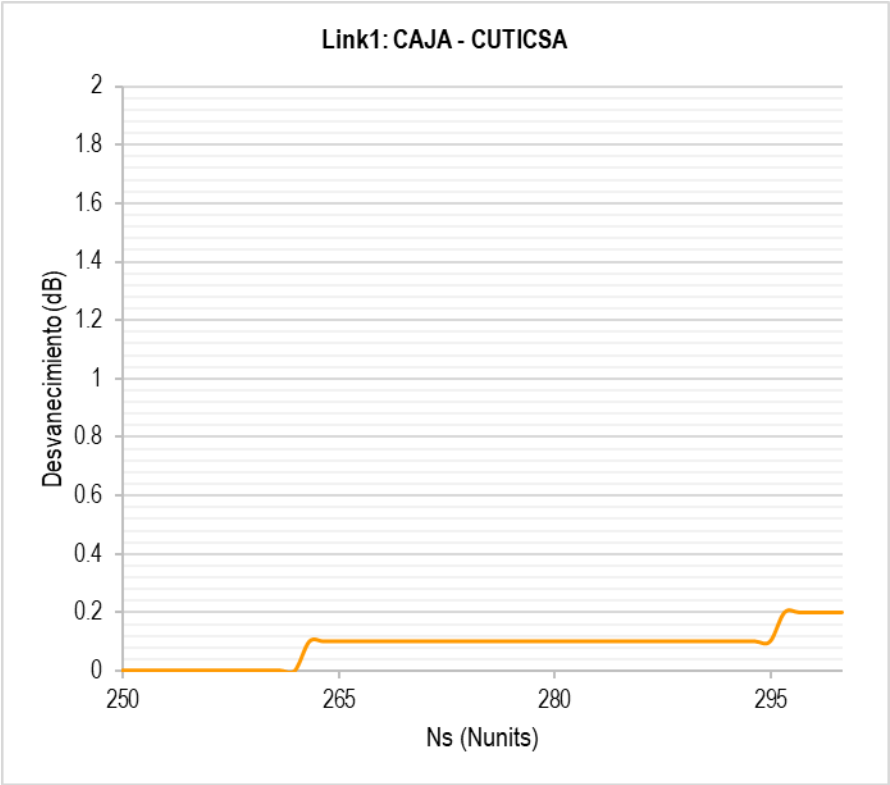
Perfil del enlace: 16.64 Km

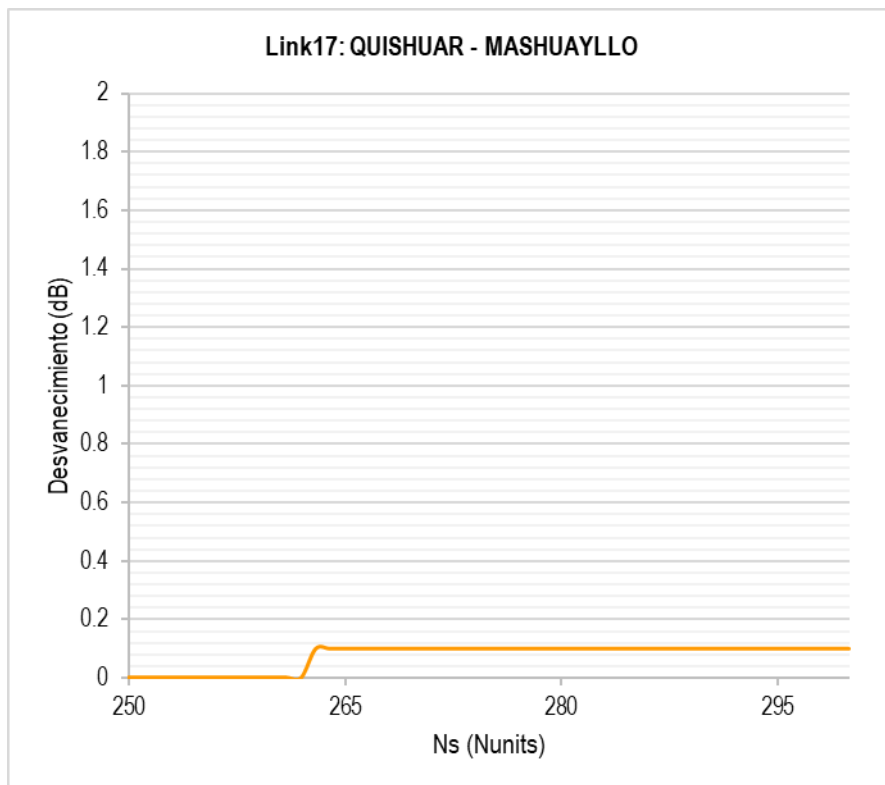
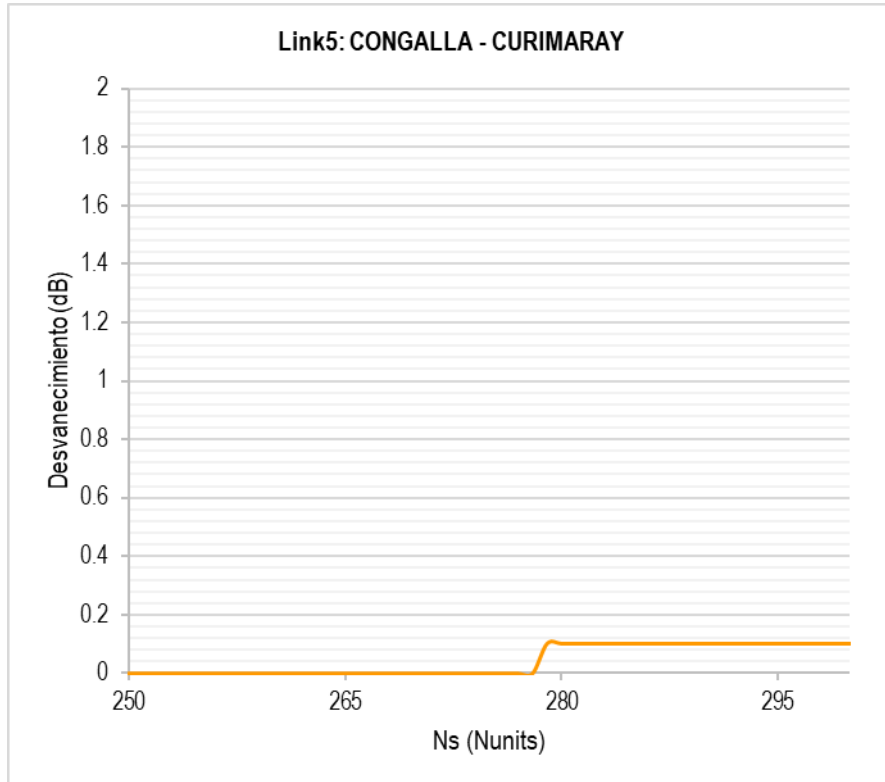
ANEXO 02: CURVAS DE VARIABILIDAD SEÑAL MEDIA

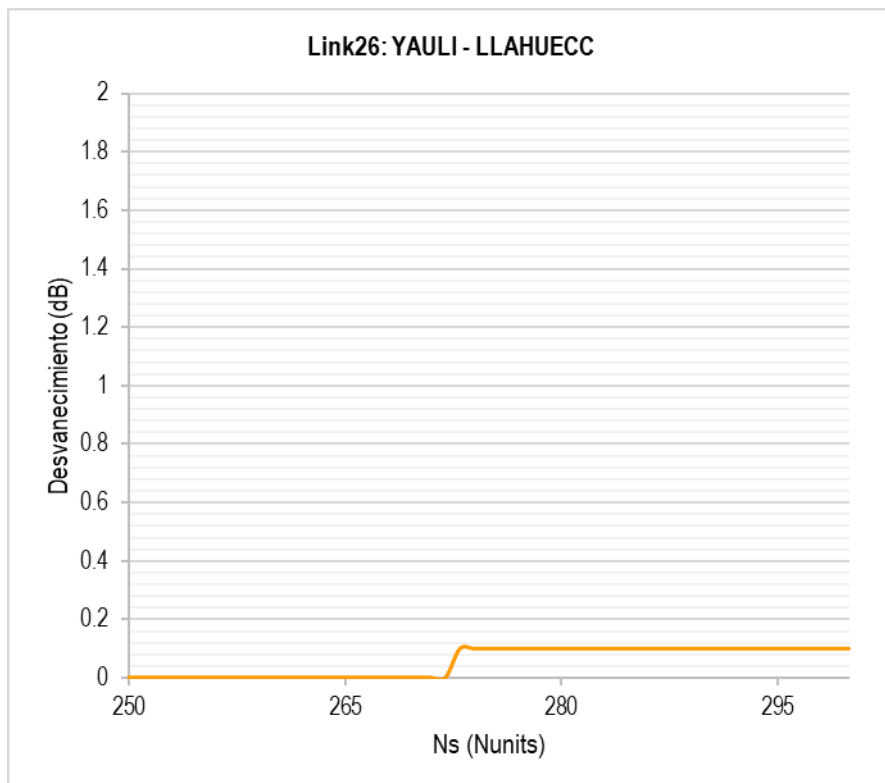
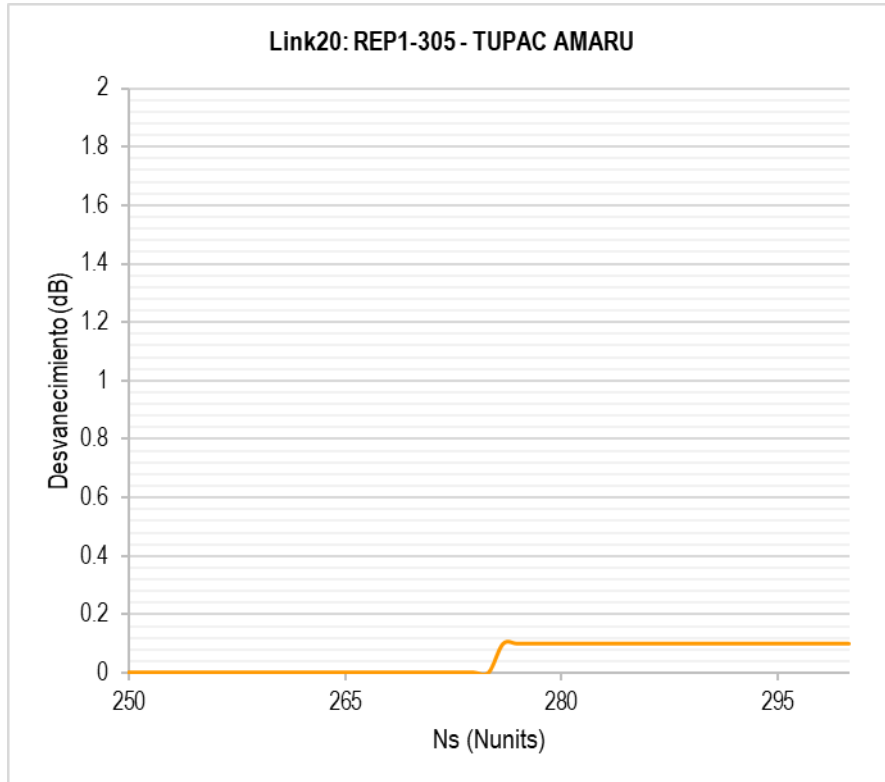


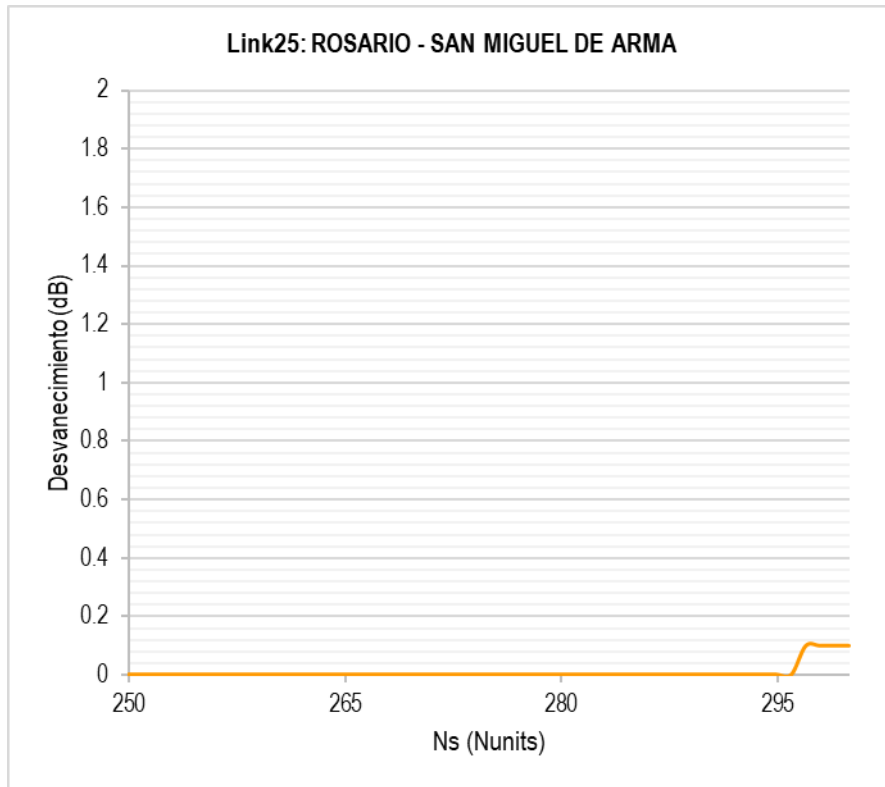












ANEXO 03: CURVAS DE VARIABILIDAD SEÑAL BAJA

