

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES Y REDES



ESTIMACIÓN DE RESPUESTA EN FRECUENCIA VERSUS REFRACTIVIDAD
SUPERFICIAL, MEDIANTE SIMULACIONES DEL ENLACE DORSAL
PACASMAYO – REQUE, BANDA DE 6 GHz, 2021

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES Y REDES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN

AUTORES:

Cueva Mendoza, Skinner
Cueva Fuentes, Marlon Héctor

JURADO EVALUADOR:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor
Secretario : Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando
Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

ASESOR:

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

TRUJILLO – PERÚ

Fecha de Sustentación: 2022/11/29.

ACREDITACIONES

**“ESTIMACIÓN DE RESPUESTA EN FRECUENCIA VERSUS
REFRACTIVIDAD SUPERFICIAL, MEDIANTE SIMULACIONES DEL ENLACE
DORSAL PACASMAYO – REQUE, BANDA DE 6 GHz, 2021”**

Elaborado por:

Br. Skinner Cueva Mendoza

Br. Marlon Héctor Cueva Fuentes

Aprobado por:



Ms. Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ
PRESIDENTE
CIP N° 97916



Ms. Ing. OVIDIO HILDEBRANDO RAMOS ROJAS
SECRETARIO
CIP N° 92622



Ms. Ing. LUIS E. ALVARADO RODRÍGUEZ
VOCAL
CIP N° 149200



Ms. Ing. EDUARDO E. CERNA SÁNCHEZ
ASESOR
CIP N° 80252

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES Y REDES



**ESTIMACIÓN DE RESPUESTA EN FRECUENCIA VERSUS REFRACTIVIDAD
SUPERFICIAL, MEDIANTE SIMULACIONES DEL ENLACE DORSAL
PACASMAYO – REQUE, BANDA DE 6 GHz, 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES Y REDES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN

AUTORES:

Cueva Mendoza, Skinner
Cueva Fuentes, Marlon Héctor

JURADO EVALUADOR:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor
Secretario : Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando
Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

ASESOR:

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

TRUJILLO – PERÚ
2022

Fecha de Sustentación: 2022/11/29.

DEDICATORIA

A mis abuelos, padres, esposa e hijos por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Marlon Héctor.

A mis padres, esposa e hijos por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Skinner.

AGRADECIMIENTO

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

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

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

RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende un estudio en base a simulaciones, sobre el comportamiento de la señal recibida en función de la frecuencia y la refractividad superficial (N_s) para un enlace microondas de interconexión dorsal ubicado en la franja costera peruana entre las ciudades de Pacasmayo y Reque. La variación de frecuencia se realizó en la banda baja de 6 GHz tomando en consideración la recomendación ITU-R F.384, asimismo la variación de refractividad superficial se realizó tomando en cuenta la recomendación ITU-R P.530-16. Los resultados permitieron identificar al desvanecimiento más desfavorable para el enlace, el cual se trata de un desvanecimiento plano en frecuencia para un rango de valores altos de refractividad superficial. Estos valores de refractividad superficial se asocian a condiciones climáticas de aumento de temperatura y descenso paralelo de humedad. En el trabajo se presentan las consideraciones para simulación, cálculos y metodología.

Palabras clave: radioenlace, microondas, refractividad, frecuencia, desvanecimiento

ABSTRACT

This research work includes a study based on simulations, on the variability of the received signal as a function of frequency and surface refractivity (N_s) for a dorsal interconnection microwave link located on the Peruvian coastal strip between the cities of Pacasmayo and Reque. The frequency variation was carried out in the low 6 GHz band considering the ITU-R F.384 recommendation, likewise, considering the ITU-R P.530-16 recommendation for surface refractivity variation. The results allowed to identify the most unfavorable fading for the link, which is a flat fading in frequency for a range of high values of surface refractivity. These surface refractivity values are associated with climatic conditions of increased temperature and parallel decrease in humidity. The work presents the considerations for simulation, calculations and methodology.

Keywords: radio link, microwave, refractivity, frequency, fading

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Telecomunicaciones y Redes para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Telecomunicaciones y Redes, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“ESTIMACIÓN DE RESPUESTA EN FRECUENCIA VERSUS REFRACTIVIDAD SUPERFICIAL, MEDIANTE SIMULACIONES DEL ENLACE DORSAL PACASMAYO – REQUE, BANDA DE 6 GHz, 2021”**.

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, noviembre del 2022

Br. Skinner Cueva Mendoza

Br. Marlon Héctor Cueva Fuentes

ÍNDICE DE CONTENIDO

ACREDITACIONES	i
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
PRESENTACIÓN.....	viii
ÍNDICE	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	13
I. INTRODUCCIÓN:.....	14
1.1 Problema de Investigación:.....	14
1.2 Objetivos de la investigación:.....	16
1.3 Justificación del estudio	17
II. MARCO DE REFERENCIA	18
2.1 Antecedentes de la Investigación	18
2.3 Marco conceptual.....	28
2.4 Hipótesis:	30
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	34
3.1. Tipo y nivel de investigación	34

3.2.	Población y muestra	34
3.3.	Diseño de contrastación.....	34
3.4.	Diseño de investigación	35
3.5.	Procedimiento	35
3.6.	Técnicas e instrumentos de investigación.....	36
3.7.	Procesamiento y análisis de datos.....	45
IV.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	55
4.1	Análisis e interpretación de resultados	55
4.2.	Docimasia de hipótesis	57
V.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	58
VI.	CONCLUSIONES.....	61
VII.	RECOMENDACIONES	62
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	63
ANEXO I	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arreglo de canales banda transporte microondas 7 GHz	22
Figura 2. Representación de enlace microondas con línea de vista directa.....	23
Figura 3. Representación de un enlace microondas con modelo tierra curva	24
Figura 4. Efecto del gradiente (dN/dh) sobre la curvatura de la onda de radio	25
Figura 5. Modelo de reflexión basado en dos rayos	26
Figura 6. Aproximación de respuesta en frecuencia multitrayecto 7 a 9 GHz	28
Figura 7: Fotografía Panorámica de la Geografía Pacasmayo–Reque	37
Figura 8. Vista emplazamiento referencia Pacasmayo	38
Figura 9. Vista emplazamiento referencia Reque.....	40
Figura 10. Vista emplazamiento referencia Reque.....	41
Figura 11. Configuración simulación enlace Pacasmayo - Reque	45
Figura 12. Configuración simulación enlace Pacasmayo - Reque	46
Figura 13. Desvanecimientos en función de frecuencia y refractividad, banda 6 GHz	56
Figura 14. Condiciones climáticas asociadas al rango más desfavorable N_s	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la Variable Categórica 01	32
Tabla 2. Operacionalización de la Variable Categórica 02	33
Tabla 3. Técnicas de recolección de datos	36
Tabla 4. Resumen datos emplazamiento Pacasmayo	39
Tabla 5. Resumen datos emplazamiento Reque.....	39
Tabla 6. Referencia canalización ITU-R F.384	42
Tabla 7. Referencia parámetros sistemas microondas 6 GHz	44
Tabla 8. Extracto reportes de simulación señal recibida enlace Pacasmayo - Reque (6425 – 6585 MHz)	47
Tabla 9. Extracto reportes de simulación señal recibida enlace Pacasmayo - Reque (6590 – 6760 MHz)	48
Tabla 10. Desvanecimientos de señal recibida enlace Pacasmayo - Reque identificados en el rango 6425 MHz a 6585 MHz	50
Tabla 11. Desvanecimientos de señal recibida enlace Pacasmayo - Reque identificados en el rango 6425 MHz a 6585 MHz	51
Tabla 12. Referencia valores máximos y mínimos estación Reque	52
Tabla 13. Estimación de condiciones climáticas asociadas a valores Ns	53
Tabla 14. Porcentajes de hallazgos de distintos valores Ns	54

I. INTRODUCCIÓN:

1.1 Problema de Investigación:

a. Descripción de la Realidad Problemática:

Según Béjar, G. (1983), la primera red dorsal de comunicación terrestre vía microondas se puso en servicio en el año 1974 desplegando una red de interconexión a lo largo de la costa peruana desde Tacna hasta Tumbes, la cual servía como soporte de transmisiones para las centrales telefónicas distribuidas en diversas ciudades del país. Los puntos de interconexión y emplazamientos que fueron considerados en aquel momento, siguen aún vigentes interconectando las redes de acceso redes fijo y móvil de generaciones actuales, principalmente trasladando flujos de voz y datos en complemento de los grandes volúmenes de información transportados por las redes dorsales de fibra óptica.

Particularmente el segmento dorsal de la franja costera norte está caracterizado por rutas que transcurren sobre considerables elevaciones de terreno, alternándose con tramos desérticos, presencia de vegetación, cultivos y planicies con cercanía al mar cuyas condiciones climáticas representan siempre un reto de diseño en la ingeniería de radiofrecuencia, dada la importancia que aún en la actualidad conservan estas dorsales, aunándose a ello la exigencia por conseguir transportar mayores capacidades de datos.

Manning, T. (2009), indica que las zonas desérticas con cercanía a franjas costeras marítimas, suelen ser particularmente sensibles a la alteración de la propagación de señales microondas, existiendo fenómenos tales como la reflexión, refracción y difracción, que influyen sobre la respuesta en frecuencia de un radioenlace, generando desvanecimientos críticos para alcanzar el desempeño esperado.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, sección Radiocomunicaciones (ITU-R), en su recomendación denominada ITU-R

P.453 brinda una valiosa herramienta para el modelamiento de la curvatura de la onda de radio, fundamentando su comportamiento en el fenómeno de refracción, y en particular en el parámetro denominado refractividad superficial (N_s) el cual puede ser estimado a partir de las condiciones climáticas de Presión, Temperatura y Humedad.

b. Descripción del problema:

Uno de los tramos dorsales microondas más empleados en la costa norte del Perú, es el segmento comprendido entre las ciudades de Pacasmayo y Reque, cuyo vano radioeléctrico se caracteriza por ser un radioenlace de gran longitud entre emplazamientos ubicados en el Cerro Pinturas (Pacasmayo) y Cerro Reque, respectivamente, así como la existencia de áreas desérticas cercanas al mar, cruce de ríos, cultivos, arrozales, vegetación, entre otras características que favorecen las condiciones de reflexión, aparición de curvatura terrestre pronunciada, y condiciones de refractividad que puedan afectar la propagación microondas en diferentes canales de radiofrecuencia.

En este orden de ideas, el presente proyecto de investigación consideró una importante oportunidad de investigación, la estimación de la magnitud de respuesta en frecuencia del radioenlace Pacasmayo – Reque, en función de la refractividad superficial, basado en la recomendación ITU-R P.530, a partir de lo cual se espera poder identificar la ocurrencia de desvanecimientos y las condiciones climáticas que puedan estar asociadas a dichos eventos. Siendo los resultados de este trabajo de investigación una herramienta para que las empresas de telecomunicaciones puedan mejorar el servicio a los pueblos de la zona.

c. Formulación del problema:

¿Cómo se comporta la magnitud de respuesta en la banda de frecuencia 6 GHz de un enlace dorsal microondas de la ciudad de Pacasmayo a la ciudad de Reque en función de la refractividad superficial?

1.2 Objetivos de la investigación:

a. General

- Caracterizar el comportamiento de la magnitud de respuesta en frecuencia de un enlace dorsal microondas en la costa norte del Perú en función de la refractividad superficial, mediante simulaciones en la banda de 6 GHz.

b. Específicos

- Identificar parámetros técnicos de enlace microondas que puedan ser empleados en la ruta de interconexión de la ciudad de Pacasmayo a la ciudad de Reque, para un proceso de simulación.
- Identificar parámetros de simulación complementarios que permitan identificar las características de la respuesta en frecuencia del enlace microondas en función de la refractividad superficial.
- Identificar la ocurrencia de desvanecimientos en el enlace y los valores de frecuencia y refractividad superficial asociados a estos fenómenos.
- Identificar condiciones climáticas relacionadas a la aparición de desvanecimientos desfavorables a partir de los valores de refractividad superficial y rangos de frecuencia en el enlace microondas Pacasmayo-Reque.

1.3 Justificación del estudio

a. Importancia de la investigación

El trabajo de investigación se justificó académicamente, al buscar caracterizar una problemática existente, aplicando conocimientos adquiridos en la formación de pre grado para el diseño de enlaces microondas terrestres, aportando una metodología de análisis de interferencias cocanal que se desarrollará para emplazamientos de interconexión microondas en la ciudad de Pacasmayo- Reque. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados los datos de la investigación para mejorar las comunicaciones de la zona Pacasmayo- Reque.

b. Viabilidad de la investigación

Se realizó un estudio en base de reportes de simulación. Contando con conocimiento de los principales emplazamientos de interconexión en la ciudad de Pacasmayo – Reque, y los conocimientos requeridos para el desarrollo la tesis.

c. Alcance y limitaciones

A través de múltiples simulaciones, y estimaciones conforme a las recomendaciones ITU-R P.530, se buscó caracterizar el comportamiento de la potencia de señal recibida en función de la refractividad superficial, en un rango de radiofrecuencia que corresponde a la banda microondas de 6 GHz sobre la cual fue evaluado el enlace de ida Pacasmayo - Reque. Se identificó la aparición de desvanecimientos en función de la refractividad y se buscó relacionar dichos valores con condiciones climáticas de la zona en análisis. Debido a las limitaciones de simulación, el rango de valores de refractividad sólo se varió entre 250 Nunits a 400 Nunits.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes de la Investigación

- a. El Laboratorio de Radares y Láseres del Instituto de Electrónica perteneciente a la Academia de Ciencias de Bulgaria - Laser Radars Lab, Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences, (2019) en la publicación titulada ***“Frequency dependence of multipath fading over the sea under ducting: refractivity profiles parameters and sea surface roughness influence”***, documenta la investigación de la propagación microondas sobre el agua la cual es frecuentemente afectada por la presencia de ductos de evaporación. Se indica que una alta dependencia en frecuencia de los mecanismos de propagación por ductos, lo cual contrasta con la distribución de desvanecimientos multitrayecto en donde se sugiere poca dependencia en frecuencia. Con el fin de verificar esta discrepancia, la investigación realizada estudió la influencia de las variaciones de los perfiles de refractividad en ductos de evaporación y la rugosidad de la superficie del mar en la dependencia en frecuencia del desvanecimiento multitrayecto. Se usaron diez frecuencias en rango microondas con cuatro enlaces hipotéticos sobre el mar. Los resultados fueron presentados en forma de desviación estándar de la pérdida por trayecto versus frecuencia para rangos fijos observándose la reducción de la desviación con la frecuencia. Se considera como el mayor aporte la referencia comparativa de la dependencia en frecuencia de las desviaciones obtenidas, dado que en el presente trabajo se pudieron cuantificar dependencias similares.

- b. Ikechukwu, E., Chioma, M., & Josephine, O. (2015) en el trabajo titulado ***“Microwave propagation attenuation due to earth’s atmosphere at very high frequency (VHF) and ultra-high frequency (UHF) bands in Nsukka under a clear –air condition”***, investigaron las atenuaciones microondas hasta 1.2 GHz bajo condiciones de aire no contaminado en la atmósfera terrestre. Tomando

como referencia datos reales de refractividad superficial, un enlace de 100 Km, y desvanecimientos referenciales de 10 dB, mostraron la existencia de una correlación fuerte de 0.747 entre el gradiente de refractividad y el porcentaje de tiempo que se excede la profundidad de desvanecimientos de 10 dB. Asimismo, mostraron que el porcentaje de tiempo en el que se excede este desvanecimiento, se incrementa con la frecuencia hasta el límite de 1.2 GHz. Los resultados obtenidos por estos investigadores sirvieron como referencia comparativa con los que se obtuvieron en el presente trabajo.

- c. Znhao, X., Zhang, Y., Vainikainen, P., & Yixi, X. (2001) en el trabajo denominado ***“Experimental and computer simulation studies of frequency selective fading in terrestrial line-of-sight microwave links”***, investigaron el desvanecimiento selectivo en frecuencia en radioenlaces terrestres microondas a través de un estudio combinado de pruebas experimentales y simulación. Para el cálculo de la propagación multitrayecto emplearon el modelo de tres rayos de Rummler’s en un entorno esférico de aire estratificado (aire más frío cayendo y aire más caliente elevándose), obteniendo el tiempo de retardo por el método tradicional de trazado de rayos. Los resultados mostraron que tanto los retardos de tiempo y variación de amplitud estuvieron relacionados a los gradientes del índice de refractividad modificado dentro y fuera de la capa empleada. La distribución estadística de desvanecimiento plano, dispersión dentro de la banda, y sus correlaciones fueron estudiadas tanto por simulación computacional como pruebas experimentales, encontrándose excelentes relaciones lineales entre ellas. Los resultados obtenidos por estos investigadores sirvieron como referencia comparativa con los que se obtendrán en el presente trabajo en los que también se buscará identificar distribuciones planas y selectivas en los desvanecimientos del enlace.

- d. Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), en la tesis de investigación titulada **“Análisis de desvanecimientos por refractividad para la estimación de alturas de antenas con diversidad espacial en el tramo de interconexión microondas Pacasmayo – Paiján”**, caracterizaron la respuesta de señal recibida en función de la refractividad superficial (N_s) para diferentes alturas de antenas receptoras, en las frecuencias centrales de ida y vuelta de las bandas de transporte microondas de 7 GHz y 11 GHz. A fin de seleccionar los valores de alturas de antenas para diversidad espacial evaluaron la correlación inversa entre las curvas obtenidas comparando sus resultados con una implementación pre existente. Se considera como principal aporte la metodología de simulación empleada, y los parámetros para simulación de enlaces microondas, los cuales fueron tomados como referencia en el presente trabajo de investigación.
- e. Del Rosario, C. (2019) en el trabajo de investigación denominado **“Identificación de factores climáticos asociados a la degradación de señal recibida, en un segmento de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos, en base a la recomendación ITU-R P.453”**, se propuso identificar mediante una herramienta de simulación, las condiciones de presión atmosférica, temperatura ambiental y humedad, asociadas a la degradación de señal en una ruta de interconexión dorsal microondas entre las ciudades de Yurimaguas e Iquitos – Perú. Sus resultados proyectan una mayor aparición de desvanecimientos de señal en condiciones de aumento de temperatura y humedad. El aporte de este trabajo radica en la metodología de simulación empleada con la variación de refractividad superficial, la cual fue tomada como referencia para el presente trabajo.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Banda de Radioenlaces Microondas 3 a 11 GHz

Este rango de frecuencias microondas es usado típicamente en enlaces dorsales de largo alcance, con una capacidad media a alta, las frecuencias centrales de identificación de estas bandas corresponden a 4 GHz, 6 GHz, 7 GHz, 8 GHz y 11 GHz. La condición principal para un adecuado desempeño es el obtener línea de vista, asimismo tomando en consideración los efectos del desvanecimiento multitrayecto. Como se mencionó anteriormente, se suelen emplear en radioenlaces de grandes longitudes (50 Km en promedio), evitándose emplear estas bandas de frecuencia en enlaces cortos dado que representarían un desperdicio de recursos y espectro radioeléctrico.

2.2.2 Planificación de canales de frecuencia en sistemas radio microondas

Según Manning, T. (2009), las especificaciones de los canales de radiofrecuencia empleados en los sistemas de transporte microondas son indicadas en las recomendaciones del Sector Radiocomunicaciones de la Unión internacional de Telecomunicaciones (ITU-R). Entre los principales parámetros técnicos se especifican la frecuencia central de la banda, el espaciamiento entre frecuencias portadoras de transmisión y recepción (T/R spacing), el espaciamiento entre canales adyacentes, ya sea compartiendo la misma polarización (copolar) o con polarizaciones ortogonales alternadas (crosspolar), así como el número de canales recomendados.

La Figura 01 muestra un arreglo básico copolar conforme las recomendaciones ITU-R F.385-10, correspondientes a la banda de transporte microondas de 7 GHz (frecuencia central f_0), con anchos de banda por radiocanal de 28 MHz. Se puede observar que para el caso de esta recomendación se tienen asignados cinco canales duplexados en frecuencia (FDD), que poseen recursos idénticos en cuanto a la asignación de espectro en el sentido de transmisión y recepción. Los radiocanales están conformados por dos espacios en frecuencia (Ejemplo, los espacios de ida y vuelta del canal 01 están identificados con las portadoras f_1 y

f_1'), donde también se puede observar una separación de portadoras de 28 MHz, una separación de frecuencias de transmisión / recepción (rango de duplexor) de 161 MHz, así como una banda de guarda de 49 MHz entre el rango de asignación de frecuencias de transmisión (ida) y recepción (vuelta). Cabe destacar asimismo que la asignación de rangos de frecuencias de transmisión / recepción es flexible por lo cual un segmento de transmisión podría llegar a ser asignado como recepción dependiendo del requerimiento de diseño.

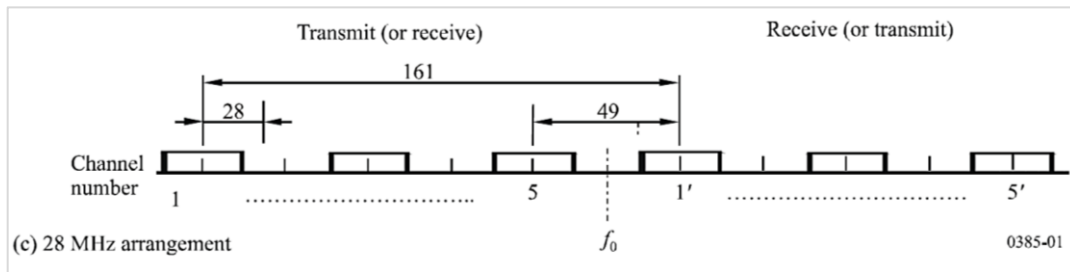


Figura 1. Arreglo de canales banda transporte microondas 7 GHz

Fuente: Recomendación ITU-R F.385-10 (2012)

2.2.3 Mecanismo de propagación de radio microondas

El mecanismo de propagación de radio microondas es denominado “onda espacial troposférica”, es decir su propagación se modela como un rayo en línea recta desde el punto transmisor al punto receptor, dentro de la capa terrestre más baja de la atmósfera terrestre, denominada “troposfera”. Esta condición hace necesaria la existencia de una línea de vista (LOS) entre transmisor y receptor con el fin de asegurar que la región que contiene la mayor parte de la energía de radiofrecuencia (primera zona de fresnel), se vea lo suficientemente liberada para asegurar una potencia de recepción adecuada. Típicamente se recomienda una separación desde la línea de vista al obstáculo más significativo de al menos 60% del radio de la primera zona de fresnel. Esto es denominado “despejamiento”.

La Figura 02 muestra una representación común de radioenlace microondas con línea de vista. Esta forma puede ser válida en radioenlace de corta distancia, sin embargo, se debe tener en cuenta que la curvatura terrestre debe pronunciarse cuanto mayor sea la distancia del radioenlace, por lo cual se debe asumir un modelo de propagación basado en un modelo de tierra curva.

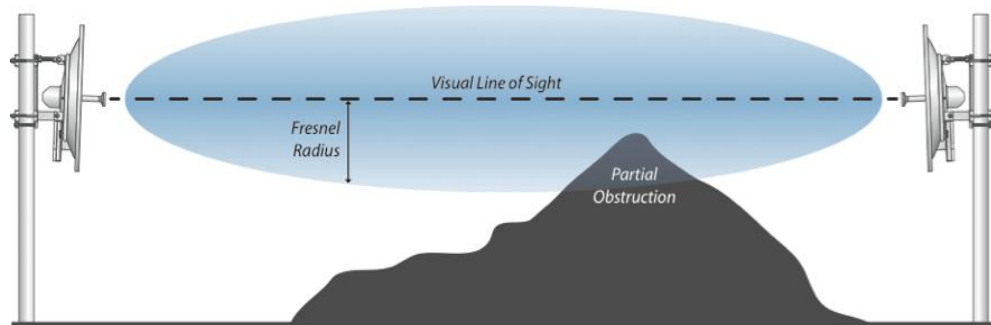


Figura 2. Representación de enlace microondas con línea de vista directa

Fuente: Ubiquiti Networks – UI Support (2020)

2.2.4 Refractividad en el modelo de propagación radio microondas

En la Figura 03, se representa un radioenlace microondas bajo modelo de tierra curva (radio terrestre $R_0 = 6370$ Km). Se puede apreciar que para largas distancias de radioenlaces terrestres la propagación de la onda electromagnética tiene que darse como una trayectoria curvada, de otro modo la onda de radio no podría lograr llegar hacia el extremo distante.

En este orden de ideas, la recomendación ITU-R P.530-16 (2015), propone un modelamiento del comportamiento de la onda de radio basado en refracción troposférica. Conforme este modelo, la refracción es variante con la altura de la tropósfera, y dependiente de las condiciones climáticas cambiantes con la altura, tales como presión atmosférica (P), temperatura ambiental (T) y presión de vapor de agua (e). Asimismo, el radio de curvatura de la onda electromagnética (ρ), posee una dependencia inversamente proporcional al gradiente de refractividad troposférica.

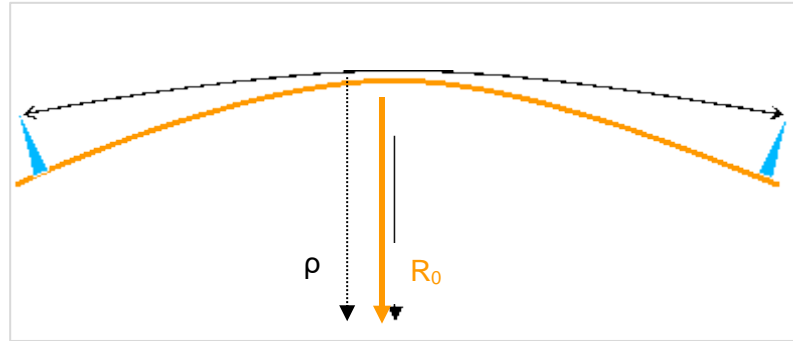


Figura 3. Representación de un enlace microondas con modelo tierra curva

Fuente: Willis, M. (2018)

De esta forma se define la refracción radioeléctrica (N), la cual puede ser expresada como:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} - 5,6 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (\text{N units}) \quad (1)$$

Donde:

- P : presión atmosférica total (mbar)
- e : presión del vapor de agua (mbar)
- T : temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$)

Asimismo, la inversa del radio de la onda electromagnética ($1/\rho$) puede ser expresado como:

$$1/\rho = 10^{-6} (dN/dh) = 10^{-6} G$$

Donde:

- dN/dh : gradiente de refractividad (Nunits/Km)
- G : gradiente de refractividad

La Figura 04 muestra el posible efecto sobre la onda de radio que puede generar la variación del gradiente de refractividad. Se puede apreciar que para valores estándares ($G = -40$ Nunits/Km), la propagación de la onda sigue una curvatura

normal ligeramente superior a la curvatura terrestre. Este es el escenario de propagación típica que ocurre la mayor parte del tiempo, y que puede llegar a aproximarse como un modelo de tierra plana con radio terrestre modificado.

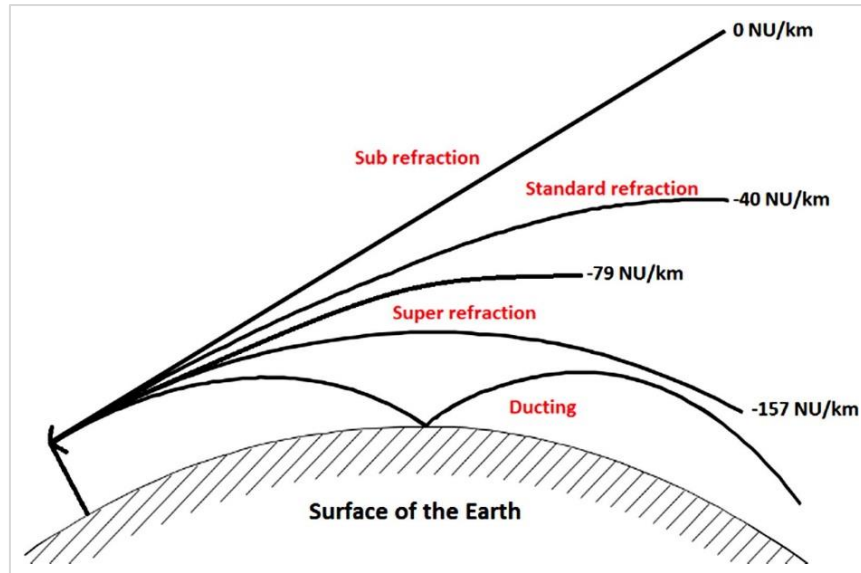


Figura 4. Efecto del gradiente (dN/dh) sobre la curvatura de la onda de radio

Fuente: Alam, M. et al (2017)

En este mismo orden de ideas también se puede dar la condición que el gradiente de refractividad se haga más negativo que -79 Nunits/Km, con lo cual la tendencia de la onda de radio sería más curvada hacia la superficie terrestre, generando multitrayectos y pudiendo llegar hasta el punto crítico de igualar la curvatura terrestre ($G = -157$ nunits/Km) produciendo una condición de overshoot o sobre alcance del enlace. Si el gradiente continúa haciéndose más negativo, se generaría una propagación anormal e irregular por conducción atmosférica, la cual es denominada “ducting”.

Por otro lado, el gradiente de refractividad también puede volverse menos negativo que -40 Nunits/Km. En este caso la onda electromagnética tendría una tendencia a desviarse hacia arriba, con lo cual produciría un desvanecimiento equivalente a una obstrucción por curvatura terrestre. Si el gradiente se hace

excesivamente positivo puede llegar a una caída del enlace por condición de sub – refracción.

2.2.5 Respuesta en frecuencia de un canal multitrayecto

El desvanecimiento multitrayecto es fenómeno complejo de caracterizar sobre todo en sistemas de radio microondas de gran ancho de banda como los que se tratan en el presente trabajo. La Figura 05 muestra el modelo de reflexión empleado para la caracterización de la función de transferencia del espacio libre bajo condiciones de multitrayecto, este modelo se encuentra basado en la reflexión de dos rayos.

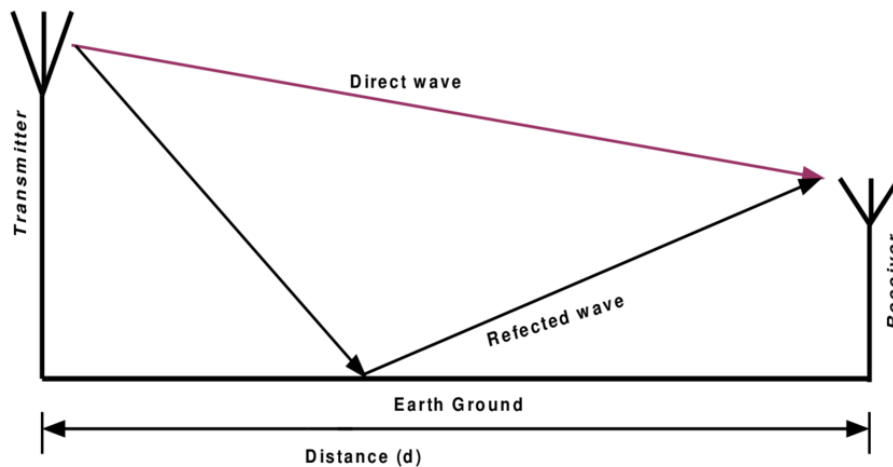


Figura 5. Modelo de reflexión basado en dos rayos

Fuente: Gibson, D. (1996)

Conforme el modelo antes citado, el rayo directo puede expresarse como:

$$a_1(t) = a_1 e^{j2\pi ft}$$

Asimismo, la onda reflejada (rayo secundario) presentará un retardo y desfase que puede ser expresado como:

$$a_2(t) = a_2 e^{[j(2\pi f(t-\tau) - \phi)]}$$

De esta forma la onda total recibida puede ser expresada como:

$$x(t) = a_1(t) + a_2(t) = a_1 e^{j(2\pi ft)} + a_2 e^{j(2\pi f(t-\tau) - \phi)}$$

Y la función de transferencia:

$$H(2\pi f) = x(t) / a_1(t) = 1 + a_2(t) / a_1(t)$$

$$H(2\pi f) = 1 + (a_2/a_1) e^{-j(2\pi f\tau + \phi)}$$

La cual puede ser reescrita de la forma:

$$H(2\pi f) = \alpha (1 + b e^{-j(2\pi f\tau + \phi)})$$

Donde “b” es el cociente entre las amplitudes del rayo reflejado y directo, y “α” es un factor de degradación total de la respuesta en frecuencia.

Al reescribir la función de transferencia con la forma trigonométrica:

$$H(2\pi f) = \alpha [(1 + b \cos(2\pi f\tau + \phi)) - j(b \sin(2\pi f\tau + \phi))]$$

Se puede obtener una aproximación de su variación de magnitud a través de la expresión:

$$|H(2\pi f)| = \alpha [1 + b^2 + 2b \cos(2\pi f\tau + \phi)]^{1/2}$$

La Figura 06 muestra una aproximación de la respuesta en frecuencia correspondiente a la magnitud estimada para un rango de frecuencia de 7 a 9 GHz, considerando tres tiempos de retardo que van desde 0.9 nanosegundos a 1.1 nanosegundos. Se puede apreciar que las variaciones de estos retardos originan que los picos de atenuación ocurran en diferentes frecuencias. Considerando que estos retardos dependen de la diferencia de distancias recorridas entre el rayo directo y rayo reflejado, se puede afirmar que también guardan dependencia de la curvatura terrestre respecto del punto de reflexión, y

en consecuencia estos retardos y picos de atenuación también guardan dependencia con la refractividad superficial y condiciones climáticas correspondientes.

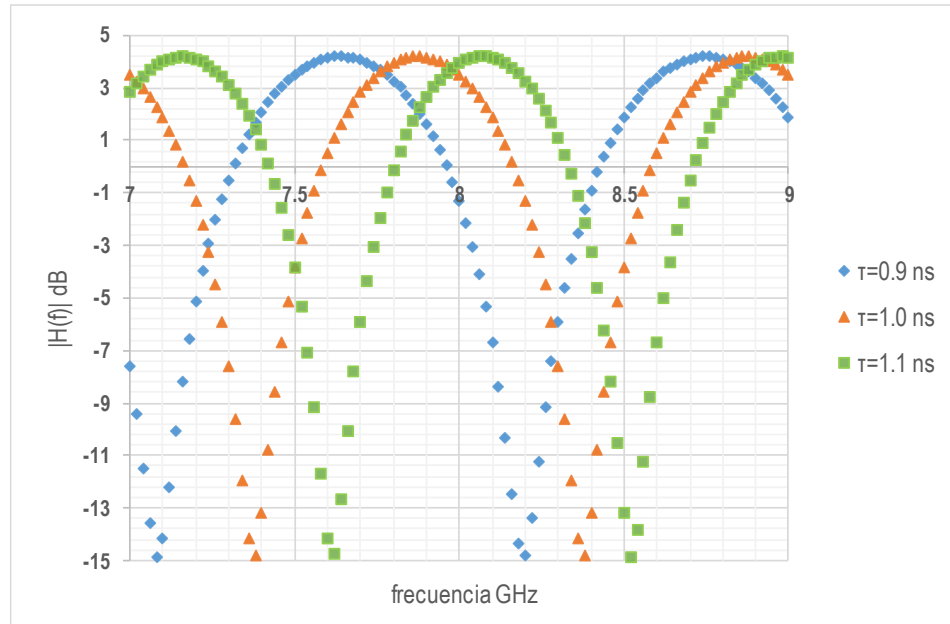


Figura 6. Aproximación de respuesta en frecuencia multirrayecto 7 a 9 GHz

2.3 Marco conceptual

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

- **Modelo de propagación de dos rayos**

Este modelo relaciona la señal de radio recibida en un punto distante a partir de un modelo óptico geométrico. Considera que la señal total recibida es la resultante de un componente propagado en línea directa y un componente de propagado como reflexión en la superficie terrestre entre el transmisor y el receptor.

- **Respuesta en frecuencia**

Es un sistema de representación en magnitud y fase de una función de transferencia dependiente de la frecuencia, que relaciona una señal de

salida con una señal de entrada. En el caso del modelo de rayo reflejado de dos rayos relaciona la señal del rayo directo recibida en un punto lejano, con la señal compuesta por rayo directo y reflejado, recibida como señal total en un receptor.

- **Índice de refracción radioeléctrica (refractividad)**

La refractividad es un parámetro equivalente al índice de refracción, pero adaptado a los fenómenos de radiofrecuencia. El modelo de curvatura de la onda de radio se basa en pequeños cambios de índice de refracción, los cuales deben ser suficientemente cuantificables. Para ello se define la refractividad radioeléctrica (N), cuya variación con la altura genera una mayor o menor curvatura de la onda electromagnética. Su variación es también dependiente de la presión atmosférica, temperatura ambiental y humedad.

- **Desvanecimiento**

Se entiende por desvanecimiento a la variación de la potencia recibida en un radioenlace, las cuales pueden ser generadas por diferentes fenómenos físicos o atmosféricos, y también puede ser clasificados de acuerdo a su comportamiento en el tiempo, profundidad de variación, continuidad total o selectiva en un rango de frecuencias

- **Simulaciones de radiopropagación**

Se refiere a la estimación mediante un algoritmo de cálculo, de los parámetros de performance RF de radioenlaces microondas. Dichas simulaciones deben ofrecer la posibilidad de poder variar las condiciones de radio refractividad en la zona a analizar.

2.4 Hipótesis:

2.4.1 General:

La magnitud de respuesta en frecuencia en la banda de 6 GHz, estimada mediante simulación de un enlace dorsal microondas entre las ciudades de Pacasmayo y Reque, presenta desvanecimiento plano en valores altos de refractividad superficial.

2.4.2 Variables e indicadores

2.4.2.1 Variable independiente

- Refractividad Superficial

Definición Conceptual:

- La refractividad superficial es un parámetro creado para describir fenómenos de propagación en radiofrecuencia, y adaptado para cuantificar la variación del índice de refracción en las alturas más cercanas a la superficie terrestre. Su variación se asocia al comportamiento de la curvatura de la onda troposférica de radiofrecuencia, y es también dependiente de las condiciones climáticas.

Indicadores:

- Valor promedio de refractividad
- Valor máximo de refractividad
- Valor mínimo de refractividad
- Rango de variación de refractividad

2.4.2.2 Variable dependiente

- Magnitud de respuesta en frecuencia en banda 6 GHz para un enlace microondas de Pacasmayo a Reque

Definición Conceptual:

- Es la representación de la potencia recibida en función de la refractividad superficial para diferentes frecuencias pertenecientes a la banda microondas de 6 GHz, obtenida mediante un proceso de simulación de un radioenlace entre las ciudades de Pacasmayo y Reque. En ella se pueden identificar desvanecimientos planos o selectivos para diferentes valores de refractividad.

Indicadores:

- Desvanecimientos planos
- Desvanecimientos selectivos
- Valores de refractividad asociados a desvanecimientos
- Valores críticos de presión atmosférica
- Valores críticos de temperatura ambiental
- Valores críticos de humedad

2.4.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de la Variable Independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
- Refractividad Superficial	Se considera una variación de refractividad superficial a partir de un valor promedio típico entre un rango de valores mínimo y máximo, permisibles por una herramienta de simulación	Valor promedio de refractividad	Guía de observación	N units
		Valor máximo de refractividad	Guía de observación	N units
		Valor mínimo de refractividad	Guía de observación	N units
		Rango de variación de refractividad	Guía de observación	N units

Tabla 2. Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Magnitud de respuesta en frecuencia en banda 6 GHz para un enlace microondas de Pacasmayo a Reque	Se identifica la ocurrencia de desvanecimientos planos y selectivos. Asimismo, se identifican rangos críticos de refractividad superficial, condiciones de presión, temperatura y humedad asociados a estos desvanecimientos	Desvanecimientos planos	Reporte de simulación	dB
		Desvanecimientos selectivos	Reporte de simulación	dB
		Valores de refractividad asociados a desvanecimientos	Reporte de simulación	Nunits
		Valores críticos de presión atmosférica	Estimación analítica	mbar
		Valores críticos de temperatura ambiental	Estimación analítica	°C
		Valores críticos de humedad	Estimación analítica	%

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Conforme Hernández, M. (2012), según la naturaleza de los objetivos, el tipo de investigación realizada en el presente trabajo es descriptivo. Asimismo, según el alcance del objetivo general y específicos es clasificada como de nivel documental. Se va a indagar respecto al comportamiento de la señal recibida en función de la frecuencia de operación y la refractividad superficial, a fin de poder caracterizar la magnitud de su respuesta en frecuencia, identificando y describiendo los posibles factores climáticos que se asocian a desvanecimientos en un enlace de interconexión microondas de Pacasmayo a Reque.

3.2. Población y muestra

La población está constituida por todos los enlaces posibles de generar al variar las frecuencias y refractividad superficial en el enlace Pacasmayo - Reque 6 GHz. Por tratarse de una condición no determinística, conforme las limitaciones de las herramientas de simulación, se consideró una muestra de 68 frecuencias y 32 valores de refractividad superficial. Se generó asimismo un total de 2176 reportes de simulación.

3.3. Diseño de contrastación

$$G_1 \longleftarrow O_1(x)$$

Donde:

G_1 : Radioenlace microondas Pacasmayo – Reque en banda 6 GHz sobre el cual se realizará observaciones del comportamiento de potencia recibida en función de la frecuencia y refractividad mediante herramienta de simulación.

O_1 : Simulación de 50 variaciones de refractividad en 68 frecuencias pertenecientes a la banda de 6 GHz, total 2176 observaciones.

- x: Identificación de desvanecimientos, rangos de refractividad y causales climáticas asociadas.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo descriptivo documental. Se va recolectar datos mediante la generación de reportes de simulación de un enlace microondas desde Pacasmayo a Reque en banda de 6 GHz, de manera que se puedan identificar la ocurrencia de desvanecimientos planos y selectivos, en función de la refractividad superficial y condiciones climáticas asociadas.

3.5. Procedimiento

- Identificación y selección de parámetros técnicos típicos de equipamiento de radio microondas en un enlace dorsal de la ciudad de Pacasmayo hacia la ciudad de Reque, en la banda de 6 GHz.
- Configuración y calibración de parámetros de simulación, a fin de reproducir el escenario más cercano a una implementación de enlace microondas desde la ciudad de Pacasmayo hacia Reque.
- Obtención de reportes de simulación y elaboración de tablas de variación de potencia recibida en base a la variación de refractividad y frecuencia para un enlace dorsal de la ciudad de Pacasmayo hacia la ciudad de Reque, en la banda de 6 GHz.
- Identificación de escenarios de desvanecimiento de señal recibida, e identificación de valores de refractividad superficial y frecuencias asociadas a dichos desvanecimientos, para cada enlace analizado.
- Estimación de valores de presión, temperatura y humedad que cumplan con la condición de refractividad superficial asociada a desvanecimientos planos y selectivos para un enlace dorsal de la ciudad de Pacasmayo hacia la ciudad de Reque, simulado en la banda de 6 GHz.

3.6. Técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Técnicas

La Tabla 03 muestra las técnicas de investigación empleadas en la presente investigación.

Tabla 3. *Técnicas de recolección de datos*

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Análisis de documentos	Identificación de parámetros típicos de operación de sistemas de radioenlace dorsal microondas en banda 6 GHz.	Elaboración de fichas con características técnicas de equipamientos transceptores, línea de transmisión y sistema radiante
Simulación	Simulación individual de valores de potencia recibida para cada valor de refractividad superficial en un rango de frecuencia perteneciente a la banda de 6 GHz, para un enlace microondas de la ciudad de Pacasmayo hacia Reque.	Obtención directa de valores de potencia recibida en los reportes de simulación

3.6.2. Instrumentos

Reportes del comportamiento de señal recibida al variar 50 valores de refractividad para 68 frecuencias pertenecientes a la banda de transporte microondas de 6 GHz en un enlace entre las ciudades de Pacasmayo hacia Reque, obtenidos a partir de un proceso de simulación.

3.6.3. Recolección de Información ruta Pacasmayo a Reque.

El enlace Pacasmayo – Reque, es uno de los principales enlaces dorsales microondas del norte litoral del Perú ya que permite el uso de múltiples frecuencias para transportar gran número de información interconectando los departamentos de La Libertad y Lambayeque, cuya interconexión transcurre a través de ciudades como Pacasmayo, Jequetepeque, Chepén, Guadalupe, Pacanga, Mocupe y Reque, ciudades que en su mayoría ostentan zonas desérticas acompañadas de vegetación de plantas frutales así como sembríos extensos de arrozales acompañados de un clima que según SENAMHI (2022) en verano supera los 30 °C y en invierno un mínimo de alrededor de 14°; todas estas características geográficas son las que justamente hacen particularmente relevante este enlace microondas en la franja costera peruana.

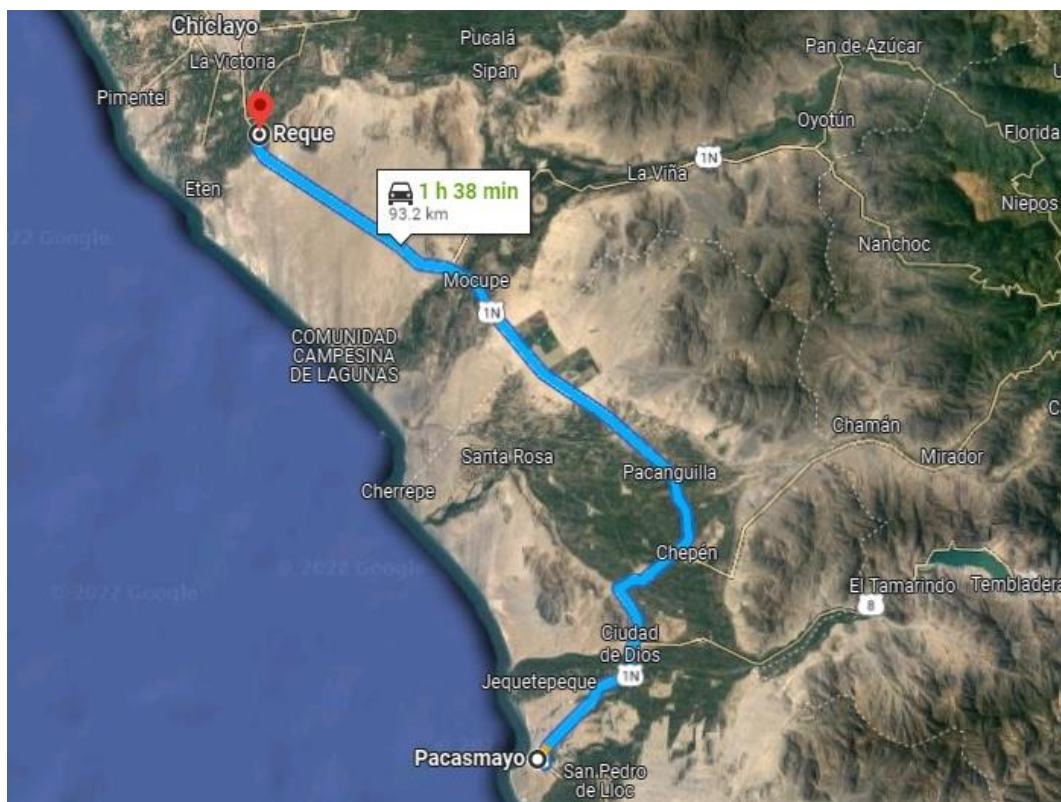


Figura 7: Fotografía Panorámica de la Geografía Pacasmayo–Reque

Fuente: Google Maps (2022)

3.6.4. Recolección Información emplazamiento Pacasmayo.

En la Figura 08 se muestra el emplazamiento Pacasmayo, esta nodal microondas se encuentra ubicada en el cerro Pinturas, en las afueras al norte de la ciudad. Posee enlaces de interconexión dorsal hacia el sur (Paiján), como hacia el norte (Reque). En la Figura se resalta la dirección de apuntamiento hacia Reque.



Figura 8. Vista emplazamiento referencia Pacasmayo

Con los datos recopilados, se presenta en la Tabla 04 un resumen de los datos del emplazamiento Pacasmayo

Tabla 4. *Resumen datos emplazamiento Pacasmayo*

RECOPIACIÓN DATOS EMPLAZAMIENTO MICROONDAS PACASMAYO			
LATITUD	:	-7.384325	°
LONGITUD	:	-79.55329	°
Altura terreno emplazamiento	:	84.1	msnm
Altura Antena	:	68	m
Azimuth to Reque	:	332.4	°
Elevation Angle (to Reque)	:	-0.3	°

3.6.5. Recolección Información Emplazamiento Reque.

En la Figura 09 se muestra el emplazamiento ubicado en el Cerro Reque. Este cerro es un punto estratégico para ubicación enlaces de interconexión dorsal microondas, por lo cual, se pueden encontrar instalaciones de radiofrecuencia de diferentes operadores nacionales. El emplazamiento de referencia ha sido resaltado indicando la dirección de apuntamiento hacia la ciudad de Pacasmayo. Asimismo, se puede notar que es una estación nodal que posee enlaces de interconexión hacia otras localidades, coexistiendo junto a otras estaciones nodales. La Tabla 05 presenta el resumen de datos recopilados de dicho emplazamiento.

Tabla 5. *Resumen datos emplazamiento Reque*

RECOPIACIÓN DATOS EMPLAZAMIENTO MICROONDAS REQUE			
LATITUD	:	-6.882963	°
LONGITUD	:	-79.81761	°
Altura terreno emplazamiento	:	62.8	msnm
Altura Antena	:	78	m
Azimuth to Reque	:	152.4	°
Elevation Angle (to Reque)	:	-0.4	°

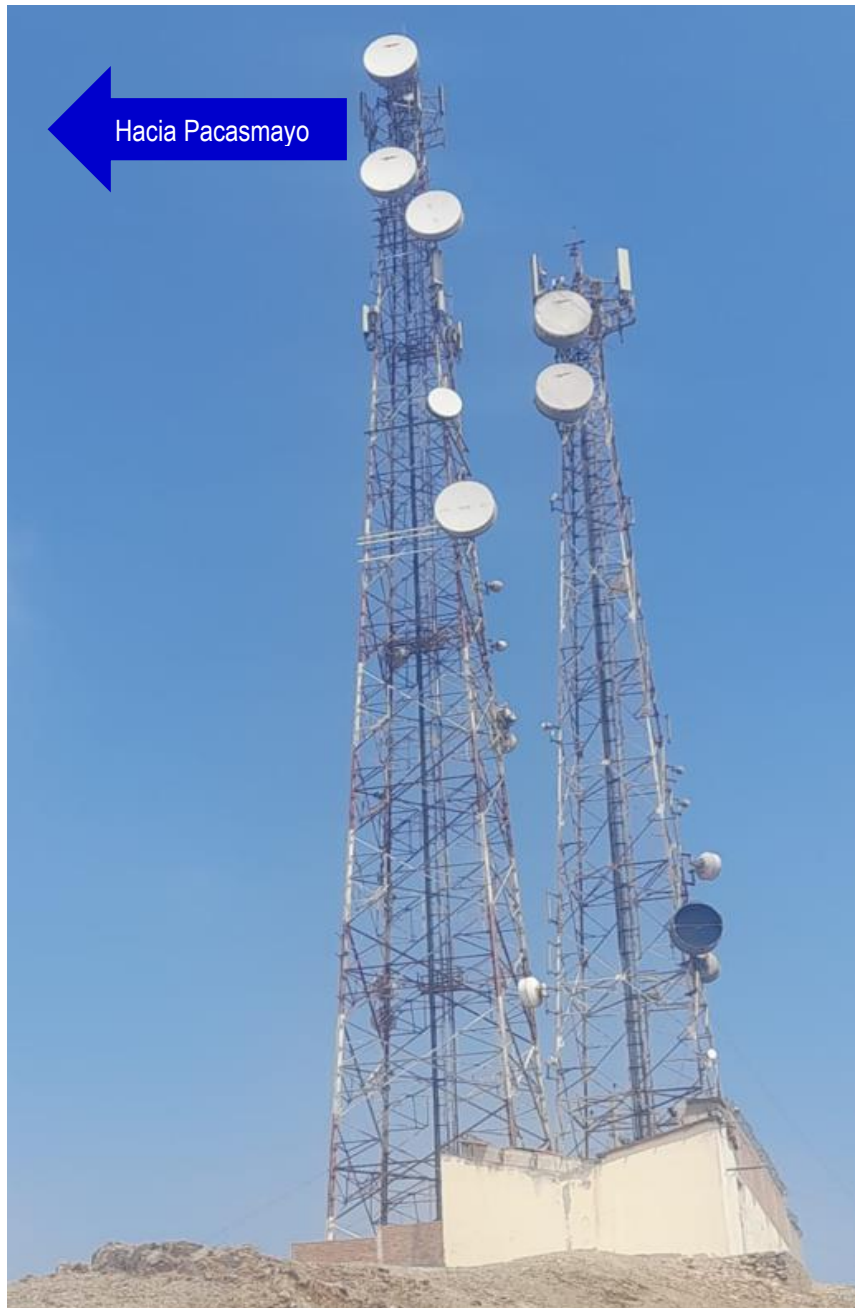


Figura 9. *Vista emplazamiento referencia Reque*

3.6.6. Recolección de información enlace Pacasmayo a Reque.

En la Figura 10 se muestra una vista del enlace Pacasmayo – Reque. Se puede apreciar una distancia de enlace de 62.95 Km con una notoria presencia de curvatura terrestre, con el despejamiento más bajo de la primera zona de fresnel a 29.5 Km (2.1 veces primer radio de Fresnel).

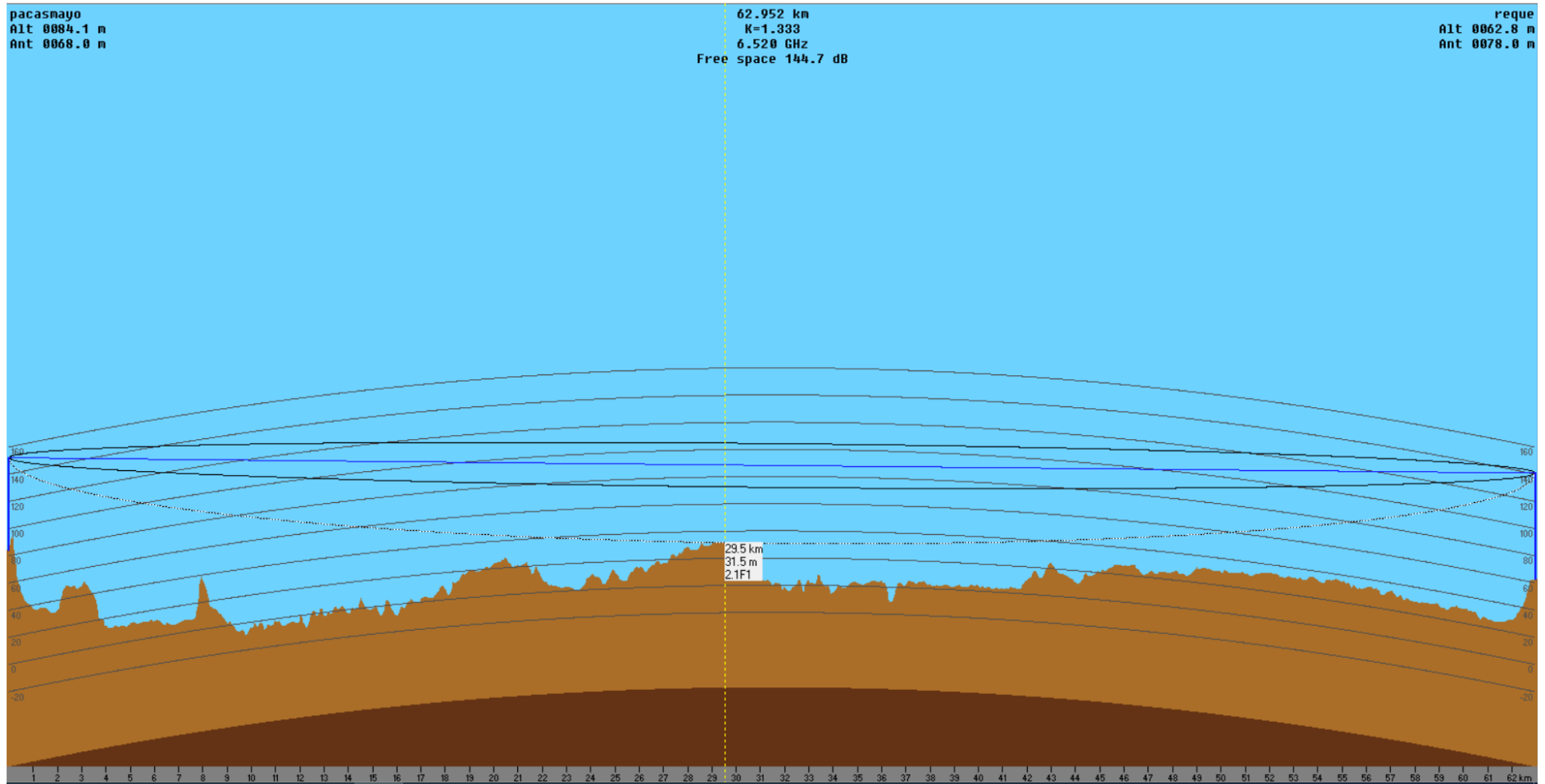


Figura 10. Vista emplazamiento referencia Reque

3.6.7. Recolección de información canalización en frecuencia

Tomando como referencia la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sección Radiocomunicaciones ITU-R F.384 (2018), en la Tabla 06 se muestra la canalización de la banda comprendida entre 6425 MHz y 7125 MHz. Esta franja total de 700 MHz es dividida en 08 canales con recursos de ida y vuelta (low / high) duplexados por división de frecuencia (FDD), cada uno de ellos con un ancho de banda disponible de 40 MHz. Los datos de esta canalización se muestran en la Tabla 06.

Para el análisis llevado a cabo en el presente trabajo, se ha tomado el enlace Pacasmayo - Reque, en rangos de ida (low frequency) desde 6425 hasta 6760 MHz. A fin de poder identificar posibles desvanecimientos selectivos, se realizaron simulaciones en incrementos de 5 MHz para la evaluación del referido enlace.

Tabla 6. Referencia canalización ITU-R F.384

canal	f1 low - ida		f1' high - vuelta	
CH 1	6460	MHz	6800	MHz
CH 2	6500	MHz	6840	MHz
CH 3	6540	MHz	6880	MHz
CH 4	6580	MHz	6920	MHz
CH 5	6620	MHz	6960	MHz
CH 6	6660	MHz	7000	MHz
CH 7	6700	MHz	7040	MHz
CH 8	6740	MHz	7080	MHz

Fuente: Recomendación ITU-R F.384 (2018)

3.6.8. Referencias de características sistema RF microondas 6 GHz

Respecto de las características técnicas para simulación del sistema radiofrecuencia microondas, se han seleccionado parámetros tomando como referencia el antecedente Del Rosario, C. (2019), dado que los equipos microondas sugeridos en dicho trabajo son de aplicación común en redes microondas a nivel nacional.

En la Tabla 07 se muestra un resumen de las principales características técnicas requeridas por la herramienta de simulación. Dichas características pueden ser agrupadas en 03 bloques de parámetros, los que se describen a continuación.

- a. Parámetros de transceptor: Partiendo de la operatividad en la banda de frecuencia deseada. Se consideran los parámetros de potencia de transmisión, umbral de calidad de recepción (threshold). Asimismo, se pueden agregar las pérdidas internas del equipo por las líneas de distribución de señal (branching u otras pérdidas).
- b. Parámetros de sistema radiante o antena: Se considera la selección de antena correspondiente en base a la frecuencia de operación, y el tipo de antena requerido. Para el caso del presente trabajo se tomó como referencia una antena de alto desempeño (High Performance), con un lóbulo muy cerrado de radiación (half power beamwidth 1.5°), lo cual asegura supresión de lóbulos laterales y un alto front to back. Asimismo, la herramienta de simulación requerirá los datos de alturas de antenas.
- c. Parámetros de la línea de transmisión o guía de onda: Para el presente trabajo se debe partir de la selección de guía de onda en base a la banda de frecuencia de operación, dado que las propiedades conducción en radio frecuencia para guía de onda son diseñadas para responder como cavidades resonantes de RF, con un rango de frecuencia limitado para su correcta operatividad. Para efectos de simulación, se requiere el ingreso del coeficiente de atenuación de guía onda, el cual debe estar indicado en unidades de pérdida (dB) por metro de longitud de guía de onda (m).

Tabla 7. Referencia parámetros sistemas microondas 6 GHz

PARÁMETROS REFERENCIALES TRANSCEPTOR LSY 9667		
PARÁMETRO TÉCNICO	DETALLE	UNIDADES
Operating frequency	: 6425 -7125	MHz
Transmit Power	: 31.5	dBm
Receiver Threshold	: -71	dBm
Line loss	: 4	dB

PARÁMETROS REFERENCIALES ANTENA DIRECTIVA HPX1065		
PARÁMETRO TÉCNICO	DETALLE	UNIDADES
Operating frequency	: 6425 -7125	MHz
Antenna Gain	: 43.6	dBi
Antenna beamwidth	: 1.5	°
Sidelobe supression	: High Performance	
Antenna heigth	: 68 / 78	m

PARÁMETROS REFERENCIALES GUÍA ONDA ELÍPTICA EWP 6465		
PARÁMETRO TÉCNICO	DETALLE	UNIDADES
Operating frequency	: 6425 -7125	MHz
Atenuation at 6.5 GHz	: 0.05	dB/m

Fuente: Del Rosario, C. (2019)

Los detalles respecto del equipo transceptor microondas, patrones de radiación de antenas y parámetros de guía de onda, pueden ser ubicados en el Anexo I del presente trabajo.

3.7. Procesamiento y análisis de datos

3.7.1. Configuración de la herramienta simulación

Con los datos recopilados en el apartado anterior, se procedió a construir el escenario de simulación empleado en la recopilación de datos del enlace Pacasmayo - Reque, bajo condiciones de variación de frecuencia (ida, low frequency band) y refractividad superficial. En este sentido en la Figura 11 se presenta parte de la configuración de los parámetros requeridos para reproducir el escenario de propagación.

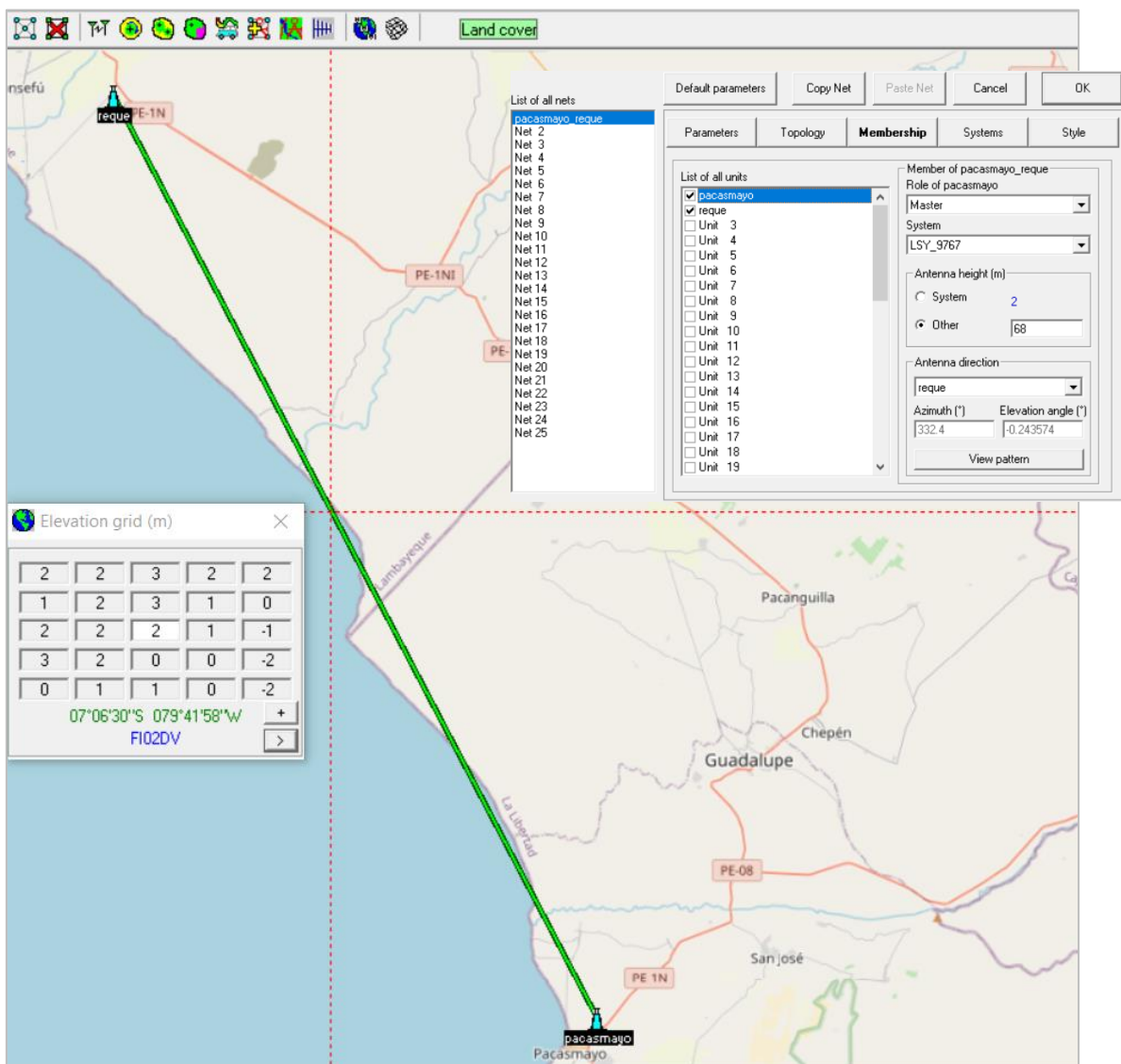


Figura 11. Configuración simulación enlace Pacasmayo - Reque

3.7.2. Reportes de simulación

La Figura 12 presenta una vista de los reportes de simulación generados a través de la herramienta radiolink de RadioMobile. Debido a que la altura del terreno donde se ubican los emplazamientos de las estaciones Pacasmayo y Reque no exceden los 100 msnm, se hace más notoria la presencia de curvatura, lo cual a su vez favorece el cálculo de señal recibida basado en el modelo de propagación dependiente de la refractividad superficial.

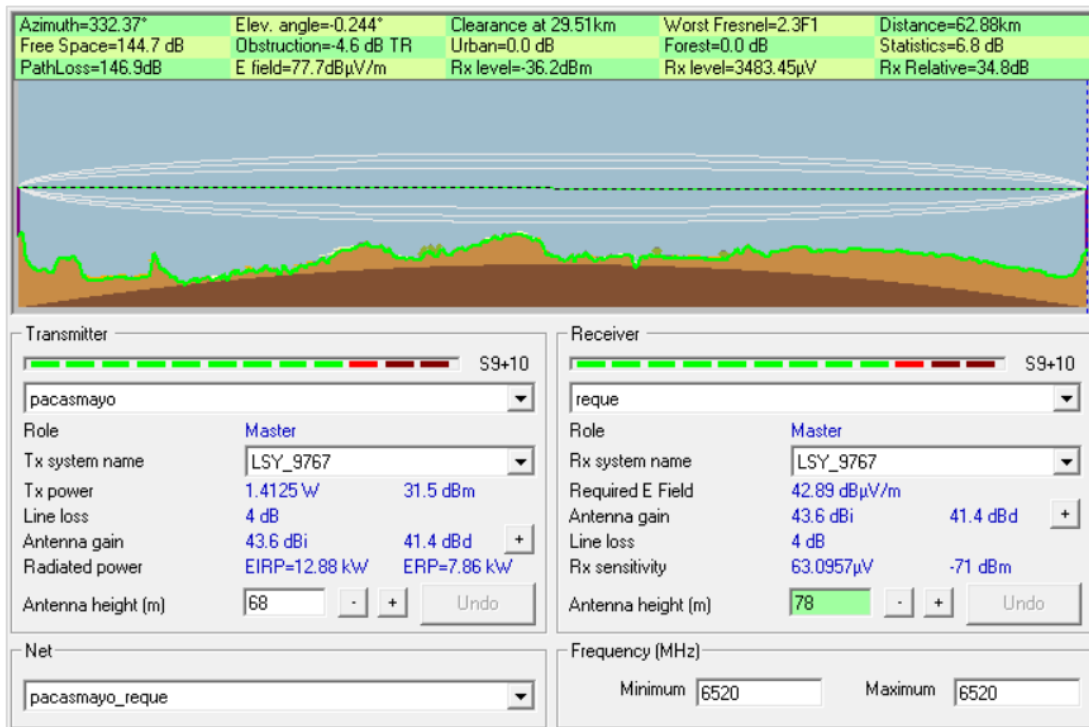


Figura 12. Configuración simulación enlace Pacasmayo - Reque

3.7.3. Reportes señal obtenida simulación enlace Pacasmayo - Reque

A continuación, se presentan las Tablas 08 y 09 en donde se reportan las señales recibidas en la estación Reque (enlace Pacasmayo – Reque) luego del proceso de simulación. Cabe destacar que la asignación de frecuencia se ha realizado en el rango de ida (6425 a 6760 MHz) el cual corresponde al intervalo de frecuencias de ida. Asimismo, el rango de refractividad superficial se ha evaluado en el intervalo $250 \text{ Nunits} < N_s < 400 \text{ Nunits}$, por ser los límites permitidos por la herramienta de simulación.

Tabla 8. Extracto reportes de simulación señal recibida enlace Pacasmayo - Reque (6425 – 6585 MHz)

freq. (MHz)	Refractividad Superficial Ns (Nunits)																																
	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	301	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400	
6425	-53.3	-52.8	-50.1	-47.4	-45.1	-43.2	-41.7	-40.4	-39.3	-38.5	-37.8	-37.7	-37.3	-37.0	-36.8	-36.9	-37.1	-37.7	-38.5	-39.8	-41.6	-44.4	-48.9	-53.5	-48.4	-43.7	-40.7	-38.7	-37.5	-36.9	-36.9	-37.7	
6430	-53.3	-52.7	-50.0	-47.3	-45.0	-43.1	-41.6	-40.3	-39.3	-38.5	-37.8	-37.7	-37.3	-37.0	-36.8	-36.9	-37.2	-37.7	-38.5	-39.8	-41.7	-44.6	-49.1	-53.5	-48.2	-43.6	-40.6	-38.7	-37.5	-36.9	-36.9	-37.7	
6435	-53.4	-52.6	-49.9	-47.2	-44.9	-43.1	-41.5	-40.3	-39.3	-38.4	-37.8	-37.7	-37.3	-37.0	-36.8	-36.9	-37.2	-37.7	-38.6	-39.9	-41.8	-44.7	-49.3	-53.4	-48.0	-43.5	-40.5	-38.6	-37.4	-36.9	-37.0	-37.8	
6440	-53.4	-52.5	-49.7	-47.0	-44.8	-43.0	-41.5	-40.3	-39.2	-38.4	-37.8	-37.7	-37.3	-37.0	-36.9	-36.9	-37.2	-37.8	-38.6	-39.9	-41.9	-44.8	-49.5	-53.3	-47.9	-43.3	-40.5	-38.6	-37.4	-36.9	-37.0	-37.8	
6445	-53.5	-52.4	-49.6	-46.9	-44.7	-42.9	-41.4	-40.2	-39.2	-38.4	-37.7	-37.6	-37.3	-37.0	-36.9	-36.9	-37.2	-37.8	-38.7	-40.0	-42.0	-45.0	-49.7	-53.3	-47.7	-43.2	-40.4	-38.5	-37.4	-36.9	-37.0	-37.9	
6450	-53.5	-52.2	-49.5	-46.8	-44.6	-42.8	-41.4	-40.2	-39.2	-38.4	-37.7	-37.6	-37.3	-37.0	-36.9	-36.9	-37.3	-37.8	-38.7	-40.1	-42.1	-45.1	-50.0	-53.2	-47.5	-43.1	-40.3	-38.5	-37.4	-36.9	-37.0	-37.9	
6455	-53.5	-52.1	-49.3	-46.7	-44.5	-42.8	-41.3	-40.1	-39.1	-38.3	-37.7	-37.6	-37.3	-37.0	-36.9	-37.0	-37.3	-37.9	-38.8	-40.1	-42.2	-45.3	-50.2	-53.0	-47.3	-43.0	-40.3	-38.5	-37.4	-36.9	-37.1	-38.0	
6460	-53.5	-52.0	-49.2	-46.6	-44.5	-42.7	-41.3	-40.1	-39.1	-38.3	-37.7	-37.6	-37.3	-37.0	-36.9	-37.0	-37.3	-37.9	-38.8	-40.2	-42.3	-45.4	-50.4	-52.9	-47.1	-42.9	-40.2	-38.4	-37.3	-36.9	-37.1	-38.0	
6465	-53.5	-51.9	-49.1	-46.5	-44.4	-42.6	-41.2	-40.0	-39.1	-38.3	-37.7	-37.6	-37.2	-37.0	-36.9	-37.0	-37.3	-37.9	-38.9	-40.3	-42.4	-45.5	-50.6	-52.8	-47.0	-42.8	-40.1	-38.4	-37.3	-36.9	-37.1	-38.1	
6470	-53.5	-51.7	-48.9	-46.4	-44.3	-42.6	-41.2	-40.0	-39.0	-38.3	-37.7	-37.6	-37.2	-37.0	-36.9	-37.0	-37.4	-38.0	-38.9	-40.3	-42.5	-45.7	-50.8	-52.6	-46.8	-42.7	-40.1	-38.3	-37.3	-36.9	-37.1	-38.1	
6475	-53.5	-51.6	-48.8	-46.3	-44.2	-42.5	-41.1	-40.0	-39.0	-38.2	-37.7	-37.6	-37.2	-37.0	-36.9	-37.0	-37.4	-38.0	-39.0	-40.4	-42.6	-45.8	-51.0	-52.5	-46.6	-42.6	-40.0	-38.3	-37.3	-36.9	-37.2	-38.2	
6480	-53.4	-51.5	-48.7	-46.2	-44.1	-42.5	-41.1	-39.9	-39.0	-38.2	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-36.9	-37.0	-37.4	-38.0	-39.0	-40.5	-42.7	-46.0	-51.2	-52.3	-46.5	-42.5	-39.9	-38.3	-37.3	-36.9	-37.2	-38.2	
6485	-53.4	-51.3	-48.5	-46.1	-44.1	-42.4	-41.0	-39.9	-39.0	-38.2	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-36.9	-37.1	-37.4	-38.1	-39.1	-40.6	-42.8	-46.2	-51.4	-52.1	-46.3	-42.4	-39.9	-38.2	-37.3	-36.9	-37.2	-38.3	
6490	-53.4	-51.2	-48.4	-46.0	-44.0	-42.3	-41.0	-39.8	-38.9	-38.2	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-36.9	-37.1	-37.5	-38.1	-39.1	-40.6	-42.9	-46.3	-51.6	-51.9	-46.2	-42.3	-39.8	-38.2	-37.3	-36.9	-37.2	-38.3	
6495	-53.3	-51.1	-48.3	-45.9	-43.9	-42.3	-40.9	-39.8	-38.9	-38.2	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-36.9	-37.1	-37.5	-38.2	-39.2	-40.7	-43.0	-46.5	-51.8	-51.7	-46.0	-42.2	-39.8	-38.2	-37.2	-36.9	-37.3	-38.4	
6500	-53.2	-50.9	-48.2	-45.8	-43.8	-42.2	-40.9	-39.8	-38.9	-38.1	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-36.9	-37.1	-37.5	-38.2	-39.2	-40.8	-43.1	-46.6	-52.0	-51.5	-45.9	-42.1	-39.7	-38.1	-37.2	-36.9	-37.3	-38.4	
6505	-53.2	-50.8	-48.0	-45.7	-43.7	-42.1	-40.8	-39.7	-38.8	-38.1	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-37.0	-37.1	-37.5	-38.2	-39.3	-40.9	-43.2	-46.8	-52.2	-51.3	-45.7	-42.0	-39.7	-38.1	-37.2	-36.9	-37.3	-38.5	
6510	-53.1	-50.7	-47.9	-45.6	-43.7	-42.1	-40.8	-39.7	-38.8	-38.1	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-37.0	-37.1	-37.6	-38.3	-39.3	-40.9	-43.3	-47.0	-52.4	-51.1	-45.6	-42.0	-39.6	-38.1	-37.2	-37.0	-37.3	-38.5	
6515	-53.0	-50.5	-47.8	-45.5	-43.6	-42.0	-40.7	-39.7	-38.8	-38.1	-37.6	-37.5	-37.2	-37.0	-37.0	-37.2	-37.6	-38.3	-39.4	-41.0	-43.4	-47.1	-52.6	-50.9	-45.4	-41.9	-39.5	-38.0	-37.2	-37.0	-37.4	-38.6	
6520	-52.9	-50.4	-47.7	-45.4	-43.5	-42.0	-40.7	-39.6	-38.8	-38.1	-37.5	-37.5	-37.2	-37.0	-37.0	-37.2	-37.6	-38.4	-39.5	-41.1	-43.5	-47.3	-52.7	-50.7	-45.3	-41.8	-39.5	-38.0	-37.2	-37.0	-37.4	-38.7	
6525	-52.8	-50.3	-47.6	-45.3	-43.4	-41.9	-40.6	-39.6	-38.7	-38.0	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.0	-37.2	-37.7	-38.4	-39.5	-41.2	-43.6	-47.5	-52.9	-50.5	-45.2	-41.7	-39.4	-38.0	-37.2	-37.0	-37.4	-38.7	
6530	-52.7	-50.1	-47.5	-45.2	-43.4	-41.9	-40.6	-39.6	-38.7	-38.0	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.0	-37.2	-37.7	-38.4	-39.6	-41.2	-43.8	-47.7	-53.0	-50.3	-45.0	-41.6	-39.4	-38.0	-37.2	-37.0	-37.5	-38.8	
6535	-52.6	-50.0	-47.3	-45.1	-43.3	-41.8	-40.6	-39.5	-38.7	-38.0	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.0	-37.2	-37.7	-38.5	-39.6	-41.3	-43.9	-47.8	-53.2	-50.1	-44.9	-41.5	-39.3	-37.9	-37.2	-37.0	-37.5	-38.8	
6540	-52.5	-49.9	-47.2	-45.0	-43.2	-41.7	-40.5	-39.5	-38.7	-38.0	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.0	-37.3	-37.7	-38.5	-39.7	-41.4	-44.0	-48.0	-53.3	-49.9	-44.8	-41.5	-39.3	-37.9	-37.2	-37.0	-37.5	-38.9	
6545	-52.4	-49.7	-47.1	-44.9	-43.2	-41.7	-40.5	-39.5	-38.6	-38.0	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.0	-37.3	-37.8	-38.6	-39.7	-41.5	-44.1	-48.2	-53.4	-49.7	-44.6	-41.4	-39.2	-37.9	-37.2	-37.0	-37.6	-39.0	
6550	-52.3	-49.6	-47.0	-44.9	-43.1	-41.6	-40.4	-39.4	-38.6	-38.0	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.1	-37.3	-37.8	-38.6	-39.8	-41.6	-44.2	-48.4	-53.5	-49.5	-44.5	-41.3	-39.2	-37.9	-37.1	-37.0	-37.6	-39.0	
6555	-52.2	-49.5	-46.9	-44.8	-43.0	-41.6	-40.4	-39.4	-38.6	-37.9	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.1	-37.3	-37.8	-38.6	-39.9	-41.7	-44.4	-48.6	-53.5	-49.3	-44.4	-41.2	-39.1	-37.8	-37.1	-37.1	-37.6	-39.1	
6560	-52.1	-49.3	-46.8	-44.7	-43.0	-41.5	-40.3	-39.4	-38.6	-37.9	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.1	-37.3	-37.9	-38.7	-39.9	-41.7	-44.5	-48.8	-53.6	-49.1	-44.3	-41.2	-39.1	-37.8	-37.1	-37.1	-37.7	-39.2	
6565	-51.9	-49.2	-46.7	-44.6	-42.9	-41.5	-40.3	-39.3	-38.5	-37.9	-37.5	-37.4	-37.2	-37.0	-37.1	-37.4	-37.9	-38.7	-40.0	-41.8	-44.6	-49.0	-53.6	-48.9	-44.1	-41.1	-39.1	-37.8	-37.1	-37.1	-37.7	-39.2	
6570	-51.8	-49.1	-46.6	-44.5	-42.8	-41.4	-40.3	-39.3	-38.5	-37.9	-37.4	-37.4	-37.2	-37.0	-37.1	-37.4	-37.9	-38.8	-40.1	-41.9	-44.7	-49.2	-53.6	-48.7	-44.0	-41.0	-39.0	-37.8	-37.1	-37.1	-37.8	-39.3	
6575	-51.7	-48.9	-46.5	-44.4	-42.8	-41.4	-40.2	-39.3	-38.5	-37.9	-37.4	-37.4	-37.2	-37.0	-37.1	-37.4	-38.0	-38.8	-40.1	-42.0	-44.9	-49.4	-53.6	-48.5	-43.9	-40.9	-39.0	-37.7	-37.1	-37.1	-37.8	-39.4	
6580	-51.6	-48.8	-46.4	-44.4	-42.7	-41.3	-40.2	-39.2	-38.5	-37.9	-37.4	-37.4	-37.2	-37.0	-37.1	-37.4	-38.0	-38.9	-40.2	-42.1	-45.0	-49.6	-53.5	-48.3	-43.8	-40.9	-38.9	-37.7	-37.1	-37.1	-37.8	-39.4	
6585	-51.4	-48.7	-46.3	-44.3	-42.6	-41.3	-40.1	-39.2	-38.4	-37.8	-37.4	-37.4	-37.2	-37.1	-37.2	-37.5	-38.0	-38.9	-40.2	-42.2	-45.1	-49.8	-53.5	-48.2	-43.7	-40.8	-38.9	-37.7	-37.1	-37.2	-37.9	-39.5	

La Tabla 09 muestra en la última fila lo que correspondería al valor máximo o valor de señal esperado respecto de todas las frecuencias evaluadas en la banda de 6 GHz. Este valor es tomado como referencia para calcular los desvanecimientos de señal, en cada uno de los 32 valores de refractividad considerados, y sus respectivas condiciones climáticas de presión temperatura y humedad asociadas.

3.7.4. Identificación de desvanecimientos enlace Pacasmayo - Reque

Conforme el orden de ideas antes descrito, el comportamiento buscado para la señal recibida en la estación Reque, es una señal que pueda mantener una baja variabilidad en toda la banda de frecuencia comprendida entre los 6425 MHz y 6760 MHz (diferentes canales que se puedan conformar en la banda).

Según la recomendación ITU-R P.530-13 (2013), se considera un desvanecimiento al decaimiento del valor de señal recibida a partir del rango de 3dB. En tal sentido, en la Tabla 10 y Tabla 11, para todas las frecuencias evaluadas, se han identificado en color rojo aquellos valores que representan diferencias mayores o iguales a 3dB por debajo del valor de señal esperado. Esta identificación se ha realizado para los diversos valores de refractividad superficial evaluados por simulación.

Conforme los datos presentados se aprecia rangos de refractividad superficial más bajos ($250 \text{ Nunits} < N_s < 280 \text{ Nunits}$), en donde se producen desvanecimientos importantes en frecuencias hasta 6655 MHz. Del mismo modo se aprecian rangos de refractividad más altos ($330 \text{ Nunits} < N_s < 375 \text{ Nunits}$) en donde aparecen desvanecimientos en todas las frecuencias. Finalmente se aprecia un tercer rango ($395 \text{ Nunits} < N_s < 400 \text{ Nunits}$) en donde se afecta a las frecuencias superiores a 6630 MHz. Con estos datos, se presentarán los resultados en el próximo apartado.

Tabla 10. Desvanecimientos de señal recibida enlace Pacasmayo - Reque identificados en el rango 6425 MHz a 6585 MHz

freq. (MHz)	Refractividad superficial Ns (N units)																																							
	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	301	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400								
6425	6.2	7.7	6.7	5.4	4.3	3.4	2.7	2.0	1.4	1.0	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	10.1	7.7	4.7	2.8	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0								
6430	6.2	7.6	6.6	5.3	4.2	3.3	2.6	1.9	1.4	1.0	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	1.6	10.1	7.5	4.6	2.7	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0								
6435	6.3	7.5	6.5	5.2	4.1	3.3	2.5	1.9	1.4	0.9	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	1.8	10.0	7.3	4.5	2.6	1.3	0.3	0.0	0.1	0.1							
6440	6.3	7.4	6.3	5.0	4.0	3.2	2.5	1.9	1.3	0.9	0.5	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	2.0	9.9	7.2	4.3	2.6	1.3	0.3	0.0	0.1	0.1							
6445	6.4	7.3	6.2	4.9	3.9	3.1	2.4	1.8	1.3	0.9	0.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	2.2	9.9	7.0	4.2	2.5	1.2	0.3	0.0	0.1	0.2							
6450	6.4	7.1	6.1	4.8	3.8	3.0	2.4	1.8	1.3	0.9	0.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.7	2.5	9.8	6.8	4.1	2.4	1.2	0.3	0.0	0.1	0.2							
6455	6.4	7.0	5.9	4.7	3.7	3.0	2.3	1.7	1.2	0.8	0.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.6	0.9	2.7	9.6	6.6	4.0	2.4	1.2	0.3	0.0	0.2	0.3							
6460	6.4	6.9	5.8	4.6	3.7	2.9	2.3	1.7	1.2	0.8	0.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0	2.9	9.5	6.4	3.9	2.3	1.1	0.2	0.0	0.2	0.3								
6465	6.4	6.8	5.7	4.5	3.6	2.8	2.2	1.6	1.2	0.8	0.4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.8	1.1	3.1	9.4	6.3	3.8	2.2	1.1	0.2	0.0	0.2	0.4								
6470	6.4	6.6	5.5	4.4	3.5	2.8	2.2	1.6	1.1	0.8	0.4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.9	1.3	3.3	9.2	6.1	3.7	2.2	1.0	0.2	0.0	0.2	0.4								
6475	6.4	6.5	5.4	4.3	3.4	2.7	2.1	1.6	1.1	0.7	0.4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	0.6	1.0	1.4	3.5	9.1	5.9	3.6	2.1	1.0	0.2	0.0	0.3	0.5								
6480	6.3	6.4	5.3	4.2	3.3	2.7	2.1	1.5	1.1	0.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	0.7	1.1	1.6	3.7	8.9	5.8	3.5	2.0	1.0	0.2	0.0	0.3	0.5								
6485	6.3	6.2	5.1	4.1	3.3	2.6	2.0	1.5	1.1	0.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.2	1.8	3.9	8.7	5.6	3.4	2.0	0.9	0.2	0.0	0.3	0.6								
6490	6.3	6.1	5.0	4.0	3.2	2.5	2.0	1.4	1.0	0.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.4	0.6	0.8	1.3	1.9	4.1	8.5	5.5	3.3	1.9	0.9	0.2	0.0	0.3	0.6								
6495	6.2	6.0	4.9	4.1	3.1	2.5	1.9	1.4	1.0	0.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.4	2.1	4.3	8.3	5.3	3.2	1.9	0.9	0.1	0.0	0.4	0.7								
6500	6.1	5.8	4.8	3.8	3.0	2.4	1.9	1.4	1.0	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	1.0	1.5	2.2	4.5	8.1	5.2	3.1	1.8	0.8	0.1	0.0	0.4	0.7								
6505	6.1	5.7	4.6	3.7	2.9	2.3	1.8	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	0.5	0.8	1.1	1.6	2.4	4.7	7.9	5.0	3.0	1.8	0.8	0.1	0.0	0.4	0.8								
6510	6.0	5.6	4.5	3.6	2.9	2.3	1.8	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	0.5	0.6	0.8	1.1	1.7	2.6	4.9	7.7	4.9	3.0	1.7	0.8	0.1	0.1	0.4	0.8								
6515	5.9	5.4	4.4	3.5	2.8	2.2	1.7	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.9	1.2	1.8	2.7	5.1	7.5	4.7	2.9	1.6	0.7	0.1	0.1	0.5	0.9								
6520	5.8	5.3	4.3	3.4	2.7	2.2	1.7	1.2	0.9	0.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.9	2.9	5.2	7.3	4.6	2.8	1.6	0.7	0.1	0.1	0.5	1.0								
6525	5.7	5.2	4.2	3.3	2.6	2.1	1.6	1.2	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	0.7	1.0	1.4	2.0	3.1	5.4	7.1	4.5	2.7	1.5	0.7	0.1	0.1	0.5	1.0								
6530	5.6	5.0	4.1	3.2	2.6	2.1	1.6	1.2	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	0.7	1.1	1.4	2.2	3.3	5.5	6.9	4.3	2.6	1.5	0.7	0.1	0.1	0.6	1.1								
6535	5.5	4.9	3.9	3.1	2.5	2.0	1.6	1.1	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	0.8	1.1	1.5	2.3	3.4	5.7	6.7	4.2	2.5	1.4	0.6	0.1	0.1	0.6	1.1								
6540	5.4	4.8	3.8	3.0	2.4	1.9	1.5	1.1	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.2	1.6	2.4	3.6	5.8	6.5	4.1	2.5	1.4	0.6	0.1	0.1	0.6	1.2								
6545	5.3	4.6	3.7	2.9	2.4	1.9	1.5	1.1	0.7	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.2	1.7	2.5	3.8	5.9	6.3	3.9	2.4	1.3	0.6	0.1	0.1	0.7	1.3								
6550	5.2	4.5	3.6	2.9	2.3	1.8	1.4	1.0	0.7	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.7	0.9	1.3	1.8	2.6	4.0	6.0	6.1	3.8	2.3	1.3	0.6	0.0	0.1	0.7	1.3								
6555	5.1	4.4	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.0	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.7	0.9	1.4	1.9	2.8	4.2	6.0	5.9	3.7	2.2	1.2	0.5	0.0	0.2	0.7	1.4								
6560	5.0	4.2	3.4	2.7	2.2	1.7	1.3	1.0	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.8	1.0	1.4	1.9	2.9	4.4	6.1	5.7	3.6	2.2	1.2	0.5	0.0	0.2	0.8	1.5								
6565	4.8	4.1	3.3	2.6	2.1	1.7	1.3	0.9	0.6	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.6	6.1	5.5	3.4	2.1	1.2	0.5	0.0	0.2	0.8	1.5								
6570	4.7	4.0	3.2	2.5	2.0	1.6	1.3	0.9	0.6	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.8	1.1	1.6	2.1	3.1	4.8	6.1	5.3	3.3	2.0	1.1	0.5	0.0	0.2	0.9	1.6								
6575	4.6	3.8	3.1	2.4	2.0	1.6	1.2	0.9	0.6	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.9	1.1	1.6	2.2	3.3	5.0	6.1	5.1	3.2	1.9	1.1	0.4	0.0	0.2	0.9	1.7								
6580	4.5	3.7	3.0	2.4	1.9	1.5	1.2	0.8	0.6	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.5	0.9	1.2	1.7	2.3	3.4	5.2	6.0	4.9	3.1	1.9	1.0	0.4	0.0	0.2	0.9	1.7								
6585	4.3	3.6	2.9	2.3	1.8	1.5	1.1	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.4	0.6	0.9	1.2	1.7	2.4	3.5	5.4	6.0	4.8	3.0	1.8	1.0	0.4	0.0	0.3	1.0	1.8								

Tabla 11. Desvanecimientos de señal recibida enlace Pacasmayo - Reque identificados en el rango 6425 MHz a 6585 MHz

freq. (MHz)	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	301	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400
6590	4.2	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.1	0.8	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	1.0	1.3	1.8	2.5	3.7	5.6	5.9	4.6	2.9	1.7	0.9	0.4	0.0	0.3	1.0	1.9
6595	4.1	3.4	2.7	2.1	1.7	1.4	1.1	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	1.0	1.3	1.9	2.6	3.8	5.8	5.8	4.4	2.8	1.7	0.9	0.4	0.0	0.3	1.1	2.0
6600	3.9	3.2	2.6	2.0	1.6	1.3	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	1.0	1.4	1.9	2.7	3.9	6.0	5.7	4.2	2.7	1.6	0.9	0.3	0.0	0.3	1.1	2.0
6605	3.8	3.1	2.5	2.0	1.6	1.3	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.7	1.1	1.4	2.0	2.8	4.1	6.2	5.6	4.1	2.6	1.5	0.8	0.3	0.0	0.3	1.1	2.1
6610	3.7	3.0	2.4	1.9	1.5	1.2	0.9	0.7	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.7	1.1	1.5	2.1	2.9	4.2	6.4	5.4	3.9	2.5	1.5	0.8	0.3	0.0	0.3	1.2	2.2
6615	3.5	2.9	2.3	1.8	1.5	1.2	0.9	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.7	1.1	1.5	2.2	3.0	4.4	6.6	5.3	3.7	2.4	1.4	0.7	0.3	0.0	0.4	1.2	2.3
6620	3.4	2.8	2.2	1.7	1.4	1.1	0.9	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.7	1.2	1.6	2.2	3.1	4.5	6.8	5.1	3.6	2.3	1.3	0.7	0.3	0.0	0.4	1.3	2.4
6625	3.3	2.6	2.1	1.7	1.4	1.1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.8	1.2	1.6	2.3	3.2	4.7	7.0	5.0	3.4	2.2	1.3	0.7	0.3	0.0	0.4	1.3	2.4
6630	3.1	2.5	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.5	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.8	1.3	1.7	2.4	3.3	4.8	7.2	4.8	3.3	2.1	1.2	0.6	0.2	0.0	0.4	1.4	2.5
6635	3.0	2.4	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.8	1.3	1.7	2.4	3.4	5.0	7.4	4.6	3.1	2.0	1.2	0.6	0.2	0.0	0.5	1.4	2.6
6640	2.9	2.3	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.8	1.3	1.8	2.5	3.5	5.1	7.6	4.4	3.0	1.9	1.1	0.6	0.2	0.0	0.5	1.5	2.7
6645	2.7	2.2	1.8	1.4	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.6	0.9	1.4	1.8	2.6	3.6	5.3	7.8	4.2	2.8	1.8	1.0	0.5	0.2	0.0	0.5	1.5	2.8
6650	2.6	2.1	1.7	1.3	1.1	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.9	1.4	1.9	2.7	3.7	5.5	7.9	4.1	2.7	1.7	1.0	0.5	0.2	0.0	0.5	1.6	2.9
6655	2.5	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.9	1.5	1.9	2.7	3.8	5.6	8.1	3.9	2.5	1.6	0.9	0.5	0.2	0.1	0.6	1.6	3.0
6660	2.4	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	1.5	2.0	2.8	3.9	5.8	8.3	3.7	2.4	1.5	0.9	0.4	0.2	0.1	0.6	1.7	3.1
6665	2.2	1.8	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	1.5	2.1	2.9	4.0	6.0	8.4	3.5	2.2	1.4	0.8	0.4	0.1	0.1	0.6	1.7	3.1
6670	2.1	1.7	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	1.6	2.1	3.0	4.1	6.1	8.6	3.3	2.1	1.3	0.8	0.4	0.1	0.1	0.6	1.8	3.2
6675	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.0	1.6	2.2	3.0	4.2	6.3	8.7	3.1	2.0	1.3	0.7	0.4	0.1	0.1	0.7	1.8	3.3
6680	1.9	1.5	1.2	0.9	0.8	0.6	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.1	1.7	2.2	3.1	4.4	6.5	8.9	2.9	1.8	1.2	0.7	0.3	0.1	0.1	0.7	1.9	3.4
6685	1.7	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.1	1.7	2.3	3.2	4.5	6.7	9.0	2.7	1.7	1.1	0.6	0.3	0.1	0.1	0.7	2.0	3.5
6690	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.1	1.7	2.3	3.3	4.6	6.8	9.1	2.5	1.6	1.0	0.6	0.3	0.1	0.1	0.8	2.0	3.6
6695	1.5	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	1.2	1.8	2.4	3.4	4.7	7.0	9.1	2.3	1.5	0.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0.8	2.1	3.7
6700	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	1.2	1.8	2.5	3.5	4.8	7.2	9.2	2.1	1.3	0.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0.8	2.1	3.8
6705	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	1.2	1.9	2.5	3.5	5.0	7.4	9.2	1.9	1.2	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1	0.9	2.2	3.9
6710	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	1.3	1.9	2.6	3.6	5.1	7.6	9.3	1.7	1.1	0.7	0.4	0.2	0.1	0.2	0.9	2.3	4.1
6715	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	1.3	2.0	2.6	3.7	5.2	7.8	9.3	1.5	1.0	0.6	0.3	0.1	0.1	0.2	0.9	2.3	4.2
6720	0.9	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	1.3	2.0	2.7	3.8	5.3	8.0	9.3	1.4	0.9	0.6	0.3	0.1	0.1	0.2	1.0	2.4	4.3
6725	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	1.4	2.1	2.8	3.9	5.5	8.1	9.2	1.2	0.8	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2	1.0	2.4	4.4
6730	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	1.4	2.1	2.8	4.0	5.6	8.3	9.2	1.0	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	1.0	2.5	4.5
6735	0.6	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.9	1.4	2.2	2.9	4.1	5.7	8.5	9.1	0.8	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	1.1	2.6	4.6
6740	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0	1.5	2.2	3.0	4.2	5.9	8.7	9.0	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	1.1	2.6	4.7
6745	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0	1.5	2.3	3.0	4.3	6.0	8.9	8.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.3	1.2	2.7	4.9
6750	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0	1.5	2.3	3.1	4.4	6.1	9.1	8.8	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	2.8	5.0
6755	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.6	2.4	3.2	4.4	6.3	9.3	8.7	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	2.9	5.1
6760	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.1	1.6	2.4	3.2	4.5	6.4	9.5	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.3	2.9	5.2

3.7.5. Condiciones climáticas asociadas a valores de refractividad

Conforme los datos recopilados por la estación meteorológica Reque, perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); En la Tabla 12, se presenta un resumen de los datos climáticos máximos y mínimos de la zona desértica del emplazamiento donde se recibe la señal del enlace Pacasmayo – Reque. Estos datos han sido tomados como referencia para asociar posibles combinaciones de presión atmosférica (mbar), temperatura (°C) y humedad (%), a valores de refractividad superficial (Ns), conforme el método de cálculo establecido por la recomendación ITU-R P.530-16.

Tabla 12. Referencia valores máximos y mínimos estación Reque

Variable climática	mínimo	máximo	unidades
Temperatura	15	35	°C
Presión Atmosférica	1010	1014	mbar
Humedad	50	90	%

Fuente SENAMHI (2022)

Conforme los datos recopilados por la estación meteorológica Reque, perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); En la Tabla 12, se presenta un resumen de los datos climáticos máximos y mínimos de la zona desértica del emplazamiento donde se recibe la señal del enlace Pacasmayo – Reque. Estos datos han sido tomados como referencia para asociar posibles combinaciones de presión atmosférica (mbar), temperatura (°C) y humedad (%), a valores de refractividad superficial (Ns), conforme el método de cálculo establecido por la recomendación ITU-R P.530-16.

De esta manera se presenta las Tablas N° 13 en donde se aprecia un resumen de los valores de Presión atmosférica, Temperatura y Humedad, asociados a diferentes valores de refractividad superficial Ns.

Tabla 13. *Estimación de condiciones climáticas asociadas a valores Ns*

P(mbar)	t (°C)	H(%)	N _s	P(mbar)	t (°C)	H(%)	N _s	P(mbar)	t (°C)	H(%)	N _s
1012	15	50	311	1012	20	50	319	1012	30	50	346
1014	15	50	312	1014	20	50	320	1014	30	50	346
1016	15	50	312	1016	20	50	320	1016	30	50	347
1012	15	60	319	1012	20	60	329	1012	30	60	363
1014	15	60	319	1014	20	60	330	1014	30	60	364
1016	15	60	320	1016	20	60	330	1016	30	60	364
1012	15	70	327	1012	20	70	340	1012	30	70	381
1014	15	70	327	1014	20	70	340	1014	30	70	381
1016	15	70	328	1016	20	70	341	1016	30	70	382
1012	15	80	334	1012	20	80	350	1012	30	80	398
1014	15	80	335	1014	20	80	350	1014	30	80	398
1016	15	80	335	1016	20	80	351	1016	30	80	399
1012	15	90	342	1012	20	90	360	1012	30	90	415
1014	15	90	343	1014	20	90	360	1014	30	90	416
1016	15	90	343	1016	20	90	361	1016	30	90	416
1012	15	50	311	1012	25	50	330	1012	35	50	366
1014	15	50	312	1014	25	50	331	1014	35	50	367
1016	15	50	312	1016	25	50	331	1016	35	50	367
1012	15	60	319	1012	25	60	344	1012	35	60	388
1014	15	60	319	1014	25	60	344	1014	35	60	389
1016	15	60	320	1016	25	60	345	1016	35	60	389
1012	15	70	327	1012	25	70	357	1012	35	70	411
1014	15	70	327	1014	25	70	358	1014	35	70	411
1016	15	70	328	1016	25	70	358	1016	35	70	412
1012	15	80	334	1012	25	80	371	1012	35	80	433
1014	15	80	335	1014	25	80	371	1014	35	80	433
1016	15	80	335	1016	25	80	372	1016	35	80	434
1012	15	90	342	1012	25	90	384	1012	35	90	455
1014	15	90	343	1014	25	90	384	1014	35	90	456
1016	15	90	343	1016	25	90	385	1016	35	90	456

En el mismo orden de ideas, se ha elaborado la Tabla 14, en donde se han cuantificado el porcentaje de aparición los diferentes rangos estimados para N_s, de manera que pueda visibilizarse, los rangos de mayor y menor aparición en las estimaciones realizadas.

Tabla 14. *Porcentajes de hallazgos de distintos valores Ns*

Ns (Nunits)	% aparición
Ns < 300	0%
300 < Ns < 350	54%
351 < Ns < 370	16%
371 < Ns < 400	17%
Ns > 400	13%

Conforme la Tabla 14, el rango Ns de mayor aparición en el emplazamiento de recepción del enlace Pacasmayo - Reque, corresponde a 300 Nunits < Ns < 350 Nunits (54 %), seguido del rango 371 Nunits < Ns < 400 Nunits (17 %) y del rango 351 Nunits < Ns < 370 Nunits (16%)

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

A fin de poder representar adecuadamente los resultados obtenidos, se ha elaborado una gráfica resumen en donde se pueden identificar los desvanecimientos más notables en función de la frecuencia y de los valores de refractividad superficial evaluados. De acuerdo a la magnitud del desvanecimiento identificado se ha empleado una escala de colores para poder representarlos. La Figura 13 presenta los desvanecimientos identificados en función de la frecuencia y refractividad superficial.

En dicha gráfica se puede apreciar que los desvanecimientos más considerables (8 a 10 dB), aparecen en el rango de refractividad correspondiente a $350 \text{ Nunits} < N_s < 370 \text{ Nunits}$, asimismo es notoria su aparición en las frecuencias o canales más bajos de la banda 6 GHz (frecuencias de ida CH01 y CH02), apareciendo también en los canales o frecuencias más altas de la banda de 6 GHz (frecuencias de ida CH06, CH07 y CH08). En cuanto a los canales o frecuencias centrales, (frecuencias de ida CH03, CH04 y CH05), los desvanecimientos identificados llegan hasta valores intermedios de desvanecimiento (6 a 7 dB).

Respecto de la aparición de desvanecimientos en los rangos de refractividad $250 \text{ Nunits} < N_s < 280 \text{ Nunits}$, conforme lo analizado en la Tabla 14 del apartado anterior, estas condiciones pueden ser descartadas o consideradas con baja posibilidad de aparición debido a que, para llegar a estos rangos de refractividad superficial, se requeriría valores de temperatura y humedad, por debajo de los rangos históricos reportados por la estación Reque.

Respecto de la aparición de desvanecimientos en los rangos de refractividad cercanos a o superiores a 400 Nunits, se tiene la aparición de los valores más bajos de desvanecimientos. En este sentido las fluctuaciones de señal podrían no llegar a ser críticas para el enlace.

4.2. Docimasia de hipótesis

Considerando los resultados presentados, el rango más crítico de aparición de desvanecimientos de señal (6 a 10 dB) en el enlace Pacasmayo - Reque, se ha presentado en rangos altos de reflectividad superficial $350 \text{ Nunits} < N_s < 370 \text{ Nunits}$, observándose que en todo el rango de frecuencia se han presentado desvanecimientos, ya sea en rango intermedio (6-7 dB) o rango alto (8-10 dB).

Dentro del rango de reflectividad antes señalado, de las 68 frecuencias evaluadas en la banda de 6 GHz, predomina el desvanecimiento intermedio en el 35% de ellas, asimismo en el 65% restante predomina el desvanecimiento con valores altos, es decir hay una presencia de desvanecimiento plano con mayor intensidad al inicio y fin de la banda y menor intensidad de desvanecimiento en frecuencias centrales de la banda. Por todo lo expresado los autores afirman que el resultado del análisis realizado lleva afirmar el hallazgo de un desvanecimiento plano en frecuencia en la banda de 6 GHz, para valores altos de reflectividad entre 350 Nunits y 370 Nunits, con lo cual se considera que se ha cumplido la hipótesis propuesta en la presente investigación.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Respecto de los parámetros técnicos empleados para reproducir el enlace microondas Pacasmayo - Reque, los requerimientos de dichos parámetros pueden ser agrupados en tres categorías entre las que se pueden mencionar, parámetros de potencia y pérdidas internas Tx/Rx del transceptor, parámetros de radiación y altura antena microondas, y parámetros de atenuación de línea de transmisión o guía de onda. En tal sentido se coincide con Pérez, F. y Ortiz, G. (2019) y Del Rosario, C. (2019) respecto de los parámetros empleados, destacando que los niveles esperados de señal recibida poseen un valor esperado entre -47 dBm a -35 dBm, lo cual es un valor de referencia para la calibración de las simulaciones. En cuanto a los parámetros complementarios de simulación, en el caso de refractividad superficial se ha empleado el rango completo disponible por la herramienta de simulación ($250 \text{ Nunits} < N_s < 400 \text{ Nunits}$). Asimismo, en el caso de la frecuencia se ha empleado la variación completa en pasos de 5 MHz de la mitad inferior de la banda de 6 GHz conforme recomendación ITU-R F.384 (plan de frecuencias con enlace de ida Pacasmayo Tx – Reque Rx). En tal sentido la evaluación de la mitad superior de la banda (high frequencies) escapa del alcance del presente trabajo pues correspondería al enlace de vuelta (Reque Tx – Pacasmayo Rx).

Los hallazgos de desvanecimientos en el enlace Pacasmayo - Reque, se han podido identificar en rangos específicos de refractividad superficial y frecuencia. De esta forma se encontraron desvanecimientos de nivel intermedio en el rango de valores $250 \text{ Nunits} < N_s < 280 \text{ Nunits}$ para el rango de frecuencia más bajo de la banda, lo cual coincide con la investigación de Laser Radars Lab, Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences, (2019), sin embargo los rangos climáticos asociados a estos valores de refractividad no son compatibles con la variabilidad climática de Reque, orientándose más a una zona de costera de menor temperatura, y humedad como las zonas europeas donde se realizó dicha investigación antecedente. Respecto de los desvanecimientos en el rango $N_s > 390 \text{ Nunits}$, se encuentra coincidencia con la investigación de Ikechukwu, E., Chioma, M., & Josephine, O. (2015), dado que en dicho rango se observó una tendencia

a incrementar la profundidad de los desvanecimientos con el aumento de frecuencia. Se considera que en este caso si hay coincidencia con el comportamiento investigado en zonas tropicales de Nsukka (Nigeria), sin embargo, sólo se pudo evaluar hasta $N_s = 400$ debido a las limitaciones de la herramienta de simulación.

En los desvanecimientos en el rango de refractividad superficial $350 \text{ Nunits} < N_s < 370 \text{ Nunits}$, se reconoce una tendencia a generar desvanecimientos altos e intermedios en toda la banda de frecuencia 6 GHz, es decir, una tendencia al desvanecimiento plano en ese rango de refractividad. En este sentido se encuentra coincidencia con la investigación desarrollada por Znhao, X., Zhang, Y., Vainikainen, P., & Yixi, X. (2001) en donde se empleó un enlace despejado entre una ciudad de mayor altura y rugosidad geográfica, a una ciudad de menor altura y rugosidad geográfica. En este caso existe coincidencia en el desvanecimiento plano, a pesar de que estas ciudades se encuentran en otro perfil climático, (menor temperatura, humedad y presión atmosférica).

A partir del hallazgo del desvanecimiento plano en el rango de refractividad superficial $350 \text{ Nunits} < N_s < 370 \text{ Nunits}$ (rango mas desfavorable), se pueden inferir en base a la recomendación ITU-R P.530-16, y la Tabla 13, las condiciones climáticas asociadas a dicho rango de refractividad. De esta manera se ha identificado que el escenario climático que desfavorece el enlace corresponde a un aumento de temperatura desde los 20°C a los 35°C , con un descenso en la humedad desde 90% al 50% de humedad. En la Figura 14 se muestra esta identificación de condiciones desfavorables.

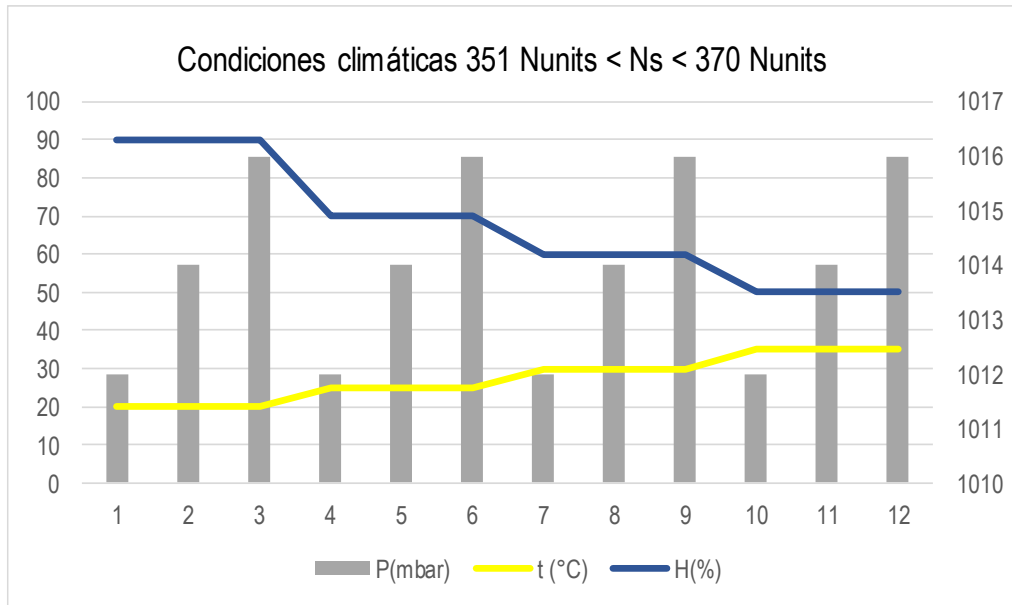


Figura 14. *Condiciones climáticas asociadas al rango más desfavorable Ns*

VI. CONCLUSIONES

- La identificación de parámetros técnicos de enlace microondas para efectos de simulación se pueden clasificar en tres categorías: parámetros de potencia transmisión / recepción del transceptor, parámetros de radiación y altura de antena, y parámetros de pérdida de la línea o guía de onda en radiofrecuencia. Los valores esperados de potencia de recepción se encuentran en el rango -47 dBm a -35 dBm para el enlace Pacasmayo a Reque.
- Los parámetros complementarios de simulación para respuesta en frecuencia deben considerar la normatividad de canalización conforme recomendaciones internacionales ITU-R, y relacionarse con algún parámetro que permita evaluar la variabilidad de señal. Para el caso del presente estudio se ha elegido la refractividad superficial como el parámetro que permite describir la respuesta en frecuencia en condiciones de variabilidad climática.
- Se considera como hallazgo principal del presente trabajo, la identificación del rango de valores de refractividad superficial $350 \text{ Nunits} < N_s < 370 \text{ Nunits}$, el cual se encuentra asociado a la aparición de desvanecimiento plano en toda la banda de frecuencia de ida 6 GHz para el enlace Pacasmayo - Reque. Los valores de refractividad superficial N_s , pueden ser asociados a valores de presión atmosférica, temperatura y humedad, por medio de la recomendación ITU-R P.530-16.
- La aplicación de la recomendación ITU-R P.530-16 permitió identificar condiciones climáticas asociadas a la aparición de desvanecimiento plano en el rango de ida (low frequency) de la banda de 6 GHz para el enlace Pacasmayo - Reque. Estas condiciones corresponden a una condición ascendente de temperatura (20 °C a 35 °C) con la aparición paralela de un descenso en la humedad (90% a 50%). La presión atmosférica posee poca variabilidad en la zona.

VII. RECOMENDACIONES

- En el presente trabajo se ha evaluado la variabilidad en frecuencia de la señal recibida, en el enlace de ida Pacasmayo – Reque. Conforme al plan de frecuencias ITU-R F.384 para el enlace de ida en la banda de 6 GHz corresponde la asignación de frecuencias en la franja inferior de dicha banda. En tal sentido se considera como una oportunidad de ampliación del presente trabajo, la evaluación del enlace de vuelta (Reque Tx, Pacasmayo Rx) en la franja superior de la banda (enlace de vuelta), considerando que con ello se pueden encontrar hallazgos y recomendaciones significativas para la condición bidireccional del enlace.
- En enlaces dorsales microondas tal como el enlace Pacasmayo - Reque, u otros existentes en la franja desértica peruana, es común el uso de técnicas para reducir los efectos del mutitrayecto o desvanecimiento selectivo, tales técnicas como diversidad de espacio o diversidad de frecuencia también pueden ser analizadas para evaluar su comportamiento o respuesta ante la variación de refractividad superficial y variación de frecuencia. En este orden de ideas se considera una importante oportunidad de ampliar la presente investigación.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (4^a ed.). México, México: Pearson Education.
- Pérez, C., Zamanillo, J., y Casanueva A. (2007) *Sistemas de Telecomunicación*. Santander, España: Servicios de publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Manning T. (2009) *Microwave Radio Transmission Design Guide* (2a ed.). Canton Street Norwood Massachusetts, United States of America: Artech House.
- Alam, I., Najam-Ul-Islam, M., Mujahid, U., et. al (2017) *Refractivity variations and propagation at Ultra High Frequency*. Documento de Investigación. Results in Physics, Islamabad, Pakistan, Department of Electrical Engineering, Bahria University.
- Béjar, G. (1983) *Estudio para la implementación de Servicios de Telecomunicaciones Empresariales por Satélite (VSAT)*. Informe de Ingeniería. Lima. Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Del Rosario, C. (2019) *Identificación de factores climáticos asociados a la degradación de señal recibida, en un segmento de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos, en base a la recomendación ITU-R P.453*. Tesis Pregrado. Trujillo, Perú. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego.
- Gibson, D. J. (1996) *The Communications Handbook*. (2a ed.) Dallas Texas. Southern Methodist University. CRC Press, Inc.

- Ikechukwu, E., Chioma, M., & Josephine, O. (2015) Microwave propagation attenuation due to earth's atmosphere at very high frequency (VHF) and ultra-high frequency (UHF) bands in Nsukka under a clear –air condition. Publicación en International Journal of Physical Sciences. Nsukka, Nigeria. Departamento de Física y Astronomía, Unidad de Ciencias Naturales de la Universidad de Nigeria.
- Manning T. (2009). Microwave Radio Transmission Design Guide (2a ed.). Canton Street Norwood Massachusetts, United States of America: Artech House.
- Sirkova (2019) Frequency dependence of multipath fading over the sea under ducting: refractivity profiles parameters and sea surface roughness influence. Publicación en Jornada de Electromagnetismo Aplicado CEMA´19 Conference. Laboratorio de Radares y Láseres del Instituto de Electrónica. Academia de Ciencias de Bulgaria.
- Pérez, F., & Ortiz, G. (2019), Análisis de desvanecimientos por refractividad para la estimación de alturas de antenas con diversidad espacial en el tramo de interconexión microondas Pacasmayo – Paiján. Tesis Pregrado. Trujillo, Perú. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego.
- Hernández, M. (2012), Tipos y Niveles de Investigación. Maracaibo, Venezuela. Universidad del Zulia.
- Ubiquiti Networks UI Support (2020) airMAX - Planning an Outdoor Wireless Link. Ubiquiti Inc. Recuperado el 06/01/2022 de: <https://help.ubnt.com/hc/en-us/articles/204952224-airMAX-Planning-an-Outdoor-Wireless-Link>.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (2012). *Recomendación ITU-R F.385-10 (03/2012) Radio-frequency channel arrangements for fixed wireless systems operating in the 7 110-7 900 MHz band*. Recuperado el 06/02/2020 de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.385-10-201203-!!!PDF-E.pdf

Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (2015). *Recomendación ITU-R P.530-16 (07/2015) Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems, P Series Radiowave propagation*. Recuperado el 06/02/2020 de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-16-201507-S!!PDF-S.pdf

Willis, M. (2018) *Propagation Tutorial – The Equivalent Earth Radius*. Mike Willis May 5th, 2007. Recuperado el 07/01/2020 de: <http://www.mike-willis.com/Tutorial/PF6.htm>

Znhao, X., Zhang, Y., Vainikainen, P., & Yixi, X. (2001) *Experimental and computer simulation studies of frequency selective fading in terrestrial line-of-sight microwave links*. Documento de Investigación. Radio Science Volume 36, Number 6, Washington D.C. Estados Unidos, American Geophysical Unión.

ANEXO I

HOJAS TÉCNICAS REFERENCIALES EQUIPAMIENTO MICROONDAS

Alcatel-Lucent 9600 LSY Long-Haul Digital Radio Links

By combining high-quality microwave transmission with a cost-cutting modular design, the Alcatel-Lucent 9600 LSY enables flexible, reliable, cost-effective microwave systems for a wide range of long-distance, high-capacity applications. This advanced generation of SDH radio systems is fast and easy to deploy and offers wide interoperability with other synchronous network elements. Its compact, modular design reduces power consumption, simplifies maintenance and allows easy expansion that leverages network investment. Applications include up to NxSTM-1 backbone links, STM-1/STM-4/STM-16 ring closure, backup for fiber optic systems, radio spurs of STM-N backbones or rings, regional links in synchronous networks and efficient support for ATM/IP networks and LAN/WAN connections.



Features

- Advanced radio solution for synchronous networks — In a compact indoor structure
- ITU-R frequency plan utilization
- 128/64 QAM modulation for excellent spectrum efficiency
- Configurable for STM-1 and STM-0 transmission capacity
- Radio link support for regenerator station or WMSN
- Electrical/optical 155 Mb/s, 140 Mb/s PDH, 3x34 Mb/s, 3x45 Mb/s and 63x2 Mb/s access
- Frequency reuse option available for all supported frequency bands
- 2 Mb/s way side traffic transmitted in RFCOH as service traffic for every RF channel
- Network management system fully integrated in the Alcatel-Lucent TMN platform
- STM-1 up to 8 channels in one rack

Benefits

- Flexible support for diverse applications
- High-quality, reliable microwave transmissions
- Fast and easy implementation
- Low power consumption
- Simplified maintenance with wide band tuning
- Scalability and easy expansion that leverages original investment
- Band cost optimization
- 1+1 Line Protection and n+1 Radio Protection

Technical Specifications

RADIO SYSTEM	9648 LSY	9649 LSY	9652 LSY	9657 LSY	9674 LSY	9681 LSY	9688 LSY	9691 LSY	9692 LSY
RF Freq. Band (GHz)	3.6-4.2	4.4-5.0	5.9-6.4	6.4-7.1	7.1-7.7	7.7-8.3	10.0-10.7	10.7-11.7	12.75-13.25
	3.6-4.2				7.1-7.9	8.275-8.5			
RF Channel	F.635	F.1099	F.383	F.384	F.385	F.386	-	F.387	F.497
Arrangements (ITU-R)	F.382	F.746							
RF Channel Spacing (MHz)									
STM-1	28(29/40)	28/40	29.65	40	28	28(29.65)	28	40	28
STM-0	-	-	-	-	14	14	-	-	14
Transmission Capacity (Per RF Channel)	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1
					or 1 x STM-0	or 1 x STM-0			or 1 x STM-0
Modulation	128/64 QAM								
Demodulation	Coherent								
Adaptive Equalizer	19 TAPS								
Spectrum Shaping	Raised Cosine								
Coding Type	MLC								
Frequency Reuse	YES								
Transmitted Power (*)									
ATPC (Max.) (dBm)	32	32	32	32	32	32	30	30	28
ATPC Range (dB)	17	17	17	17	17	17	15	15	13
AGC Dynamic Range (dB)	60								
Receiver Threshold STM1/128 QAM @ BER =1x10 ⁻³ (**) (dBm)	-73	-73	-73	-73	-72.5	-72.5	-72.5	-72.5	-72
Receiver Threshold STM1/128 QAM @ BER =1x10 ⁻⁶ (**) (dBm)	-71	-71	-71	-71	-70.5	-70.5	-70.5	-70.5	-70
Receiver Threshold STM1/64 QAM @ BER =1x10 ⁻³ (**) (dBm)	-76.7	-76.7	-	-76.5	-	-	-	-76	-
Receiver Threshold STM1/64 QAM @ BER =1x10 ⁻⁶ (**) (dBm)	-74.9	-74.9	-	-74.7	-	-	-	-74.2	-
Branching Losses T+R (dB)									
1+1 single polar (STM-1)	6.5	7.0	4.5	4	6.5	5.5	7	5.5	8
3+1 single polar (STM-1)	7.5	8.0	5.5	4.5	7.5	6.5	8	6	8.5
NET SYSTEM GAIN (Point C-C') @ BER =1x10 ⁻³ (dB)									
1+1 single polar (STM-1/128 QAM)	98.5	98.0	100.5	101	98	99	95.5	97	92
3+1 single polar (STM-1/128 QAM)	97.5	97	99.5	100.5	97	98	94.5	96.5	91.5
Net System Gain (Point C-C') at BER =1x10 ⁻³ (dB)									
1+1 single polar (STM-1/64 QAM)	102.2	101.7	-	104.5	-	-	-	100.5	-
3+1 single polar (STM-1/64 QAM)	101.2	100.7	-	104.0	-	-	-	100.0	-
System Standard (ETSI)	EN 300 234 - EN 301 127 - EN 301 660 - EN 301 461 - EN 301 489								
Switching Configuration	N+DN+1								
Switching Type	Hitless								
Station Configuration	Regenerator Term. - Wireless Multi-service Node								
Max Power Cons. (W)									
1+1/0 Regenerator Terminal	≤ 200								
3+1/0 Regenerator Terminal	≤ 360								
7+1/0 Regenerator Terminal	≤ 700								

(*) Tolerance: ± 0.5 dB at ambient temperature; ± 1.5 dB at in temperature range -5 C. to +55 C.

(**) Guaranteed values

Note: In case of channel plans with homopolar channel spacing 28 MHz, the threshold value is 0.5 dB higher.

Applications

- Backbone NxSTM-1 links in trunk network in difficult environments
- Closure of STM-1 and STM-4 fiber optic rings
- Backup for fiber optic trunk links
- Radio spurs of fiber radio STM-N backbones or rings
- Regional links in synchronous networks
- Radio infrastructure for cellular operators entering the telecommunication market
- Support of ATM/IP networks and LAN/WAN connections
- Cost-effective replacement of existing PDH systems

Transmission Capacity

- Maximum capacity per 1F channel spacing:
 - 2 x STM-1 (311.04 Mb/s)
 - STM-0 (51.840 Mb/s)
- Access:
 - STM-1 electrical/optical
 - PDH 139.264 Mb/s
 - 3 x 34/3 x 45 Mb/s
 - 63 x 2 Mb/s

Physical Dimensions

- Rack: 2200 mm x 600 mm x 300 mm (HxWxD)
- Terminal up to 7+1/B+0 in one rack

Auxiliary Channels

- Service channel
 - Omnibus voice channel (E1)
 - Express order wire (E2)
 - 3 x 64 Kb/s G.703
 - 3 x 64 Kb/s V11
 - 1 x 9.6 Kb/s IS 232
 - 1 x 64/128 Kb/s V11
 - TMN channel (D1+D3, D4+D12)
- 2 Mb/s WST
 - STM-1: 1 stream
 - STM-0: not available

Power

- -48 to -60 V dc

Network Management

- F. Interface RS 232 C
- Q&3 Interface: Ethernet AUI
- QECC Interface: D1+D3, D4+D12

Environment

- Environmental conditions: ETSI ETS 300 119
- Temperature: -5 to +55 C
- EMI-EMC:
 - EN 301489-1
 - EN 301489-4
 - EN 5022

Product Specifications



EWP64-65

EWP64, HELIAX® Premium Elliptical Waveguide, 6.425–7.125 GHz, black PE jacket



CHARACTERISTICS

Construction Materials

Jacket Material	PE
Conductor Material	Corrugated copper
Jacket Color	Black

Dimensions

Cable Volume	725.0 L/km 7.8 ft ³ /kft
Cable Weight	0.73 kg/m 0.49 lb/ft
Diameter Over Jacket (E Plane)	48.50 mm 1.91 in
Diameter Over Jacket (H Plane)	28.40 mm 1.12 in

Electrical Specifications

Operating Frequency Band	6.425 – 7.125 GHz
eTE11 Mode Cutoff	4.320 GHz
Group Delay	125 ns/100 ft @ 7.400 GHz 411 ns/100 m @ 7.400 GHz

Environmental Specifications

Installation Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)
Operating Temperature	-55 °C to +85 °C (-67 °F to +185 °F)
Storage Temperature	-70 °C to +85 °C (-94 °F to +185 °F)

General Specifications

Brand	HELIAX®
-------	---------

Mechanical Specifications

Maximum Twist	3.00 °/m 1.00 °/ft
Minimum Bend Radius, Multiple Bends (E Plane)	260.00 mm 10.00 in
Minimum Bend Radius, Multiple Bends (H Plane)	685.00 mm 27.00 in
Minimum Bend Radius, Single Bend (E Plane)	260.00 mm 10.00 in
Minimum Bend Radius, Single Bend (H Plane)	685.00 mm 27.00 in

Standard Conditions

Attenuation, Ambient Temperature	24 °C 75 °F
Average Power, Ambient Temperature	40 °C 104 °F
Average Power, Temperature Rise	42 °C 76 °F

Product Specifications



BWP64-65

Return Loss

Frequency Band	VSWR	Return Loss (dB)
6.425-7.125 GHz	1.06	30.70

Attenuation

Frequency (GHz)	Attenuation (dB/100 ft)	Attenuation (dB/100 m)	Average Power (kW)	Group Velocity %
6.4	1.608	5.276	3.917	74
6.6	1.568	5.145	4.017	75.8
6.8	1.534	5.033	4.107	77.4
7	1.505	4.938	4.186	78.8

Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
RoHS 2002/95/EC	Compliant
China RoHS SJ/T 11364-2006	Below Maximum Concentration Value (MCV)



Product Specifications



HPX10-65-D1A

10 ft High Performance Parabolic Shielded Antenna, dual-polarized, 6.425–7.125 GHz, PDR flange, gray antenna, standard white radome with flash, standard pack—one-piece reflector



CHARACTERISTICS

General Specifications

Diameter, nominal	3.0 m 10 ft
Antenna Input	PDR70
Antenna Type	HPX - High Performance Parabolic Shielded Antenna, dual-polarized
Polarization	Dual
Reflector Construction	One-piece reflector
Antenna Color	Gray
Radome Color	White
Radome Material Description	Standard
Flash Included	Yes
Packing	Standard pack

Electrical Specifications

Operating Frequency Band	6.425 – 7.125 GHz
Gain, Top Band	44.4 dBI
Gain, Mid Band	44.0 dBI
Gain, Low Band	43.6 dBI
Front-to-Back Ratio	70 dB
Cross Polarization Discrimination (XPD)	34 dB
Beamwidth, Horizontal	1.0 °
Beamwidth, Vertical	1.0 °
VSWR	1.06
Return Loss	30.7 dB
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	2655D
Electrical Compliance	US FCC Part 101A US FCC Part 74A ETSI Class 3

Mechanical Specifications

Wind Velocity Operational	112 km/h 70 mph
Wind Velocity Survival Rating	200 km/h 124 mph

HPX10-65 - Radiation Pattern Envelope



ANDREW
RPE: 2655D
Engineering Approved:
28 May 1975

