

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



**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

---

**“Estudio del desempeño de la técnica de diversidad espacial en función de la separación de alturas de antenas mediante simulaciones realizadas para un enlace microondas en una zona costera del departamento de La Libertad”**

---

**Área de Investigación:**  
Antenas y Propagación

**Autor(es):**  
Br. José Jhonatan Cruzado Yaya  
Br. José Vidal Vergara Escobedo

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** León Cerna, Alejandro Martín

**Secretario:** Azabache Fernández, Filiberto Melchor

**Vocal:** De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

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

**TRUJILLO – PERÚ**

**2021**

**Fecha de sustentación: 2022/02/28**

## ACREDITACIONES

**“ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE LA TÉCNICA DE DIVERSIDAD ESPACIAL EN FUNCIÓN DE LA SEPARACIÓN DE ALTURAS DE ANTENAS MEDIANTE SIMULACIONES REALIZADAS PARA UN ENLACE MICROONDAS EN UNA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD”**

Elaborado por:



Br. José Jhonatan Cruzado Yaya



Br. José Vidal Vergara Escobedo

Aprobado por:



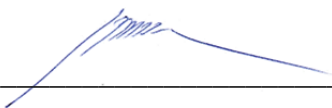
Ms. Ing. Alejandro M. León Cerna  
PRESIDENTE  
CIP N° 177967



Ms. Ing. Filiberto M. Azabache Fernández  
SECRETARIO  
CIP N° 240498



Ms. Ing. Oscar M. De La Cruz Rodríguez  
VOCAL  
CIP N° 92622



Ms. Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez  
ASESOR  
CIP N° 80252

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



**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

---

**“Estudio del desempeño de la técnica de diversidad espacial en función de la separación de alturas de antenas mediante simulaciones realizadas para un enlace microondas en una zona costera del departamento de La Libertad”**

---

**Área de Investigación:**  
Antenas y Propagación

**Autor(es):**

Br. José Jhonatan Cruzado Yaya  
Br. José Vidal Vergara Escobedo

**Jurado Evaluador:**

**Presidente:** León Cerna, Alejandro Martín

**Secretario:** Azabache Fernández, Filiberto Melchor

**Vocal:** De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

**Asesor:**

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

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

**TRUJILLO – PERÚ**

**2021**

Fecha de sustentación: 2022/02/28

## DEDICATORIA

*A mis padres y tíos, quienes fueron mi principal fuente de apoyo para poder llegar a estas instancias de mis estudios, ya que han estado presente en todo momento de esta etapa. Les agradezco por todo el apoyo dado.*

*José Jhonatan.*

*A mis padres por brindarme educación y respaldar mis decisiones en todo momento, por su perseverancia e insistencia no solo en mi vida como estudiante, sino también en mi vida cotidiana. También a mis hermanos y a mi novia por su constante apoyo y compañía en mis triunfos y fracasos.*

*José Vidal.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darnos salud, fuerzas y ganas de salir adelante, superando las diversas adversidades que se presentan en esta vida.

A nuestros padres por inculcarnos buenos valores y siempre velar por nuestra integridad física y emocional y sobre todo brindarnos la mejor herencia que un padre le puede dejar a sus hijos, que es la educación.

A nuestros familiares que siempre buscan lo mejor para nosotros y nos brindan su apoyo incondicional.

A nuestro asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por brindarnos su apoyo en la culminación de esta tesis, por su paciencia y dedicación, sobre todo por ser un buen docente y habernos compartido sus conocimientos en los diferentes cursos a través de nuestra vida universitaria.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende un estudio sobre el desempeño de diversidad espacial en un enlace microondas entre las ciudades de Pacasmayo y Paiján, Departamento de La Libertad, Perú. Sobre la base del diseño original se consideraron alturas transmisoras en Pacasmayo en el rango de 66m a 72m, evaluando el desempeño de diversidad espacial la ciudad de Paiján para receptoras principales entre 56m a 72m, separadas entre 2m a 40m con sus correspondientes receptoras secundarias. La estimación del desempeño se realizó a partir de coeficientes de correlación entre las señales recibidas en la antena receptora principal y secundaria, al variar los valores de refractividad superficial ( $N_s$ ).

Los resultados lograron identificar valores dispersos con correlación positiva, débilmente negativa, y fuertemente negativa (entre -50 a -100 %) entre las señales de la antena receptora principal y secundaria. Estos últimos valores estuvieron focalizados entre los rangos de separación de 4 a 6 metros y 16 a 18 metros, con una tendencia a reducir el desempeño conforme aumenta la separación en los rangos selectivos.

Palabras clave: antenas, desempeño, diversidad espacial, refractividad superficial

## **ABSTRACT**

The present research focuses on the performance study of space diversity antenna reception technique on a microwave terrestrial by simulation of a radiolink from the city of Pacasmayo to the city of Paiján, Department of La Libertad, Perú. According to the original design 66m - 72m antenna height were considered for transmitter in Pacasmayo, Thus, in the same way 56m - 72m antenna height were considered for main receiver in Paiján, with a separation between 2m and 40m with their secondary receiver antenna. The estimation of the spatial diversity performance was based on the correlation coefficient between the RF signal level received in the primary and secondary antennas in Paiján, for different values of surface refractivity ( $N_s$ ).

The result of the data process had different values such as strong positive correlation, weak negative resolution and strong negative correlation coefficient (between -50 and -100%) for specific separation of receiver antennas. These favorable values focus between 4 - 6 meter and 16 -18 meter for receiver antenna separations, with a tendency to reduce performance with increment of separation.

Keywords: antennas, performance, spatial diversity, surface refractivity.

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE LA TÉCNICA DE DIVERSIDAD ESPACIAL EN FUNCIÓN DE LA SEPARACIÓN DE ALTURAS DE ANTENAS MEDIANTE SIMULACIONES REALIZADAS PARA UN ENLACE MICROONDAS EN UNA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD”**.

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, enero del 2022



Br. José Jhonatan Cruzado Yaya  
Br. José Vidal Vergara Escobedo

## ÍNDICE

ACREDITACIONES	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
PRESENTACIÓN	ix
ÍNDICE	10
I. INTRODUCCIÓN:	17
1.1 Problema de Investigación:	17
1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática:	17
1.1.2. Descripción del problema:	18
1.1.3. Formulación del problema:	19
1.2 Objetivos de la investigación:	19
1.2.1. General	19
1.2.2. Específicos	19
1.3 Justificación del estudio	20
1.3.1. Importancia de la investigación	20
1.3.2. Viabilidad de la investigación	20
1.3.3. Alcance y limitaciones	20

II. MARCO DE REFERENCIA-----	21
2.1 Antecedentes de la Investigación:-----	21
2.2 Marco Teórico:-----	24
2.2.1 Diversidad espacial -----	24
2.2.2 Criterio de diseño de alturas de antenas de diversidad espacial-----	28
2.2.3 Evaluación del desempeño de diversidad espacial -----	29
2.3 Marco conceptual -----	30
2.3.1 Diversidad espacial -----	30
2.3.2 Separación de antenas -----	31
2.3.3 Refracción-----	31
2.3.4 Factor de refractividad -----	31
2.3.5 Correlación negativa-----	31
2.3.6 Desempeño -----	31
2.4 Hipótesis:-----	32
2.4.1 General:-----	32
2.4.2 Variables e indicadores-----	32
2.4.2.1 Variable Independiente-----	32
2.4.2.2 Variable Dependiente-----	33
2.4.2.3 Operacionalización de las variables -----	34
III. METODOLOGÍA EMPLEADA-----	36
3.1. Nivel y Diseño de la investigación-----	36
3.2. Población y muestra -----	36

3.2.1.	Población -----	36
3.2.2.	Muestra -----	36
3.2.3.	Unidad de análisis-----	36
3.3.	Diseño de investigación -----	37
3.3.1.	Procedimiento: -----	37
3.4.	Técnicas e instrumentos de investigación -----	38
3.4.1.	Técnicas -----	38
3.4.2.	Recolección de información -----	38
a.	Estación ubicada en la ciudad de Paiján.-----	38
b.	Estación ubicada en la ciudad de Pacasmayo. -----	41
c.	Datos antecedentes. -----	44
d.	Recopilación de especificaciones técnicas referenciales de equipos en banda de transporte microondas 7 GHz. -----	46
3.5.	Procesamiento y análisis de datos -----	48
3.5.1.	Proceso de simulación, referencia de configuración-----	48
3.5.2.	Referencia de alturas Tx / Rx y diversidad -----	50
3.5.3.	Reportes de Simulación -----	53
3.5.4.	Procesamiento de los Reportes de Simulación -----	60
3.5.5.	Cuantificación de margen de desempeño favorable -----	63
IV.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS -----	65
4.1.	Análisis e interpretación de resultados-----	65
4.2.	Docimasia de hipótesis-----	67

V.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:-----	68
VI.	CONCLUSIONES -----	70
VII.	RECOMENDACIONES -----	71
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	72
	ANEXOS -----	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de transmisión simple por diversidad espacial. -----	24
Figura 2: Señal recibida en antena principal y secundaria (diversidad) -----	25
Figura 3: Gráfica de potencia recibida a diversas alturas receptoras para transmisora 45m -----	28
Figura 4: Respuesta a la variación de refractividad. -----	29
Figura 5: Evaluación de coeficiente de correlación. -----	30
Figura 6: Fotografía panorámica de la ciudad de Paiján. -----	39
Figura 7: Fotografía satelital de la Estación. -----	39
Figura 8: Fotografía Estación Paiján. -----	40
Figura 9: Fotografía vista enlace dirigido hacia Pacasmayo. -----	41
Figura 10: Fotografía panorámica de la ciudad de Pacasmayo. -----	42
Figura 11: Vista satelital de la Estación Pacasmayo. -----	42
Figura 12: Fotografía estación Pacasmayo. -----	43
Figura 13: Fotografía estación Pacasmayo dirigida hacia Paiján. -----	44
Figura 14: Mapa del radioenlace Pacasmayo y Paiján. -----	45
Figura 15: Configuración de los parámetros de redes. -----	49
Figura 16: Configuración de la topología de red. -----	50
Figura 17: Gráfico de simulación señal recibida Tx: 72m, Rx1: 72m, $\Delta h$ : 2m -----	56
Figura 18: Gráfico dispersión entre señales recibidas Rx1: 72m, Rx2: 70m. -----	56
Figura 19: Gráfico de simulación señal recibida Tx: 72m, Rx1: 66m, $\Delta h$ : 6m. -----	59
Figura 20: Gráfico dispersión entre señales recibidas Rx1: 72m, Rx2: 66m. -----	59

Figura 21: Gráfico desempeño diversidad espacial Tx: 72m, Rx: 72m. ----- 61

Figura 22: Gráfico desempeño diversidad espacial Tx: 72m, Rx: 64m. ----- 61

Figura 23: Gráfico desempeño diversidad espacial todos los reportes. ----- 63

Figura 24: Margen de resultados de desempeño favorables y desfavorables para las separaciones de alturas de antena de recepción. ----- 66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la Variable Independiente. -----	34
Tabla 2: Operacionalización de la Variable Dependiente. -----	35
Tabla 3: Técnicas de recolección de datos. -----	38
Tabla 4: Frecuencias y canales de Banda 7 GHz. -----	45
Tabla 5: Especificaciones técnicas equipos microondas banda 7 GHz. -----	46
Tabla 6: Resumen de emplazamientos y alturas de antenas referenciales. -----	51
Tabla 7: Resumen variaciones de altura Tx / Rx y diversidad. -----	52
Tabla 8: Resumen altura Tx / Rx y separaciones de diversidad espacial.-----	53
Tabla 9: Reporte de simulación alturas Tx: 72m, Rx1: 72m, Rx2: 70m. -----	55
Tabla 10: Reporte de simulación alturas Tx: 72m, Rx1: 72m, Rx2: 66m.-----	58
Tabla 11: Escala propuesta para evaluación de Diversidad Espacial. -----	60
Tabla 12: Resumen desempeño de diversidad espacial para 24 variaciones de altura Tx / Rx (main).-----	62
Tabla 13: Identificación de separaciones de alturas con márgenes de desempeño favorables. -----	64



## **I. INTRODUCCIÓN:**

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

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

Los sistemas de radiotransmisión por microondas debido a su implementación, tienden a sufrir atenuaciones de señal lo cual disminuye su calidad, por ende, la recepción de señal se ve seriamente afectada por factores climáticos, interferencias o por el propio trayecto de la transmisión, debidos a esta preocupación y conforme los avances, se vio en la necesidad de implementar una técnica que cumpla con el objetivo principal de disminuir las atenuaciones lo más mínimo aceptable y conseguir estabilidad y confiabilidad en el sistema.

Las zonas costeras del Perú se encuentran con una mayor probabilidad de sufrir desvanecimiento de señal puesto que sus variaciones superficiales de clima alteran la refractividad y en consecuencia la propagación de los enlaces microondas, al punto de poder verse afectados al extremo de caer debajo de su umbral de calidad.

Una de las técnicas más empleadas para afrontar los desvanecimientos por efectos de reflexión multitrayecto, consiste en emplear dos antenas receptoras cuyas alturas son calculadas buscando una condición de contrafase entre las potencias recibidas. De esta manera, cuando en la primera antena (principal) la potencia se desvanezca, en la segunda antena (secundaria) el nivel de potencia aumentará por la condición de contrafase. Esta técnica es conocida como diversidad espacial.

Pérez, F. y Ortiz G. (2019), propusieron un procedimiento para el cálculo de alturas de antenas con diversidad espacial tomando como referencia el enlace Pacasmayo – Paiján en el Departamento de La Libertad. Su

análisis partió de la evaluación del comportamiento de la señal recibida en función de la altura de antena receptora, eligiendo por inspección pares de alturas de antenas que mostraran valores contrapuestos de potencia recibida. El desempeño de diversidad espacial era evaluado observando el complemento de las señales en ambas antenas al variar las condiciones de simulación con diferentes valores de refractividad.

Dado que el trabajo antes mencionado se enfocó en identificar posibles valores de alturas de antenas para el diseño de diversidad espacial, seleccionando los valores más óptimos en base a la evaluación de la correlación inversa entre las curvas de señal recibida. El presente proyecto considera una importante oportunidad ampliar dicha investigación, con la evaluación del desempeño de la diversidad espacial en función de la separación de alturas de antenas receptoras, tomando como base el enlace Pacasmayo Paiján, ubicado en la zona costera del Departamento de La Libertad.

### **1.1.2. Descripción del problema:**

Conforme el orden de ideas antes expuesto, el presente trabajo se enfoca en caracterizar el desempeño de diversidad espacial en función de la separación de altura de antenas receptoras tomando como base el análisis del enlace Pacasmayo – Paiján en la banda de 7 GHz. Con ello se espera aportar en la investigación de la influencia de la separación de antenas en el desempeño de la técnica de diversidad espacial, aportando criterios de diseño de ingeniería de radiofrecuencia en base a resultados obtenidos con un proceso de simulación.

### **1.1.3. Formulación del problema:**

¿De qué manera la separación de alturas de antenas de un radioenlace en la banda de 7 GHz incide en el desempeño de la técnica de diversidad espacial?

## **1.2 Objetivos de la investigación:**

### **1.2.1. General**

- Evaluar el comportamiento del desempeño de la técnica de diversidad espacial en función de la separación de alturas de antenas, mediante simulaciones realizadas para un enlace microondas en una zona costera del departamento de La Libertad.

### **1.2.2. Específicos**

- Identificar parámetros técnicos de un enlace microondas de referencia en una zona costera del departamento de La Libertad.
- Construir curvas de respuesta a la variación de la refractividad para diferentes separaciones de alturas de antenas con diversidad espacial.
- Construir curvas de evaluación del coeficiente de correlación en función de la separación de alturas de antenas.
- Evaluar los rangos y tendencias favorables y desfavorables de la separación de alturas de antenas sobre los coeficientes de correlación.

## **1.3 Justificación del estudio**

### **1.3.1. Importancia de la investigación**

El presente trabajo de investigación es justificado académicamente, debido a que los resultados servirán como referencia para cualquier próximo estudio que requiera un análisis de diversidad espacial tomando como herramienta de recolección y análisis de datos un software de simulación.

### **1.3.2. Viabilidad de la investigación**

La presente investigación radicó en la metodología de análisis aplicada para determinar la caracterización del desempeño de la diversidad espacial en función a la separación de alturas de antenas, por lo cual se consideró viable al estar basada en simulaciones sobre software libre.

### **1.3.3. Alcance y limitaciones**

El proyecto se delimitó a la evaluación de la incidencia de separación de antenas en la técnica de diversidad espacial, evaluándose para un enlace de la zona costera del departamento de La Libertad con el empleo de una herramienta de simulación, la evaluación se realizó en la banda de 7GHz y considerando como punto de partida, alturas de antenas predefinidas en un trabajo antecedente.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Antecedentes de la Investigación:

- a. Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), en su tesis denominada **“Análisis de desvanecimientos por refractividad para la estimación de alturas de antenas con diversidad espacial en el tramo de interconexión microondas Pacasmayo – Paiján”**, realizaron estimaciones de alturas de antenas utilizando la técnica de diversidad espacial para caracterizar los desvanecimientos existentes y seleccionando el valor de altura de antena con mejor coeficiente de correlación para las bandas de frecuencia de 7 GHz y 11GHz variando también las diferentes condiciones climáticas (condición de refractividad), en sus resultados presentan tres soluciones que se comparó con una implementación ya existente, su principal aporte es la metodología que utilizaron para el análisis de selección alturas de antenas con la técnica de diversidad espacial.
  
- b. Palacio, C. A. (2007), en su tesis denominada **“Desarrollo de un modelo de procedimiento para diseño y planeación de enlaces de microondas en entornos rurales: subestación Palermo-Centro de Control Remoto”** en esta investigación se evalúan diferentes puntos que se deben tener en cuenta al momento de montar un radioenlace, desde la parte legal hasta la evaluación técnica y mejores características de equipos en una implementación y sobre todo las técnicas que se pueden aplicar hoy en día, entre ellas tenemos la diversidad espacial, la cual es un gran aporte, porque se está tomando en cuenta en la investigación, presenta a su vez Palacio una recopilación de conceptos y contenidos lo cual ayudaran a entender a más detalle el tema de diversidad espacial.

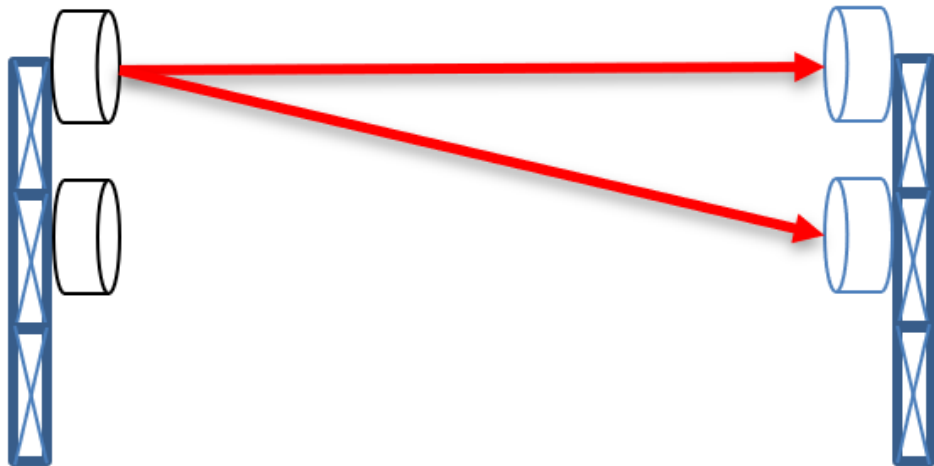
- c. Chicaiza, P. P. (2012), en su tesis denominada ***“Re-Diseño del arreglo de antenas “Back-To-Back” del radioenlace de microonda entre las estaciones de San Juan y Chiriboga, de S.O.T.E. en la banda de 7GHz”*** en esta investigación a primera instancia se realizó una búsqueda de los conceptos básicos que se emplearan en el desarrollo de la tesis, seguido se analiza la situación actual del radioenlace existente entre los lugares de San Juan – Chiriboga para luego presentar 3 propuestas de mejora, siendo una de ellas, la optimización por diversidad espacial que se propone como técnica en dicho radioenlace.
- d. Santos, O. (2010 – 2011), en su proyecto denominado ***“Diseño e implementación de una red inalámbrica IEEE 802.11n. Línea de base enfocada a un sistema de videoconferencia para realizar teleconsultas entre centros de salud de comunidades aisladas de la Amazonía peruana”*** en el presente proyecto se describe y propone el diseño y la implementación de una red con diversidad espacial utilizando tecnología MIMO 2x2. Confirmando que puede operar de manera óptima a una distancia mayor a 25 km, aportando con una forma de la técnica de diversidad espacial tanto la antena emisora con diversidad y antena receptora con diversidad.
- e. Dietrich, C. B., Dietze, K., Nealy, J. R., & Stutzman, W. L. (2001), en el Paper denominado ***“Spatial, polarization, and pattern diversity for wireless handheld terminals”***, en este paper los autores realizaron experimentos con diversidad espacial y polarización tanto para la línea de visión (LOS) como para canales de trayectoria múltiple obstruidos, realizaron diversas mediciones para determinar la correlación entre el desequilibrio de potencia y la ganancia de diversidad espacial. Como principal aporte de esta investigación, tenemos la interpretación de sus resultados donde se comprueba que aplicando la técnica de diversidad espacial se obtiene una mejor respuesta en la señal recibida.

- f. Goktas, P., Topcu, S., Karasan, E. y Altintas, A. (2015), en su paper denominad ***“Evaluating Spatial Diversity Technique for Mitigating Multipath Fading of Fixed Terrestrial Point-to-Point Systems”***, los autores evalúan el concepto de configuración de diversidad espacial de 2 antenas con enlaces de radio, para ello utilizan un simulador donde independientemente la antena receptora es ubicada en diferentes alturas para evaluar los eventos de desvanecimiento de señal por trayectos múltiples, el principal aporte de esta investigación es la metodología de estudio realizada y contrastación de resultados que servirá como referencia para la presente investigación.

## 2.2 Marco Teórico:

### 2.2.1 Diversidad espacial

Según Manning, T. (2014), la diversidad espacial en los sistemas de telecomunicaciones o radioenlaces consiste en recibir la información por medio de 2 o más antenas receptoras que generalmente se colocan en la misma torre y además tienen una separación equivalente a varias longitudes de onda, esto implica que la información se envía en una sola frecuencia y es recibida por 2 o más trayectos distintos y la resultante es una señal combinada, por lo general la diversidad espacial se utiliza con el fin de aumentar la confiabilidad en los sistemas de radioenlace, puesto que disminuye el desvanecimiento o la degradación de la señal en el transcurso del trayecto. En la figura 1 se muestra un esquema conceptual de diversidad espacial.

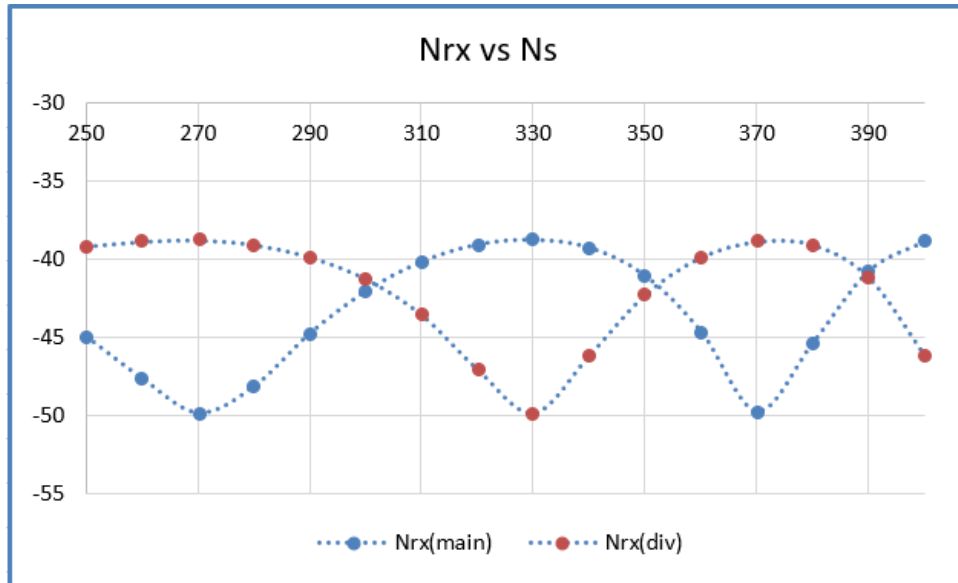


**Figura 1:** Sistema de transmisión simple por diversidad espacial.

Para que exista una confiable respuesta en la señal recibida, la antena receptora secundaria o también llamada “diversidad” debe cumplir con la condición de que cuando exista un desvanecimiento de señal en la antena receptora principal, ésta complemente la señal recibida o esté



en contraposición a la misma. En la figura 1 se muestra un esquema de evaluación de señal recibida versus refractividad superficial.



**Figura 2:** Señal recibida en antena principal y secundaria (diversidad)

En la figura 2 se muestra una de las técnicas para poder evaluar el desempeño de un sistema de diversidad espacial fue propuesto por Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), en el cual se caracteriza el comportamiento de la señal recibida tanto en la antena principal como en la secundaria en función de la refractividad superficial, estimando el coeficiente de correlación de Pearson entre ambas señales.

Debido a que existía poca información acerca de aplicar la técnica de diversidad espacial en las telecomunicaciones, hubieron ciertas reservas y dudas en si implementar o no esta técnica, sin embargo, una vez puesto en marcha los primeros sistemas de radioenlace con diversidad, se fueron disipando todas aquellas dudas, puesto que, los resultados en ese entonces superaron todas las expectativas teniendo una confiabilidad en el sistema y una protección contra atenuaciones

y/o desvanecimientos al implementar antenas receptoras separadas verticalmente una cierta distancia en una misma torre.

Por ende, una metodología practica para lidiar con el desvanecimiento de la señal causada por la propagación de trayectos múltiples es implementar una o en otros casos más de una de las técnicas de diversidad, ya sea diversidad por frecuencia, diversidad espacial o ángulo de dispersión o quizá la combinación de 2 de estas técnicas. Existen diversas técnicas de diversidad, entre las más conocidas tenemos:

- Diversidad de Frecuencia
- Diversidad de Espacio
- Diversidad de Polarización
- Diversidad de Angulo

Las más aplicadas son la diversidad de frecuencia y la diversidad de espacio, si bien es cierto resulta mucho más económico y más sencillo de implementar la diversidad de frecuencia, pero en los últimos años en diversos países del mundo, el espectro de frecuencias esta congestionado y saturado.

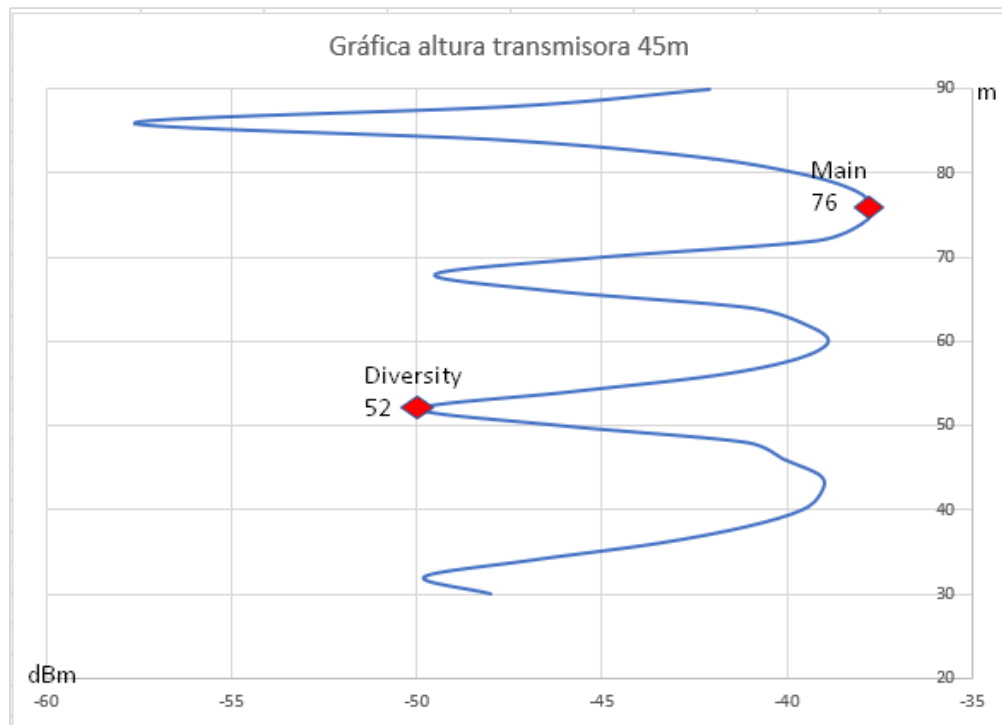
Debido a que se utiliza una separación de altura de antena para la implementación de la diversidad espacial, se realizaron diversas implementaciones donde se dio una separación tanto vertical como horizontal, en ambos casos cumple la condición de obtener una mejor respuesta de la señal, sin embargo, para el caso de la diversidad con separación horizontal se tuvo que implementar a una distancia mayor que a la vertical para obtener respuesta de señal similar.

Actualmente existen diversas teorías, donde algunos investigadores e ingenieros tienen la misma apreciación acerca de que la separación de altura de antena no debería ser calculada puesto que consideran que no es un factor crítico por lo menos en superficies donde no se refleje la señal (sobre la tierra). Otros aseguran que mientras más separación exista entre ambas antenas receptoras, mejor será la respuesta de la señal con una separación cercana a los 10.5 metros en una transmisión cercana a los 7 GHz.

Según ciertos estudios se ha podido comprobar que teniendo una separación de diversidad de 12 metros en una banda de 6 GHz se obtuvo una ganancia de 40 dB teniendo una relación de mejora de 100 a 1 en el sistema de radioenlace. Los estudios realizados por laboratorios del Bell System comprobaron que la relación de mejora de la respuesta de la señal es de 250 a 1 con una ganancia de 40 dB para la banda de 6 GHz, sin embargo, fuentes de estudios realizados en Japón se obtuvo como respuesta una relación de mejora de respuesta de la señal aún más elevada, siendo esta de 5000 a 1.

### 2.2.2 Criterio de diseño de alturas de antenas de diversidad espacial

En la figura 3 se muestra el criterio de diseño de altura de antenas para diversidad espacial, donde siempre se busca que la altura de antena principal (según la gráfica "Main") y la antena secundaria o diversidad (según la gráfica "Diversity") se encuentren en condiciones opuestas, es decir, mientras se tenga un nivel de señal alto en la antena principal, en la secundaria se obtendrá un nivel de señal bajo y viceversa, de tal manera que las señales se complementen lo mejor posible.



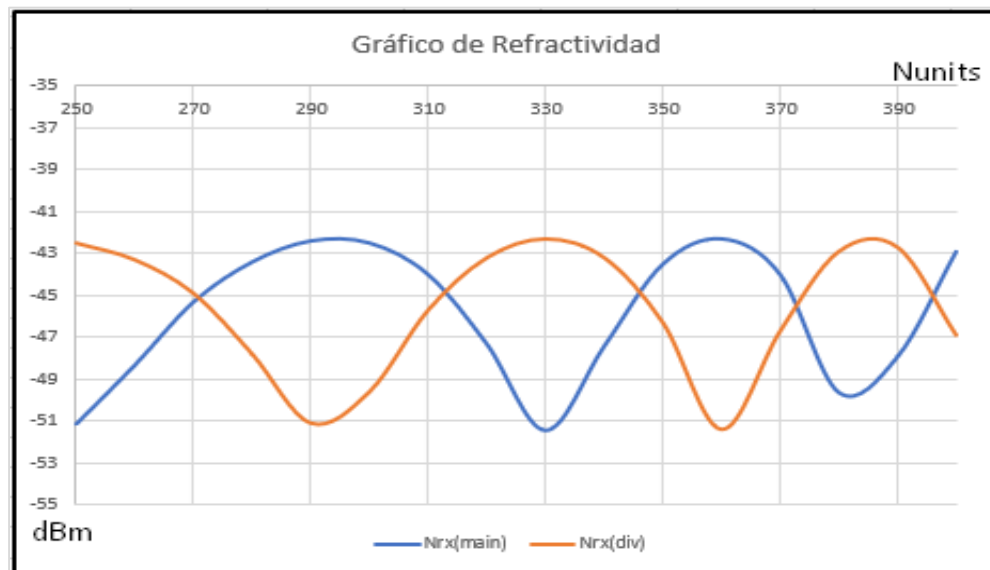
**Figura 3:** Gráfica de potencia recibida a diversas alturas receptoras para transmisora 45m

Fuente: Pérez, F. y Ortiz, G. (2019)

### 2.2.3 Evaluación del desempeño de diversidad espacial

En la figura 4 y 5 se muestra el criterio de evaluación del desempeño de diversidad espacial conforme Pérez, F. y Ortiz, G. (2019). En esta evaluación se considera las variaciones del nivel de recepción de la señal en la antena principal “Nrx(main)” y la antena secundaria “Nrx(div)”, estimándose su nivel de complemento mutuo a partir del coeficiente de correlación de Pearson.

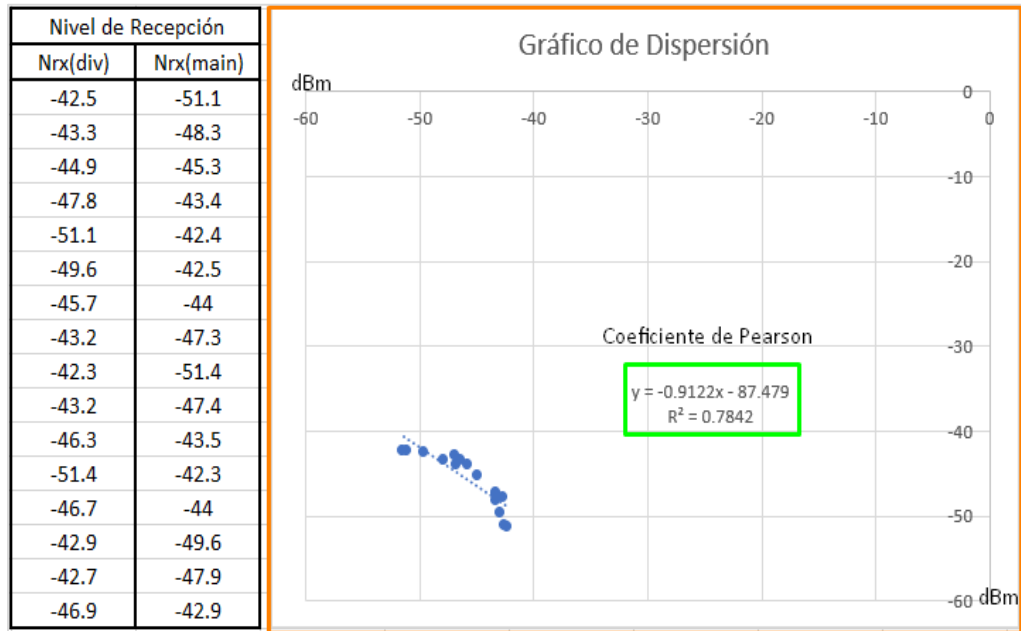
Como se muestra en la figura 4 las señales tienen un alto nivel de complemento, al evaluarse en función de la refractividad superficial, este complemento se muestra cuantificado en la figura 5, donde se obtiene un coeficiente de correlación inversa de Pearson  $R^2 = 0.7842$  o  $R = 0.8856$ , es decir, un 88.56% de complementariedad, para una altura  $T_x=68m$ .



Respuesta de Refractividad			
Htx	68	m	
Hrx	74	m	MAIN
Hrx	70	m	DIVERSITY

**Figura 4:** Respuesta a la variación de refractividad.

Fuente: Pérez, F. y Ortiz, G. (2019)



**Figura 5:** Evaluación de coeficiente de correlación.

Fuente: Pérez, F. y Ortiz, G. (2019)

## 2.3 Marco conceptual

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

### 2.3.1 Diversidad espacial

La diversidad espacial significa usar diferentes rutas físicas para una señal, es decir, con la finalidad de que el enlace supere problemas de propagación, interferencias y desvanecimientos se coloca una segunda antena denominada diversidad, donde el objetivo principal es mejorar la confiabilidad del sistema y la capacidad de recepción de la señal.

### **2.3.2 Separación de antenas**

Diferencia de altura que existe entre 2 o más antenas ubicadas en una base de referencia que por lo general están ubicadas en una base horizontal denominada "torre".

### **2.3.3 Refracción**

El fenómeno conocido como refracción es la desviación de una onda cuando esta se propaga de un medio hacia otro, la velocidad con la que una onda se propaga es inversamente proporcional a la densidad del medio en el cual viaja, es decir cuando pasa de un medio a otro, la velocidad con la cual viaja se ve afectada de manera positiva (aumentando su velocidad) o negativa (disminuyendo su velocidad).

### **2.3.4 Factor de refractividad**

Parámetro adaptado para representar las variaciones del índice de refracción con la altura, en relación a las ondas de radiofrecuencia y condiciones climáticas de Presión Atmosférica, Humedad y Temperatura.

### **2.3.5 Correlación negativa**

Alude a la proporcionalidad y la relación inversa que existe entre distintas variables.

### **2.3.6 Desempeño**

Desempeño es el acto y la consecuencia de desempeñar, es decir, cumplir una obligación, realizar una actividad, dedicarse a una tarea.

## **2.4 Hipótesis:**

### **2.4.1 General:**

Existen valores selectivos de separación de alturas de antenas que favorecen el desempeño de diversidad espacial, al evaluarse por simulación en un radioenlace de la banda 7 GHz en la zona costera de La Libertad.

### **2.4.2 Variables e indicadores**

#### **2.4.2.1 Variable Independiente**

Separación de altura de antenas.

#### **Definición Conceptual:**

Es la distancia existente entre una altura de antena receptora denominada principal y altura de antena receptora secundaria denominada diversidad, esa separación de altura puede ser variada y se evaluará como influye esa variación sobre el desempeño de la diversidad espacial.

#### **Indicadores:**

- Altura de antena principal.
- Altura de antena secundaria.
- Separación vertical de altura de antenas.



#### **2.4.2.2 Variable Dependiente**

Desempeño de diversidad espacial en un radioenlace en la zona costera de La Libertad en la banda de 7 GHz.

##### **Definición Conceptual:**

Se caracteriza a partir de la complementariedad de la respuesta de señal recibida en la antena principal y la antena secundaria, tiene que existir una correlación fuerte negativa la cual es medida con un coeficiente de correlación de Pearson.

##### **Indicadores:**

- Coeficiente de correlación de Pearson

### 2.4.2.3 Operacionalización de las variables

*Tabla 1: Operacionalización de la Variable Independiente.*

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>UNIDADES MEDIDA</b>
Separación de altura de antenas	Diferencia de altura entre la antena principal y secundaria	Altura de antena principal	Guía de recopilación de información	metros
		Altura de antena secundaria		metros
		Separación de altura de antenas		metros

*Tabla 2: Operacionalización de la Variable Dependiente.*

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>UNIDADES MEDIDA</b>
Desempeño de diversidad espacial	El desempeño de diversidad espacial es evaluado por la medida de correlación inversa entre la señal recibida en antena principal y antena secundaria	Coefficiente de correlación de Pearson	Gráfico de dispersión y tendencia	%

### **III. METODOLOGÍA EMPLEADA**

#### **3.1. Nivel y Diseño de la investigación**

El nivel de investigación empleado en la presente investigación fue de tipo descriptivo. Se buscó caracterizar el comportamiento del desempeño de diversidad espacial en función de alturas de antenas para un enlace de la zona costera de La Libertad en la banda de 7GHz bajo las condiciones que imponga el simulador correspondiente.

El diseño de la investigación empleado en la presente investigación fue de tipo descriptivo, documental. Se realizó un análisis del desempeño de diversidad espacial en base a reportes obtenidos de una herramienta de simulación. Los resultados únicamente están referidos a un enlace en la zona costera de La Libertad en la banda de 7 GHz.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Población**

La población estuvo conformada por todas las posibles simulaciones que se pueden realizar como parte de la estimación del desempeño del enlace en una zona costera de La Libertad con una herramienta de simulación específica.

##### **3.2.2. Muestra**

Se realizó 24 análisis de variaciones de alturas de antenas y para cada altura principal se variará su respectiva diversidad un número total de 20 veces la separación de alturas receptoras y a su vez se analizaron 16 variaciones de valores de refractividad, lo cual constituyó la muestra a emplear con un total de 7,680 simulaciones, con lo cual se consideró que es justificada la participación de 2 investigadores.

##### **3.2.3. Unidad de análisis**

Comportamiento del desempeño de la diversidad espacial en función de la variación de la separación de alturas de antenas receptoras con diversidad espacial.

### **3.3. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación empleado en la presente investigación es de tipo descriptivo, documental. Se realizó un análisis del desempeño de diversidad espacial en base a reportes obtenidos de una herramienta de simulación. Los resultados únicamente están referidos a un enlace en la zona costera de La Libertad en la banda de 7 GHz.

#### **3.3.1. Procedimiento:**

- Identificación de las características técnicas a emplear en el sistema de radioenlace de un trabajo antecedente para poder construir el escenario de simulación.
- Obtención de reportes de simulación con las diversas variaciones de alturas de antenas con diversidad y expuestas a su vez a las diferentes condiciones climáticas (factores de refractividad) para la banda de 7GHz.
- Identificación de alturas de antenas con mejor respuesta complementaria de la señal recibida.
- Obtención de coeficientes de correlación de cada simulación que muestran mejor respuesta de la señal.
- Verificación del desempeño de la diversidad espacial en función a las variaciones de alturas de antenas.
- Construcción de tablas consolidadas de todas las simulaciones realizadas.
- Selección de valores más representativos de separaciones óptimas para el desempeño de la diversidad espacial.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.4.1. Técnicas

La Tabla 3 muestra las técnicas de investigación empleadas en la presente investigación.

*Tabla 3: Técnicas de recolección de datos.*

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Estimación	Evaluación individual para cada separación de altura de antena principal y con diversidad espacial.	Reporte directo de cada simulación
Análisis documental	Individual para cada separación de altura de antena receptora con diversidad espacial.	Reportes del desempeño de la diversidad espacial en función a las variaciones de alturas de antenas.

#### 3.4.2. Recolección de información

##### a. Estación ubicada en la ciudad de Paiján.

En la figura 6 se muestra la ciudad de Paiján con vista satelital, obtenida de la aplicación de Google Maps, se puede apreciar que la ciudad está conformada en su mayoría con desiertos y montañas a sus alrededores, como se muestra en las imágenes es una zona rugosa y pampas costeras.

Paiján se encuentra ubicado en las coordenadas 07° 44' 3" de latitud sur y 79° 18' 12" de longitud oeste y aproximadamente 82 m.s.n.m., es una ciudad muy rica en agricultura debido a que se encuentra dentro de la cuenca del río Chicama.



**Figura 6:** Fotografía panorámica de la ciudad de Paiján.

Fuente: Google Maps

En la figura 7 se muestra la ubicación de la estación que forma parte del estudio para el radioenlace Paiján – Pacasmayo de manera satelital y panorámica.



**Figura 7:** Fotografía satelital de la Estación.

Fuente: Google Maps

En la figura 8 se puede observar la estación y distribución de las antenas notándose claramente la aplicación de la técnica de diversidad espacial para este radioenlace.



**Figura 8:** Fotografía Estación Paiján.



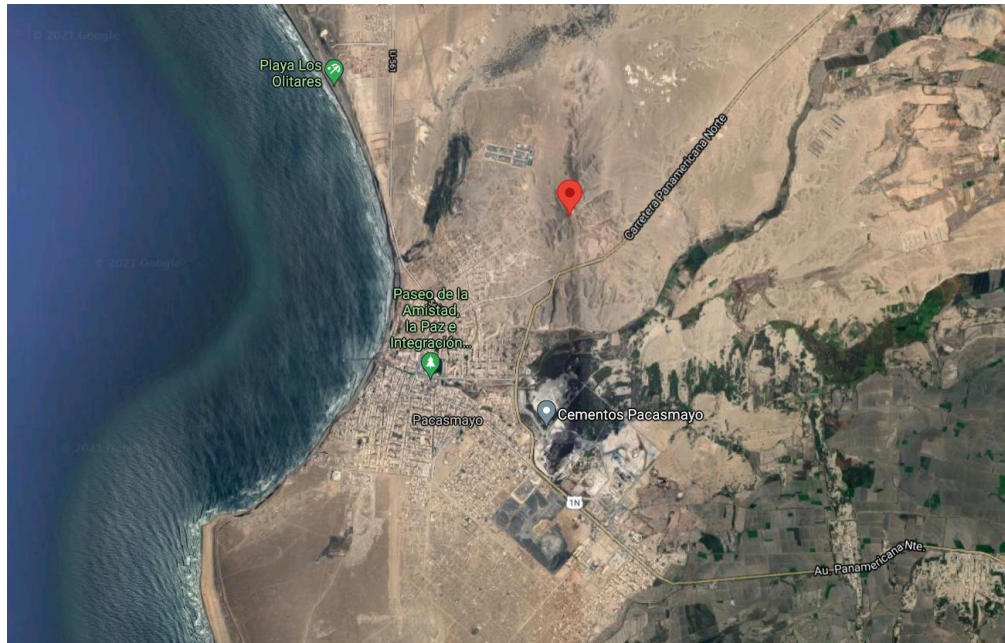
La figura 9 es una fotografía tomada desde la torre de antena de Paiján dirigida hacia el próximo punto de enlace ubicado en la ciudad de Pacasmayo.



*Figura 9: Fotografía vista enlace dirigido hacia Pacasmayo.*

**b. Estación ubicada en la ciudad de Pacasmayo.**

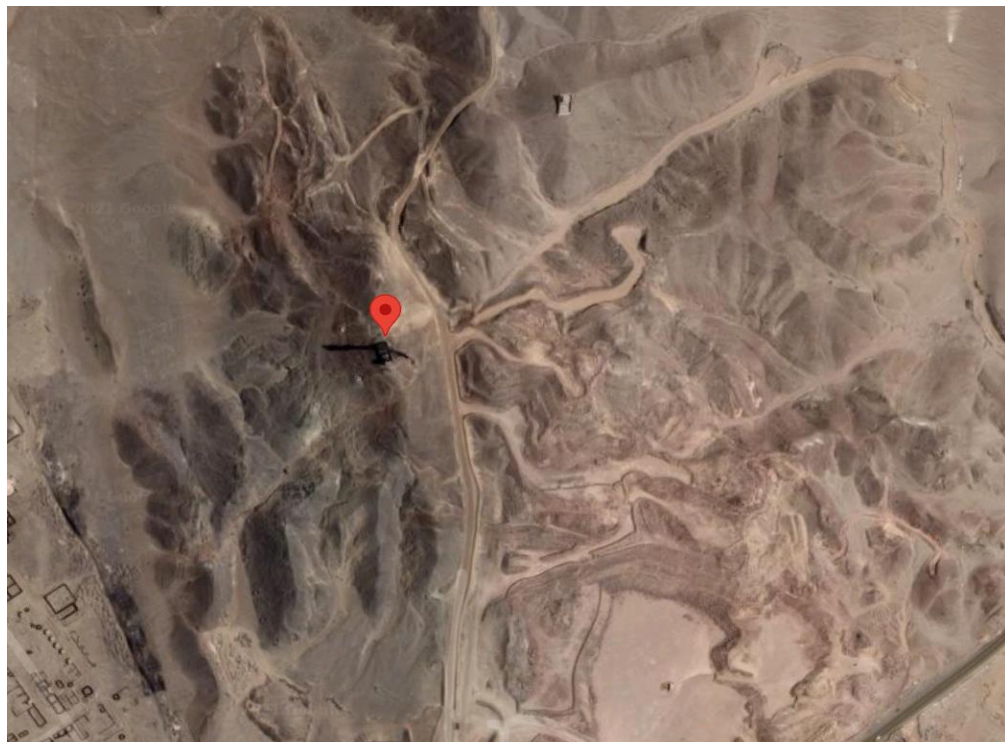
En la figura 10 se muestra la ciudad de Pacasmayo con vista satelital, obtenida por la aplicación de Google Maps, como se puede apreciar, esta ciudad se encuentra ubicada a orillas del océano y en sus alrededores se encuentran valles con abundante vegetación, priman las actividades de pesca y agricultura. Esta ciudad también es conocida debido a que en ella está ubicada la fábrica de Cemento más conocida en todo el litoral peruano “Cementos Pacasmayo”.



**Figura 10:** Fotografía panorámica de la ciudad de Pacasmayo.

Fuente: Google Maps

En la figura 11 se muestra la ubicación de la estación que forma parte del enlace Pacasmayo – Paiján de manera satelital y panorámica.



**Figura 11:** Vista satelital de la Estación Pacasmayo.

Fuente: Google Maps

En la figura 12 se muestra la fotografía de la estación situada en Pacasmayo, esta se encuentra saliendo de la ciudad hacia el norte en la cima de un cerro.



***Figura 12: Fotografía estación Pacasmayo.***

En la figura 13 es una fotografía tomada desde la torre de antena de Pacasmayo dirigida hacia el próximo punto de enlace ubicado en la ciudad de Paiján.

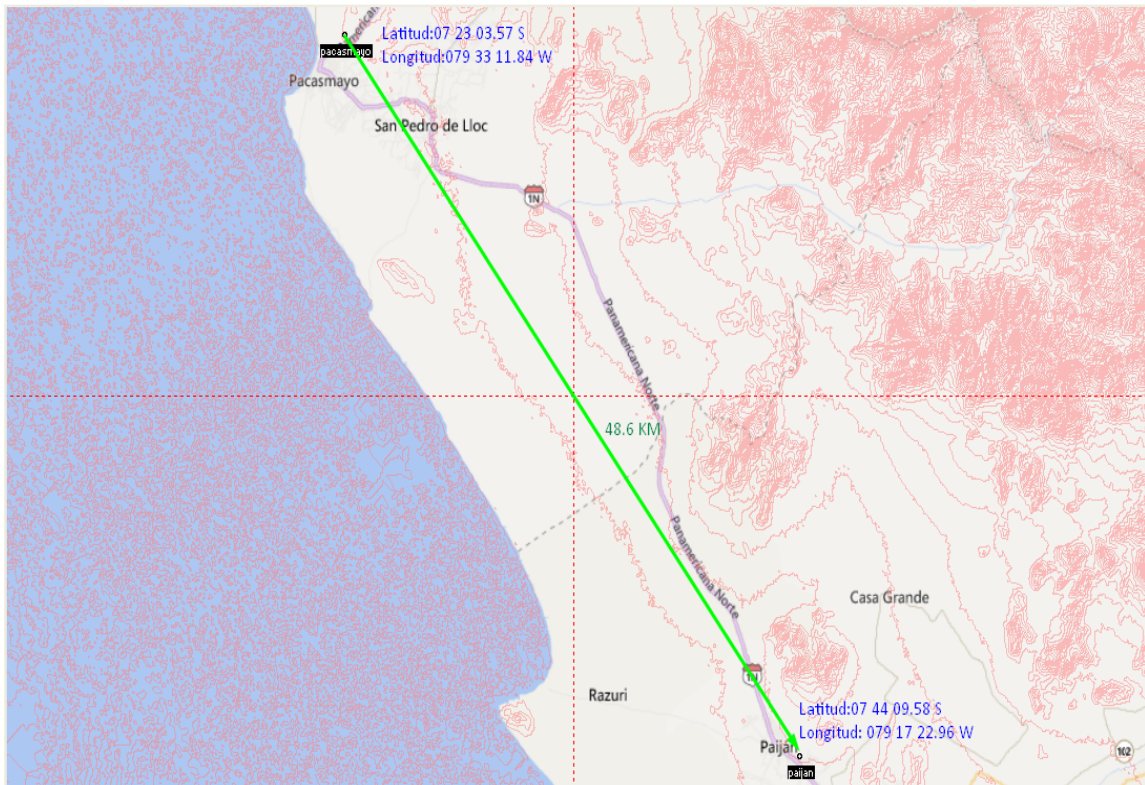


**Figura 13:** Fotografía estación Pacasmayo dirigida hacia Paiján.

**c. Datos antecedentes.**

El presente estudio es la continuación de un trabajo antecedente en el cual se estudió el enlace Paiján – Pacasmayo que fue descrito en la tesis de Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), por lo cual se considerara en el presente estudio, las estimaciones de alturas de antenas, la banda de 7GHz y el canal 04, para el desarrollo. En la figura 14 se muestra el radioenlace entre las ciudades de Paiján y Pacasmayo y en la tabla 4 se muestra la banda de operación y el canal correspondiente según la investigación de Pérez y Ortiz.





**Figura 14:** Mapa del radioenlace Pacasmayo y Paján.

Fuente: Pérez, F. y Ortiz, G. (2019)

**Tabla 4:** Frecuencias y canales de Banda 7 GHz.

BW	=	40 MHz
TX/RX	=	280 MHz
CH	1	$f_1$ = 7745 MHz
		$f_1'$ = 8025 MHz
CH	2	$f_2$ = 7785 MHz
		$f_2'$ = 8065 MHz
CH	3	$f_3$ = 7825 MHz
		$f_3'$ = 8105 MHz
CH	4	$f_4$ = 7865 MHz
		$f_4'$ = 8145 MHz
CH	5	$f_5$ = 7905 MHz
		$f_5'$ = 8185 MHz
CH	6	$f_6$ = 7945 MHz
		$f_6'$ = 8225 MHz
CH	7	$f_7$ = 7985 MHz
		$f_7'$ = 8265 MHz

**Nota:** Se eligió el canal CH 4 para representar las frecuencias de trabajo en la banda 7 GHz

**d. Recopilación de especificaciones técnicas referenciales de equipos en banda de transporte microondas 7 GHz.**

La Tabla 5 muestra una recopilación de información técnica sobre transceptores, antenas y líneas de transmisión tomados como referencia para la simulación de los sistemas microondas 7 GHz.

*Tabla 5: Especificaciones técnicas equipos microondas banda 7 GHz.*

<b>ALCATEL 9500 MPR</b>	<b>TECHNICAL ESPECIFICATION</b>	
	RF Frequency Band (GHz)	6-38 GHz
	RF Channel Arrangements (ITU-T)	G.8032
	Channel band-width (MHz)	(10, 20, 30, 40, 50) MHz
	Transmission Capacity (per RF Channel)	1xSTM-1 or 2xSTM-1
	Modulation	4QAM/16QAM/32QAM/64QAM/128QAM/256QAM
	Transmitted Power (ATPC máximo) dBm	25.5
	Receiver Threshold 128QAM	-84.0 dBm
	Branching Loss	1.5 dB
	Spectrum Shaping	Raised Cosine
	Frequency Reuse	YES
	Switching Configuration	1+0; 1+1; 2+0; XPIC
<b>USX6-7W-6GR</b>	<b>TECHNICAL ESPECIFICATION</b>	
	Diameter (m)	1.8 m
	Operating Frequency Band (GHz)	7.125 – 8.500
	Gain, Mid Band (dBi)	41 dBi
	Front to Back Ratio (dB)	75 dB
	Beamwidth (H/V) (°)	1.5
<b>EWP64-65</b>	<b>TECHNICAL ESPECIFICATION</b>	
	Conductor Material	Corrugated copper
	Operating Frequency Band (GHz)	7.125 – 8.500
	Return Loss(dB) – VSWR	23.13 – 1.15
	Attenuation (7.93 GHz – dB/100m)	5.782 dB/100m

Respecto de la información del transceptor se presenta como referencia un equipo Alcatel serie 9500 MPR el cual posee unidad indoor (mostrada en la tabla resumen) y unidad outdoor (montada en torre) la cual permite en sus diferentes versiones operación en las bandas de transporte microondas desde 6 hasta 38 GHz. Asimismo, posee un ancho de banda flexible desde 10 MHz hasta 50 MHz con velocidades de datos que pueden superar los 300 Mbps (2 xSTM-1) en configuración XPIC.

En los valores a considerar para la simulación del transceptor se han seleccionado como referencia los datos a partir de la unidad outdoor, dentro de los cuales se incluyen la potencia de transmisión (máxima con control automático de potencia transmitida ATPC), el nivel de umbral de calidad (referido a modulación 128 QAM) y las pérdidas internas por branching (derivaciones de circuitos internos RF), asumidas en 1.5 dB.

Con relación a la antena tomada como referencia, se consideró una parabólica de alta performance de 1.8 m de diámetro con ganancia equivalente de 41 dB en banda de 7 GHz, su alta directividad genera una relación front to back de 75 dB, y un ancho de haz de 1.5 ° de apertura tanto en el patrón de radiación horizontal como patrón de radiación vertical.

La conexión entre la unidad outdoor (ODU), y la antena se da a través de una guía de onda elíptica la cual posee una longitud fija de 2.5 m, generando una pérdida fija de 1.25 dB, independientemente de la altura de antena. Las hojas técnicas detalladas de los equipos pueden ser consultadas en el anexo 03 del presente informe.

### **3.5. Procesamiento y análisis de datos**

En este apartado se van a describir las técnicas del procesamiento de la información recopilada para lo cual primero se describirá un resumen del proceso de simulación realizado a través del software RadioMobile y luego los resultados obtenidos se mostrarán en los reportes correspondientes y estos reportes se procesarán conforme las técnicas de evaluación de diversidad espacial para cada separación de altura de antena correspondiente.

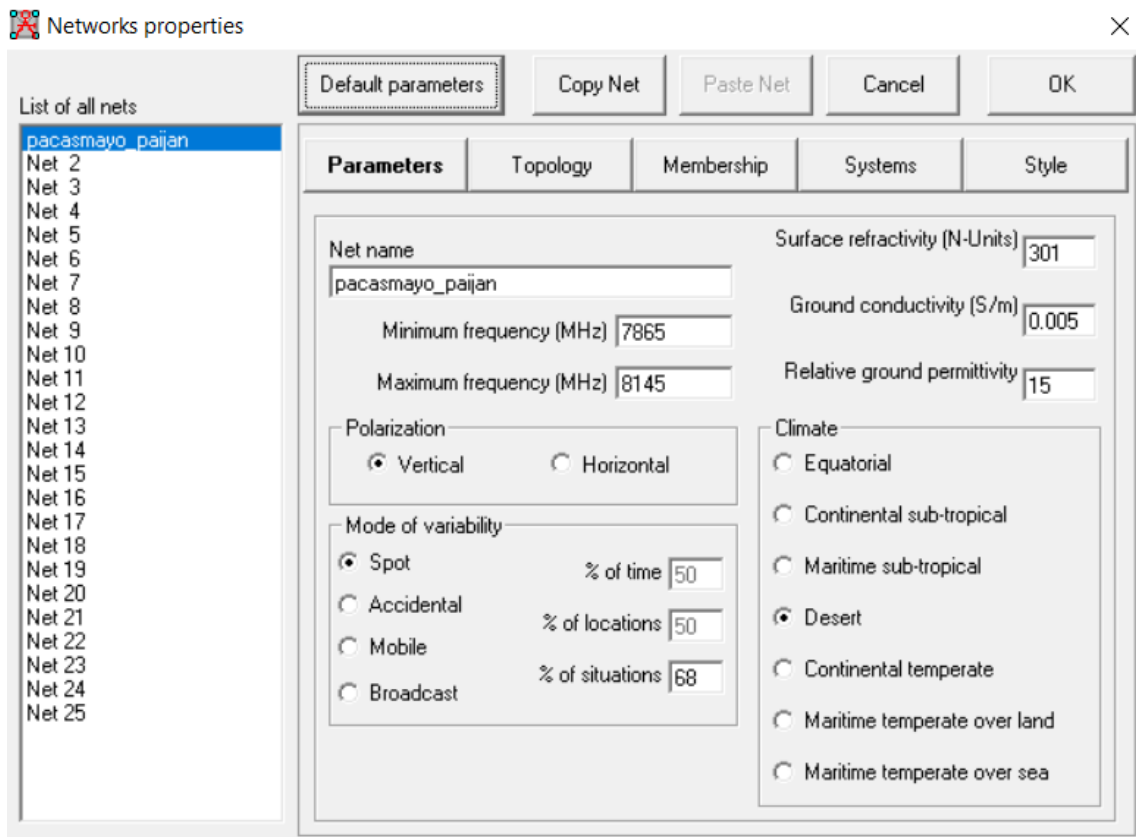
#### **3.5.1. Proceso de simulación, referencia de configuración**

El proceso de simulación tomó como base la recopilación de datos de ubicación de emplazamientos, bandas de frecuencia, valores de portadora en canales específicos, alturas de antena referenciales, datos de emisión y recepción de equipos transceptores, atenuación de línea de transmisión, patrón de radiación y ganancia de antena recopilados en el apartado anterior. La Figura 15 muestra la primera pantalla de configuración de parámetros donde se resalta la configuración de frecuencias de ida y vuelta del canal 04, banda de 7 GHz, la configuración del modo spot (intento) que es el modo recomendado por el algoritmo de cálculo de la herramienta de software para configuraciones de enlace punto a punto y punto - multipunto.

De la misma forma se destaca que para la simulación se ha tomado como referencia el modo landcover (cluttering) disponible por la herramienta de software para la estimación básica de los posibles obstáculos, vegetación o edificaciones que puedan estar presentes en el trayecto.

Respecto del clima, el modelamiento se da a través del parámetro de refractividad superficial ( $N_s$ ), el cual será variado en todo el rango disponible por la herramienta (desde  $N_s = 250$  hasta  $N_s = 400$ ).



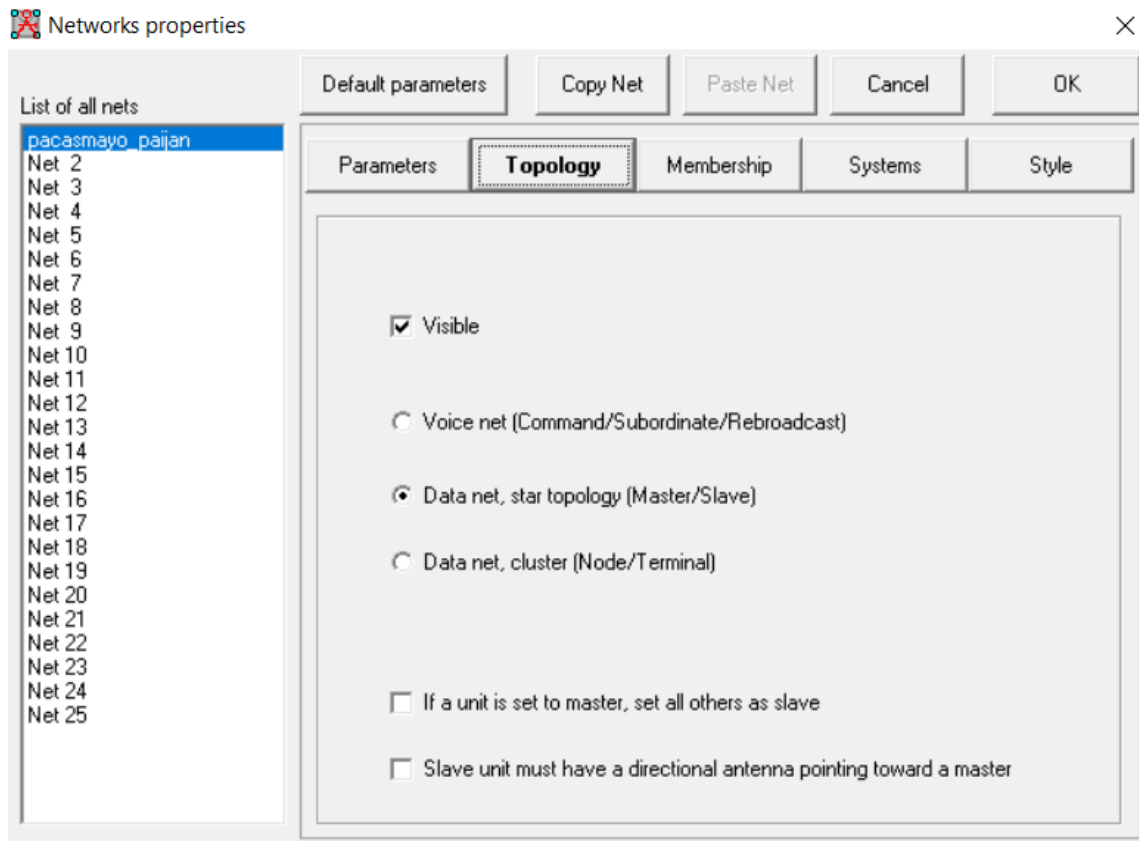


**Figura 15:** Configuración de los parámetros de redes.

Los parámetros de conductividad terrestre y permitividad terrestre relativa, son dejados en valores por defecto, puesto que corresponden a parámetros de propagación por onda superficial, la cual se da a partir de frecuencias menores a 30 MHz. Para el caso a evaluar en el presente trabajo, el mecanismo de propagación corresponde a la denominación onda espacial troposférica, donde principalmente influye el parámetro de reflectividad superficial.

La figura 16 muestra la configuración seleccionada para la simulación del enlace microondas. Se optó por la opción Data Net, Star Topology, puesto que las otras topologías son recomendadas para redes de voz VHF (Voice Net), o Clúster para de cobertura en redes móviles o fijas (Data net cluster).

El modo de topología datos estrella, ofrece la opción de simulación para redes punto a punto o punto multipunto, ofreciendo facilidades de configuración para este último caso (apuntamiento y roles de las estaciones).



**Figura 16:** Configuración de la topología de red.

### 3.5.2. Referencia de alturas Tx / Rx y diversidad

La Tabla 6 muestra un resumen de las alturas de antenas tomadas como base para las simulaciones llevadas a cabo en el presente trabajo. Las referencias de alturas fueron tomadas de la investigación realizada por Pérez, F. y Ortíz G. (2019).

*Tabla 6: Resumen de emplazamientos y alturas de antenas referenciales.*

ITEM	PACASMAYO	PAIJÁN
Latitud (°)	-7.384325	-7.735994
Longitud (°)	-79.55329	-79.28971
Ref. Altura antena principal (m)	72	68
Ref. Altura de antena diversidad (m)	64	62
Ángulo de Azimuth (°)	143.41	323.37
Ángulo de Elevación (°)	-0.269	-0.169

Fuente: Pérez, F. y Ortiz G. (2019)

En la tabla 6 se puede apreciar que conforme el trabajo de Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), la altura recomendada para la estación Pacasmayo (transmisora) es 72 metros, asimismo la altura recomendada para la estación Paiján (receptora) es 68 metros. Es así que, tomando como referencia esta solución, se ha planteado evaluar el desempeño de diversidad espacial para 04 valores cercanos de antena trasmisora Pacasmayo (66, 68, 70 y 72 metros), considerando para cada una de estas alturas de transmisoras, evaluar 06 alturas de antena receptora principal en Paiján, sobre la cual a su vez se consideran 20 posibles alturas de antena receptora secundaria. La Tabla 7 resume las variaciones de altura consideradas.

Tabla 7: Resumen variaciones de altura Tx / Rx y diversidad.

Pacasmayo Tx	Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																				
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$h_{\text{div1}}$	$h_{\text{div2}}$	$h_{\text{div3}}$	$h_{\text{div4}}$	$h_{\text{div5}}$	$h_{\text{div6}}$	$h_{\text{div7}}$	$h_{\text{div8}}$	$h_{\text{div9}}$	$h_{\text{div10}}$	$h_{\text{div11}}$	$h_{\text{div12}}$	$h_{\text{div13}}$	$h_{\text{div14}}$	$h_{\text{div15}}$	$h_{\text{div16}}$	$h_{\text{div17}}$	$h_{\text{div18}}$	$h_{\text{div19}}$	$h_{\text{div20}}$
72	72	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32
	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30
	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28
	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26
	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24
62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	

Pacasmayo Tx	Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																				
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$h_{\text{div1}}$	$h_{\text{div2}}$	$h_{\text{div3}}$	$h_{\text{div4}}$	$h_{\text{div5}}$	$h_{\text{div6}}$	$h_{\text{div7}}$	$h_{\text{div8}}$	$h_{\text{div9}}$	$h_{\text{div10}}$	$h_{\text{div11}}$	$h_{\text{div12}}$	$h_{\text{div13}}$	$h_{\text{div14}}$	$h_{\text{div15}}$	$h_{\text{div16}}$	$h_{\text{div17}}$	$h_{\text{div18}}$	$h_{\text{div19}}$	$h_{\text{div20}}$
70	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30
	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28
	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26
	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24
	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22
60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	

Pacasmayo Tx	Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																				
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$h_{\text{div1}}$	$h_{\text{div2}}$	$h_{\text{div3}}$	$h_{\text{div4}}$	$h_{\text{div5}}$	$h_{\text{div6}}$	$h_{\text{div7}}$	$h_{\text{div8}}$	$h_{\text{div9}}$	$h_{\text{div10}}$	$h_{\text{div11}}$	$h_{\text{div12}}$	$h_{\text{div13}}$	$h_{\text{div14}}$	$h_{\text{div15}}$	$h_{\text{div16}}$	$h_{\text{div17}}$	$h_{\text{div18}}$	$h_{\text{div19}}$	$h_{\text{div20}}$
68	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28
	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26
	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24
	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22
	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20
58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	

Pacasmayo Tx	Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																				
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$h_{\text{div1}}$	$h_{\text{div2}}$	$h_{\text{div3}}$	$h_{\text{div4}}$	$h_{\text{div5}}$	$h_{\text{div6}}$	$h_{\text{div7}}$	$h_{\text{div8}}$	$h_{\text{div9}}$	$h_{\text{div10}}$	$h_{\text{div11}}$	$h_{\text{div12}}$	$h_{\text{div13}}$	$h_{\text{div14}}$	$h_{\text{div15}}$	$h_{\text{div16}}$	$h_{\text{div17}}$	$h_{\text{div18}}$	$h_{\text{div19}}$	$h_{\text{div20}}$
66	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26
	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24
	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22
	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20
	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18
56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	

En este mismo orden de ideas en la Tabla 8 se puede apreciar el mismo concepto de variación de alturas, bajo un patrón común de separación entre altura de antena principal y altura de antena secundaria, a lo cual se ha denominado separación de alturas de antenas de diversidad espacial

**Tabla 8: Resumen altura Tx / Rx y separaciones de diversidad espacial.**

Pacasmayo Tx		Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																			
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$\Delta h_1$	$\Delta h_2$	$\Delta h_3$	$\Delta h_4$	$\Delta h_5$	$\Delta h_6$	$\Delta h_7$	$\Delta h_8$	$\Delta h_9$	$\Delta h_{10}$	$\Delta h_{11}$	$\Delta h_{12}$	$\Delta h_{13}$	$\Delta h_{14}$	$\Delta h_{15}$	$\Delta h_{16}$	$\Delta h_{17}$	$\Delta h_{18}$	$\Delta h_{19}$	$\Delta h_{20}$
72	72	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	70	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	68	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	66	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	64	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	62	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40

Pacasmayo Tx		Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																			
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$\Delta h_1$	$\Delta h_2$	$\Delta h_3$	$\Delta h_4$	$\Delta h_5$	$\Delta h_6$	$\Delta h_7$	$\Delta h_8$	$\Delta h_9$	$\Delta h_{10}$	$\Delta h_{11}$	$\Delta h_{12}$	$\Delta h_{13}$	$\Delta h_{14}$	$\Delta h_{15}$	$\Delta h_{16}$	$\Delta h_{17}$	$\Delta h_{18}$	$\Delta h_{19}$	$\Delta h_{20}$
70	70	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	68	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	66	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	64	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	62	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	60	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40

Pacasmayo Tx		Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																			
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$\Delta h_1$	$\Delta h_2$	$\Delta h_3$	$\Delta h_4$	$\Delta h_5$	$\Delta h_6$	$\Delta h_7$	$\Delta h_8$	$\Delta h_9$	$\Delta h_{10}$	$\Delta h_{11}$	$\Delta h_{12}$	$\Delta h_{13}$	$\Delta h_{14}$	$\Delta h_{15}$	$\Delta h_{16}$	$\Delta h_{17}$	$\Delta h_{18}$	$\Delta h_{19}$	$\Delta h_{20}$
68	68	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	66	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	64	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	62	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	60	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	58	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40

Pacasmayo Tx		Paiján Rx $h_{\text{main}} - h_{\text{diversity}}$ (m)																			
$h_{\text{Tx}}$ (m)	$h_{\text{main}}$ (m)	$\Delta h_1$	$\Delta h_2$	$\Delta h_3$	$\Delta h_4$	$\Delta h_5$	$\Delta h_6$	$\Delta h_7$	$\Delta h_8$	$\Delta h_9$	$\Delta h_{10}$	$\Delta h_{11}$	$\Delta h_{12}$	$\Delta h_{13}$	$\Delta h_{14}$	$\Delta h_{15}$	$\Delta h_{16}$	$\Delta h_{17}$	$\Delta h_{18}$	$\Delta h_{19}$	$\Delta h_{20}$
66	66	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	64	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	62	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	60	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	58	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	56	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40

### 3.5.3. Reportes de Simulación

Siguiendo la metodología propuesta por Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), se presenta en la Tabla 9, el reporte de simulación obtenido para el caso de una antena transmisora de 72m (Pacasmayo), recibiendo señal (Nrx) en la estación Paiján con una antena principal de 72m y una antena secundaria de 70m (separación de antenas 2m). Las simulaciones de señal recibida se han obtenido para los valores de refractividad superficial desde  $N_s = 250$  hasta  $N_s = 400$ , conforme los límites de la herramienta de simulación.

En base a los datos obtenidos en la Tabla 9 se han elaborado los gráficos de tendencia y dispersión presentados en las Figuras 17 y 18.

Para este caso particular el gráfico de tendencia de la Figura 17 permite visualizar que entre la señal recibida en la antena principal y la recibida en la antena secundaria (diversidad) existe una correlación positiva débil, lo cual se corrobora en el gráfico de dispersión presentado en la Figura 18. Este tipo de comportamiento no es el esperado para un sistema de diversidad espacial, pues lo que se busca es que las señales se complementen en las diferentes situaciones de variabilidad climática representadas por la refractividad superficial ( $N_s$ ).

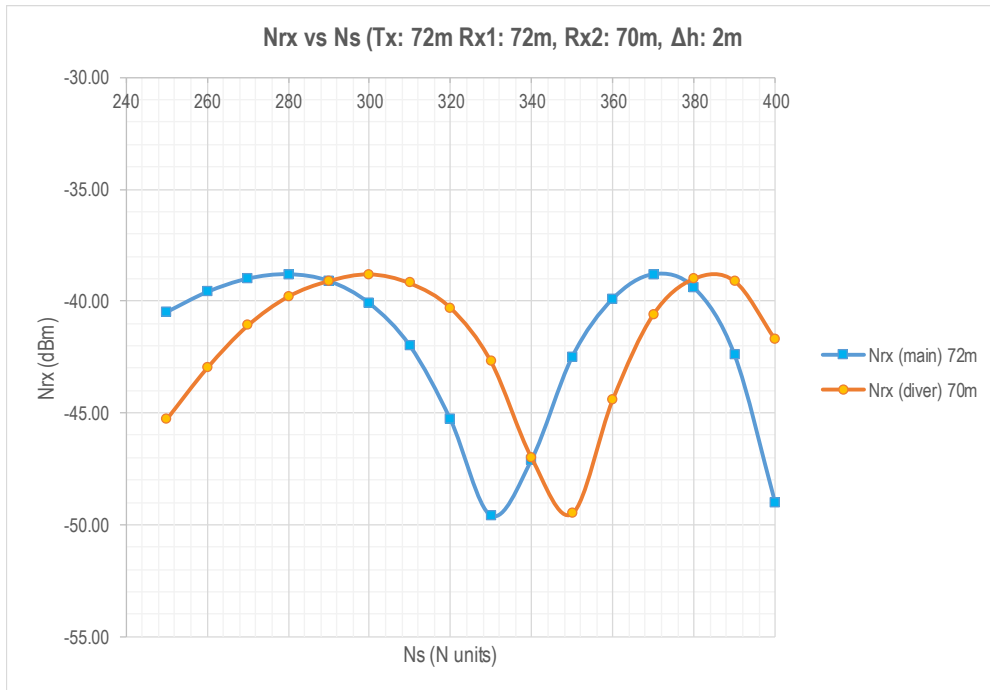
Tabla 9: Reporte de simulación alturas Tx: 72m, Rx1: 72m, Rx2: 70m.

ESTACIONES		ALTURA ANTENAS	
Pacasmayo (Tx)		Htx	72 m
Paján (Rx - main)		Hrx	72 m
Paján (Rx - diversity)		Hrx	70 m

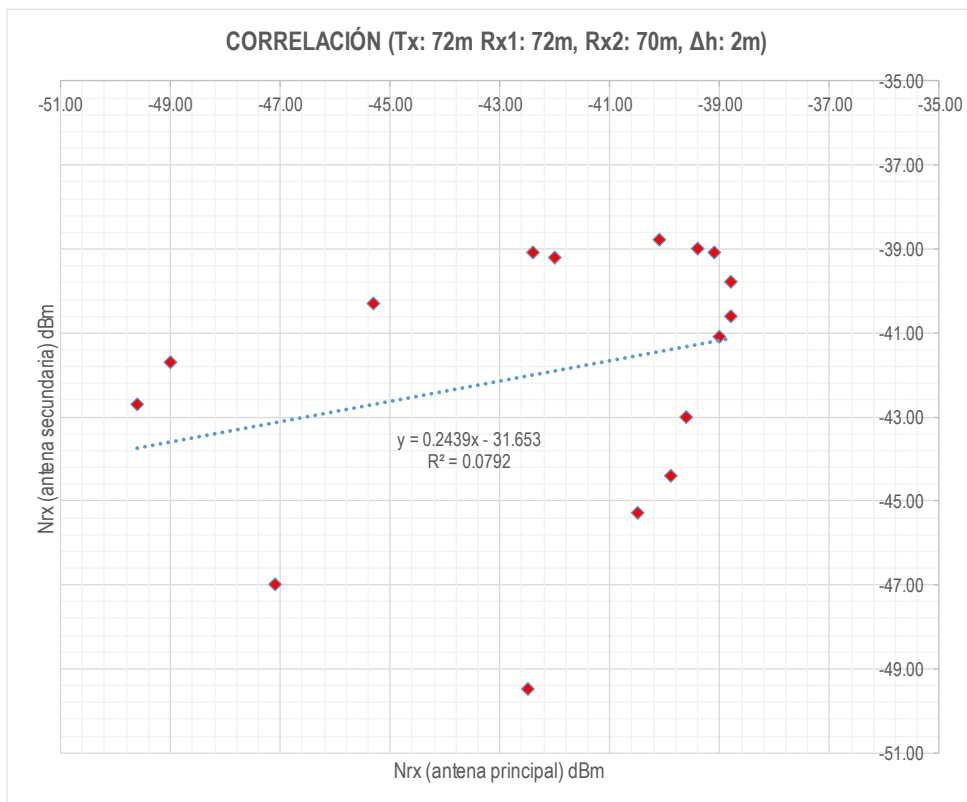
Ns	Nrx (main) dBm	Nrx (div) dBm
250	-40.50	-45.30
260	-39.60	-43.00
270	-39.00	-41.10
280	-38.80	-39.80
290	-39.10	-39.10
300	-40.10	-38.80
310	-42.00	-39.20
320	-45.30	-40.30
330	-49.60	-42.70
340	-47.10	-47.00
350	-42.50	-49.50
360	-39.90	-44.40
370	-38.80	-40.60
380	-39.40	-39.00
390	-42.40	-39.10
400	-49.00	-41.70

**coef. correlación**

$R^2$	0.08
R	28.14%



**Figura 17:** Gráfico de simulación señal recibida Tx: 72m, Rx1: 72m, Δh: 2m



**Figura 18:** Gráfico dispersión entre señales recibidas Rx1: 72m, Rx2: 70m.



De la misma forma se presentan los reportes de simulación obtenidos para el caso de para el caso de una antena transmisora de 72m, receptora principal de 72m y receptora secundaria o diversidad de 66m. Los datos obtenidos del proceso de simulación se presentan en la Tabla 10, y se han obtenido igualmente variando la refractividad superficial entre los límites permitidos por la herramienta de software ( $250 \leq N_s \leq 400$  Nunits).

Es así que de la misma forma que en el apartado anterior, se presentan los gráficos de tendencia y dispersión los cuales son presentados en las Figuras 19 y 20. En este caso particular el gráfico de tendencia de la Figura 19 permite visualizar una condición de complementariedad entre las señales recibidas en la antena receptora principal y la receptora secundaria, lo cual se corrobora con el gráfico de dispersión presentado en la Figura 20, pudiéndose notar que existe una correlación inversa fuerte (más del 80%), lo cual se alinea con el comportamiento esperado del sistema de diversidad espacial.

De esta manera, tomando como referencia los dos reportes de simulación antes presentados, se puede ir observando que, con las diferentes separaciones de alturas de antenas receptoras, se obtienen diferentes desempeños de diversidad espacial ya sean favorables o desfavorables. En este orden de ideas se ha repetido el mismo análisis para las 480 variaciones de separación de alturas receptoras propuestas en la presente investigación. Los detalles de cálculo del desempeño para diferentes alturas receptoras con diversidad espacial, pueden ser consultados en el anexo 01.

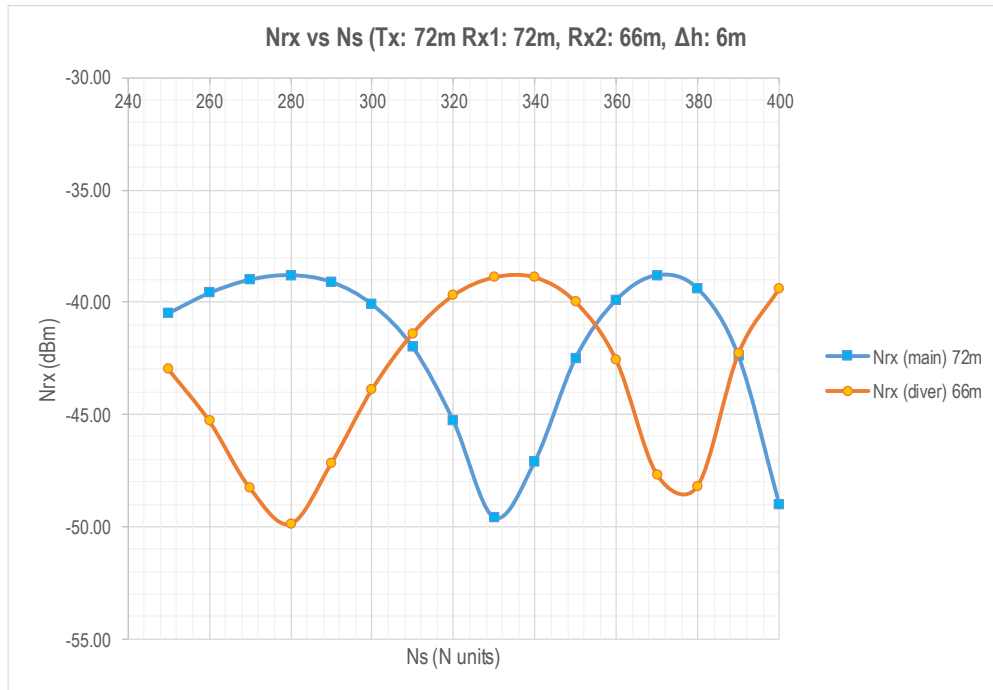
Tabla 10: Reporte de simulación alturas Tx: 72m, Rx1: 72m, Rx2: 66m.

ESTACIONES		ALTURA ANTENAS	
Pacasmayo (Tx)		Htx	72 m
Paján (Rx - main)		Hrx	72 m
Paján (Rx - diversity)		Hrx	66 m

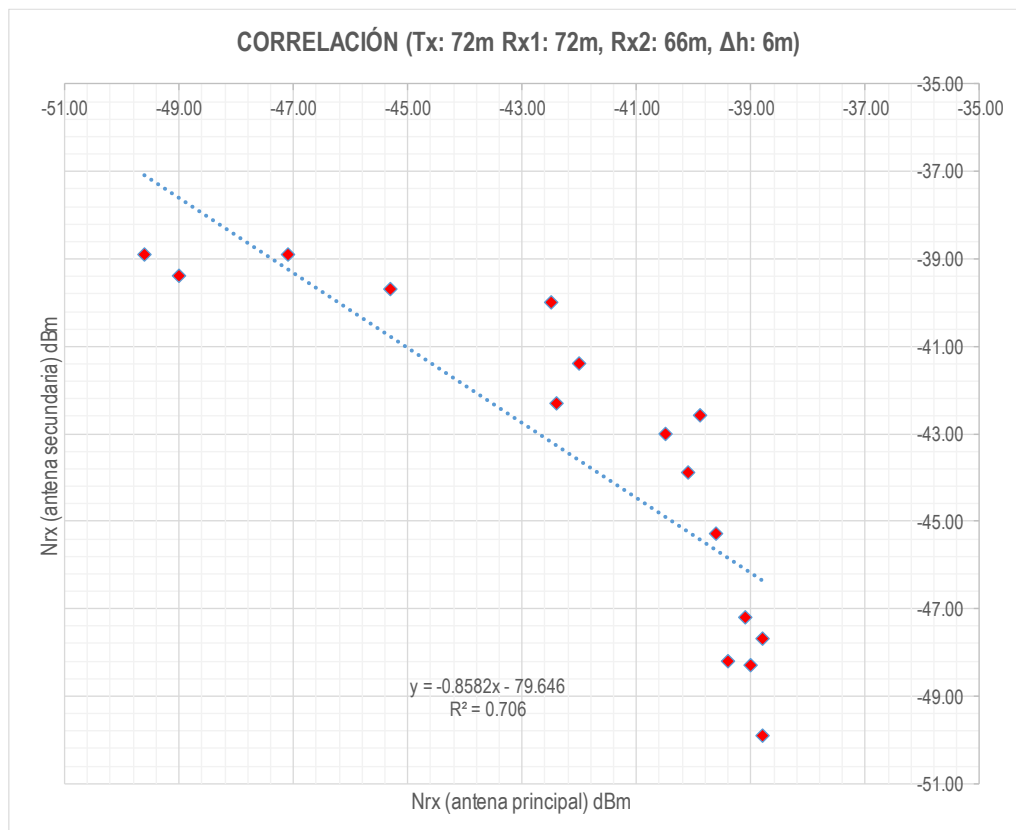
Ns	Nrx (main)	Nrx (diver)
	72m	66m
250	-40.50	-43.00
260	-39.60	-45.30
270	-39.00	-48.30
280	-38.80	-49.90
290	-39.10	-47.20
300	-40.10	-43.90
310	-42.00	-41.40
320	-45.30	-39.70
330	-49.60	-38.90
340	-47.10	-38.90
350	-42.50	-40.00
360	-39.90	-42.60
370	-38.80	-47.70
380	-39.40	-48.20
390	-42.40	-42.30
400	-49.00	-39.40

**coef. correlación**

R <sup>2</sup>	0.7060
R	-84.02%



**Figura 19:** Gráfico de simulación señal recibida Tx: 72m, Rx1: 66m, Δh: 6m.






**Figura 20:** Gráfico dispersión entre señales recibidas Rx1: 72m, Rx2: 66m.

### 3.5.4. Procesamiento de los Reportes de Simulación

Para cada par de alturas de antena (transmisora Pacasmayo y receptora Paiján), se evaluaron 20 separaciones de antenas receptoras con diversidad espacial. El desempeño de diversidad espacial es fluctuante para cada separación de alturas de antenas, de manera que es necesario establecer umbrales de desempeño a fin de poder identificar las separaciones de altura de antenas favorecen y las que desfavorecen el desempeño de diversidad espacial. De esta forma se presenta la Tabla 11, en la cual se ha propuesto los rangos aceptables, poco aceptables y no aceptables para la evaluación del desempeño de diversidad espacial.

*Tabla 11: Escala propuesta para evaluación de Diversidad Espacial.*

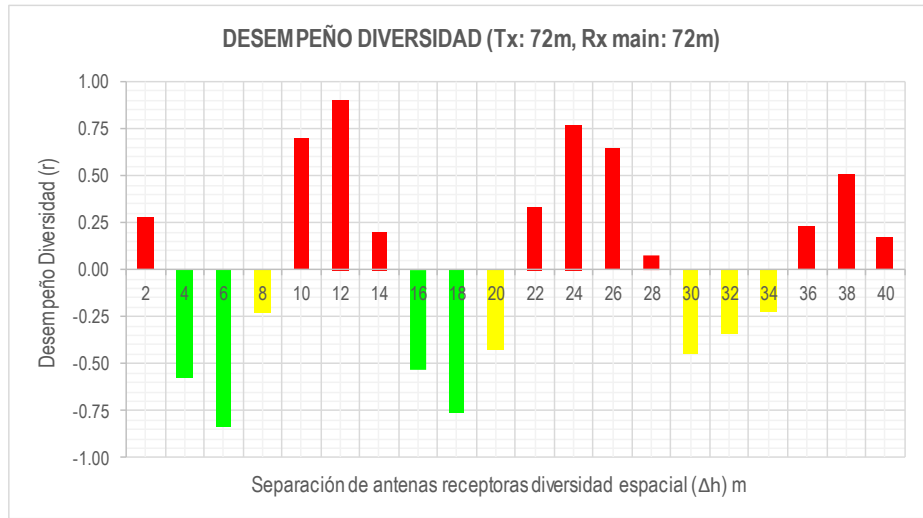
COLOR	RANGO	DETALLE
	from -0.50 to -1.00	Desempeño aceptable
	from -0.01 to -0.49	Desempeño poco aceptable
	from 1.00 to 0.00	Desempeño no aceptable

Se debe indicar que el desempeño esperado en una diversidad espacial es de correlación inversa fuertemente negativa por lo cual se ha considerado desde -0.5 hasta -1.0 como el mejor escenario de clasificación, de esta forma los valores entre 0.0 y -0.49 se han considerado como desempeño poco aceptable, es decir con algunos rangos de refractividad en los que las señales se complementan, en tanto que los valores desde 0.0 a 1.0 se han considerado como no aceptables, dado que las señales en las dos antenas mostrarían un comportamiento muy similar, degradándose en los mismos rangos de refractividad superficial.

En este orden de ideas, se presenta la Figura 21 y Figura 22, donde se muestra el desempeño de diversidad espacial obtenido por simulación para las 20 separaciones de antenas, bajo diferentes pares de alturas de transmisión y recepción. Es visible que la cantidad de valores favorables cambian de acuerdo al par de alturas de Tx / Rx evaluadas. La Tabla 11 muestra un resumen de todos los valores de desempeño obtenidos.

H<sub>TX</sub> 72 m Tx Pacasmayo  
H<sub>RX</sub> 72 m Rx Paján (main)

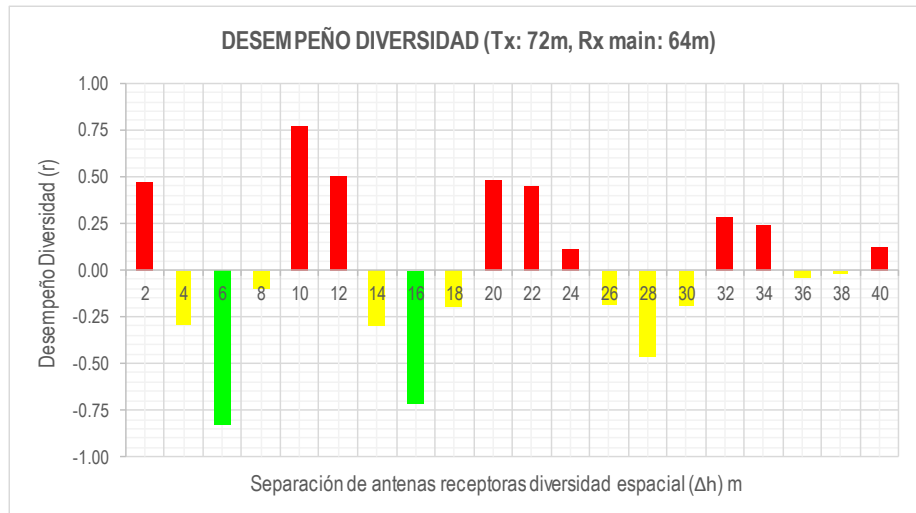
$\Delta h$	r
$\Delta h_1$	2 0.28
$\Delta h_2$	4 -0.57
$\Delta h_3$	6 -0.84
$\Delta h_4$	8 -0.23
$\Delta h_5$	10 0.70
$\Delta h_6$	12 0.90
$\Delta h_7$	14 0.20
$\Delta h_8$	16 -0.53
$\Delta h_9$	18 -0.76
$\Delta h_{10}$	20 -0.42
$\Delta h_{11}$	22 0.33
$\Delta h_{12}$	24 0.77
$\Delta h_{13}$	26 0.65
$\Delta h_{14}$	28 0.07
$\Delta h_{15}$	30 -0.45
$\Delta h_{16}$	32 -0.34
$\Delta h_{17}$	34 -0.22
$\Delta h_{18}$	36 0.23
$\Delta h_{19}$	38 0.51
$\Delta h_{20}$	40 0.17



**Figura 21:** Gráfico desempeño diversidad espacial Tx: 72m, Rx: 72m.

H<sub>TX</sub> 72 m Tx Pacasmayo  
H<sub>RX</sub> 64 m Rx Paján (main)

$\Delta h$	r
$\Delta h_1$	2 0.47
$\Delta h_2$	4 -0.29
$\Delta h_3$	6 -0.83
$\Delta h_4$	8 -0.10
$\Delta h_5$	10 0.77
$\Delta h_6$	12 0.50
$\Delta h_7$	14 -0.30
$\Delta h_8$	16 -0.71
$\Delta h_9$	18 -0.20
$\Delta h_{10}$	20 0.48
$\Delta h_{11}$	22 0.45
$\Delta h_{12}$	24 0.11
$\Delta h_{13}$	26 -0.18
$\Delta h_{14}$	28 -0.47
$\Delta h_{15}$	30 -0.19
$\Delta h_{16}$	32 0.28
$\Delta h_{17}$	34 0.24
$\Delta h_{18}$	36 -0.04
$\Delta h_{19}$	38 -0.02
$\Delta h_{20}$	40 0.12

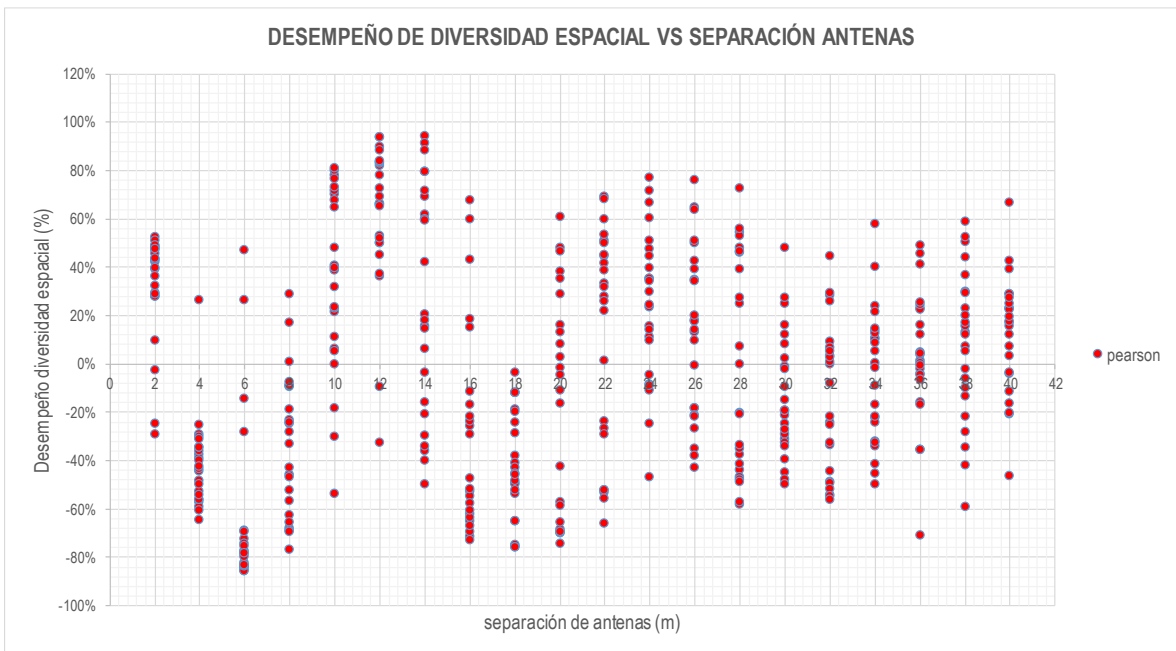


**Figura 22:** Gráfico desempeño diversidad espacial Tx: 72m, Rx: 64m.

Tabla 12: Resumen desempeño de diversidad espacial para 24 variaciones de altura Tx / Rx (main).

h <sub>TX</sub> 72m							h <sub>TX</sub> 70m						h <sub>TX</sub> 68m						h <sub>TX</sub> 66m								
h <sub>RX1</sub>							h <sub>RX1</sub>						h <sub>RX1</sub>						h <sub>RX1</sub>								
h <sub>RX2</sub>							h <sub>RX2</sub>						h <sub>RX2</sub>						h <sub>RX2</sub>								
$\Delta h$	desempeño diversidad espacial						$\Delta h$	desempeño diversidad espacial						$\Delta h$	desempeño diversidad espacial						$\Delta h$	desempeño diversidad espacial					
2	28%	42%	39%	10%	47%	28%	2	43%	29%	40%	36%	29%	46%	2	-3%	-29%	48%	-25%	48%	53%	2	51%	32%	49%	48%	43%	44%
4	-57%	-48%	-59%	-44%	-29%	-38%	4	-43%	-64%	-30%	-56%	-56%	-53%	4	26%	-60%	-39%	-50%	-31%	-40%	4	-36%	-43%	-25%	-35%	-54%	-35%
6	-84%	-84%	-84%	-77%	-83%	-28%	6	-79%	-85%	-69%	-86%	-73%	-74%	6	-14%	47%	-82%	26%	-84%	-83%	6	-83%	-69%	-78%	-80%	-75%	-78%
8	-23%	-33%	-46%	-9%	-10%	-28%	8	-52%	-43%	-63%	-25%	1%	-9%	8	-19%	17%	-68%	29%	-66%	-69%	8	-70%	-57%	-47%	-24%	-8%	-77%
10	70%	48%	39%	78%	77%	80%	10	21%	41%	23%	71%	68%	73%	10	24%	-54%	11%	6%	0%	-18%	10	5%	32%	40%	65%	81%	-30%
12	90%	94%	94%	50%	50%	36%	12	82%	88%	73%	66%	45%	53%	12	83%	-9%	83%	-33%	66%	52%	12	84%	67%	78%	69%	65%	37%
14	20%	42%	62%	-40%	-30%	-50%	14	15%	60%	18%	-21%	-36%	-34%	14	59%	94%	80%	69%	91%	88%	14	80%	15%	6%	-4%	-16%	71%
16	-53%	-26%	-24%	-65%	-71%	-69%	16	-62%	-29%	-48%	-73%	-67%	-63%	16	-17%	-22%	18%	-11%	43%	60%	16	15%	-55%	-52%	-58%	-61%	68%
18	-76%	-75%	-76%	-19%	-20%	-12%	18	-49%	-76%	-50%	-38%	-24%	-28%	18	-65%	-54%	-41%	-48%	-12%	-4%	18	-43%	-52%	-45%	-46%	-65%	-12%
20	-42%	-57%	-69%	61%	48%	47%	20	16%	-70%	-2%	29%	38%	13%	20	-70%	35%	-68%	3%	-65%	-59%	20	-70%	8%	-4%	-16%	-11%	-74%
22	33%	1%	-24%	60%	45%	45%	22	69%	-26%	22%	51%	42%	53%	22	-29%	28%	-52%	50%	-53%	-56%	22	-52%	32%	26%	39%	68%	-66%
24	77%	67%	35%	-11%	11%	30%	24	23%	35%	47%	34%	40%	45%	24	24%	-47%	-9%	10%	16%	-4%	24	-25%	14%	51%	60%	72%	-9%
26	65%	64%	50%	-43%	-18%	-27%	26	-35%	51%	13%	0%	-18%	-22%	26	35%	-22%	43%	-38%	76%	35%	26	18%	17%	10%	14%	20%	39%
28	7%	0%	25%	-44%	-47%	-58%	28	-38%	39%	-35%	-48%	-57%	-49%	28	46%	48%	55%	73%	47%	27%	28	53%	-41%	-34%	-20%	-21%	56%
30	-45%	-31%	-9%	-21%	-19%	-29%	30	-15%	-1%	-33%	-39%	-34%	-25%	30	2%	12%	8%	25%	-2%	27%	30	16%	-48%	-27%	-19%	-50%	48%
32	-34%	-49%	-49%	45%	28%	9%	32	0%	-54%	3%	1%	7%	3%	32	-52%	-55%	-24%	-45%	-33%	26%	32	-25%	-8%	5%	-22%	-56%	29%
34	-22%	-24%	-32%	58%	24%	11%	34	40%	-45%	14%	10%	13%	9%	34	-50%	0%	-17%	-9%	-34%	-1%	34	-22%	14%	5%	-33%	-42%	21%
36	23%	41%	5%	12%	-4%	23%	36	24%	-2%	1%	4%	25%	4%	36	-5%	46%	-16%	49%	-36%	-36%	36	0%	16%	-6%	-17%	-1%	-71%
38	51%	53%	13%	16%	-2%	44%	38	-14%	12%	7%	30%	37%	30%	38	17%	-35%	-28%	-6%	-22%	-42%	38	-10%	23%	5%	20%	59%	-59%
40	17%	7%	3%	23%	12%	29%	40	-12%	16%	18%	39%	29%	23%	40	22%	-21%	-4%	-47%	25%	-4%	40	-16%	27%	20%	43%	67%	-20%

El procesamiento descrito en los párrafos anteriores, y resumido en la Tabla 12, se ha realizado para los 24 pares de altura de transmisión y recepción considerados en el enlace Pacasmayo – Paiján. En tal sentido la Figura 23 presenta un gráfico representando todos los valores de desempeño obtenidos del proceso de simulación llevado a cabo para cada par de alturas Tx / Rx y separación de antenas de diversidad espacial. Los detalles del procesamiento pueden ser consultado en el Anexo 02.



**Figura 23:** Gráfico desempeño diversidad espacial todos los reportes.

### 3.5.5. Cuantificación de margen de desempeño favorable

A fin de poder analizar los valores favorables que corresponden a cada separación de alturas de recepción, se identificaron las ocurrencias de valores de correlación inversa a partir de -50%, y estas han sido cuantificadas en el resumen presentado en la Tabla 13. Cabe destacar que en la última columna de dicha tabla se cuantifica el margen entre los resultados favorables y resultados desfavorables, con los cual se procederá a la selección y presentación final de resultados.

Tabla 13: Identificación de separaciones de alturas con márgenes de desempeño favorables.

$h_{TX}$	72m						70m						68m						66m						desempeños favorables	desempeños desfavorables	margen
$h_{RX1}$	72m	70m	68m	66m	64m	62m	70m	68m	66m	64m	62m	60m	68m	66m	64m	62m	60m	58m	66m	64m	62m	60m	58m	56m			
$h_{RX2}$	70m	68m	66m	64m	62m	60m	68m	66m	64m	62m	60m	58m	66m	64m	62m	60m	58m	56m	64m	62m	60m	58m	56m	54m			
$\Delta h$	r						r						r						r								
2	28%	42%	39%	10%	47%	28%	43%	29%	40%	36%	29%	46%	-3%	-29%	48%	-25%	48%	53%	51%	32%	49%	48%	43%	44%	0	21	-21
4	-57%	-48%	-59%	-44%	-29%	-38%	-43%	-64%	-30%	-56%	-56%	-53%	26%	-60%	-39%	-50%	-31%	-40%	-36%	-43%	-25%	-35%	-54%	-35%	8	1	7
6	-84%	-84%	-84%	-77%	-83%	-28%	-79%	-85%	-69%	-86%	-73%	-74%	-14%	47%	-82%	26%	-84%	-83%	-83%	-69%	-78%	-80%	-75%	-78%	20	2	18
8	-23%	-33%	-46%	-9%	-10%	-28%	-52%	-43%	-63%	-25%	1%	-9%	-19%	17%	-68%	29%	-66%	-69%	-70%	-57%	-47%	-24%	-8%	-77%	8	3	5
10	70%	48%	39%	78%	77%	80%	21%	41%	23%	71%	68%	73%	24%	-54%	11%	6%	0%	-18%	5%	32%	40%	65%	81%	-30%	1	21	-20
12	90%	94%	94%	50%	50%	36%	82%	88%	73%	66%	45%	53%	83%	-9%	83%	-33%	66%	52%	84%	67%	78%	69%	65%	37%	0	22	-22
14	20%	42%	62%	-40%	-30%	-50%	15%	60%	18%	-21%	-36%	-34%	59%	94%	80%	69%	91%	88%	80%	15%	6%	-4%	-16%	71%	0	16	-16
16	-53%	-26%	-24%	-65%	-71%	-69%	-62%	-29%	-48%	-73%	-67%	-63%	-17%	-22%	18%	-11%	43%	60%	15%	-55%	-52%	-58%	-61%	68%	12	5	7
18	-76%	-75%	-76%	-19%	-20%	-12%	-49%	-76%	-50%	-38%	-24%	-28%	-65%	-54%	-41%	-48%	-12%	-4%	-43%	-52%	-45%	-46%	-65%	-12%	8	0	8
20	-42%	-57%	-69%	61%	48%	47%	16%	-70%	-2%	29%	38%	13%	-70%	35%	-68%	3%	-65%	-59%	-70%	8%	-4%	-16%	-11%	-74%	9	10	-1
22	33%	1%	-24%	60%	45%	45%	69%	-26%	22%	51%	42%	53%	-29%	28%	-52%	50%	-53%	-56%	-52%	32%	26%	39%	68%	-66%	5	16	-11
24	77%	67%	35%	-11%	11%	30%	23%	35%	47%	34%	40%	45%	24%	-47%	-9%	10%	16%	-4%	-25%	14%	51%	60%	72%	-9%	0	18	-18
26	65%	64%	50%	-43%	-18%	-27%	-35%	51%	13%	0%	-18%	-22%	35%	-22%	43%	-38%	76%	35%	18%	17%	10%	14%	20%	39%	0	16	-16
28	7%	0%	25%	-44%	-47%	-58%	-38%	39%	-35%	-48%	-57%	-49%	46%	48%	55%	73%	47%	27%	53%	-41%	-34%	-20%	-21%	56%	2	12	-10
30	-45%	-31%	-9%	-21%	-19%	-29%	-15%	-1%	-33%	-39%	-34%	-25%	2%	12%	8%	25%	-2%	27%	16%	-48%	-27%	-19%	-50%	48%	0	7	-7
32	-34%	-49%	-49%	45%	28%	9%	0%	-54%	3%	1%	7%	3%	-52%	-55%	-24%	-45%	-33%	26%	-25%	-8%	5%	-22%	-56%	29%	4	11	-7
34	-22%	-24%	-32%	58%	24%	11%	40%	-45%	14%	10%	13%	9%	-50%	0%	-17%	-9%	-34%	-1%	-22%	14%	5%	-33%	-42%	21%	0	12	-12
36	23%	41%	5%	12%	-4%	23%	24%	-2%	1%	4%	25%	4%	-5%	46%	-16%	49%	-36%	-36%	0%	16%	-6%	-17%	-1%	-71%	1	15	-14
38	51%	53%	13%	16%	-2%	44%	-14%	12%	7%	30%	37%	30%	17%	-35%	-28%	-6%	-22%	-42%	-10%	23%	5%	20%	59%	-59%	1	15	-14
40	17%	7%	3%	23%	12%	29%	-12%	16%	18%	39%	29%	23%	22%	-21%	-4%	-47%	25%	-4%	-16%	27%	20%	43%	67%	-20%	0	17	-17



## **IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Análisis e interpretación de resultados**

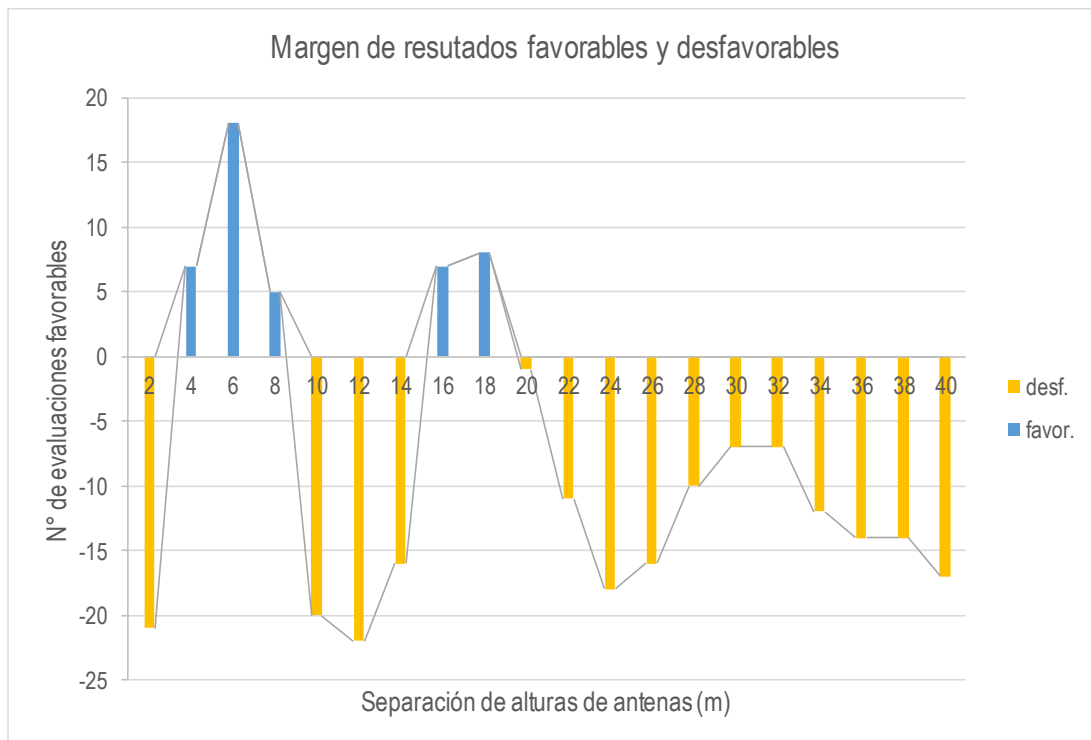
En este apartado se presentarán los resultados de evaluación favorable o desfavorable del desempeño de diversidad espacial para los diferentes valores de separación de alturas de antenas obtenidos a partir de los reportes de simulación procesados en el enlace Pacasmayo – Paiján, banda de transporte microondas de 7 GHz.

Las diferentes separaciones de alturas de antenas de recepción han mostrado valores dispersos de desempeño de diversidad espacial entre las categorías aceptables, poco aceptables y no aceptables, por lo cual se ha tomado como referencia para el análisis, el margen entre el número de resultados aceptables y no aceptables para cada separación de antenas. De este modo el resultado es más favorable en cuanto más hallazgos de coeficientes de desempeño aceptables se hayan tenido en el proceso de simulación. La Figura 25 muestra el resumen de la cuantificación de este margen para las diferentes separaciones de antenas de recepción evaluadas.

Se puede apreciar una tendencia entre los 4 a 8 metros de separación de altura de antenas a otorgar valores favorables de desempeño de diversidad espacial, habiéndose encontrado que con la separación de 6m entre antenas receptoras, se encuentran el número y valores más altos de desempeños aceptables.

Del mismo modo se puede apreciar que hay un conjunto de valores de separación de antenas entre aproximadamente los 16 a 18 metros de separación de antenas, con margen favorable donde los resultados de desempeño de diversidad espacial vuelven a ser aceptables, aunque con menor cantidad de hallazgos que el rango de 4 a 8 metros.

Los demás valores de separación de alturas de antenas muestran una tendencia a mantener un margen de resultados desfavorables en cuanto al desempeño de diversidad espacial.



**Figura 24:** Margen de resultados de desempeño favorables y desfavorables para las separaciones de alturas de antena de recepción.

Con todo lo anteriormente presentado se puede inferir que el aumento o disminución de la separación de antenas receptoras no guarda relación directa con un mayor o menor desempeño de diversidad espacial, sin embargo, lo que se puede observar es que existe una condición selectiva en ciertos valores de separación de antenas con tendencia a generar desempeños favorables de diversidad espacial. Asimismo, dentro de ese contexto es notoria una tendencia respecto del número de desempeños favorables hallados, los cuales se van decrementado cuanto mayor es la separación de antenas.

#### **4.2. Docimasia de hipótesis**

En base a los resultados presentados se ha llegado a evidenciar mediante proceso de simulación que los valores de separación de antenas en el rango entre 4m a 8m han obtenido los coeficientes más favorables de todas las estimaciones realizadas, seguidos del rango de separación entre 16m a 18m, con menor número de coeficientes favorables. En este orden de ideas para el caso específico del enlace microondas en banda 7 GHz entre Pacasmayo y Paiján en la zona costera del Departamento de La Libertad, se verifica el hallazgo de valores selectivos de separación de alturas de antenas que favorecen el desempeño de diversidad espacial, comprobándose de esta manera la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación.

## V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

En este apartado se discutirán los resultados presentados en conformidad con los objetivos planteados y antecedentes de investigación.

Respecto de los parámetros técnicos tomados como base para la simulación, éstos han partido de características técnicas de sistemas de transmisión radio microondas de tipo SDH o packet microwave, los cuales son de uso común en las dorsales de interconexión peruanas, guardando similitud con parámetros empleados en las investigaciones de Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), y Palacio, C. (2007).

Del mismo modo para el caso de la herramienta de simulación se han empleado parámetros disponibles de refractividad superficial propios de aparición en zonas costeras. Cabe resaltar que más allá de lograr reproducir con precisión los niveles de potencia recibida, lo que se ha buscado es evaluar las diferencias, similitudes y complementariedad entre las señales obtenidas en las antenas que forman parte del sistema de diversidad espacial, por lo cual aún cuando los niveles de recepción puedan aumentar o disminuir por parámetros generales de potencia, ganancia o pérdida, las características de similitud o complementariedad se mantendrán.

Respecto de las curvas de respuesta construidas, éstas han procurado evaluar diferentes combinaciones de alturas de antenas transmisoras y receptoras coincidiendo con la metodología empleada por Goktas, P. et al (2015), y partiendo de los valores de 72m propuestos por Pérez, F. y Ortiz, G. (2019). Se señala asimismo que, por las limitaciones de la herramienta de simulación empleada, la granularidad en la recopilación de datos se dio con variaciones de 2m tanto para los valores de antenas transmisoras como las antenas receptoras. Asimismo, los límites de separación entre las antenas receptoras de diversidad espacial llegan hasta un valor de 40 metros puesto que, para mayores separaciones, la geografía del vano radioeléctrico en la herramienta de simulación reportaba el compromiso de la línea de vista.

Respecto de la evaluación del desempeño de diversidad espacial, se ha basado en la identificación de parámetros de correlación coincidiendo con los criterios empleados por Dietrich, C. et al (2001). En el presente trabajo se ha buscado identificar valores de correlación fuertemente negativa (inversa), para poder asegurar que en las diferentes variaciones climáticas representadas en los diversos valores de refractividad superficial ( $N_s$ ), las señales se complementen de manera que siempre en una de las dos antenas receptoras se encuentre un nivel favorable de potencia recibida. En este sentido la construcción de las curvas de desempeño se ha basado en histogramas cuantificando la ocurrencia de valores, fuertemente negativos, débilmente negativos y positivos.

A partir de la construcción de curvas de desempeño descritas líneas arriba, se encontró dispersión de valores en las diferentes separaciones de altura evaluadas, por lo cual se decidió establecer parámetros de aceptabilidad sólo a los valores fuertemente negativos (-50% a -100%), discriminando a los valores débilmente negativos y positivos. Con ello se pudo evidenciar, graficar e identificar los rangos de separación de antenas con mayor aparición de valores favorables (correlación inversa fuertemente negativa).

Se puede afirmar finalmente que la caracterización rigurosa del desempeño de la diversidad espacial en función de la separación de alturas de antenas requeriría un modelamiento más complejo, en el cual se debería incluir parámetros de la geografía del vano radioeléctrico y altura del sistema de diversidad espacial. No obstante, a pesar de ello, el análisis llevado a cabo en el presente trabajo ha permitido identificar la aparición de rangos selectivos de separación de antenas receptoras, cuyo desempeño se va degradando conforme aumenta la separación entre dichas antenas. En este sentido en comparación con los antecedentes de Chicaiza, P. (2012), y Santos, O. (2011), se considera que el presente trabajo ha profundizado en la discusión del desempeño de la diversidad espacial, a diferencia de únicamente aplicar las ecuaciones al cálculo de separación de antenas para efectos de diseño.

## VI. CONCLUSIONES

- Para la evaluación del desempeño de diversidad espacial de un enlace microondas en zona costera de La Libertad se identificaron dentro de los principales parámetros de simulación, los valores de potencia de transmisión, recepción, ganancia y alturas y separación de antenas del sistema de radiofrecuencia, así como los valores de refractividad superficial posibles de aparecer en el vano o trayecto radioléctrico.
- Las curvas de señal recibida en función de la refractividad superficial para las diferentes alturas y separaciones de antenas de diversidad espacial, reflejan fluctuaciones de señal en las cuales se observan casos de similitud en las fluctuaciones en ambas antenas, casos de complemento débil y en menor medida casos de complemento fuerte, lo cual es el comportamiento desedado.
- Las curvas de evaluación del desempeño de diversidad espacial para las diferentes separaciones de alturas de antenas receptoras, reflejan mayormente valores de correlación positiva, y correlación débilmente negativa siendo los casos de correlación fuertemente negativa identificados mayormente en rangos selectivos de separación de alturas.
- Los rangos favorables de desempeño de diversidad espacial se encontraron focalizados en rangos específicos entre 4 a 8 metros, y de 16 a 18 metros de separación de alturas de antenas de diversidad espacial, la tendencia identificada en los rangos focalizados, es a degradar el desempeño de diversidad en espacial conforme se aumenta la separación de antenas.

## VII. RECOMENDACIONES

- El presente trabajo ha sido elaborado bajo el análisis de un enlace dorsal de radio microondas en la zona costera de La Libertad, entre las ciudades de Pacasmayo y Paiján, sin embargo, existen diferentes tramos a lo largo de la costa norte peruana que guardan un vano o trayecto radioeléctrico con similares características al enlace analizado. En tal sentido se podría recomendar ampliar la investigación a diferentes enlaces de la costa peruana a fin de evaluar la tendencia del desempeño diversidad espacial.
- De igual manera se resalta que el análisis llevado a cabo en el presente trabajo de investigación ha sido realizado para un canal de radiofrecuencia fijo en el centro de la banda de 7 GHz, sin embargo, se considera una importante oportunidad de ampliar la investigación, evaluar el desempeño de diversidad espacial en otros canales y bandas de frecuencia de transporte microondas.
- La evaluación realizada a partido del mejor caso de selección de alturas propuesto por Pérez, F. y Ortiz, G. (2019), sin embargo, dado que el diseño de diversidad espacial no tiene una única solución para el cálculo de alturas y separación de antenas, se considera otra importante oportunidad de ampliar la investigación, evaluar el desempeño de diversidad espacial a partir de otros valores de alturas de antenas de transmisión y recepción con diversidad espacial.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### **Tesis:**

- Pérez, F. y 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 – Paján”* Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo – Perú
- Palacio, C. A. (2007), *“Desarrollo de un modelo de procedimiento para diseño y planeación de enlaces de microondas en entornos rurales: subestación Palermo-Centro de Control Remoto”* Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia
- Chicaiza, P. P. (2012), *“Re-Diseño del arreglo de antenas “Back-To-Back” del radioenlace de microonda entre las estaciones de San Juan y Chiriboga, de S.O.T.E. en la banda de 7GHz”*. Escuela Politecnica Nacional. Quito – Ecuador
- Santos, O. (2011), *“Diseño e implementación de una red inalámbrica IEEE 802.11n. Línea de base enfocada a un sistema de videoconferencia para realizar teleconsultas entre centros de salud de comunidades aisladas de la Amazonía peruana”*. Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima – Perú

### **Publicaciones:**

- Dietrich, C. B., Dietze, K., Nealy, J. R., & Stutzman, W. L. (2001), *“Spatial, polarization, and pattern diversity for wireless handheld terminals”*. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation: General*, 1271 – 1281. doi:10.1109/8.947018



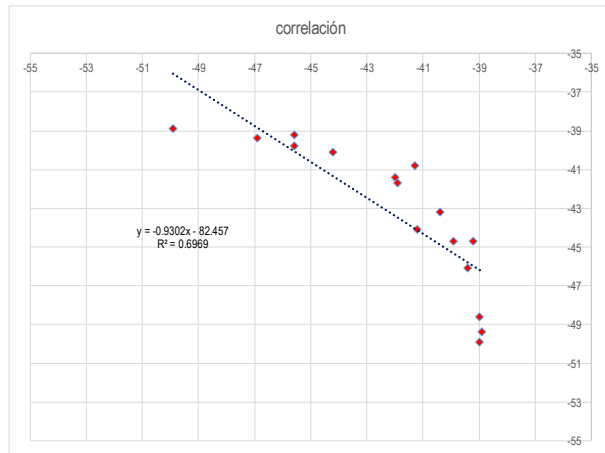
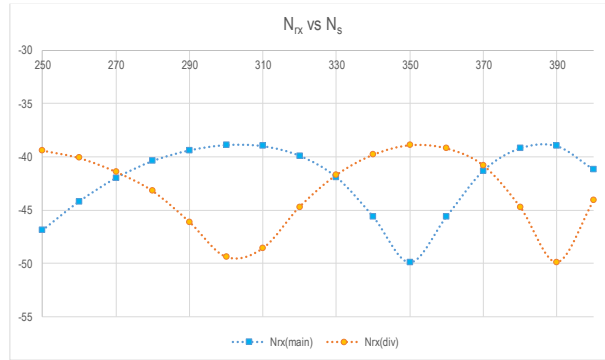
- Goktas, P., Topcu, S., Karasan, E. y Altintas, A. (2015), "Evaluating Spatial Diversity Technique for Mitigating Multipath Fading of Fixed Terrestrial Point-to-Point Systems". *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. doi:10.1109/siu.2015.7130238
- Taga, T., & Tsunekawa, K. (n.d.). A built-in diversity antenna for 800MHz band portable radio units. *1986 Antennas and Propagation Society International Symposium*. doi:10.1109/aps.1986.1149580
- Taga, T. (1993). Characteristics of space-diversity branch using parallel dipole antennas in mobile radio communications. *Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications)*76(9). General: 55–66. doi:10.1002/ecja.4410760906
- Vigants, A. (1975). Space-Diversity Engineering. *Bell System Technical Journal*, 54(1). General: 103–142. doi:10.1002/j.1538-7305.1975.tb02828.x
- Vigants, A. (1968). Space-Diversity Performance as a Function of Antenna Separation. *IEEE Transactions on Communications*, 16(6). General: 831–836. doi:10.1109/tcom.1968.1089925.

## **ANEXOS**

# ANEXO 01: CAPTURAS DEL PROCESAMIENTO DEL DESEMPEÑO DE DIVERSIDAD ESPACIAL

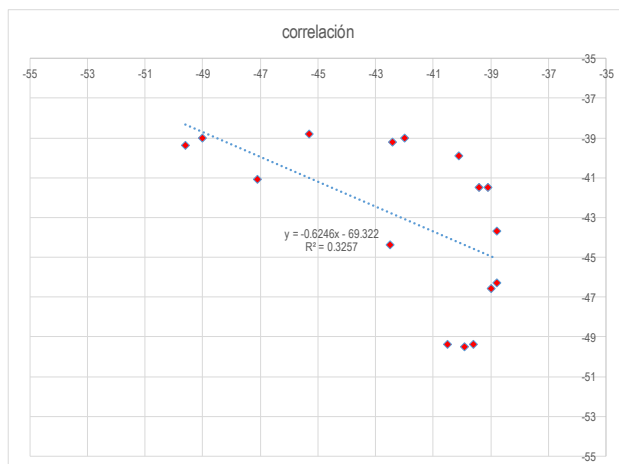
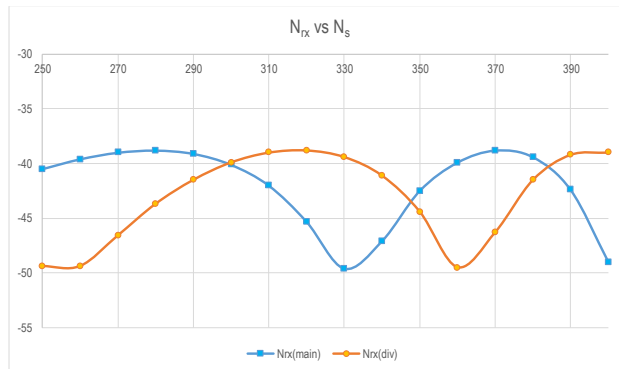
Respuesta Refractividad  
 Htx 70 m  
 Hrx 68 m MAIN  
 Hrx 58 m DIVERSITY

N	Nrx(main)	Nrx(div)
250	-46.9	-39.4
260	-44.2	-40.1
270	-42	-41.4
280	-40.4	-43.2
290	-39.4	-46.1
300	-38.9	-49.4
310	-39	-48.6
320	-39.9	-44.7
330	-41.9	-41.7
340	-45.6	-39.8
350	-49.9	-38.9
360	-45.6	-39.2
370	-41.3	-40.8
380	-39.2	-44.7
390	-39	-49.9
400	-41.2	-44.1



Respuesta Refractividad  
 Htx 72 m  
 Hrx 72 m MAIN  
 Hrx 68 m DIVERSITY

N	Nrx(main)	Nrx(div)
250	-40.5	-49.4
260	-39.6	-49.4
270	-39	-46.6
280	-38.8	-43.7
290	-39.1	-41.5
300	-40.1	-39.9
310	-42	-39
320	-45.3	-38.8
330	-49.6	-39.4
340	-47.1	-41.1
350	-42.5	-44.4
360	-39.9	-49.5
370	-38.8	-46.3
380	-39.4	-41.5
390	-42.4	-39.2
400	-49	-39

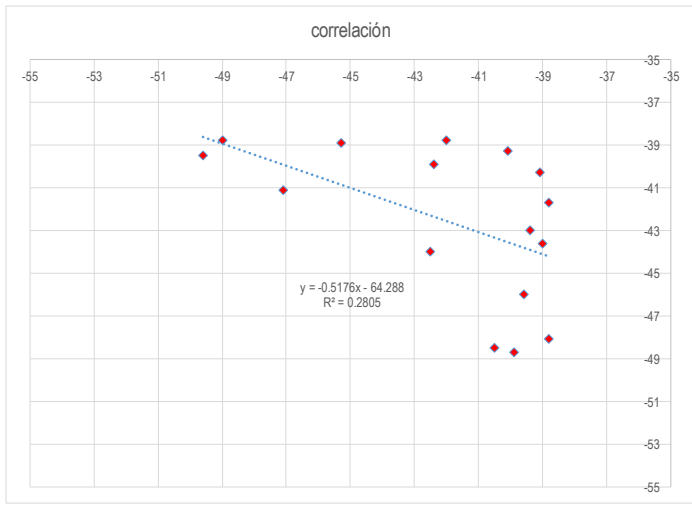
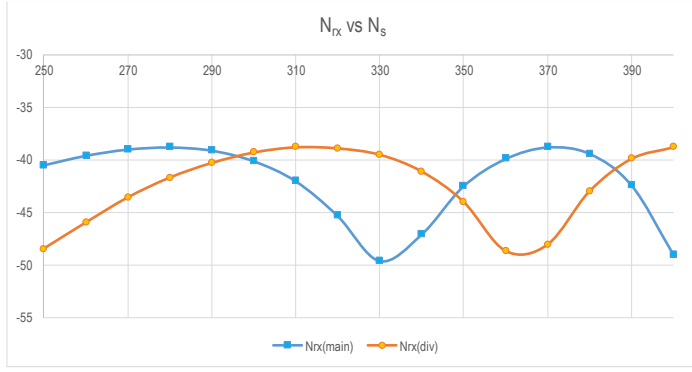


Respuesta Refractividad		
Hx	72	m
Hrx	72	m
Hrx	56	m

N	Nrx(main)	Nrx(div)
250	-40.5	-48.5
260	-39.6	-46
270	-39	-43.6
280	-38.8	-41.7
290	-39.1	-40.3
300	-40.1	-39.3
310	-42	-38.8
320	-45.3	-38.9
330	-49.6	-39.5
340	-47.1	-41.1
350	-42.5	-44
360	-39.9	-48.7
370	-38.8	-48.1
380	-39.4	-43
390	-42.4	-39.9
400	-49	-38.8

MAIN  
DIVERSITY

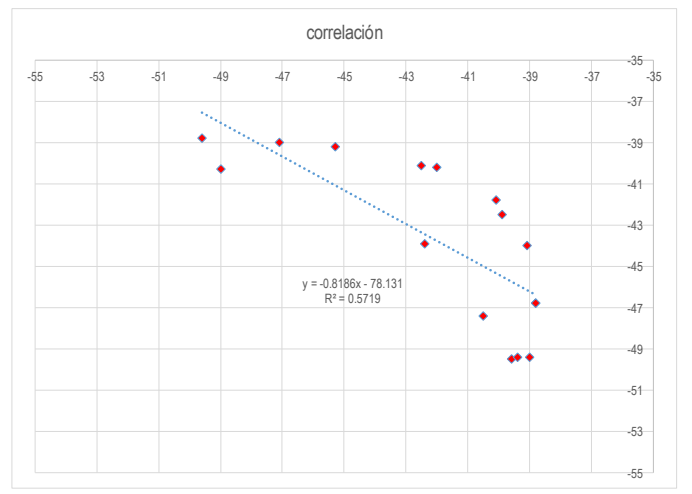
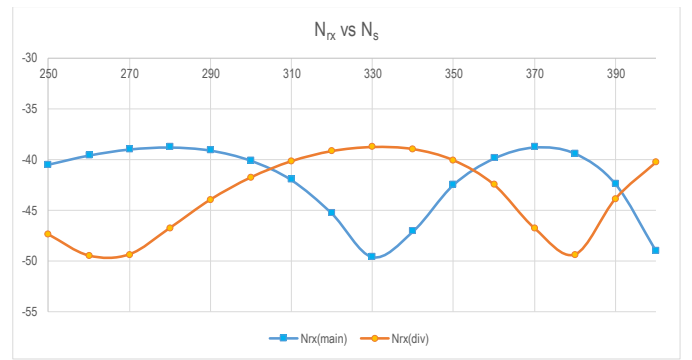


Respuesta Refractividad		
Hx	72	m
Hrx	72	m
Hrx	54	m

N	Nrx(main)	Nrx(div)
250	-40.5	-47.4
260	-39.6	-49.5
270	-39	-49.4
280	-38.8	-46.8
290	-39.1	-44
300	-40.1	-41.8
310	-42	-40.2
320	-45.3	-39.2
330	-49.6	-38.8
340	-47.1	-39
350	-42.5	-40.1
360	-39.9	-42.5
370	-38.8	-46.8
380	-39.4	-49.4
390	-42.4	-43.9
400	-49	-40.3

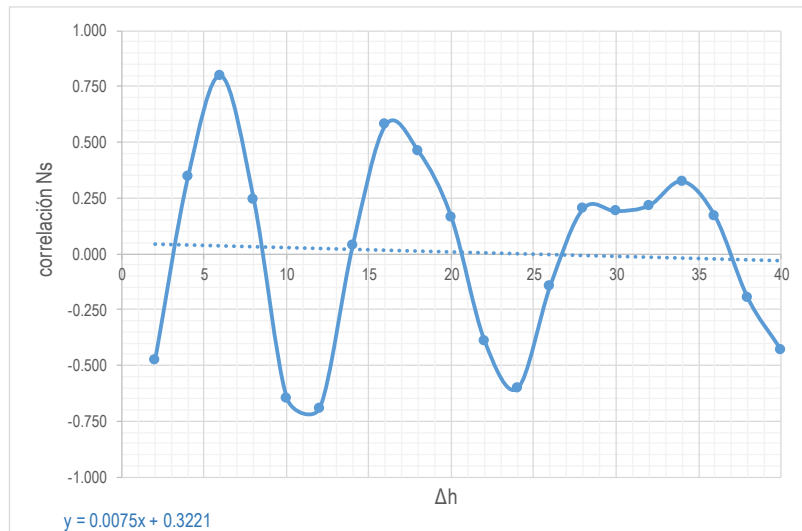
MAIN  
DIVERSITY



## ANEXO 02: CAPTURAS PROCESAMIENTO DE LA CLASIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE DIVERSIDAD ESPACIAL

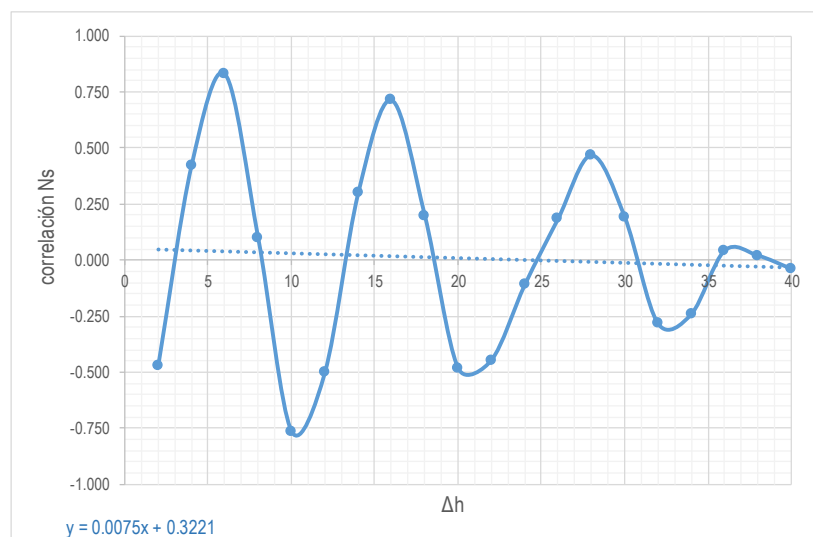
$H_{TX}$  66 m altura del transmisor  
 $P$  60 m altura de la diversidad principal

	$\Delta h$	$r$	$r^2$
D <sub>1</sub>	2	-0.478	0.229
D <sub>2</sub>	4	0.346	0.120
D <sub>3</sub>	6	0.800	0.640
D <sub>4</sub>	8	0.242	0.059
D <sub>5</sub>	10	-0.646	0.417
D <sub>6</sub>	12	-0.692	0.478
D <sub>7</sub>	14	0.037	0.001
D <sub>8</sub>	16	0.579	0.335
D <sub>9</sub>	18	0.460	0.212
D <sub>10</sub>	20	0.163	0.027
D <sub>11</sub>	22	-0.388	0.151
D <sub>12</sub>	24	-0.604	0.365
D <sub>13</sub>	26	-0.142	0.020
D <sub>14</sub>	28	0.203	0.041
D <sub>15</sub>	30	0.192	0.037
D <sub>16</sub>	32	0.217	0.047
D <sub>17</sub>	34	0.326	0.107
D <sub>18</sub>	36	0.169	0.029
D <sub>19</sub>	38	-0.199	0.040
D <sub>20</sub>	40	-0.429	0.184



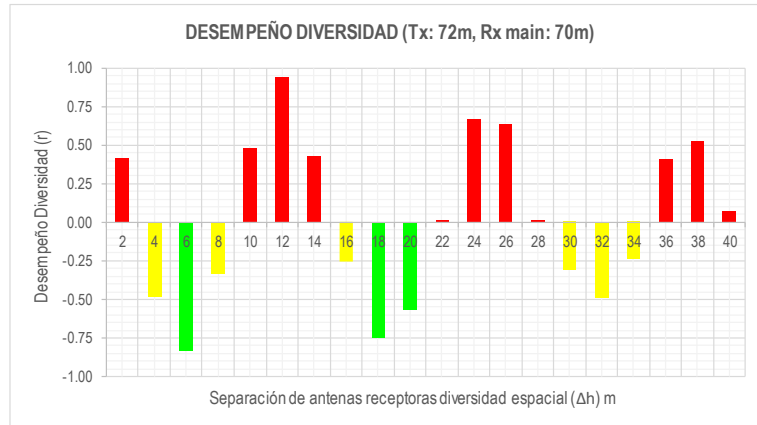
$H_{TX}$  72 m altura del transmisor  
 $P$  66 m altura de la diversidad principal

	$\Delta h$	$r$	$r^2$
D <sub>1</sub>	2	-0.469	0.220
D <sub>2</sub>	4	0.424	0.180
D <sub>3</sub>	6	0.831	0.690
D <sub>4</sub>	8	0.096	0.009
D <sub>5</sub>	10	-0.765	0.586
D <sub>6</sub>	12	-0.502	0.253
D <sub>7</sub>	14	0.298	0.089
D <sub>8</sub>	16	0.714	0.510
D <sub>9</sub>	18	0.199	0.040
D <sub>10</sub>	20	-0.483	0.233
D <sub>11</sub>	22	-0.447	0.200
D <sub>12</sub>	24	-0.111	0.012
D <sub>13</sub>	26	0.184	0.034
D <sub>14</sub>	28	0.468	0.219
D <sub>15</sub>	30	0.193	0.037
D <sub>16</sub>	32	-0.284	0.080
D <sub>17</sub>	34	-0.241	0.058
D <sub>18</sub>	36	0.042	0.002
D <sub>19</sub>	38	0.020	0.000
D <sub>20</sub>	40	-0.039	0.002



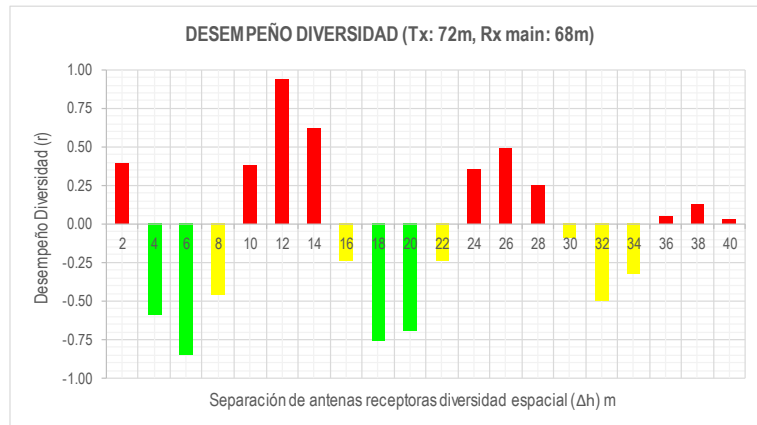
H<sub>Tx</sub> 72 m Tx Pacasmayo  
H<sub>Rx</sub> 70 m Rx Paiján (main)

$\Delta h$	r
$\Delta h_1$	2 0.42
$\Delta h_2$	4 -0.48
$\Delta h_3$	6 -0.84
$\Delta h_4$	8 -0.33
$\Delta h_5$	10 0.48
$\Delta h_6$	12 0.94
$\Delta h_7$	14 0.42
$\Delta h_8$	16 -0.26
$\Delta h_9$	18 -0.75
$\Delta h_{10}$	20 -0.57
$\Delta h_{11}$	22 0.01
$\Delta h_{12}$	24 0.67
$\Delta h_{13}$	26 0.64
$\Delta h_{14}$	28 0.00
$\Delta h_{15}$	30 -0.31
$\Delta h_{16}$	32 -0.49
$\Delta h_{17}$	34 -0.24
$\Delta h_{18}$	36 0.41
$\Delta h_{19}$	38 0.53
$\Delta h_{20}$	40 0.07



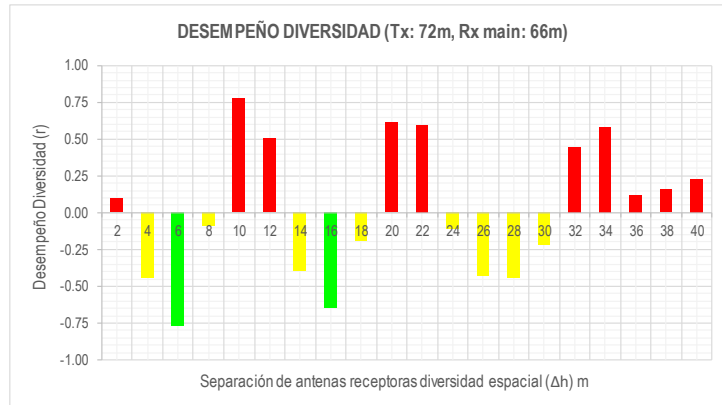
H<sub>Tx</sub> 72 m Tx Pacasmayo  
H<sub>Rx</sub> 68 m Rx Paiján (main)

$\Delta h$	r
$\Delta h_1$	2 0.39
$\Delta h_2$	4 -0.59
$\Delta h_3$	6 -0.84
$\Delta h_4$	8 -0.46
$\Delta h_5$	10 0.39
$\Delta h_6$	12 0.94
$\Delta h_7$	14 0.62
$\Delta h_8$	16 -0.24
$\Delta h_9$	18 -0.76
$\Delta h_{10}$	20 -0.69
$\Delta h_{11}$	22 -0.24
$\Delta h_{12}$	24 0.35
$\Delta h_{13}$	26 0.50
$\Delta h_{14}$	28 0.25
$\Delta h_{15}$	30 -0.09
$\Delta h_{16}$	32 -0.49
$\Delta h_{17}$	34 -0.32
$\Delta h_{18}$	36 0.05
$\Delta h_{19}$	38 0.13
$\Delta h_{20}$	40 0.03



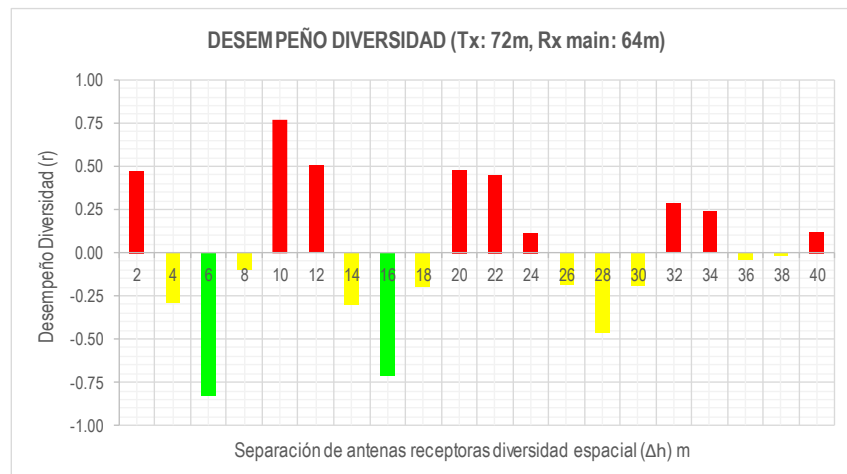
H<sub>TX</sub> 72 m Tx Pacasmayo  
H<sub>RX</sub> 66 m Rx Paján (main)

$\Delta h$	r	
$\Delta h_1$	2	0.10
$\Delta h_2$	4	-0.44
$\Delta h_3$	6	-0.77
$\Delta h_4$	8	-0.09
$\Delta h_5$	10	0.78
$\Delta h_6$	12	0.50
$\Delta h_7$	14	-0.40
$\Delta h_8$	16	-0.65
$\Delta h_9$	18	-0.19
$\Delta h_{10}$	20	0.61
$\Delta h_{11}$	22	0.60
$\Delta h_{12}$	24	-0.11
$\Delta h_{13}$	26	-0.43
$\Delta h_{14}$	28	-0.44
$\Delta h_{15}$	30	-0.21
$\Delta h_{16}$	32	0.45
$\Delta h_{17}$	34	0.58
$\Delta h_{18}$	36	0.12
$\Delta h_{19}$	38	0.16
$\Delta h_{20}$	40	0.23



H<sub>TX</sub> 72 m Tx Pacasmayo  
H<sub>RX</sub> 64 m Rx Paján (main)

$\Delta h$	r	
$\Delta h_1$	2	0.47
$\Delta h_2$	4	-0.29
$\Delta h_3$	6	-0.83
$\Delta h_4$	8	-0.10
$\Delta h_5$	10	0.77
$\Delta h_6$	12	0.50
$\Delta h_7$	14	-0.30
$\Delta h_8$	16	-0.71
$\Delta h_9$	18	-0.20
$\Delta h_{10}$	20	0.48
$\Delta h_{11}$	22	0.45
$\Delta h_{12}$	24	0.11
$\Delta h_{13}$	26	-0.18
$\Delta h_{14}$	28	-0.47
$\Delta h_{15}$	30	-0.19
$\Delta h_{16}$	32	0.28
$\Delta h_{17}$	34	0.24
$\Delta h_{18}$	36	-0.04
$\Delta h_{19}$	38	-0.02
$\Delta h_{20}$	40	0.12



## ANEXO 03: EXTRACTO DE HOJAS TÉCNICAS REFERENCIALES DE EQUIPOS CONSIDERADOS PARA EL PROCESO DE SIMULACIÓN

# ALCATEL-LUCENT 9500 MICROWAVE PACKET RADIO RELEASE 3 ANSI

The Alcatel-Lucent 9500 Microwave Packet Radio (MPR) addresses all microwave applications with a single product family for all traffic (TDM/IP/hybrid) types. Both public and private service providers now have a microwave platform that adds exceptional functionality to their networks. The Alcatel-Lucent 9500 MPR handles traffic by packets natively, yet still fully supports TDM circuits, providing a means to seamlessly migrate to an all-IP infrastructure.



Microwave Service Switch-8 (MSS-8)



Microwave Service Switch-4 (MSS-4)



Microwave Service Switch-1c (MSS-1c)



Microwave Packet Transport (MPT-HL)



Multipurpose Outdoor Unit (ODU)

The Alcatel-Lucent 9500 MPR offers the lowest total cost of ownership (TCO) by reducing both fixed capital expenditures and recurring operational expenses.

### FEATURES

- Intelligent nodal IDU that supports up to 12 RF transceivers in hybrid or packet mode
- Hitless switching service-driven adaptive modulation
- Multiservice aggregator with embedded Circuit Emulation Service (CES) (MEF 8) capabilities for Carrier Ethernet transport
- Millimeter wave support
- Multiservice switching capacity greater than 16 Gb/s, and up to 48 Gb/s with EAS cards
- XPIC upgradeable for very high capacity
- Multi-service packet ring ITU-T G.8032
- Radio throughput greater than 4 Gb/s and termination of up to 192 x DS1
- Support of DS3
- Ethernet OAM IEEE 802.1ag
- Support of Synchronous Ethernet (SyncE) + SSM and IEEE 1588v2
- Support of LAG
  - Radio link (NNI)
  - Ethernet user interfaces (UNI)

### BENEFITS

- Reduces OPEX
  - Aggregation of multiple access technologies over Ethernet convergence layer, removing the need for new external equipment
- Protects operators' investments and enables backhaul networks for smooth migration from TDM to IP
  - Operates in hybrid (Ethernet/PDH) or packet mode with the same hardware items
- Addresses all microwave applications with common hardware
  - Backwards compatibility with existing hybrid ODU
- Guarantees TDM deterministic behavior for packet transport
  - No performance degradation comparable to native TDM
  - Guarantees high-priority traffic transport even in congested nodes
- Simplified deployment
  - Fast pre-provisioning
  - Quick setup and network planning
- Drastically reduces footprint and rack power dissipation
  - Highest nodal capability with smallest footprint



- Improves scalability and availability
  - End-to-end service-aware management provided by the Alcatel-Lucent 5620 Service Aware Manager (SAM) for the Alcatel-Lucent IP/MPLS Service Router portfolio and the Alcatel-Lucent 1340 Integrated Network Controller (INC), for the Alcatel-Lucent Packet Optical Transport portfolio
- Enhanced performance and reliability with built-in test functionalities
- Embedded synchronization distribution (even in full Ethernet infrastructure)
- Nodal microwave configuration with a single packet matrix switching
- Full redundancy with no single point of failure, including Ethernet matrix switch

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### Applications

- Backhaul and backbone transport for mobile service providers
- Interconnection of private land mobile radios for public safety and industry
- Wide area network (WAN) connectivity for enterprises, Internet service providers (ISPs) and carriers

### Configuration options

- Radio terminal
- Radio repeater
- Multidirectional radio node
- Aggregation shelf (no radio frequency [RF])

### Radio-to-MSS connections

- ODU: Up to 12 NSB or 6 MHSB
- MPT-HL: Up to 12 NSB or 6 HSB
- Or a combination of the above

### Operating frequencies

- ODU: Lower and upper 6 GHz, 7/8 GHz, 11 GHz, 15 GHz, 18 GHz and 23 GHz (refer to Tables 3, 4, 5 and 6 for exact values)
- MPT-HL: 5.8 GHz, lower and upper 6 GHz, 7/8 GHz and 10/11 GHz (refer to Table 1 and Table 2 for exact values)

### Radio frequency transceiver

- Synthesized source

### User interfaces

#### 100% front access for all interfaces

- DS1 access card
  - 32 x DS1 each
- DS3 access card
  - 2 x DS3 each

- Control and switching module
  - 4 x 10/100/1000 BaseT
  - 2 x Small Form Factor Pluggable (SFP)
- 8 x Ethernet access card
  - 4 x 10/100/1000 BaseT
  - 4 x SFP
  - 2 x DS1 SFP

### Synchronization

- Any synchronization solution in hybrid and packet mode
- Clock distribution options
  - DS1
  - External reference sync-in/sync-out (2 MHz, 5 MHz, 10 MHz)
  - Synchronous Ethernet (Sync E) + SSM G.8264
  - Built-in Stratum 3 clock
  - IEEE 1588v2
- Line clock recovery
  - ACR, DCR

### Dimensions

#### MPT-HL (2.5 RU)

- Weight:
  - 1+1 and 2+0: 12.7 kg (28 lb)
  - 1+0: 8.85 kg (19.5 lb)

#### IDU (rack, desk or wall-mount)

- MSS-8 (2 RU)
- MSS-4 (1 RU)
- MSS-1c (height: 1 RU, width: 1/2 RU)
- Weight:
  - Fully equipped: <6 kg (13.2 lb)
  - Basic configuration: 2.5 kg (5.5 lb)

#### ODU

- Weight: 5 kg (11 lb) average

### Power supply

#### MSS

- Standard: -48 V DC to -60 V DC
- Optional: -24 V DC to -60 V DC
- Optional: +24 V DC

#### MPT-HL

- ±24V DC to ±60 V DC

### Services

- Network design and planning
- Hotline
- Express repair and return, swap and repair, and spare-parts management
- On-site visits, urgent interventions, technical assistance
- Training from theory to installation
  - Alcatel-Lucent University
  - Customer premises
- Bundled services during warranty period and warranty extensions

### Standards compliance

- EMC: EN 55022 Class B, EN 301 489-1/EN 301 489-4
- Safety: EN 60950-1
- Ecological: ECMA TR/70
- Temperature
  - IDU: -40°C to +65°C (-40°F to +149°F)
  - ODU: -33°C to +55°C (-27°F to +131°F)
  - MPT-HL: -5°C to +55°C (23°F to 131°F)
- NEBS Level 3
- Telcordia GR-63
- Telcordia GR-1089
- IEEE 802.1p/Q VLAN tagging
- IEEE 802.3 10 BaseT
- IEEE 802.3u 100 BaseTX
- IEEE 802.3x Flow Control
- IEEE 802.3z 1000 BaseSX/LX
- IEEE 802.1d Bridging
- IEEE 802.1ad link aggregation
- IEEE 802.1ag Ethernet OAM
- 1000 BaseT per 802.3ab
- MEF 9
- MEF 14



### Network and element management

- Integrated network management in Windows environment
- Embedded Web browser for NE supervision
- Software-based configuration by PC
- Intuitive supervision systems
- SNMP agent with TCP/IP rerouting capability
- Interoperable with all Alcatel-Lucent wireless microwave and transmission equipment
- Fully compatible with the Alcatel-Lucent Transmission System Manager (TSM) 8000, Alcatel-Lucent 1340 INC and Alcatel-Lucent 5620 SAM

### Traffic management and QoS

- Marking based on:
  - Layer 2 (802.1p)
  - Layer 3 (DiffServ)

Table 1-1. Mpt-hl (Indoor) with static modulation

MPT-HL (INDOOR) WITH STATIC MODULATION								
RF BAND	STANDARD T/R SEPARATION (MHz)	RADIO TYPE	CHANNEL BAND-WIDTH (MHz)	MODULATION (QAM)	LAYER 2 RADIO CAPACITY (Mb/s)	TRANSMIT POWER <sup>1</sup> (dBm)	THRESHOLD <sup>2</sup> (10 <sup>-6</sup> BER) (dBm)	SYSTEM GAIN <sup>3</sup> (dB)
5.8 GHz unlicensed	65	MPT-HL	5	128	25.8	31.0	-79.0	110.0
		MPT-HL	10	32	37.3	32.0	-82.0	114.0
		MPT-HL	10	128	52.6	31.0	-76.0	107.0
		MPT-HL	30	32	114.2	32.0	-77.5	109.5
		MPT-HL	30	128	160.2	31.0	-71.0	102.0
		MPT-HL	30	256	183.3	28.0	-67.5	95.5
Lower 6 GHz standard power	252.4	MPT-HL	5	128	25.8	31.0	-79.0	110.0
		MPT-HL	10	128	52.6	31.0	-76.0	107.0
		MPT-HL	30	128	160.2	31.0	-71.0	102.0
		MPT-HL	30	128	131.1	31.0	-74.5	105.5
		MPT-HL	30	256	183.3	28.0	-67.5	95.5
		MPT-HL	30	256	160.2	28.0	-70.5	98.5
Lower 6 GHz high power	252.4	MPT-HL	5	128	25.8	33.0	-79.0	112.0
		MPT-HL	10	128	52.6	33.0	-76.0	109.0
		MPT-HL	30	128	160.2	33.0	-71.0	104.0
		MPT-HL	30	128	131.1	33.0	-74.5	107.5
		MPT-HL	30	256	183.3	30.0	-67.5	97.5
		MPT-HL	30	256	160.2	30.0	-70.5	100.5
Upper 6 GHz standard power	160, 340	MPT-HL	5	128	25.8	31.0	-79.0	110.0
		MPT-HL	10	128	52.6	31.0	-76.0	107.0
		MPT-HL	30	128	160.2	31.0	-71.0	102.0
		MPT-HL	30	128	131.1	31.0	-74.5	105.5
		MPT-HL	30	256	183.3	28.0	-67.5	95.5
		MPT-HL	30	256	160.2	28.0	-70.5	98.5
Upper 6 GHz high power	160, 340	MPT-HL	5	128	25.8	33.0	-79.0	112.0
		MPT-HL	10	128	52.6	33.0	-76.0	109.0
		MPT-HL	30	128	160.2	33.0	-71.0	104.0
		MPT-HL	30	128	131.1	33.0	-74.5	107.5
		MPT-HL	30	256	183.3	30.0	-67.5	97.5
		MPT-HL	30	256	160.2	30.0	-70.5	100.5

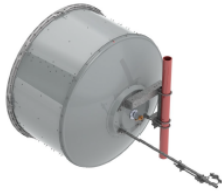
Notes:  
 Not all profiles may be available in current software release.  
 Not all frequencies may be currently available.  
<sup>1</sup> Transmit power is measured at the output of the power amplifier.  
<sup>2</sup> Typical, as measured at the input to the radio receiver.  
<sup>3</sup> Typical, as measured from transmitter to receiver.  
 These specifications are subject to change without notice.

Table 1-2. MPT-HL (Indoor) with static modulation

MPT-HL (INDOOR) WITH STATIC MODULATION								
RF BAND	STANDARD T/R SEPARATION (MHz)	RADIO TYPE	CHANNEL BAND-WIDTH (MHz)	MODULATION (QAM)	LAYER 2 RADIO CAPACITY (Mb/s)	TRANSMIT POWER <sup>1</sup> (dBm)	THRESHOLD <sup>2</sup> (10 <sup>-6</sup> BER) (dBm)	SYSTEM GAIN <sup>3</sup> (dB)
7/8 GHz	150, 175, 300, 360	MPT-HL	5	32	18.3	33.0	-84.0	117.0
		MPT-HL	5	128	25.8	32.0	-78.0	110.0
		MPT-HL	10	32	37.3	33.0	-81.0	114.0
		MPT-HL	10	128	52.6	32.0	-75.0	107.0
		MPT-HL	30	32	114.2	33.0	-76.5	109.5
		MPT-HL	30	128	160.2	32.0	-70.0	102.0
		MPT-HL	30	128	131.1	32.0	-73.5	105.5
		MPT-HL	30	256	183.3	29.0	-66.5	95.5
		MPT-HL	30	256	160.2	29.0	-69.5	98.5
10.5 GHz	65	MPT-HL	5	128	25.8	29.0	-77.5	106.5
11 GHz	490, 500	MPT-HL	5	32	18.3	30.0	-83.5	113.5
		MPT-HL	5	128	25.8	29.0	-77.5	106.5
		MPT-HL	10	32	37.3	30.0	-80.5	110.5
		MPT-HL	10	128	52.6	29.0	-74.5	103.5
		MPT-HL	30	32	114.2	30.0	-76.0	106.0
		MPT-HL	30	128	160.2	29.0	-69.5	98.5
		MPT-HL	30	128	131.1	29.0	-73.0	102.0
		MPT-HL	30	256	183.3	26.0	-66.0	92.0
		MPT-HL	30	256	160.2	26.0	-69.0	95.0
		MPT-HL	40	128	213.9	29.0	-68.5	97.5
		MPT-HL	40	256	245.2	26.0	-65.0	91.0

Notes:  
 Not all profiles may be available in current software release.  
 Not all frequencies may be currently available.  
<sup>1</sup> Transmit power is measured at the output of the power amplifier.  
<sup>2</sup> Typical, as measured at the input to the radio receiver.  
<sup>3</sup> Typical, as measured from transmitter to receiver.  
 These specifications are subject to change without notice.

# USX6-7W-6GR



1.8m | 6ft Sentinel® Ultra High Performance, Super High XPD Antenna, dual-polarized, 7.125 – 8.500 GHz, CPR112G flange

## Product Classification

<b>Product Type</b>	Microwave antenna
<b>Product Brand</b>	Sentinel®

## General Specifications

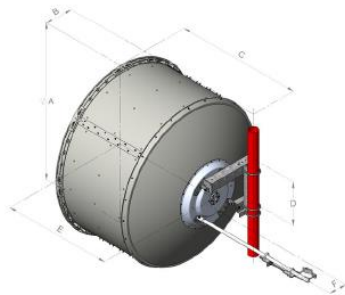
<b>Antenna Type</b>	USX - Sentinel® Ultra High Performance, Super High XPD Antenna, dual-polarized
<b>Antenna Input</b>	CPR112G
<b>Antenna Color</b>	Gray
<b>Reflector Construction</b>	One-piece reflector
<b>Radome Color</b>	Gray
<b>Radome Material</b>	Fabric
<b>Side Struts, Included</b>	1
<b>Side Struts, Optional</b>	1

## Dimensions

<b>Diameter, nominal</b>	1.8 m   6 ft
--------------------------	--------------

# USX6-7W-6GR

## Antenna Dimensions and Mounting Information



Dimensions in inches (mm)						
Antenna size, ft (m)	A	B	C	D	E	F
6 (1.8)	74.8 (1899)	13.4 (340)	59.8 (1520)	26.9 (683)	51.8 (1315)	8.4 (214)

## Electrical Specifications

<b>Operating Frequency Band</b>	7.125 – 8.500 GHz
<b>Gain, Low Band</b>	40 dBi
<b>Gain, Mid Band</b>	40.6 dBi
<b>Gain, Top Band</b>	41 dBi
<b>Boresite Cross Polarization Discrimination (XPD)</b>	40 dB
<b>Front-to-Back Ratio</b>	75 dB
<b>Beamwidth, Horizontal</b>	1.5°
<b>Beamwidth, Vertical</b>	1.5°
<b>Return Loss</b>	26 dB

# 35409-22

---



EW77, HELIAX® Standard Elliptical Waveguide, 7.125–8.5 GHz, black non-halogenated, fire retardant polyolefin jacket

## Product Classification

<b>Product Type</b>	Elliptical waveguide
<b>Product Brand</b>	HELIAX®

## General Specifications

<b>Jacket Color</b>	Black
<b>Performance Note</b>	Values typical, unless otherwise stated

## Dimensions

<b>Diameter Over Jacket (E Plane)</b>	43.6 mm   1.717 in
<b>Diameter Over Jacket (H Plane)</b>	25.4 mm   1 in
<b>Cable Volume</b>	585 L/km   6.297 ft <sup>3</sup> /kft

## Electrical Specifications

<b>eTE11 Mode Cutoff</b>	4.72 GHz
<b>Group Delay at Frequency</b>	128 ns/100 ft @ 7.800 GHz   419 ns/100 m @ 7.800 GHz
<b>Operating Frequency Band</b>	7.125 – 8.5 GHz

## VSWR/Return Loss

Frequency Band	VSWR	Return Loss (dB)
7.125–8.5 GHz	1.15	23.13

## Attenuation

Frequency (GHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)	Group Velocity %
7.125	6.258	1.907	3.122	74.9
7.33	6.107	1.861	3.199	76.5

# 35409-22

---

7.53	5.982	1.823	3.266	77.9
7.73	5.875	1.791	3.326	79.2
7.93	5.782	1.762	3.379	80.4
8.13	5.701	1.738	3.427	81.4
8.33	5.631	1.716	3.47	82.4

## Material Specifications

<b>Conductor Material</b>	Corrugated copper
<b>Jacket Material</b>	Non-halogenated, fire retardant polyolefin

## Mechanical Specifications

<b>Minimum Bend Radius, Multiple Bends (E Plane)</b>	230 mm   9.055 in
<b>Minimum Bend Radius, Multiple Bends (H Plane)</b>	635 mm   25 in
<b>Minimum Bend Radius, Single Bend (E Plane)</b>	180 mm   7.087 in
<b>Minimum Bend Radius, Single Bend (H Plane)</b>	510 mm   20.079 in
<b>Maximum Twist</b>	3.281 °/m   1 °/ft

## Environmental Specifications

<b>Installation temperature</b>	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)
<b>Operating Temperature</b>	-30 °C to +80 °C (-22 °F to +176 °F)
<b>Storage Temperature</b>	-30 °C to +80 °C (-22 °F to +176 °F)
<b>Attenuation, Ambient Temperature</b>	75 °F   23.889 °C
<b>Average Power, Ambient Temperature</b>	104 °F   40 °C
<b>Average Power, Temperature Rise</b>	42 °C   107.6 °F
<b>Fire Retardancy Test Method</b>	UL 1666/CATVR/CMR
<b>Toxicity Index Test Method</b>	IEC 60754-2

## Packaging and Weights

<b>Cable weight</b>	0.67 kg/m   0.45 lb/ft
---------------------	------------------------

## Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
ISO 9001:2015	Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system
REACH-SVHC	Compliant as per SVHC revision on <a href="http://www.commscope.com/ProductCompliance">www.commscope.com/ProductCompliance</a>
ROHS	Compliant

Drawn 3 of 3