

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

---

Estudio de variabilidad de señal uplink mediante simulación bts rural 2100 mhz  
con diversidad de polarización, La Libertad 2021

---

Línea de investigación: Comunicación, Tecnologías De La Información e Innovación

Autores:

FLORES BURGA, GUSTAVO ADOLFO  
PARRAGUEZ SANDOVAL, KEVIN NILS

Jurado evaluador:

Presidente : AZABACHE FERNANDEZ, FILIBERTO  
Secretario : ALVARADO RODRIGUEZ, LUIS ENRIQUE  
Vocal : DE LA CRUZ RODRIGUEZ, OSCAR MIGUEL

Asesor:

CERNA SANCHEZ, EDUARDO ELMER

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

Trujillo-Perú  
2023

Fecha de Sustentación: 2023/03/10

## ACREDITACIONES

### ESTUDIO DE VARIABILIDAD DE SEÑAL UPLINK MEDIANTE SIMULACIÓN DE BTS RURAL 2100 MHz CON DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN, LA LIBERTAD 2021.

Elaborado por:



Br. FLORES BURGA, GUSTAVO ADOLFO.



Br. PARRAGUEZ SANDOVAL, KELVIN NILS.

Aprobado por:



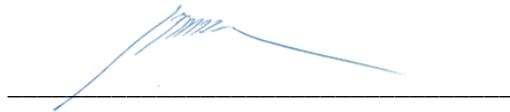
Ms. Ing. AZABACHE FERNANDEZ, FILIBERTO  
PRESIDENTE  
CIP N° 97916



Ms. Ing. ALVARADO RODRIGUEZ, LUIS ENRIQUE  
SECRETARIO  
CIP N° 149200



Ms. Ing. DE LA CRUZ RODRIGUEZ, OSCAR  
MIGUEL  
VOCAL  
CIP N° 85598



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

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

---

Estudio de variabilidad de señal uplink mediante simulación bts rural 2100 mhz  
con diversidad de polarización, La Libertad 2021

---

Línea de investigación: Comunicación, Tecnologías De La Información e Innovación

Autores:

FLORES BURGA, GUSTAVO ADOLFO  
PARRAGUEZ SANDOVAL, KEVIN NILS

Jurado evaluador:

Presidente : AZABACHE FERNANDEZ, FILIBERTO  
Secretario : ALVARADO RODRIGUEZ, LUIS ENRIQUE  
Vocal : DE LA CRUZ RODRIGUEZ, OSCAR MIGUEL

Asesor:

CERNA SANCHEZ, EDUARDO ELMER

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

Trujillo-Perú  
2023

Fecha de Sustentación: 2023/03/10

## DEDICATORIA

*El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mi padre Luis Alberto, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo; también dedicado a mi madre Nerly María quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez, quienes que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no tomar las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mi hermana Evelyn Dhariana por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento, gracias. A mi esposa Johanna Aguilar, a mis engréidos Anghelo y Maria Lucia, a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

*Kelvin Nills*

*A Dios, por Brindarme las oportunidades de mejorar en cada paso que doy en mi vida profesional y personal. A mis padres Maggi y Jorge quienes me han enseñado y brindado con mucho amor y dedicación, todo lo necesario para ser una persona de bien y mejor profesional cada día de mi vida. A mi hermana Gabriela Alejandra, quien siempre me observa y espera lo mejor de mí. A mi angelito Ana Isabel, quien sé que me acompaña siempre y me cuida, en cada paso que doy día a día. A mi esposa e hijas, Ana Myled, Luana Isabella y Alessia Cayetana, la razón de mí felicidad plena y quienes dan el sentido completo a mi vida con todo su amor y apoyo que me dan. Dedicar un agradecimiento muy intenso a toda aquella persona que en una o varias oportunidades no dudaron en darme la mano en los momentos más difíciles de mi vida. A mi asesor, el Ing. Eduardo Cerna, por brindarme de su experiencia y dedicación para el desarrollo de mi Tesis.*

*Gustavo Adolfo*

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar este trabajo queremos utilizar este espacio para expresar nuestra gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre nuestra vida y a toda la familia por estar siempre presente.

De igual manera un agradecimiento a la Universidad Privada Antenor Orrego, a toda la escuela de Ingeniería Electrónica, a los profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que podamos crecer día a día como profesionales, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente, expresar nuestro más grande y sincero agradecimiento al Asesor de tesis Ing. Eduardo Cerna, principal colaborador durante este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca al estudio de variabilidad de señal uplink con diversidad de polarización, en una zona rural de la provincia de Virú, La Libertad mediante simulación de BTS Rural 2100MHz. Para ello se seleccionaron 70 emplazamientos representativos de puntos de usuarios móviles en la localidad. Sobre cada emplazamiento se realizaron 04 variaciones de azimuth, y se evaluaron 04 separaciones de antenas, en las dos polarizaciones (horizontal y vertical), estimando el comportamiento de la señal uplink en diversidad de polarización, a través de la selección del mayor nivel de potencia recibida.

Como parámetros indicadores de la señal en diversidad de polarización se evaluó su variabilidad, componentes y similitud con las polarizaciones horizontal y vertical. Los resultados mostraron que la polarización horizontal guarda el mayor nivel de similitud y componentes, en tanto que para todos los casos evaluados se tiene una reducción en la variabilidad de señal con el uso de la técnica de diversidad de polarización.

Palabras clave: Diversidad de polarización, señal uplink, variabilidad, componentes, correlación.

## **ABSTRACT**

The present research work focuses on the study of uplink signal variability with polarization diversity, in a rural area of the province of Virú, La Libertad by means of simulation of BTS Rural 2100MHz. For this, 70 representative locations of exterior points in the city were selected. On each site, 04 azimuth variations will be made, and they will be evaluated for 04 antenna separations, in the two polarizations, with which 2240 estimates will be generated that will be the starting point of the present investigation. Counting on an array of 02 antennas in orthogonal polarization configuration that receives the uplink signals at a certain frequency, height and horizontal separation, selecting the one with the highest power level.

Where the uplink signal is received through two antennas in orthogonal polarization, the variability and complementation between horizontal and vertical polarization is verified with the obtaining of simulation reports and the elaboration of tables of uplink power variation 2100 MHz received in the BTS and 2100 MHz uplink power level curves received at BTS for horizontal and vertical polarizations and polarization diversity, as well as comparative correlation curves between individual orthogonal polarizations and polarization diversity, for different horizontal antenna separations.

Keywords: Polarization diversity, BTS, uplink.

## **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 DE VARIABILIDAD DE SEÑAL UPLINK MEDIANTE SIMULACIÓN DE BTS RURAL 2100 MHz CON DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN, LA LIBERTAD 2021”**.

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

Gustavo Adolfo Flores Burga  
Kelvin Nils Parraguez Sandoval

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
1.1	Problema de investigación .....	10
1.2	Objetivos.....	11
1.3	Justificación de la Investigación.....	12
<b>2</b>	<b>MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>13</b>
2.1	Antecedentes de la Investigación.....	13
2.2	Fundamentación Teórica de la Investigación.....	15
2.3	Marco Conceptual .....	24
<b>3</b>	<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>26</b>
3.1	General.....	26
3.2	Variables.....	26
3.2.1	Variables de estudio .....	26
	Indicadores.....	27
3.2.2	Operacionalización de las variables .....	28
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA EMPLEADA</b> .....	<b>30</b>
4.1	Tipo y Nivel de Investigación .....	30
4.2	Población y muestra.....	30
4.3	Diseño de Investigación .....	30
4.4	Esquema Gráfico del diseño de investigación.....	31
4.5	Procedimiento .....	31
4.6	Técnicas e Instrumentos de investigación.....	32
a.	Técnicas.....	32
b.	Instrumentos .....	32
4.7	Recolección de Información.....	33
4.7.1	Centro Poblado Huacapongo.....	33
4.7.2	Información Banda 2100 MHz .....	35
4.7.3	Emplazamiento propuesto para Estación Base 2100 MHz.....	35
4.7.4	Características Técnicas referenciales EBC 2100 MHz.....	37
4.7.5	Características referenciales antenas 2100 MHz diversidad.....	38
4.7.6	Características referenciales equipo terminal de usuario. ....	39
4.8	Procesamiento y análisis de datos.....	43
4.8.1	Simulación EBC 2100 MHz.....	43
4.8.2	Reportes obtenidos en la recepción móvil.....	44

<b>5</b>	<b>PRESENTACION DE RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
5.1	Análisis e interpretación de resultados. ....	57
5.2	Docimasia de hipótesis. ....	60
<b>6</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>65</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Problema de investigación

### a) Descripción de la Realidad Problemática

La telefonía móvil en el país viene atravesando una vertiginosa evolución de tecnología desde los años 90's hasta la actualidad. La exigencia en cuanto al crecimiento de usuarios y capacidad de transmisión de datos han ido consolidando la necesidad de incorporar nuevas estaciones en zonas rurales o de especial interés social.

En particular, en las zonas rurales del Perú es característico el empleo de una sola estación con la cual se busca alcanzar el mayor rango de cobertura. En ese contexto uno de los principales desafíos técnicos se encuentra en el enlace de subida móvil – base (up link). Las dificultades se dan principalmente porque la potencia del móvil es limitada y las características de propagación tales como vegetación, infraestructura, dispositivos en movimientos, etc. hacen que estas señales, se vean despolarizadas, atenuadas o interferidas, ocasionando su fluctuación o variabilidad en la estación base.

Tradicionalmente las estaciones base celulares emplean polarización vertical para poder transmitir y recibir sus señales, sin embargo, es también factible el uso de dos antenas receptoras separadas horizontalmente (diversidad espacial), cada una de ellas empleando una polarización distinta (horizontal/vertical), con el fin de seleccionar y procesar la señal con mejor nivel de recepción. Esta técnica es denominada diversidad de polarización.

Conforme la recomendación ITU-R P.1406 (2015), entre los indicadores más resaltantes para evaluar la diversidad de polarización se encuentra la variabilidad de señal recibida, la cual está constituida por componentes de reflexión, difracción y despolarización. Vaughan, R. (2020) incluye otros parámetros tales como, diferencia de valores medios entre polarizaciones y coeficientes de correlación entre polarizaciones.

## **b) Delimitación de Problema**

En el contexto de ideas antes mencionados, se considera una importante oportunidad de investigación poder estimar el desempeño respecto de la variabilidad de señal que pueda tener una configuración de diversidad espacial combinada con diversidad de polarización en una BTS, la cual puede ser orientada a un entorno dentro de nuestra región como es en el caso de una zona rural de la provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

## **c) Formulación de Problema**

¿Cómo varía la señal recibida uplink en una estación base 2100 MHz con diversidad de polarización al ser evaluada mediante simulaciones en un centro poblado rural de la provincia de Virú, Departamento de La Libertad?

## **1.2 Objetivos**

### **a. Objetivo General**

- Realizar un estudio de la variabilidad de la señal uplink recibida en una estación base celular 2100 MHz con diversidad de polarización mediante simulaciones en un centro poblado rural en la Provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

### **b. Objetivos Específicos**

- Identificar parámetros técnicos de equipamiento de estaciones base y móvil para estimación de enlace uplink 2100 MHz con diversidad de polarización mediante simulaciones en un Centro Poblado de la Provincia de Virú, Departamento de La Libertad para fines de simulación.
- Identificar parámetros de evaluación de señal recibida uplink con el uso de diversidad de polarización en un escenario de simulación.

- Obtener curvas de respuesta de la señal recibida en la estación base con el uso de polarización individual, técnicas de diversidad espacial y diversidad de polarización.
- Evaluar a partir de los reportes de simulación la variabilidad de señal uplink recibida en la estación base, con el uso diversidad de polarización.

### **1.3 Justificación de la Investigación**

Básicamente el proyecto se justificó académicamente, al buscar un aporte para los criterios de diseño y consideraciones respecto al uso de técnica de diversidad espacial y polarización, analizando un caso que pueda ser aplicable en nuestro entorno regional, por ello se ha elegido el Centro Poblado de la Provincia de Virú, Departamento La Libertad.

Se justificó socialmente el presente proyecto porque está relacionado al servicio móvil y a la posible mejora que este servicio pueda llegar a tener considerando como referencia de cálculo las estimaciones realizadas en el presente proyecto.

## 2 MARCO REFERENCIAL

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

- Juan Pablo González (2017) en el paper titulado “Improving the Indoor WLAN Service By Using Polarization Diversity and MRC” analiza las mejoras que se pueden obtener en un WLAN interior mediante el uso de la diversidad de polarización más la diversidad de recepción para una red compuesta por Access Points (AP) con una sola antena polarizada lineal y Customer Premise Equipments (CPEs) con dos antenas polarizadas lineales, en comparación con el caso donde se usa una polarización para toda la WLAN. Su principal aporte de este trabajo es el análisis en diferentes escenarios, que varían: coincidencia de polarización entre AP y CPE, densidad y distribución de AP, combinación de esquemas en recepción y modelos de canales, lo cual será empleado como referencia para el análisis requerido en el presente trabajo.
- Ayhan A. y Saitimis T. (2015) en el paper de investigación denominado “Evaluating spatial diversity technique for mitigating multipath fading of fixed terrestrial point-to-point systems”, se brindan criterios de evaluación de diversidad espacial bajo el esquema de dos antenas separadas verticalmente. La evaluación se realiza para enlaces terrestres fijos microondas bajo criterio de línea de vista. Dentro de los aportes rescatados se mencionan los criterios y parámetros empleados para la evaluación del desempeño de diversidad espacial.
- Angulo D, y Barrena L. (2022) en la tesis titulada “Identificación de puntos de desvanecimiento en frecuencia, mediante simulaciones realizadas para un centro poblado rural en diferentes bandas de acceso, la libertad”, realizaron un estudio dedicado a una zona rural de La Libertad sobre la cual pudieron identificar 30 emplazamientos de referencia para poder estimar el desempeño de la señal recibida en función de la frecuencia y de las diferentes bandas, lograron identificar 4 puntos específicos que tienen una mayor tendencia a generar

desvanecimientos en frecuencia en todas las bandas evaluadas, el trabajo tiene como aporte la metodología empleada, los puntos identificados para caracterizar comportamientos de la señal que servirán como referencias para poder ampliar y poder comparar los resultados del trabajo de investigación

- Javier Schandy (2019) en su paper titulado “Enhancing Parasitic Interference Directional Antennas with Múltiple Director Elements”, discutió las ventajas de usar múltiples elementos de director. Como aporte del estudio realizado en la investigación, se considera el método de evaluación del uso de elementos de múltiples directores para situaciones específicas como la transmisión en patrones de radiación omnidireccional.
- Siavas M. Alamuti (1998) en su paper titulado “A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications”, se enfocó en la elaboración de un esquema simple de diversidad de transmisión de Two-Branch (dos ramas). Usando dos antenas de transmisión y una antena de recepción, el esquema proporcionó un resultado de desempeño comparable a la combinación de receptor de relación máxima (MRRC) con una antena de transmisión y dos antenas de recepción (diversidad espacial). Su principal aporte es el método para proporcionar una mejora de la diversidad en todas las unidades remotas en un sistema inalámbrico.
- Chen, Y. & Vaughan, R. (2020) en el paper titulado “Low-Cost Dual-Polarized Crossed Slot Array”, proporcionan una evaluación de las señales con polarizaciones verticales, horizontales y diversidad de polarización en la estación base desde un móvil polarizado verticalmente realizando mediciones de ganancia de diversidad.

## 2.2 Fundamentación Teórica de la Investigación

### a. Evolución de las Comunicaciones Móviles

A medida que va pasando el tiempo, las telecomunicaciones han ido evolucionando considerablemente, pasamos de la comunicación de línea fija a comunicación móvil. Siendo así un gran soporte para la vida cotidiana de los usuarios de hoy en día.

Anteriormente, el inconveniente en las telecomunicaciones era la velocidad con la que llegaba la información al receptor y el poco acceso a esta tecnología en las zonas complicadas geográficamente, hoy en día con la emigración a los sistemas de comunicaciones inalámbricas esta información llega al instante.

A continuación, se muestra la evolución de la telefonía móvil en base a generaciones 1G, 2G, 3G, 4G, 4G+ o 5G. Estas evoluciones implican cambios en los terminales y redes con el fin de ofrecer mejores servicios (voz y datos).

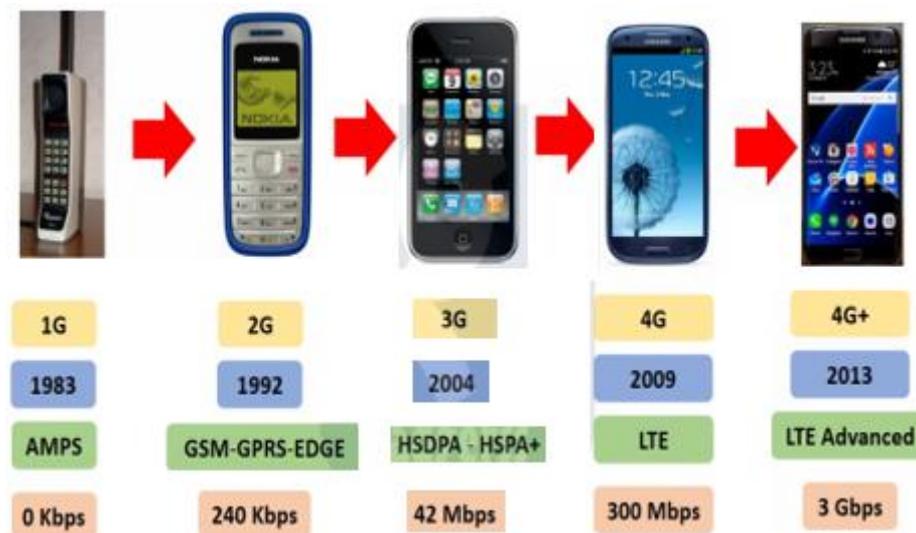


Figura 01. Evolución de la Telefonía Móvil

Fuente: More, J. (2017)

- **1G:** Tecnología de los 80s – 90s representada en nuestro país por el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System) empleaba acceso radio FM. Obsoleto actualmente.

- **2G:** GSM/GPRS y EDGE representa a la tecnología que logró compatibilizar los protocolos de Internet (paquetes) hacia el acceso radio GSM 2G. Pocos operadores en nuestro país mantienen operativa esta tecnología. Velocidades limitadas.
- **3G:** Empleaba originalmente tecnología WCDMA con modulación QPSK y con el incremento del orden de modulación a M-QAM se desarrollan a las tecnologías HSDPA y HSPA+ las cuales son aún empleadas para transmitir voz y datos.
- **4G:** El principal exponente en nuestro país es la tecnología LTE. Permite ofrecer acceso a internet de alta velocidad y llamadas de voz VoLTE (Voz sobre LTE).
- **4G+;** Esta terminología hace referencia a la tecnología LTE-Advanced. Es usada para ofrecer altas velocidades de Internet móvil. Usa la técnica de Agregación de Portadoras (Carrier Aggregation), pudiendo así usar muchas bandas de espectro. El estándar ofrece velocidades límite de hasta 3Gbps, sin embargo, estos picos sólo se alcanzan en condiciones de propagación favorable y poca congestión de usuarios. Los despliegues actuales no superan los 500 Mbps.

La necesidad de llegar a zonas complicadas geográficamente ha hecho que la tecnología móvil busque solucionar estos problemas con sistemas de antenas, siendo la más utilizada actualmente el sistema MIMO (Múltiple-Input Múltiple-Output); y uso técnicas de diversidad, como son la diversidad de espacio y polarización.

## **b. Sistemas MIMO**

Hoy en día existe mucho interés por estos sistemas MIMO, Múltiple-Input Múltiple-Output, (Múltiples entradas – Múltiples salidas) para

conexión inalámbrica en sistemas de comunicaciones ya que con este sistema se puede lograr grandes ganancias potenciales.

Consiste en agregar antenas tanto en la estación base como en la terminal, lo que busca esta tecnología es incrementar la eficiencia espectral de los sistemas de comunicaciones inalámbricos mediante uso de diversidad de antenas, distintas técnicas y complejos algoritmos de tratamiento digital de señales en ambos extremos del enlace: extremo transmisor (múltiple entrada) y extremo receptor (múltiple salida).

En la industria de las telecomunicaciones hay muchos fabricantes que dicen tener esta tecnología en sus productos confundiendo muchas veces el sistema de Smart antenas con el sistema MIMO.

En la figura 2 se presenta un sistema Smart, donde se utiliza varias antenas de transmisión, varias en recepción y beamforming.

Es un sistema unidimensional ya que solo una señal es enviada por el canal y es por esto que se incrementa la tasa de bits o la capacidad de nuestro sistema.

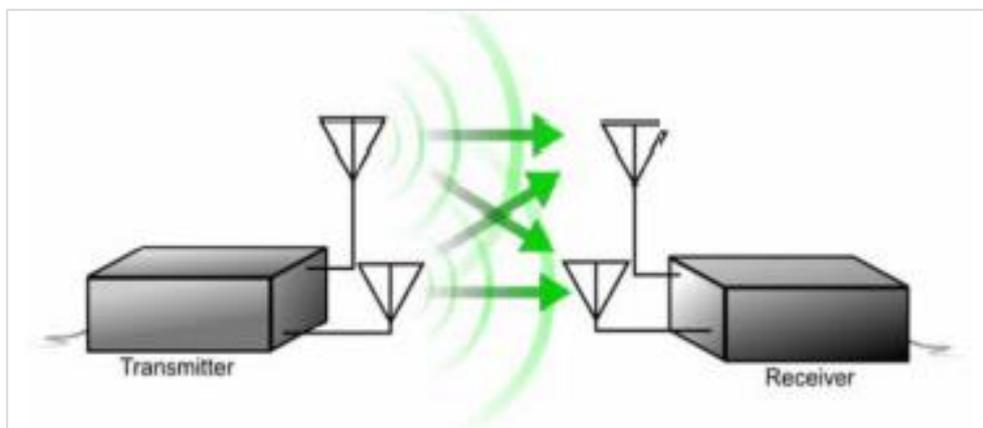


Figura 2

Típico sistema smart antenna con diversidad en Tx/Rx y beamforming.

Fuente (Redes WLAN: Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College, page 85)

En la figura 3 se presenta un sistema MIMO, donde se envían varias señales al mismo tiempo por diferentes trayectos. Los trayectos de

propagación pueden ser caracterizados generando condiciones ortogonales que permitan una transmisión multidimensional. Con ello se aumenta la máxima capacidad de datos alcanzable.

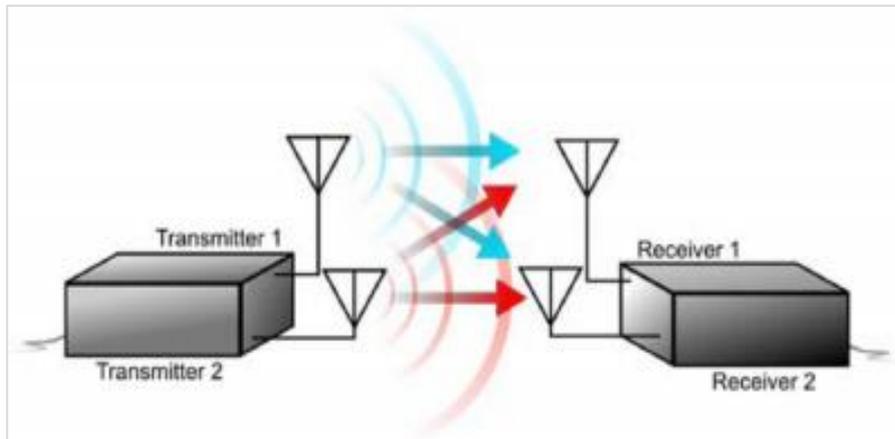


Figura 3 Sistema MIMO

Fuente (Redes WLAN: Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College, page 85).

### c. Diversidad

La diversidad se utiliza para aumentar el nivel de señal del móvil a la estación base (enlace UP LINK). El problema con este camino es que los teléfonos móviles funcionan con baja potencia y con una antena corta.

La diversidad se aplica en el lado de recepción de la estación base.

Una señal transmitida muy rara vez llega al usuario a través de la ruta más directa, por lo que la señal recibida es a menudo una combinación de ondas electromagnéticas directas y reflejadas. En la figura 4 se presenta la propagación de varias ondas que al ser reflejadas, tienen diferentes características de fase y polarización.

Como resultado, puede haber una amplificación o, en casos extremos, una cancelación de la señal en ubicaciones específicas. La recepción de la señal en una calle angosta solo es posible mediante el uso de estos reflejos. Estas reflexiones de edificios, mástiles o árboles son

especialmente comunes, porque las comunicaciones móviles utilizan predominantemente polarización vertical.

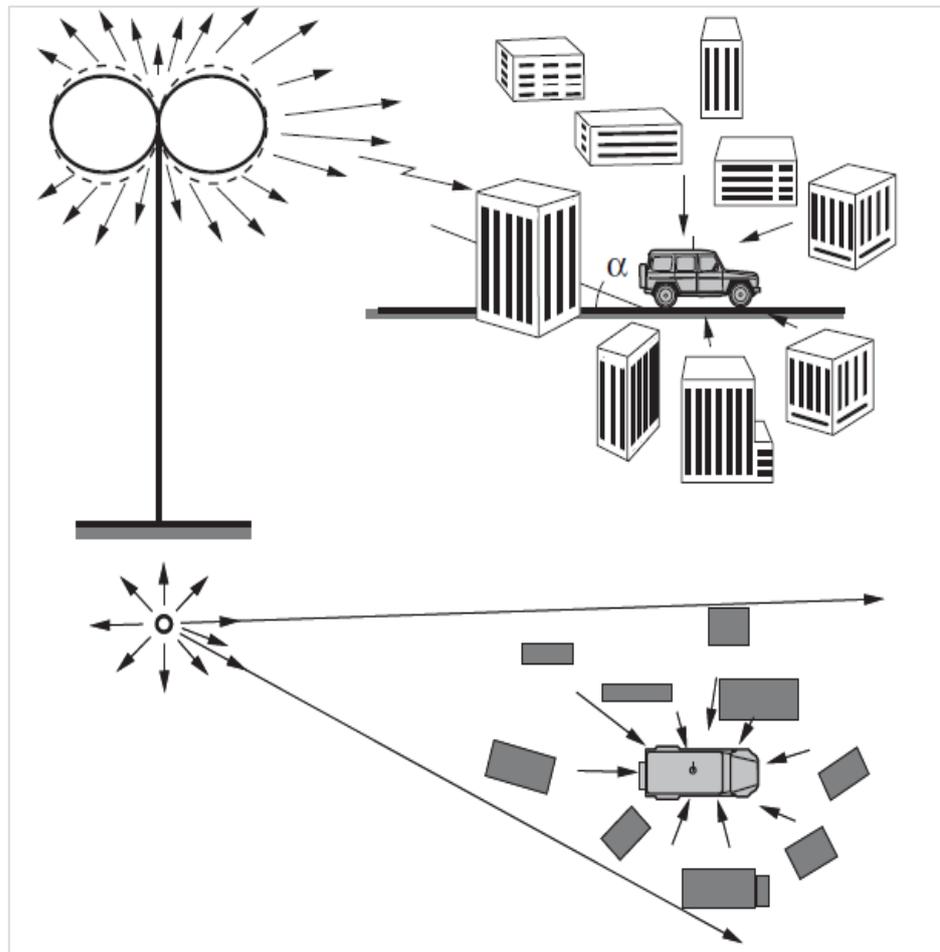


Figura 4. Propagación de múltiples rutas a través de reflexiones.

Fuente (William C.Y. Lee, Mobile Communications Design Fundamentals, page B-14)

Durante décadas el método más usado para la diversidad de la estación base era la diversidad espacial o separación de antenas, pero a principios de los años 70s fue aumentando el interés por la diversidad de polarización.

## 1. Diversidad de Espacio o Antena

Conforme la publicación Mobile Communications Design Fundamentals, este sistema consta de dos o más antenas de recepción separadas a una distancia determinada. “Una antena

tiene un cierto perfil de intensidad de campo con máximos y mínimos desde su área de cobertura, la otra antena tiene un perfil de intensidad de campo diferente, aunque solo espaciado a pocos metros de distancia. Idealmente los mínimos de una antena serán compensados automáticamente por los máximos de la otra como se presenta en la figura 5. Ambas antenas funcionan por separado en diferentes rutas de recepción, por lo que la señal más alta por la estación base elige el canal y la antena. Se prefiere la separación en el plano horizontal (horizontal diversidad)". (William C.Y. Lee, s.f.)

El cálculo de separación entre las antenas se obtiene mediante:

$$\Delta H = \frac{\beta \cdot D}{4H_1} \geq 150\beta$$

Donde:

$\Delta H = c/f \dots$  (m); c: velocidad de la luz (m,/seg); f: frecuencia (Hz)

D = magnitud de la separación de antenas (m)

$H_1$  = magnitud de altura de transmisora (m)

Algunas investigaciones señalan que el efecto de la diversidad espacial tiende a mejorar con una mayor separación entre antenas, sin embargo, los autores opinan que este efecto puede guardar dependencia con la geografía del vano radioeléctrico el cual modifica el desfase entre rayo directo y reflejado.

Existen tres ventajas a considerar en el uso de diversidad espacial.

- i. El desvanecimiento se hace más corto (desvanecimiento rápido).
- ii. La mejora de las condiciones del desvanecimiento mejora la disponibilidad.

- iii. La menor fluctuación de señal permite la mejora de la relación SNR (señal/ruido).

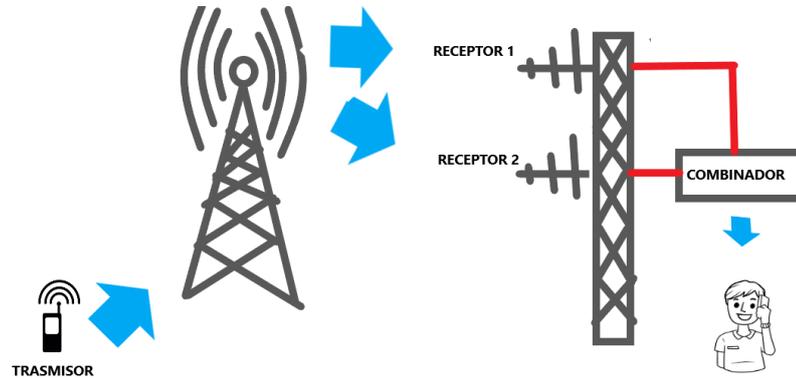


Figura 5. Diversidad de Espacio Móvil

Existen diversos estudios que sugieren diversos tipos de comportamiento respecto de la diversidad espacial, a la fecha ninguno es totalmente contundente en la predicción de su comportamiento. Uno de los estudios referentes respecto de diversidad espacial fue el llevado a cabo por GTE Lenkurt (1973), en el cual se concluye respecto de la separación horizontal de antenas, que ésta debe ser mucho mayor que la separación vertical para obtener un grado de desempeño equivalente. A partir de este estudio se empezó a hacer más frecuente el uso comercial de diversidad espacial con separación vertical en radioenlaces microondas de 2 GHz.

Dado que el campo incidente en una antena de estación base es predominantemente polarizado verticalmente, las antenas están típicamente polarizadas verticalmente. En este sentido para los autores el trabajo de GTE Lenkurt refuerza la idea de que la diversidad espacial con separación horizontal predominante en las estaciones base celulares, debe ser complementada con otra técnica a fin de mejorar su desempeño, tal como la técnica de diversidad por polarización.

## 2. Diversidad por polarización

La diversidad por polarización consta en aprovechar una propiedad de los campos electromagnéticos transmitidos por un elemento radiante con el fin de mejorar el rendimiento de los sistemas de comunicación que incorporan antenas sensibles a la polarización.

Uno de sus principales ventajas es el incremento de la sensibilidad para captar más potencia proveniente de cualquier dirección espacial

El Ing. Peter Schoiz (s.f) en la publicación “Basic Antenna Principles for Mobile Communications”, nos dice que la diversidad por polarización permite duplicar el orden de diversidad ya que una antena pueda usarse para transmitir 2 polarizaciones, todas las polarizaciones entre vertical y horizontal son posibles, como se muestra en la siguiente Figura 6.

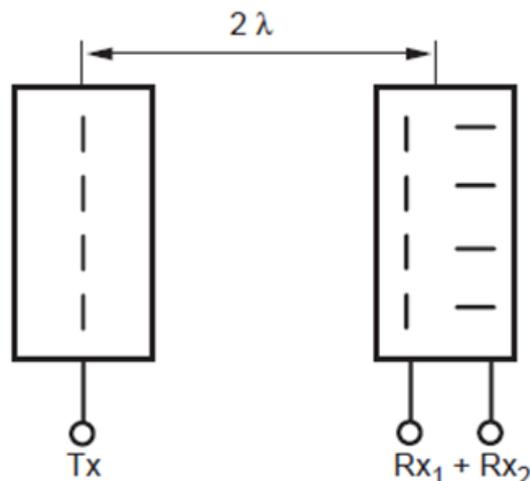


Figura 6. Representación Grafica de la Antena de Trasmision y de Recepcion en polarizacion vertical y horizontal

Fuente (Ing. Peter Scholz, Basic Antenna Principles for Mobile Communications)

La diversidad de polarización utiliza 2 antenas polarizadas ortogonalmente y compara el resultado de las señales. Existen las siguientes ventajas:

- Solo se necesitan 2 antenas por sector, una en vertical u horizontal y otra antena en vertical para la transmisión. Véase en la siguiente figura 7.

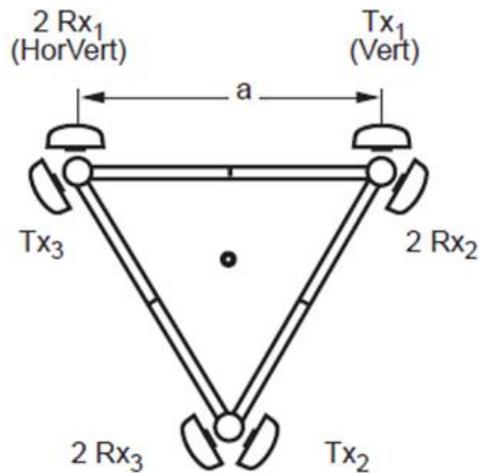


Figura 7. Sistema sectorial de antenas

Fuente (Ing. Peter Scholz, Basic Antenna Principles for Mobile Communications)

- Solo se requiere un espacio horizontal mínimo entre las antenas, las antenas también se pueden montar uno encima del otro en el mismo mástil. Esto hace que todo el sector sea más compacto.
- La garantía de diversidad en las zonas urbanas es la misma que la obtenida a través de la diversidad espacial (4 - 6 dB)-

## **2.3 Marco Conceptual**

### **2.3.1. Desvanecimientos**

Es cuando la señal se atenúa debido a varios factores como pueden ser obstáculos y pérdidas en el espacio hasta llegar a su destino. En el 2012 según el autor Orlando Jesús Paredes El Desvanecimiento de señal define al desvanecimiento como una variación temporal de la amplitud, fase y polarización de la señal recibida con respecto a la señal nominal debido al trayecto de propagación: multitrayecto, reflexión, difracción y dispersión.

### **2.3.2. Deep Fading**

Es un tipo de desvanecimiento de la señal en la cual deberían ser mayor a 6 dB, no importa si la velocidad de la señal sea veloz o lenta.

### **2.3.3. Diversidad Espacial**

Técnica de recepción de señal de radiofrecuencia que mejora la potencia de señal debido a la separación de las antenas.

### **2.3.4. Diversidad por Polarización**

Técnica de recepción de señal que utilizan polarizaciones de señales ya sea polarización horizontal o vertical.

### **2.3.5. Antenas Sectoriales**

Estas antenas son las más utilizadas en las estaciones móviles son un tipo de antenas direccionales con un patrón de radiación en forma de "sector", es una mezcla de antenas direccionales con las antenas omnidireccionales. La Universidad de Fermín Toro en su publicación de Antenas sectoriales nos dice que "Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional y su intensidad o alcance es mayor que la omnidireccional pero menor que la direccional." (Ernesto Mendoza, 2017, Universidad Fermin Toro)

### **3 HIPÓTESIS**

#### **3.1 General**

La señal uplink recibida en una estación base 2100 MHz con diversidad de polarización reduce sus parámetros de variabilidad respecto de polarizaciones ortogonales, al ser evaluada mediante simulaciones en un centro poblado rural de la provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

#### **3.2 Variables**

##### **3.2.1 Variables de estudio**

###### **a. Variable 01**

Diversidad de polarización.

###### **Definición Conceptual**

Es un arreglo especial de elementos receptores, que consta de 2 antenas separadas horizontalmente, de las cuales una de ellas realiza recepción con polarización vertical y la otra con polarización horizontal, se selecciona la mejor señal receptionada para ser procesada en la estación base celular (enlace up-link).

###### **Indicadores.**

- Altura de antenas.
- Separación horizontal de antenas.
- Frecuencia de operación de antenas.

#### **d. Variable 02**

Variabilidad de señal recibida en estación base celular.

##### **Definición Conceptual**

Es la fluctuación de potencia de uplink recibida en una estación celular la cual posee un arreglo selectivo de polarizaciones Horizontal y Vertical.

##### **Indicadores.**

- Valor medio de la señal recibida en diversidad de polarización.
- Valor de desviación de señal recibida en diversidad de polarización.
- Diferencia de variabilidad comparada con polarización horizontal.
- Diferencia de variabilidad comparada con polarización vertical

### 3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de la Variable 01

VARIABLE 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Diversidad de polarización	En un arreglo de 02 antenas en polarización horizontal y vertical, se reciben a una determinada frecuencia, altura y separación, las señales de uplink, seleccionándose la que posee mayor nivel de potencia.	Altura de antenas	Guía de observación documental	Metros
		Separación horizontal de antenas		metros
		Frecuencia de operación		Metros

Tabla 2. Operacionalización de la Variable 02

VARIABLE 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Variabilidad de señal recibida en estación base celular.	La señal de uplink es recibida a través de la técnica de diversidad de polarización, se comprueba el valor medio y reducción de variabilidad respecto de las polarizaciones horizontal y vertical	Valor medio de la señal recibida en diversidad de polarización	Guía de observación	dBm
		Valor de desviación de señal recibida en diversidad de polarización	Guía de observación	dB
		Diferencia de variabilidad comparada con polarización horizontal.	Guía de observación	dB
		Diferencia de variabilidad comparada con polarización vertical	Guía de observación	dB

## **4 METODOLOGÍA EMPLEADA**

### **4.1 Tipo y Nivel de Investigación**

El tipo de investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo descriptivo, con el objeto de realizar un estudio de la variabilidad de la señal uplink recibida en una estación base celular con el empleo de diversidad de polarización, a fin de poder describir sus parámetros de variabilidad, los cuales están basados en comparaciones con polarizaciones individuales H/V, buscando con ello aportar criterios de diseño para la propagación acceso radio en 2100 MHz.

### **4.2 Población y muestra**

La población está constituida por todas las redes de acceso en zonas rurales de rugosidad moderada del Departamento de La Libertad cuyo comportamiento pueda reproducirse mediante simulación.

Por tratarse de una condición no determinística no existe un número factible de definir. Sin embargo, conforme a las capacidades de la herramienta de simulación, resolución de la cartografía digital a emplear, se ha optado por un muestreo no aleatorio por conveniencia, eligiendo como muestra el Centro Poblado Huacapongo, en la provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

Para efectos de simulación se emplearon 71 emplazamientos de usuario. Sobre cada emplazamiento se realizó 04 variaciones de azimuth, y se evaluó para 04 separaciones de antenas, en las dos polarizaciones, con lo cual se generaron 2240 enlaces uplink que fueron el punto de partida de la presente investigación. Los autores con ello, justificaron la presencia de 02 investigadores para el posterior proceso y análisis de los datos generados.

### **4.3 Diseño de Investigación**

El diseño de la investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo descriptivo no experimental. Se recolectaron datos mediante la generación de reportes de simulación de señal recibida en diferentes emplazamientos de un centro poblado rural de la provincia de Virú, departamento de La Libertad, de manera que se puedan caracterizar el

comportamiento y variabilidad de la señal uplink recibida en una estación base en la frecuencia de 2,100 MHz.

#### 4.4 Esquema Gráfico del diseño de investigación

M → O

Dónde:

M : Muestra Centro Poblado Huacapongo.

O : Observación de la señal uplink 2100 MHz en diversidad de polarización

#### 4.5 Procedimiento

- Identificación y selección de parámetros técnicos típicos de estación base y transceptores en banda 2100 MHz acceso radio usadas en Perú.
- Configuración y calibración de parámetros de simulación, a fin de reproducir un escenario de estación base con diversidad de polarización en un centro poblado rural de la provincia de Virú, departamento de La Libertad.
- Obtención de reportes de simulación y elaboración de tablas de variación de potencia uplink 2100 MHz recibida en la BTS ubicada en un centro poblado rural de la provincia de Virú, departamento de La Libertad.
- Obtención de curvas de nivel de potencia uplink 2100 MHz recibida en BTS para polarizaciones horizontal, vertical y diversidad de polarización.
- Obtención de curvas comparativas entre diversidad de polarización, y polarizaciones H/V para diferentes azimuths de usuario y separaciones horizontales de antenas.

## 4.6 Técnicas e Instrumentos de investigación

### a. Técnicas

En la siguiente tabla se muestra las 2 técnicas que se emplearon en la presente investigación: Análisis de Datos y Simulación.

Tabla 3. Tabla de Recolección de Datos.

TECNICAS	FORMA DE APLICACIÓN	FORMA DE OBTENCION
<b>Análisis de Documentos</b>	Identificación de parámetros de radiofrecuencia en la banda 2100 MHz y de la antena escogida para nuestra investigación	Obtención directa de valores RF, potencia de transmisión de acuerdo a la polarización de la antena ya sea vertical u horizontal.
<b>Guías de observación de información señal recibida</b>	Guías de observación de simulación de potencia recibidas en 70 puntos para cada separación de antena (1.5m, 2m, 3m y 3.5 m) y de acuerdo al azimuth (0, 90, 180 y 270) en la banda de 2100 MHz en el programa RadioMobile.	Obtención de curvas comparativas entre las potencias recibidas uplink de acuerdo a cada polarización, separación de antena y respectivo azimuth.

### b. Instrumentos

Fichas de recolección de datos, reportes de simulación de señal recibida en 71 puntos para 4 ángulos azimuth (0, 90, 180, 270) y 4 separaciones de antenas (1.5m, 2m, 3m, 3.5m) pertenecientes a la banda 2100 MHz en el Centro Poblado Huacapongo, La Libertad.

## 4.7 Recolección de Información

### 4.7.1 Centro Poblado Huacapongo

Huacapongo es el centro poblado rural elegido y se encuentra ubicado a 45 minutos dentro del distrito de Viru en la provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. Tiene como principal estructura económica la ganadería y la agricultura. Se encuentra ubicado a 315 m.s.n.m. En la Figura 8 se representa su ubicación geográfica.



Figura 8. Ubicación Geográfica del Centro Poblado Huacapongo

Fuente: Google Maps (2022)

A continuación, en la Figura 9 se presenta una vista aérea del centro poblado de Huacapongo tomada desde la aplicación Google Earth, se puede observar que la geografía de terreno obtiene una uniformidad con las edificaciones de la localidad, donde no se tienen construcciones de gran altura que contrasten con la distribución natural del terreno, puesto que sus edificaciones guardan relación con la forma natural de la distribución de terreno del centro poblado. Esto en particular es importante puesto que facilita el proceso de simulación con la herramienta a emplear.



Figura 9. Vista Panorámica del Centro Poblado de Huacapongo

Fuente: Google Earth (2022)

Como en casi la mayoría de centros poblados alejados de la ciudad principal en el Perú, Huacapongo carece de innovación tecnológica, lo cual dificulta el desarrollo social y hasta educativo en la población. Se logró comprobar con una visita a campo que hay serios problemas en lo que es el desarrollo de telecomunicaciones en la zona, por el difícil acceso al poblado debido a una carretera defectuosa al encontrarse ubicada entre los cerros y sembríos de la zona que dificultan en la comunicación móvil, la cual es un problema que mortifica a la población, como es el caso del único puesto de Salud de Huacapongo y del único Centro Educativo “ San Juan”, en el cual se manifiestan dificultades en lo que es la calidad de la señal móvil.



Figura 10. Fotos visita de campo a Huacapongo

#### 4.7.2 Información Banda 2100 MHz

Según los datos obtenidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se encuentra que, en la banda de 2100 MHz, trabajan 2 operadores a nivel nacional y dentro del Departamento de La Libertad. Estos operadores móviles son: Telefónica del Perú y Entel.

Es así, que en la Tabla 4 se muestra el estado actual de la banda de 2100 MHz actualmente asignada a Telefónica del Perú, las cuales son bandas bidireccionales TDD (Time Division Duplexing) utilizadas para uplink o downlink en tecnologías actuales como LTE y sus evoluciones.

Tabla 4.- Estado de la banda de espectro 2100MHz

Rango de Frecuencias	Nota PNAF	Operadores	Área de Asignación	Ancho de Banda	Tecnologías Implementadas
1710-1780 MHz y 2110-2180 MHz	P65	Telefónica del Perú y Entel Perú	A Nivel Nacional	20+20MHz	LTE y Evoluciones

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2019)

#### 4.7.3 Emplazamiento propuesto para Estación Base 2100 MHz

Se propone colocar la estación base a las afueras del centro poblado exactamente en las siguientes coordenadas (-8.373501, -78.65488), en un emplazamiento cercano a la población y a una altura considerable de 30m, con un ángulo azimuth de 110° para que la BTS pueda cubrir la dirección en donde se distribuye la mayor población de Huacapongo.

En la Figura 11 se muestra el emplazamiento de la estación base y la orientación azimuth propuesta para cobertura.

Se debe tomar en consideración que para la estación celular se propone 4 escenarios de separación entre las antenas receptoras H/V. Asimismo desde los emplazamientos de usuario conforme el patrón de radiación del móvil, se podrán tener 04 azimuths para la señal emitida en uplink.

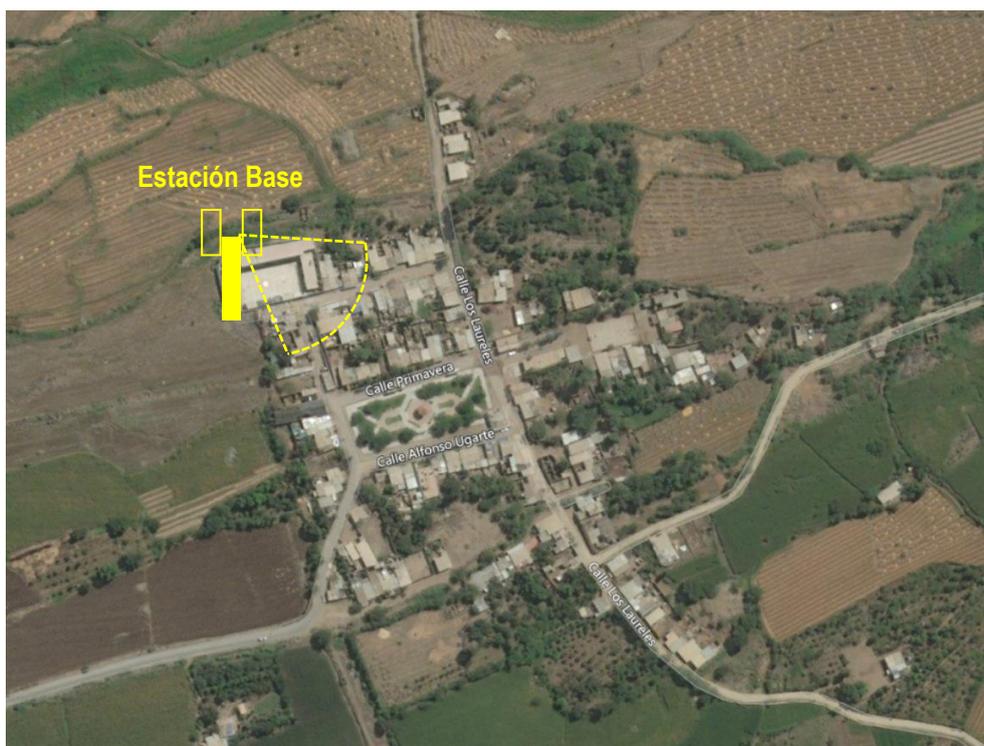


Figura 11. Emplazamiento propuesto, EBC Huacapongo

En la Tabla 5 se muestran los datos para el emplazamiento propuesto de la estación base en el centro poblado, para que la BTS pueda cubrir la dirección en donde se distribuye la mayor población de Huacapongo.

Ubicación	Altura de Estación Base	Angulo Azimuth	Angulo de Declinación
Latitud: -8,373501 Longitud: -78,65488	30 m	110°	5DT

Tabla 5. Datos de Estación Base Huacapongo

#### 4.7.4 Características Técnicas referenciales EBC 2100 MHz

Para la estación base se ha tomado la marca ZTE, puesto que es una marca muy empleada en proyectos de acceso rural y se ha toma como referencia el modelo ZXSDR R8852E el cual permite a los operadores desplegar sitios con gran capacidad y alta potencia de salida para cada celda, ayuda a absorber más tráfico y proporcionar una mejor señal para los usuarios. A medida que escasean los espectros de frecuencia, los recursos asignados a los operadores tienden a disminuir. Caracterizarse por fragmentación y gran amplitud. La tabla 6 presenta un resumen de las características técnicas del modelo ZXSDR R8852E.

Tabla 6: Extracto de características técnicas ZXSDR R8852E



<b>RRU Type</b>	R8852E S2100
<b>Operation Frecuency Band</b>	B1, 2100 MHz 1920 – 1980 MHz 2110 – 2170 MHz
<b>System</b>	LTE single mode UL dual-mode
<b>RRU Capacity</b>	2 2T4R cells 2 LTE 2T4R cells + 4 UMTS carriers non-MIMO
<b>LTE Bandwidth</b>	5, 10, 15 & 20 MHz

#### 4.7.5 Características referenciales antenas 2100 MHz diversidad

El requerimiento para modelar diversidad de polarización, es que los patrones de radiación de antenas sean el mismo modelo, trabajen en la misma banda, tanto en polarización horizontal como vertical. Se ha encontrado el fabricante Stella Doradus, cuyos modelos de antenas SD 22 6015H y SD 22 6015V poseen estas características. En la Figura 13 se muestran los modelos de antenas antes citados.

Los datos técnicos de los patrones envolventes de radiación (RPEs) de las antenas se muestran en la Figura 14. Estos patrones fueron incluidos en los datos requeridos por la herramienta de simulación.



Figura 13. Antenas SD 22 6015H, SD 22 6015V

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd (2022)

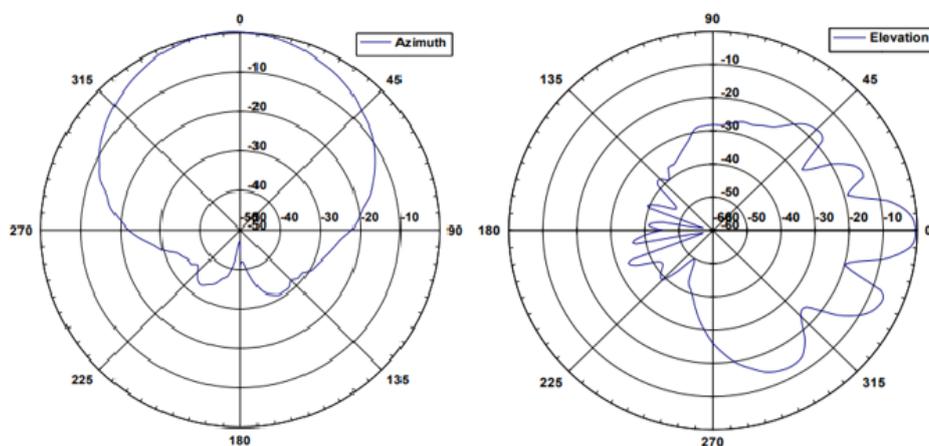


Figura 14. Patrones referenciales SD 22 6015 H/V Azimuth / Elevation

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd (2022)

#### 4.7.6 Características referenciales equipo terminal de usuario.

Para el modelamiento de la estación móvil, se utilizaron como referencia los patrones de radiación propuestos por Krayni, A. et al (2016) donde, se modela el comportamiento de RPEs sobre la base de una comunicación típica en una llamada de voz, tal como se muestra en la Figura 16. La radiación ideal está marcada como un círculo azul visto desde la parte superior (Plano xy) o visto desde un costado (plano xz), si una persona se encuentra sentada es el color verde y el modelamiento de una persona de pie, es de color rojo el cuál se ha utilizado. Estos patrones fueron incluidos en Radio Mobile para una mejor simulación. Las características técnicas para el modelamiento de la estación móvil se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Características Técnicas de Estación móvil Huacapongo

Parámetro	Valor / Unidad
Ptx:	20 dBm
Umbral Rx	-90 dBm
Line Loss	8 dB
Patrones de radiación	Voice-Standing
Ganancia de antena	0 dBi

Conforme los patrones de radiación referenciales mostrados en la Figura 16. El patrón de radiación resaltado en color rojo corresponde al comportamiento más típico del usuario (voice standing). En este sentido el patrón de radiación azimutal (XY Plane) posee una deformación directiva (aproximadamente 30° de azimuth). Por lo cual la posición del usuario respecto del haz directivo de la Estación Base podrá estar sujeto a numerosos efectos de desapuntamientos. Por estas razones se consideraron 4 posibles variantes de azimuth en la posición de usuario, para efectos de simulación.

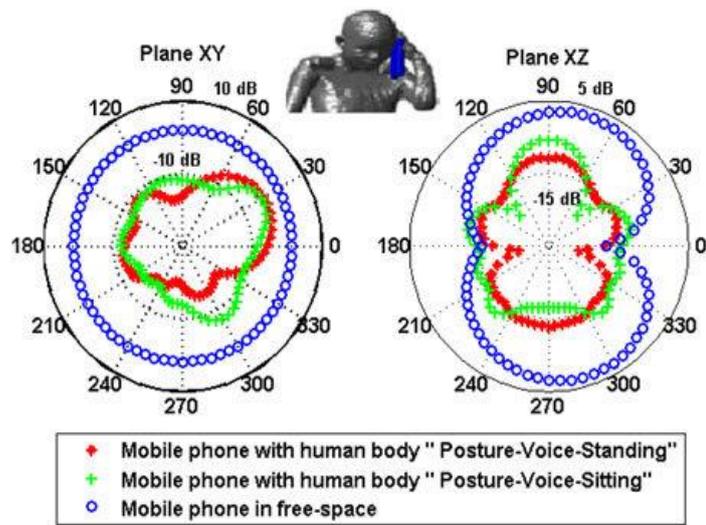


Figura 16: RPEs referenciales estación móvil

## Mobile Voice Standing (Azimuth)

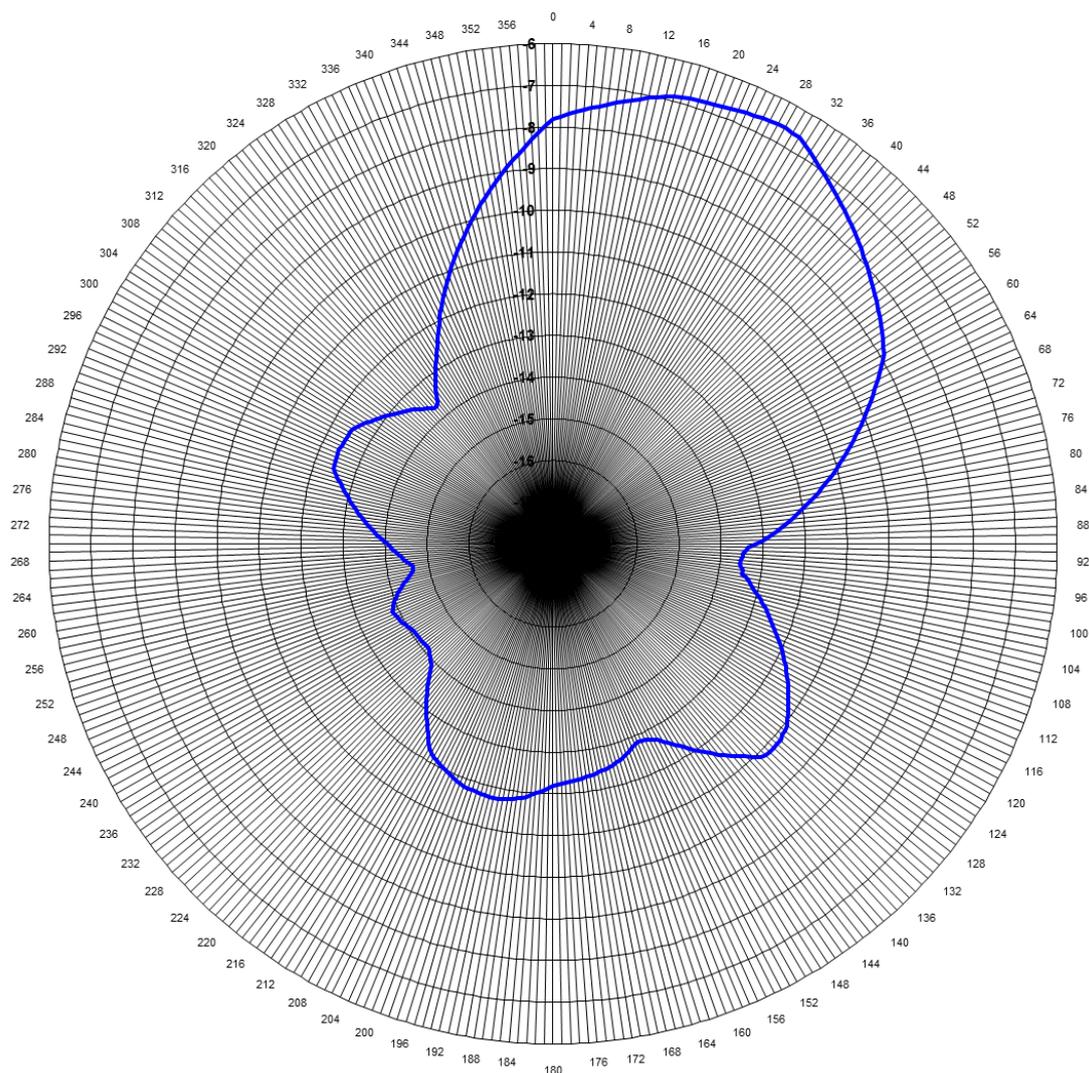


Figura 17: Modelamiento RPE azimutal estación móvil

# Mobile Voice Standing (Elevation)

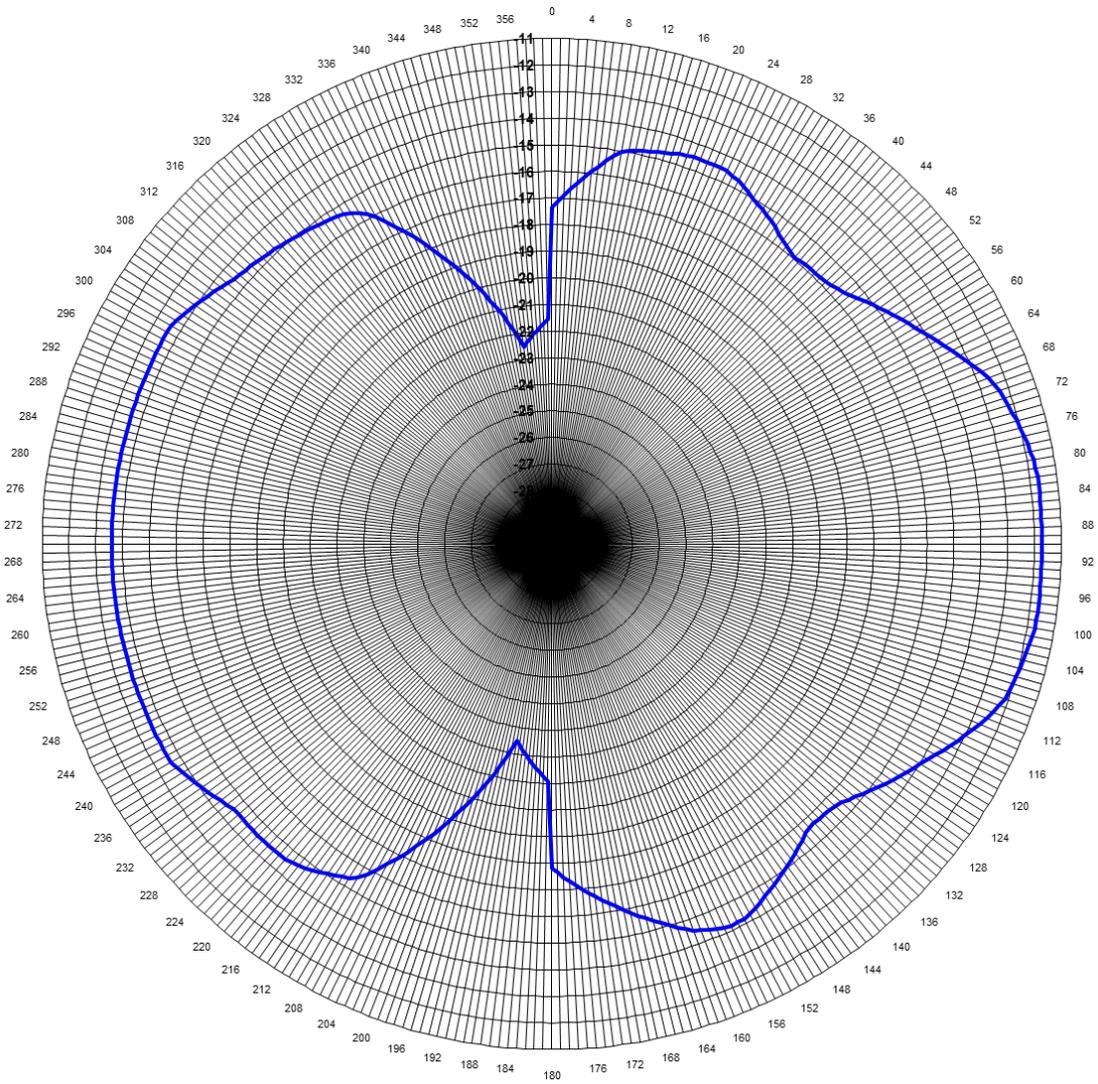


Figura 18: Modelamiento RPE elevación estación móvil

## 4.8 Procesamiento y análisis de datos

### 4.8.1 Simulación EBC 2100 MHz

Se consideró utilizar una herramienta de simulación, que permita configurar la red de acuerdo a los parámetros reales de la estación base, por lo que se eligió utilizar RadioMobile.

Con toda la información recopilada acerca de la estación base se procedió a configurar los parámetros mostrados en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7 como se muestra en la Figura 19

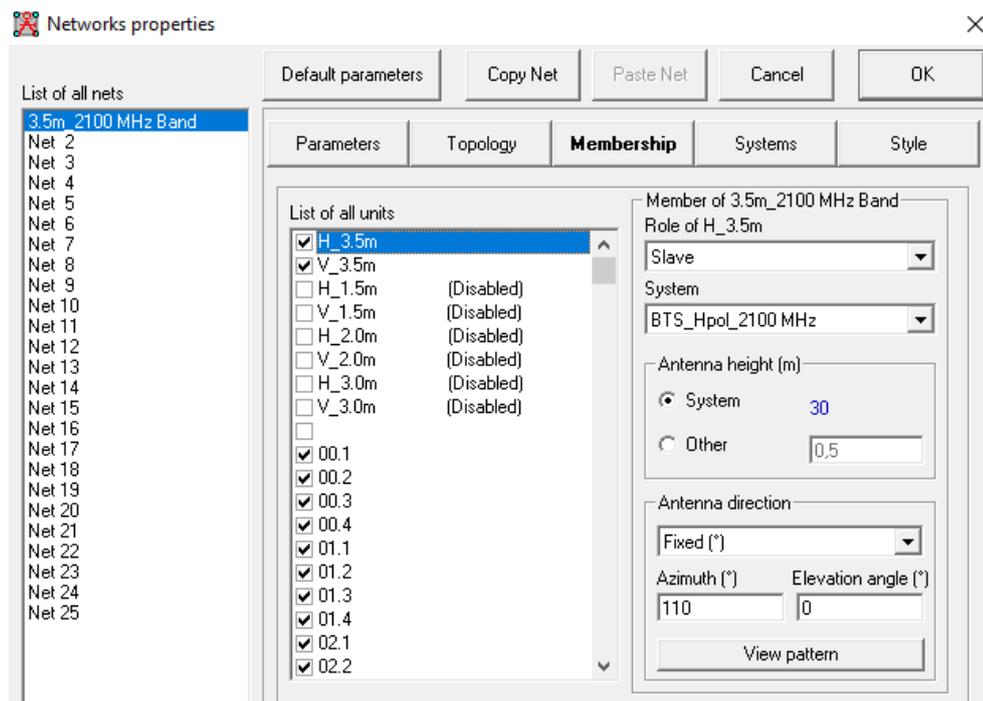


Figura 19. Configuración de Parámetros en RadioMobile

Fuente: Software RadioMobile (2023)

En la siguiente Figura 20 se muestra una captura de pantalla de la herramienta de simulación RadioMobile de la configuración realizada para la estación base de Huacapongo en la banda 2100 MHz y como se aprecia se realizaron 4 configuraciones de acuerdo a las 4 separaciones de antenas y dentro de ellas se procedió a configurar la polarización de la antena tanto vertical y horizontal, la cual permitió obtener la simulación de diversidad de polarización en el uplink hacia la estación base Huacapongo.

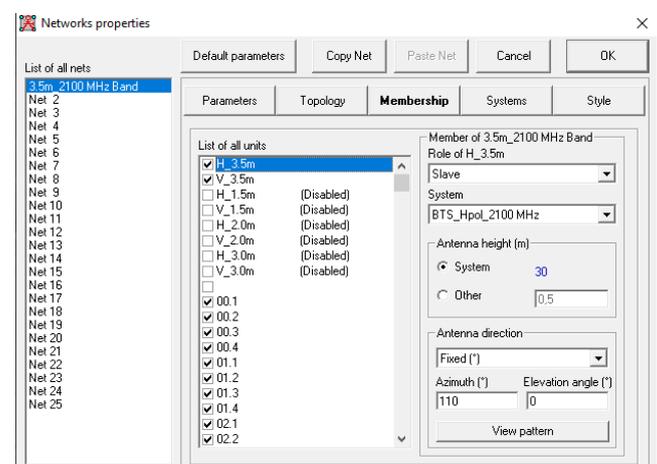
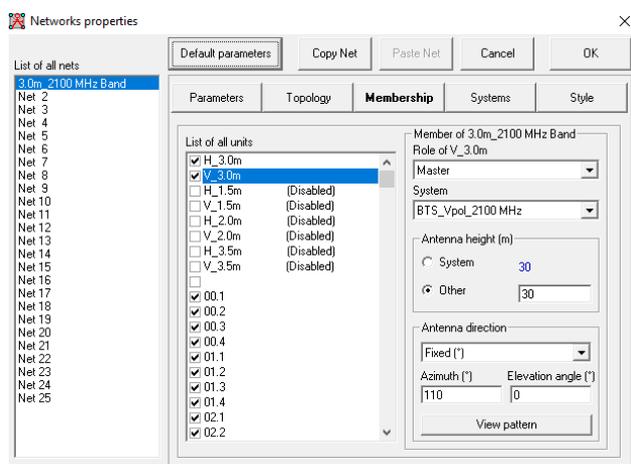
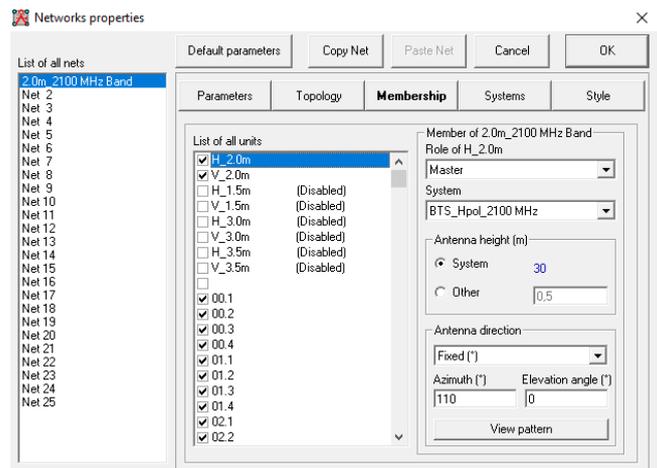
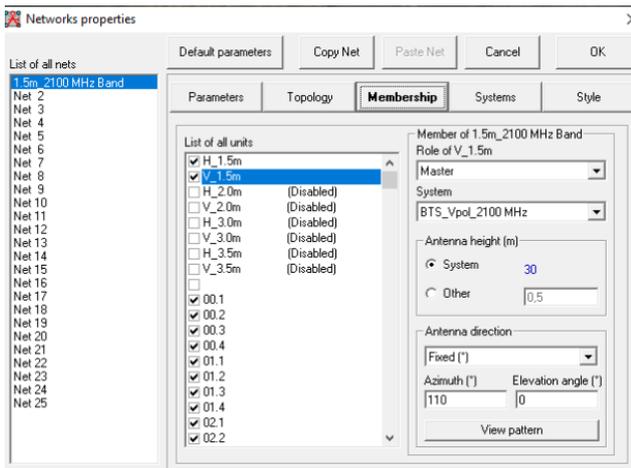


Figura 20. Configuración EBC por separación y polarización de las antenas

Fuente: Software RadioMobile (2023)

#### 4.8.2 Reportes obtenidos en la recepción móvil.

Se realizó la simulación en 70 puntos de emplazamientos dentro del pueblo de Huacamongo para 4 casos de separación de antenas en 4 ángulos de azimuth de usuario dando un total de 1120 enlaces para procesar, analizar y comparar la señal uplink en diversidad de polarización. A continuación, se presentan las tablas N° 8, 9, 10 y 11 en donde se muestran los datos de simulación obtenidos. La señal uplink en diversidad de polarización se obtiene del nivel más alto de potencia seleccionado entre las polarizaciones H/V. En dichas tablas también se calcularon los valores máximos, mínimos, promedio. Asimismo, se calcularon la desviación, varianza y coeficiente de varianza.

Tabla 8. Reporte de señal obtenida para separación de antenas H/V BTS 1.5m, azimuth usuario tx uplink 0 - 270°

Azimuth usuario Transmisor uplink 0°																																				
Punto Movil Tx	0,1	1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1	17,1	18,1	19,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	25,1	26,1	27,1	28,1	29,1	30,1	31,1	32,1	33,1	34,1	35,1
(H) 1.5m	-93,0	-91,7	-90,8	-91,6	-88,3	-88,2	-87,5	-87,5	-86,4	-86,5	-85,1	-84,3	-86,4	-84,2	-85,7	-85,6	-87,3	-87,0	-84,9	-84,4	-85,0	-86,2	-88,3	-91,1	-88,6	-89,5	-96,8	-90,4	-84,8	-84,3	-83,7	-84,4	-90,8	-85,0	-88,1	-88,1
(V) 1.5m	-93,2	-92,3	-91,5	-92,2	-89,1	-89,2	-88,4	-88,5	-87,1	-87,3	-86,2	-84,7	-86,7	-84,5	-86,0	-86,0	-87,7	-87,4	-85,3	-84,9	-85,4	-86,6	-88,5	-91,4	-88,9	-89,9	-97,1	-90,7	-85,4	-84,8	-84,5	-85,2	-91,7	-85,9	-89,2	-88,8
Punto Movil Tx	36,1	37,1	38,1	39,1	40,1	41,1	42,1	43,1	44,1	45,1	46,1	47,1	48,1	49,1	50,1	51,1	52,1	53,1	54,1	55,1	56,1	57,1	58,1	59,1	60,1	61,1	62,1	63,1	64,1	65,1	66,1	67,1	68,1	69,1	70,1	
(H) 1.5m	-96,3	-94,2	-103,6	-88,9	-91,0	-86,1	-89,0	-89,4	-87,0	-87,3	-85,5	-88,6	-89,2	-87,8	-88,2	-90,2	-87,6	-86,7	-88,1	-86,5	-88,3	-86,4	-86,7	-85,8	-86,6	-85,7	-85,8	-85,7	-86,4	-86,7	-86,5	-85,9	-86,5	-87,5	-87,8	
(V) 1.5m	-96,3	-94,7	-103,5	-88,0	-90,7	-87,2	-90,1	-90,9	-90,9	-92,5	-90,8	-94,6	-93,5	-93,4	-92,0	-92,3	-89,2	-88,1	-89,0	-87,5	-90,4	-88,0	-88,3	-87,0	-87,7	-86,4	-86,2	-86,2	-86,8	-87,2	-87,0	-86,4	-87,0	-88,0	-88,3	
Azimuth usuario Transmisor uplink 90°																																				
Punto Movil Tx	0,2	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	9,2	10,2	11,2	12,2	13,2	14,2	15,2	16,2	17,2	18,2	19,2	20,2	21,2	22,2	23,2	24,2	25,2	26,2	27,2	28,2	29,2	30,2	31,2	32,2	33,2	34,2	35,2
(H) 1.5m	-90,8	-90,0	-89,5	-90,4	-86,6	-85,8	-85,2	-85,3	-85,6	-84,4	-83,2	-83,7	-82,6	-84,5	-85,2	-84,6	-86,0	-86,2	-84,1	-88,8	-84,7	-84,7	-85,9	-86,9	-88,1	-89,1	-85,4	-89,9	-83,9	-83,4	-83,0	-85,4	-90,4	-84,7	-88,1	-88,2
(V) 1.5m	-91,0	-90,5	-90,2	-91,0	-87,5	-86,8	-86,0	-86,3	-86,6	-85,2	-84,3	-84,1	-83,0	-84,8	-85,7	-85,2	-86,4	-86,6	-84,6	-89,3	-85,1	-85,0	-86,2	-87,2	-88,4	-89,4	-85,7	-90,2	-84,6	-84,0	-83,8	-86,2	-91,3	-85,6	-89,2	-88,9
Punto Movil Tx	36,2	37,2	38,2	39,2	40,2	41,2	42,2	43,2	44,2	45,2	46,2	47,2	48,2	49,2	50,2	51,2	52,2	53,2	54,2	55,2	56,2	57,2	58,2	59,2	60,2	61,2	62,2	63,2	64,2	65,2	66,2	67,2	68,2	69,2	70,2	
(H) 1.5m	-91,4	-94,4	-104,3	-91,6	-98,9	-86,1	-87,2	-89,4	-86,8	-86,9	-86,4	-87,3	-87,7	-86,2	-86,4	-87,0	-85,8	-84,6	-85,8	-84,2	-88,2	-86,0	-85,9	-84,8	-85,4	-84,4	-84,3	-84,0	-84,4	-84,8	-84,5	-83,9	-84,5	-85,5	-85,7	
(V) 1.5m	-94,4	-95,0	-104,4	-91,3	-98,4	-87,2	-88,4	-90,9	-90,8	-92,2	-92,5	-93,4	-92,0	-91,8	-90,1	-88,8	-87,4	-86,0	-86,8	-85,2	-90,4	-87,6	-87,6	-85,9	-86,6	-85,1	-84,7	-84,5	-84,8	-85,2	-85,0	-84,3	-85,0	-86,0	-86,3	
Azimuth usuario Transmisor uplink 180°																																				
Punto Movil Tx	0,3	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3	18,3	19,3	20,3	21,3	22,3	23,3	24,3	25,3	26,3	27,3	28,3	29,3	30,3	31,3	32,3	33,3	34,3	35,3
(H) 1.5m	-88,0	-87,1	-86,6	-88,1	-85,2	-85,2	-85,2	-86,0	-85,4	-86,2	-85,1	-85,4	-84,0	-85,5	-86,0	-85,2	-86,2	-86,1	-83,8	-88,2	-83,8	-83,7	-84,8	-85,7	-86,9	-87,7	-83,9	-88,3	-84,3	-83,4	-82,7	-84,5	-89,0	-82,7	-85,5	-85,5
(V) 1.5m	-88,2	-87,6	-87,4	-88,7	-86,1	-86,2	-86,0	-87,0	-86,2	-87,0	-86,1	-85,9	-84,4	-85,8	-86,5	-85,7	-86,6	-86,4	-84,3	-88,7	-84,2	-84,0	-85,0	-86,0	-87,1	-88,0	-84,1	-88,6	-84,9	-83,9	-83,5	-85,3	-89,8	-83,6	-86,5	-86,2
Punto Movil Tx	36,3	37,3	38,3	39,3	40,3	41,3	42,3	43,3	44,3	45,3	46,3	47,3	48,3	49,3	50,3	51,3	52,3	53,3	54,3	55,3	56,3	57,3	58,3	59,3	60,3	61,3	62,3	63,3	64,3	65,3	66,3	67,3	68,3	69,3	70,3	
(H) 1.5m	-89,1	-92,4	-102,6	-90,1	-91,0	-84,0	-85,4	-88,1	-86,3	-87,1	-87,3	-88,7	-88,7	-87,0	-86,8	-88,9	-86,3	-85,1	-86,3	-84,7	-87,5	-85,7	-86,3	-85,6	-86,5	-85,7	-85,8	-86,3	-86,7	-86,4	-85,7	-86,4	-87,4	-87,6		
(V) 1.5m	-92,1	-93,0	-102,6	-89,8	-90,7	-85,1	-86,5	-89,5	-90,2	-92,3	-93,2	-94,8	-93,1	-92,7	-90,6	-91,0	-87,9	-86,6	-87,3	-85,8	-89,6	-87,2	-88,0	-86,8	-87,6	-86,4	-86,2	-86,3	-86,7	-87,1	-86,9	-86,2	-86,8	-87,9	-88,1	
Azimuth usuario Transmisor uplink 270°																																				
Punto Movil Tx	0,4	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	9,4	10,4	11,4	12,4	13,4	14,4	15,4	16,4	17,4	18,4	19,4	20,4	21,4	22,4	23,4	24,4	25,4	26,4	27,4	28,4	29,4	30,4	31,4	32,4	33,4	34,4	35,4
(H) 1.5m	-92,7	-90,8	-89,5	-89,7	-85,5	-84,1	-82,9	-82,5	-80,9	-81,1	-79,8	-80,1	-78,7	-80,4	-81,1	-80,3	-81,5	-81,6	-79,4	-83,9	-79,8	-79,8	-81,0	-81,9	-83,1	-84,0	-80,3	-84,8	-79,6	-78,9	-78,4	-80,7	-85,6	-79,7	-82,9	-83,0
(V) 1.5m	-92,9	-91,4	-90,2	-90,2	-86,3	-85,0	-83,7	-83,4	-81,6	-81,9	-80,8	-80,5	-79,1	-80,8	-81,6	-80,9	-82,0	-82,0	-79,8	-84,4	-80,2	-80,1	-81,2	-82,2	-83,4	-84,4	-80,6	-85,1	-80,2	-79,5	-79,2	-81,5	-86,4	-80,7	-84,0	-83,7
Punto Movil Tx	36,4	37,4	38,4	39,4	40,4	41,4	42,4	43,4	44,4	45,4	46,4	47,4	48,4	49,4	50,4	51,4	52,4	53,4	54,4	55,4	56,4	57,4	58,4	59,4	60,4	61,4	62,4	63,4	64,4	65,4	66,4	67,4	68,4	69,4	70,4	
(H) 1.5m	-86,5	-89,7	-99,8	-87,3	-94,8	-80,9	-82,0	-84,2	-81,8	-82,3	-82,2	-83,6	-84,0	-82,5	-82,6	-83,4	-82,5	-81,7	-83,2	-81,6	-83,1	-81,1	-81,6	-80,8	-81,5	-80,5	-80,5	-80,4	-80,9	-81,3	-81,0	-80,4	-81,0	-82,0	-82,3	
(V) 1.5m	-89,5	-90,2	-99,8	-87,0	-94,4	-82,0	-83,2	-85,7	-85,8	-87,6	-88,2	-89,6	-88,3	-88,1	-86,3	-85,0	-84,0	-83,0	-84,1	-82,6	-85,2	-82,7	-83,3	-82,0	-82,6	-81,3	-80,9	-80,9	-81,3	-81,7	-81,5	-80,8	-81,5	-82,5	-82,8	

Tabla 9. Reporte de señal obtenida para separación de antenas H/V BTS 2.0m, azimuth usuario tx uplink 0 - 270°

Azimuth usuario Trasmisor uplink 0°																																						
Punto	0,1	1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1	17,1	18,1	19,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	25,1	26,1	27,1	28,1	29,1	30,1	31,1	32,1	33,1	34,1	35,1		
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-93,1	-91,8	-90,8	-91,6	-88,3	-88,1	-87,5	-87,5	-86,4	-86,5	-85,1	-84,3	-86,4	-84,2	-85,6	-85,6	-87,3	-87,0	-84,9	-84,4	-85,0	-86,2	-88,3	-91,1	-88,6	-89,5	-96,7	-90,3	-84,8	-84,3	-83,7	-84,4	-90,8	-85,0	-88,0	-88,0		
(V) 1.5m	-93,3	-92,2	-91,5	-92,2	-89,4	-89,5	-88,3	-88,7	-87,0	-87,4	-86,1	-84,7	-86,6	-84,5	-86,0	-86,0	-87,8	-87,6	-85,4	-84,9	-85,4	-86,5	-88,5	-91,3	-88,8	-89,8	-97,0	-90,6	-85,4	-84,7	-84,5	-85,4	-91,9	-85,9	-89,0	-88,8		
Punto	36,1	37,1	38,1	39,1	40,1	41,1	42,1	43,1	44,1	45,1	46,1	47,1	48,1	49,1	50,1	51,1	52,1	53,1	54,1	55,1	56,1	57,1	58,1	59,1	60,1	61,1	62,1	63,1	64,1	65,1	66,1	67,1	68,1	69,1	70,1			
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-96,6	-94,0	-103,6	-89,1	-91,2	-86,2	-89,1	-89,4	-87,0	-87,3	-85,5	-88,7	-89,2	-87,8	-88,2	-90,2	-87,7	-86,7	-88,1	-86,5	-88,3	-86,4	-86,7	-85,8	-86,6	-85,7	-85,8	-85,8	-86,4	-86,7	-86,5	-85,9	-86,5	-87,5	-87,8			
(V) 1.5m	-96,8	-94,4	-103,7	-89,2	-90,8	-87,5	-90,5	-91,1	-91,1	-92,8	-90,8	-94,0	-93,1	-93,7	-92,3	-92,4	-89,4	-88,2	-89,1	-87,5	-90,5	-88,0	-88,5	-86,9	-87,7	-86,4	-86,0	-86,2	-86,8	-87,1	-87,0	-86,4	-86,9	-88,0	-88,3			
Azimuth usuario Trasmisor uplink 90°																																						
Punto	0,2	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	9,2	10,2	11,2	12,2	13,2	14,2	15,2	16,2	17,2	18,2	19,2	20,2	21,2	22,2	23,2	24,2	25,2	26,2	27,2	28,2	29,2	30,2	31,2	32,2	33,2	34,2	35,2		
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-90,8	-90,0	-89,5	-90,4	-86,7	-85,9	-85,2	-85,3	-85,6	-84,5	-83,2	-83,7	-82,6	-84,5	-85,2	-84,6	-86,0	-86,2	-84,1	-88,8	-84,7	-84,7	-85,9	-86,9	-88,0	-89,0	-85,4	-89,9	-83,9	-83,4	-83,0	-85,3	-90,4	-84,7	-88,0	-88,1		
(V) 1.5m	-91,0	-90,5	-90,2	-90,9	-87,8	-87,0	-85,9	-86,5	-86,5	-85,4	-84,2	-84,3	-83,0	-84,8	-85,7	-85,3	-86,4	-86,8	-84,6	-89,4	-85,1	-85,0	-86,2	-87,2	-88,3	-89,4	-85,7	-90,2	-84,6	-84,0	-83,9	-86,2	-91,4	-85,6	-89,1	-88,9		
Punto	36,2	37,2	38,2	39,2	40,2	41,2	42,2	43,2	44,2	45,2	46,2	47,2	48,2	49,2	50,2	51,2	52,2	53,2	54,2	55,2	56,2	57,2	58,2	59,2	60,2	61,2	62,2	63,2	64,2	65,2	66,2	67,2	68,2	69,2	70,2			
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-91,3	-94,3	-104,4	-91,7	-99,1	-86,1	-87,1	-89,4	-86,8	-86,9	-86,5	-87,4	-87,7	-86,3	-86,4	-87,1	-85,8	-84,6	-85,8	-84,2	-88,2	-86,0	-86,0	-84,7	-85,4	-84,4	-84,3	-84,0	-84,4	-84,8	-84,5	-83,9	-84,5	-85,5	-85,8			
(V) 1.5m	-94,2	-94,8	-104,6	-89,5	-98,6	-87,5	-88,2	-91,1	-91,0	-92,5	-92,8	-92,8	-91,6	-92,2	-90,4	-88,6	-87,6	-86,1	-86,8	-85,2	-90,3	-87,6	-87,8	-85,8	-86,6	-85,1	-84,6	-84,5	-84,8	-85,2	-85,0	-84,3	-84,9	-86,0	-86,2			
Azimuth usuario Trasmisor uplink 180°																																						
Punto	0,3	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3	18,3	19,3	20,3	21,3	22,3	23,3	24,3	25,3	26,3	27,3	28,3	29,3	30,3	31,3	32,3	33,3	34,3	35,3		
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-88,0	-87,1	-86,6	-88,1	-85,2	-85,2	-85,2	-86,0	-85,4	-86,2	-85,1	-85,4	-84,0	-85,5	-86,1	-85,2	-86,2	-86,1	-83,8	-88,2	-83,8	-83,7	-84,8	-85,7	-86,9	-87,6	-83,9	-88,3	-84,3	-83,4	-82,7	-84,5	-89,0	-82,7	-85,4	-85,4		
(V) 1.5m	-88,3	-87,6	-87,4	-88,7	-86,3	-86,3	-86,0	-87,2	-86,1	-87,2	-86,0	-86,0	-84,4	-85,8	-86,5	-85,8	-86,6	-86,6	-84,3	-88,8	-84,2	-84,0	-85,0	-85,9	-87,1	-87,9	-84,1	-88,5	-84,9	-83,9	-83,5	-85,2	-89,9	-83,5	-86,4	-86,3		
Punto	36,3	37,3	38,3	39,3	40,3	41,3	42,3	43,3	44,3	45,3	46,3	47,3	48,3	49,3	50,3	51,3	52,3	53,3	54,3	55,3	56,3	57,3	58,3	59,3	60,3	61,3	62,3	63,3	64,3	65,3	66,3	67,3	68,3	69,3	70,3			
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-89,0	-92,3	-102,6	-90,2	-91,2	-84,0	-85,4	-88,2	-86,3	-87,2	-87,3	-88,7	-88,7	-87,0	-86,8	-88,9	-86,3	-85,1	-86,3	-84,7	-87,5	-85,7	-86,4	-85,6	-86,5	-85,7	-85,8	-85,9	-86,3	-86,7	-86,4	-85,7	-86,4	-87,4	-87,6			
(V) 1.5m	-91,9	-92,8	-102,9	-88,1	-90,9	-85,2	-86,3	-89,7	-90,4	-92,6	-93,6	-94,1	-92,7	-93,1	-90,9	-91,1	-88,1	-86,7	-87,3	-85,7	-89,5	-87,3	-88,1	-86,6	-87,6	-86,3	-86,0	-86,3	-86,6	-87,1	-86,9	-86,2	-86,8	-87,8	-88,1			
Azimuth usuario Trasmisor uplink 270°																																						
Punto	0,4	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	9,4	10,4	11,4	12,4	13,4	14,4	15,4	16,4	17,4	18,4	19,4	20,4	21,4	22,4	23,4	24,4	25,4	26,4	27,4	28,4	29,4	30,4	31,4	32,4	33,4	34,4	35,4		
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-92,7	-90,9	-89,5	-89,7	-85,5	-84,1	-82,9	-82,5	-80,9	-81,1	-79,8	-80,1	-78,7	-80,4	-81,1	-80,3	-81,5	-81,6	-79,4	-83,9	-79,8	-79,8	-81,0	-81,9	-83,1	-84,0	-80,3	-84,8	-79,6	-78,9	-78,4	-80,6	-85,6	-79,7	-82,8	-82,9		
(V) 1.5m	-93,0	-91,3	-90,2	-90,2	-86,6	-85,2	-83,6	-83,6	-81,5	-82,1	-80,7	-80,6	-79,1	-80,8	-81,6	-81,0	-82,0	-82,1	-79,9	-84,5	-80,2	-80,1	-81,2	-82,2	-83,3	-84,3	-80,6	-85,0	-80,3	-79,4	-79,2	-81,4	-86,5	-80,6	-83,9	-83,7		
Punto	36,4	37,4	38,4	39,4	40,4	41,4	42,4	43,4	44,4	45,4	46,4	47,4	48,4	49,4	50,4	51,4	52,4	53,4	54,4	55,4	56,4	57,4	58,4	59,4	60,4	61,4	62,4	63,4	64,4	65,4	66,4	67,4	68,4	69,4	70,4			
Movil Tx																																						
(H) 1.5m	-86,4	-89,5	-99,8	-87,3	-95,0	-80,9	-81,9	-84,2	-81,8	-82,4	-82,2	-83,7	-84,0	-82,5	-82,7	-83,4	-82,5	-81,7	-83,2	-81,6	-83,1	-81,1	-81,7	-80,8	-81,5	-80,5	-80,5	-80,4	-80,9	-81,3	-81,0	-80,4	-81,0	-82,0	-82,3			
(V) 1.5m	-89,3	-90,1	-100,0	-85,2	-94,7	-82,3	-83,0	-85,9	-86,0	-87,9	-88,5	-89,0	-87,9	-88,4	-86,6	-84,8	-84,2	-83,1	-84,1	-82,6	-85,2	-82,7	-83,4	-81,9	-82,6	-81,2	-80,7	-80,9	-81,3	-81,7	-81,5	-80,8	-81,4	-82,4	-82,8			

Tabla 10. Reporte de señal obtenida para separación de antenas H/V BTS 3.0m, azimuth usuario tx uplink 0 - 270°

Azimuth usuario Trasmisor uplink 0°																																				
Punto Movil Tx	0,1	1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1	17,1	18,1	19,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	25,1	26,1	27,1	28,1	29,1	30,1	31,1	32,1	33,1	34,1	35,1
(H) 1.5m	-93,1	-91,8	-90,9	-91,7	-88,7	-88,7	-87,7	-87,8	-86,2	-87,2	-84,3	-84,6	-86,2	-84,2	-85,5	-85,4	-87,5	-87,9	-85,3	-84,4	-84,9	-85,9	-87,6	-90,2	-88,2	-89,2	-95,2	-89,9	-85,1	-84,1	-83,9	-85,4	-91,2	-85,0	-87,5	-87,7
(V) 1.5m	-93,2	-92,3	-91,7	-92,3	-90,1	-90,3	-88,5	-88,9	-86,9	-88,0	-85,9	-85,1	-86,2	-84,5	-85,8	-85,7	-88,1	-88,6	-85,9	-84,9	-85,3	-86,2	-87,8	-90,3	-88,5	-89,5	-95,4	-90,1	-85,8	-84,7	-84,9	-86,5	-92,2	-86,0	-88,7	-88,6
Punto Movil Tx	36,1	37,1	38,1	39,1	40,1	41,1	42,1	43,1	44,1	45,1	46,1	47,1	48,1	49,1	50,1	51,1	52,1	53,1	54,1	55,1	56,1	57,1	58,1	59,1	60,1	61,1	62,1	63,1	64,1	65,1	66,1	67,1	68,1	69,1	70,1	
(H) 1.5m	-95,2	-85,8	-102,5	-90,8	-93,0	-86,6	-90,0	-89,9	-87,3	-87,7	-85,4	-88,5	-89,0	-88,1	-88,5	-90,5	-88,0	-87,1	-88,1	-86,5	-88,0	-86,7	-87,2	-85,7	-86,8	-85,8	-85,4	-84,2	-86,2	-86,6	-86,6	-85,9	-86,4	-87,4	-87,8	
(V) 1.5m	-99,3	-93,2	-103,5	-88,5	-92,4	-87,9	-91,4	-91,6	-91,5	-92,7	-91,2	-93,5	-92,7	-94,6	-92,8	-92,1	-89,9	-88,8	-89,0	-87,7	-90,3	-88,3	-88,8	-86,8	-87,8	-86,4	-85,5	-86,5	-86,5	-87,0	-87,2	-86,5	-86,8	-87,9	-88,1	
Azimuth usuario Trasmisor uplink 90°																																				
Punto Movil Tx	0,2	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	9,2	10,2	11,2	12,2	13,2	14,2	15,2	16,2	17,2	18,2	19,2	20,2	21,2	22,2	23,2	24,2	25,2	26,2	27,2	28,2	29,2	30,2	31,2	32,2	33,2	34,2	35,2
(H) 1.5m	-90,8	-90,1	-89,5	-90,4	-87,1	-86,3	-85,3	-85,6	-85,5	-85,1	-82,4	-84,0	-82,8	-84,4	-85,5	-84,9	-86,2	-87,0	-84,0	-89,4	-84,8	-84,6	-85,8	-86,7	-87,7	-88,7	-85,5	-89,4	-84,2	-83,3	-83,2	-85,1	-90,8	-84,8	-87,5	-87,7
(V) 1.5m	-90,9	-90,6	-90,4	-91,0	-88,4	-87,8	-86,1	-86,8	-86,3	-86,1	-84,0	-84,5	-83,4	-84,7	-86,0	-85,6	-86,7	-87,7	-85,1	-90,2	-85,3	-85,0	-86,0	-87,0	-88,0	-89,0	-85,9	-89,7	-85,0	-83,9	-84,2	-86,1	-91,8	-85,9	-88,7	-88,6
Punto Movil Tx	36,2	37,2	38,2	39,2	40,2	41,2	42,2	43,2	44,2	45,2	46,2	47,2	48,2	49,2	50,2	51,2	52,2	53,2	54,2	55,2	56,2	57,2	58,2	59,2	60,2	61,2	62,2	63,2	64,2	65,2	66,2	67,2	68,2	69,2	70,2	
(H) 1.5m	-90,7	-93,0	-103,2	-93,2	-101,9	-86,6	-86,6	-89,8	-87,1	-87,3	-87,0	-87,2	-87,5	-86,5	-86,7	-86,6	-86,2	-85,0	-85,9	-84,2	-88,1	-86,3	-86,4	-84,7	-85,6	-84,4	-83,8	-84,2	-84,2	-84,6	-84,6	-83,9	-84,4	-85,4	-85,7	
(V) 1.5m	-93,2	-93,7	-104,4	-90,1	-101,0	-87,9	-87,9	-91,7	-91,3	-92,4	-93,2	-92,3	-91,2	-93,1	-90,9	-88,2	-88,0	-86,8	-86,8	-85,4	-90,5	-88,0	-88,1	-85,8	-86,6	-85,2	-84,1	-84,7	-84,6	-85,1	-85,2	-84,4	-84,8	-85,8	-86,1	
Azimuth usuario Trasmisor uplink 180°																																				
Punto Movil Tx	0,3	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3	18,3	19,3	20,3	21,3	22,3	23,3	24,3	25,3	26,3	27,3	28,3	29,3	30,3	31,3	32,3	33,3	34,3	35,3
(H) 1.5m	-88,1	-87,2	-86,7	-88,1	-85,7	-85,6	-85,3	-86,2	-85,2	-86,9	-84,2	-85,8	-84,2	-85,5	-86,3	-85,5	-86,4	-86,9	-84,3	-88,9	-84,0	-83,6	-84,7	-85,5	-86,5	-87,3	-84,0	-87,9	-84,6	-83,3	-82,9	-84,3	-89,4	-82,8	-84,9	-85,1
(V) 1.5m	-88,2	-87,6	-87,6	-88,8	-87,0	-87,1	-86,2	-87,5	-86,0	-87,8	-85,9	-86,2	-84,7	-85,7	-86,7	-86,0	-86,8	-87,5	-84,8	-89,6	-84,4	-83,9	-84,9	-85,7	-86,7	-87,6	-84,2	-88,0	-85,3	-83,8	-83,8	-85,1	-90,3	-83,8	-86,0	-86,0
Punto Movil Tx	36,3	37,3	38,3	39,3	40,3	41,3	42,3	43,3	44,3	45,3	46,3	47,3	48,3	49,3	50,3	51,3	52,3	53,3	54,3	55,3	56,3	57,3	58,3	59,3	60,3	61,3	62,3	63,3	64,3	65,3	66,3	67,3	68,3	69,3	70,3	
(H) 1.5m	88,4	-91,0	-101,5	-91,7	-92,9	-84,5	-84,9	-88,6	-86,6	-87,5	-87,9	-88,5	-88,6	-87,2	-87,1	-89,1	-86,7	-85,5	-86,3	-84,7	-87,5	-86,0	-86,8	-85,5	-86,7	-85,7	-85,4	-86,0	-86,0	-86,5	-86,5	-85,8	-86,2	-87,3	-87,5	
(V) 1.5m	-91,0	-91,7	-102,7	-88,7	-92,5	-85,7	-86,0	-90,2	-90,7	-92,5	-93,9	-93,6	-92,3	-94,1	-91,4	-90,8	-88,6	-87,3	-87,3	-86,0	-89,7	-87,6	-88,4	-86,6	-87,6	-86,3	-85,5	-86,5	-86,4	-87,0	-87,1	-86,3	-86,7	-87,7	-87,9	
Azimuth usuario Trasmisor uplink 270°																																				
Punto Movil Tx	0,4	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	9,4	10,4	11,4	12,4	13,4	14,4	15,4	16,4	17,4	18,4	19,4	20,4	21,4	22,4	23,4	24,4	25,4	26,4	27,4	28,4	29,4	30,4	31,4	32,4	33,4	34,4	35,4
(H) 1.5m	-92,8	-91,0	-89,6	-89,8	-86,0	-84,6	-83,0	-82,7	-80,8	-81,8	-78,9	-80,4	-78,9	-80,4	-81,4	-80,6	-81,7	-82,4	-79,8	-84,6	-79,9	-79,7	-80,8	-81,7	-82,7	-83,7	-80,4	-84,3	-79,9	-78,8	-78,6	-80,4	-86,0	-79,9	-82,3	-82,5
(V) 1.5m	-92,9	-91,4	-90,4	-90,3	-87,2	-86,0	-83,8	-83,9	-81,4	-82,7	-80,5	-80,9	-79,5	-80,7	-81,8	-81,3	-82,2	-83,1	-80,4	-85,3	-80,4	-80,0	-81,1	-82,0	-83,0	-84,0	-80,7	-84,5	-80,7	-79,3	-79,6	-81,3	-86,9	-80,9	-83,5	-83,4
Punto Movil Tx	36,4	37,4	38,4	39,4	40,4	41,4	42,4	43,4	44,4	45,4	46,4	47,4	48,4	49,4	50,4	51,4	52,4	53,4	54,4	55,4	56,4	57,4	58,4	59,4	60,4	61,4	62,4	63,4	64,4	65,4	66,4	67,4	68,4	69,4	70,4	
(H) 1.5m	-85,8	-88,3	-98,6	-88,8	-97,8	-81,4	-81,4	-84,6	-82,1	-82,7	-82,8	-83,4	-83,9	-82,8	-83,0	-83,0	-82,8	-82,1	-83,2	-81,7	-83,0	-81,4	-82,1	-80,7	-81,7	-80,6	-80,1	-80,6	-80,7	-81,2	-81,1	-80,4	-80,9	-81,9	-82,3	
(V) 1.5m	-88,3	-88,9	-99,8	-85,9	-97,1	-82,7	-82,6	-86,4	-86,3	-87,8	-88,9	-88,5	-87,6	-89,4	-87,1	-84,5	-84,6	-83,7	-84,0	-82,8	-85,3	-83,1	-83,8	-81,8	-82,7	-81,3	-80,2	-81,1	-81,1	-81,6	-81,7	-80,9	-81,3	-82,3	-82,6	

Tabla 11. Reporte de señal obtenida para separación de antenas H/V BTS 3.5m, azimuth usuario tx uplink 0 - 270°

Azimuth usuario Trasmisor uplink 0°																																				
Punto Movil Tx	0,1	1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1	17,1	18,1	19,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	25,1	26,1	27,1	28,1	29,1	30,1	31,1	32,1	33,1	34,1	35,1
(H) 1.5m	-93,1	-91,8	-90,7	-91,6	-88,3	-88,0	-87,6	-87,6	-86,6	-86,3	-85,4	-84,3	-86,5	-84,2	-85,4	-85,8	-87,3	-87,0	-84,8	-84,3	-85,0	-86,2	-88,3	-91,1	-88,6	-89,6	-96,8	-90,4	-85,0	-84,3	-83,6	-84,2	-90,7	-84,9	-88,1	-88,0
(V) 1.5m	-93,2	-92,3	-91,5	-92,3	-89,4	-89,5	-88,3	-88,6	-86,9	-87,4	-86,1	-84,7	-86,6	-84,5	-86,0	-86,0	-87,8	-87,6	-85,4	-84,9	-85,4	-86,6	-88,5	-91,3	-88,9	-89,9	-97,1	-90,7	-85,4	-84,8	-84,5	-85,4	-91,8	-86,0	-89,2	-88,8
Azimuth usuario Trasmisor uplink 90°																																				
Punto Movil Tx	0,2	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	9,2	10,2	11,2	12,2	13,2	14,2	15,2	16,2	17,2	18,2	19,2	20,2	21,2	22,2	23,2	24,2	25,2	26,2	27,2	28,2	29,2	30,2	31,2	32,2	33,2	34,2	35,2
(H) 1.5m	-90,8	-90,1	-89,4	-90,3	-86,6	-85,7	-85,2	-85,3	-85,8	-84,3	-83,5	-83,7	-82,5	-84,5	-85,2	-84,6	-85,9	-86,1	-84,0	-88,7	-84,6	-84,7	-85,9	-86,9	-88,0	-89,1	-85,4	-89,9	-84,1	-83,4	-82,9	-85,4	-90,2	-84,6	-88,0	-88,1
(V) 1.5m	-91,0	-90,6	-90,2	-91,0	-87,7	-87,0	-85,9	-86,5	-86,5	-85,4	-84,2	-84,3	-83,0	-84,9	-85,7	-85,2	-86,4	-86,7	-84,6	-89,4	-85,1	-85,0	-86,2	-87,2	-88,4	-89,4	-85,7	-90,2	-84,6	-84,0	-83,9	-86,2	-91,4	-85,7	-89,2	-88,9
Punto Movil Tx	36,2	37,2	38,2	39,2	40,2	41,2	42,2	43,2	44,2	45,2	46,2	47,2	48,2	49,2	50,2	51,2	52,2	53,2	54,2	55,2	56,2	57,2	58,2	59,2	60,2	61,2	62,2	63,2	64,2	65,2	66,2	67,2	68,2	69,2	70,2	
(H) 1.5m	-91,3	-94,3	-104,3	-91,7	-99,1	-85,9	-87,2	-89,1	-86,7	-86,4	-86,2	-87,6	-87,9	-86,3	-86,2	-87,5	-85,6	-84,6	-85,9	-84,1	-88,1	-85,9	-85,7	-84,8	-85,4	-84,4	-84,3	-83,9	-84,4	-84,8	-84,5	-83,9	-84,5	-85,6	-85,8	
(V) 1.5m	-94,4	-95,1	-104,4	-89,4	-98,3	-87,4	-88,4	-91,1	-91,0	-92,5	-92,8	-92,8	-91,6	-92,1	-90,3	-88,5	-87,6	-86,1	-86,8	-85,2	-90,4	-87,6	-87,8	-85,9	-86,6	-85,1	-84,6	-84,5	-84,8	-85,2	-85,0	-84,3	-84,9	-86,0	-86,2	
Azimuth usuario Trasmisor uplink 180°																																				
Punto Movil Tx	0,3	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3	18,3	19,3	20,3	21,3	22,3	23,3	24,3	25,3	26,3	27,3	28,3	29,3	30,3	31,3	32,3	33,3	34,3	35,3
(H) 1.5m	-88,1	-87,2	-86,5	-88,0	-85,2	-84,9	-85,2	-86,0	-85,6	-86,0	-85,4	-85,4	-83,9	-85,5	-86,1	-85,2	-86,2	-86,0	-83,8	-88,2	-83,8	-83,7	-84,8	-85,8	-86,9	-87,7	-83,9	-88,4	-84,5	-83,5	-82,6	-84,6	-88,9	-82,7	-85,5	-85,4
(V) 1.5m	-88,2	-87,7	-87,4	-88,8	-86,3	-86,4	-86,0	-87,2	-86,1	-87,1	-86,0	-86,0	-84,3	-85,8	-86,5	-85,7	-86,6	-86,5	-84,3	-88,7	-84,2	-84,0	-85,0	-85,9	-87,1	-87,9	-84,1	-88,6	-84,9	-83,9	-83,4	-85,2	-89,9	-83,6	-86,5	-86,2
Punto Movil Tx	36,3	37,3	38,3	39,3	40,3	41,3	42,3	43,3	44,3	45,3	46,3	47,3	48,3	49,3	50,3	51,3	52,3	53,3	54,3	55,3	56,3	57,3	58,3	59,3	60,3	61,3	62,3	63,3	64,3	65,3	66,3	67,3	68,3	69,3	70,3	
(H) 1.5m	-89,0	-92,2	-102,5	-90,2	-91,2	-83,9	-85,5	-88,0	-86,2	-86,7	-87,1	-88,9	-88,9	-87,0	-86,6	-88,7	-86,1	-85,0	-86,3	-84,6	-87,5	-85,7	-86,1	-85,7	-86,5	-85,7	-85,9	-85,8	-86,3	-86,7	-86,4	-85,8	-86,4	-87,4	-87,7	
(V) 1.5m	-92,2	-93,1	-102,7	-88,0	-90,7	-85,1	-86,4	-89,6	-90,4	-92,6	-93,5	-94,2	-92,7	-93,1	-90,9	-91,1	-88,2	-86,7	-87,4	-85,7	-89,6	-87,3	-88,1	-86,7	-87,6	-86,3	-86,0	-86,3	-86,6	-87,1	-86,9	-86,2	-86,8	-87,8	-88,1	
Azimuth usuario Trasmisor uplink 270°																																				
Punto Movil Tx	0,4	1,4	2,4	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4	9,4	10,4	11,4	12,4	13,4	14,4	15,4	16,4	17,4	18,4	19,4	20,4	21,4	22,4	23,4	24,4	25,4	26,4	27,4	28,4	29,4	30,4	31,4	32,4	33,4	34,4	35,4
(H) 1.5m	-92,8	-91,0	-89,4	-89,7	-85,5	-83,9	-82,9	-82,5	-81,1	-80,9	-80,0	-80,0	-78,6	-80,4	-81,1	-80,3	-81,5	-81,5	-79,3	-83,8	-79,7	-79,8	-80,9	-81,9	-83,1	-84,0	-80,3	-84,8	-79,8	-79,9	-78,2	-80,6	-85,4	-79,7	-82,9	-82,9
(V) 1.5m	-92,9	-91,4	-90,1	-90,3	-86,5	-85,2	-83,6	-83,6	-81,5	-82,0	-80,7	-80,6	-79,1	-80,8	-81,6	-80,9	-82,0	-82,1	-79,9	-84,5	-80,2	-80,1	-81,2	-82,2	-83,4	-84,3	-80,6	-85,0	-80,2	-79,4	-79,2	-81,4	-86,5	-80,7	-84,0	-83,7
Punto Movil Tx	36,4	37,4	38,4	39,4	40,4	41,4	42,4	43,4	44,4	45,4	46,4	47,4	48,4	49,4	50,4	51,4	52,4	53,4	54,4	55,4	56,4	57,4	58,4	59,4	60,4	61,4	62,4	63,4	64,4	65,4	66,4	67,4	68,4	69,4	70,4	
(H) 1.5m	-86,4	-89,5	-99,7	-87,3	-95,0	-80,8	-82,0	-84,0	-81,7	-81,9	-82,0	-83,9	-84,3	-82,6	-82,5	-83,9	-82,3	-81,7	-83,2	-81,6	-83,0	-81,1	-81,4	-80,9	-81,5	-80,6	-80,6	-80,3	-80,9	-81,4	-81,0	-80,4	-81,0	-82,1	-82,4	
(V) 1.5m	-89,6	-90,4	-99,8	-85,2	-94,4	-82,1	-83,1	-85,9	-86,0	-87,9	-88,5	-89,0	-87,9	-88,4	-86,5	-84,8	-84,1	-83,1	-84,0	-82,6	-85,3	-82,8	-83,4	-81,9	-82,6	-81,2	-80,7	-80,8	-81,2	-81,7	-81,5	-80,8	-81,4	-82,4	-82,8	

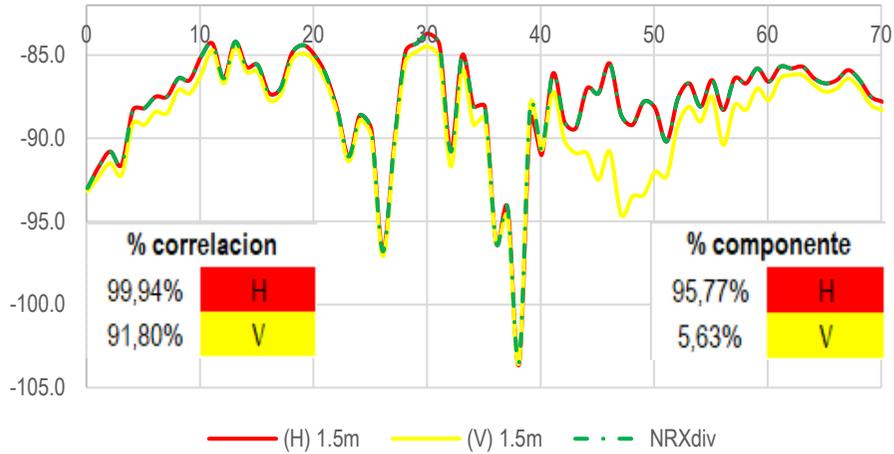
### **4.8.3 Graficas de Niveles de Recepción por cada separación de antena**

A fin de poder analizar y comparar los niveles de potencia en la recepción de la señal, de una mejor manera. Se representan en las Figuras N° 21, 22, 23 y 24 los gráficos de niveles de recepción por separaciones de antenas de acuerdo con cada ángulo azimuth variable.

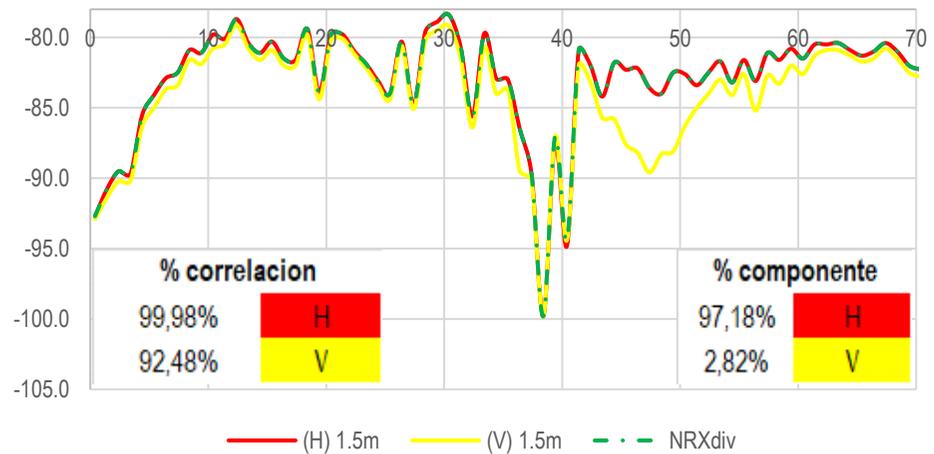
Las curvas de color rojo representan la polarización horizontal, mientras que las curvas de color amarillo representan el nivel de señal uplink en polarización vertical. Estas curvas se han calcularon por cada separación de antena (1.5m, 2m, 2.5m y 3m) de acuerdo con 4 ángulos azimuth ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ ) en cada emplazamiento de usuario.

Las curvas de color verde corresponden a la señal resultante por diversidad de polarización en la EBC Huacapongo, que básicamente es la selección del mayor nivel potencia uplink entre las polarizaciones horizontal y vertical.

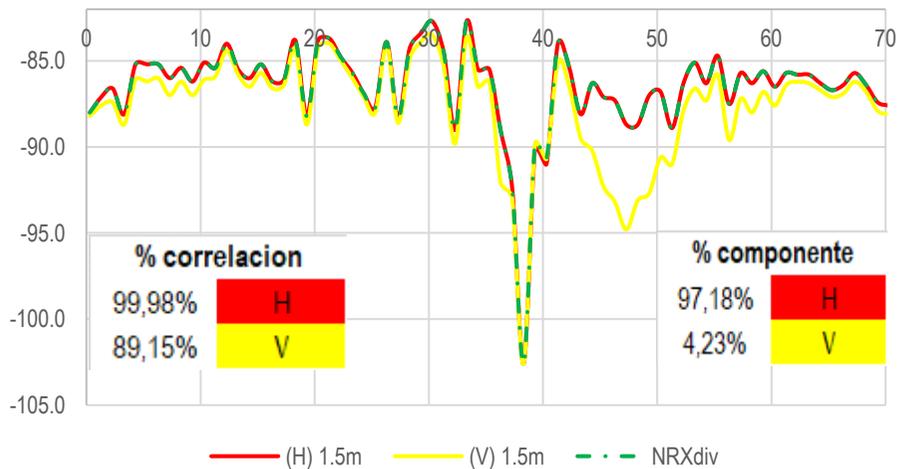
Niveles de Recepción AZ 0° hrx=30m Δd=1.5m



Niveles de Recepción AZ 90° hrx=30m Δd=1.5m



Niveles de Recepción AZ 180° hrx=30m Δd=1.5m



Niveles de Recepción AZ 270° hrx=30m Δd=1.5m

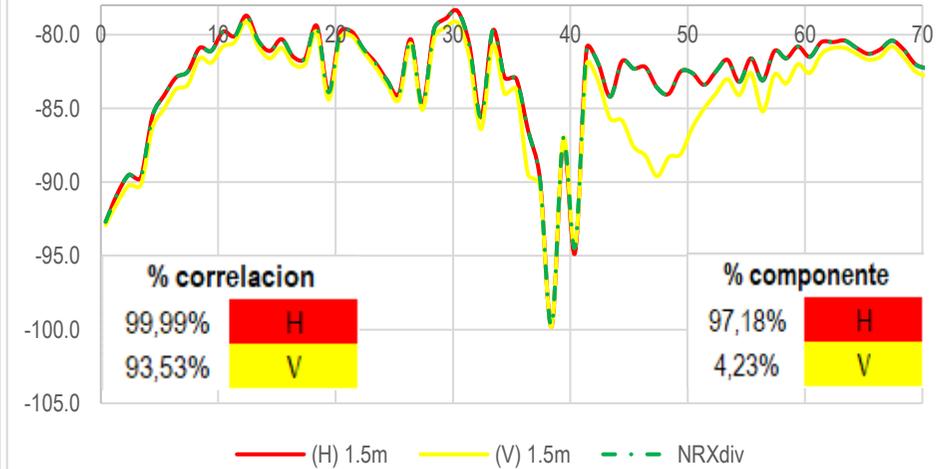


Figura 21. Niveles de Recepción en separación de antena de 1.5m.

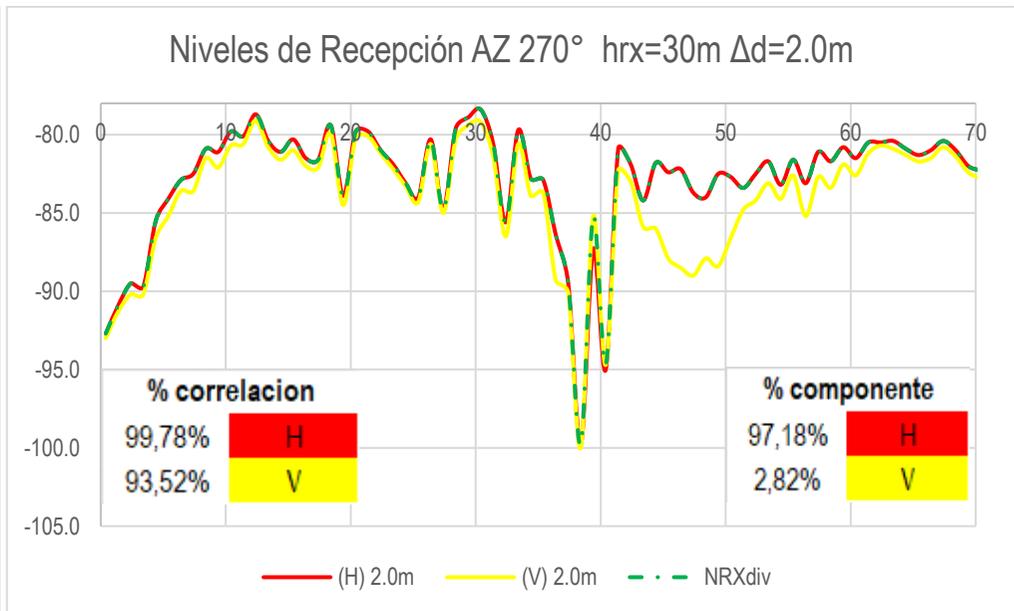
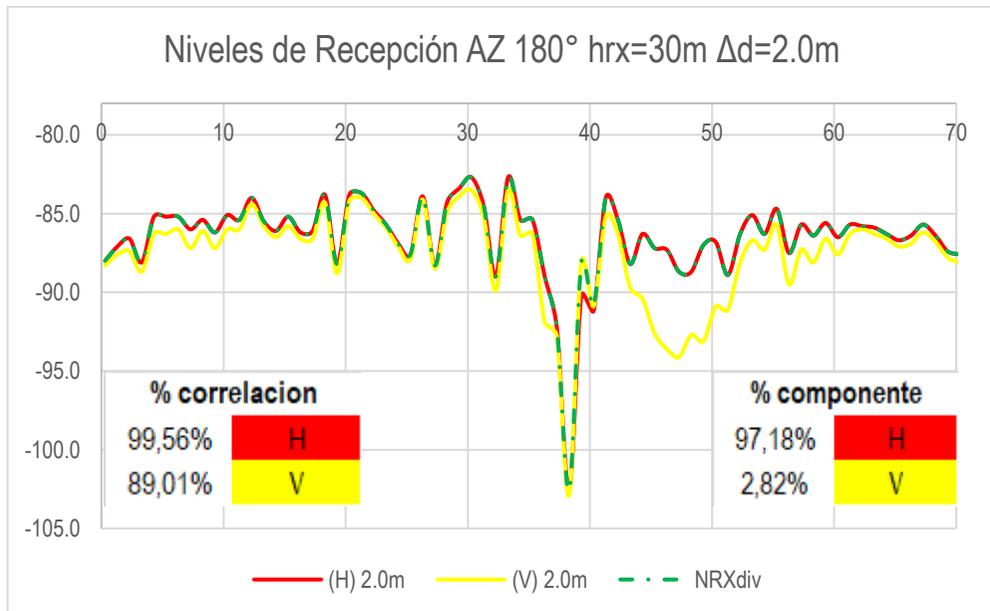
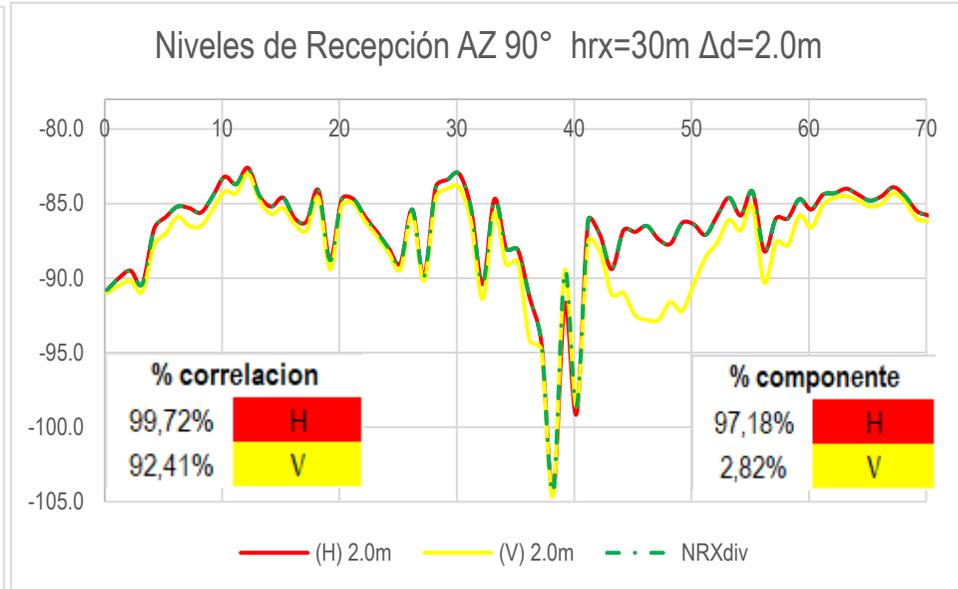
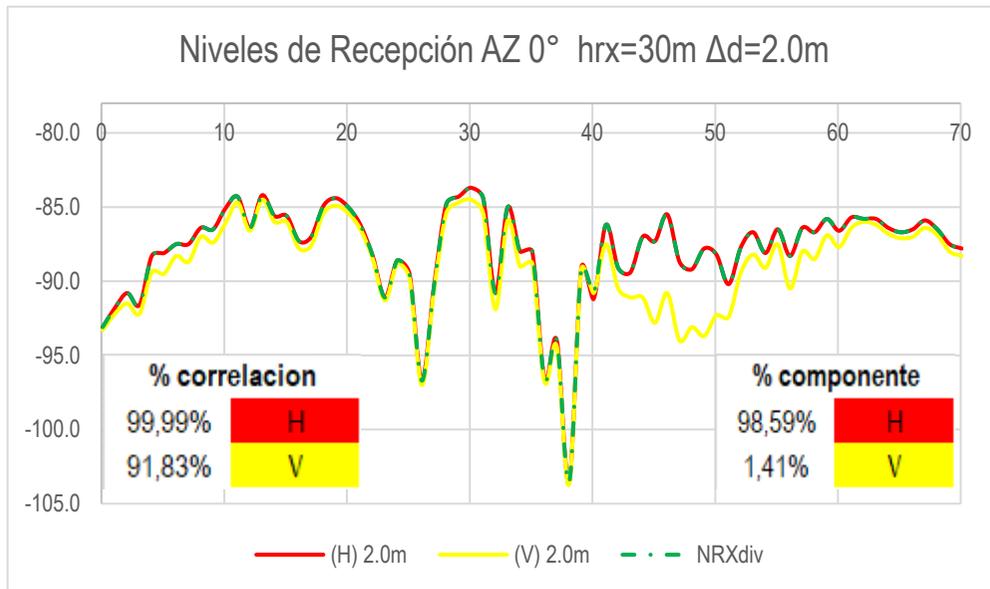
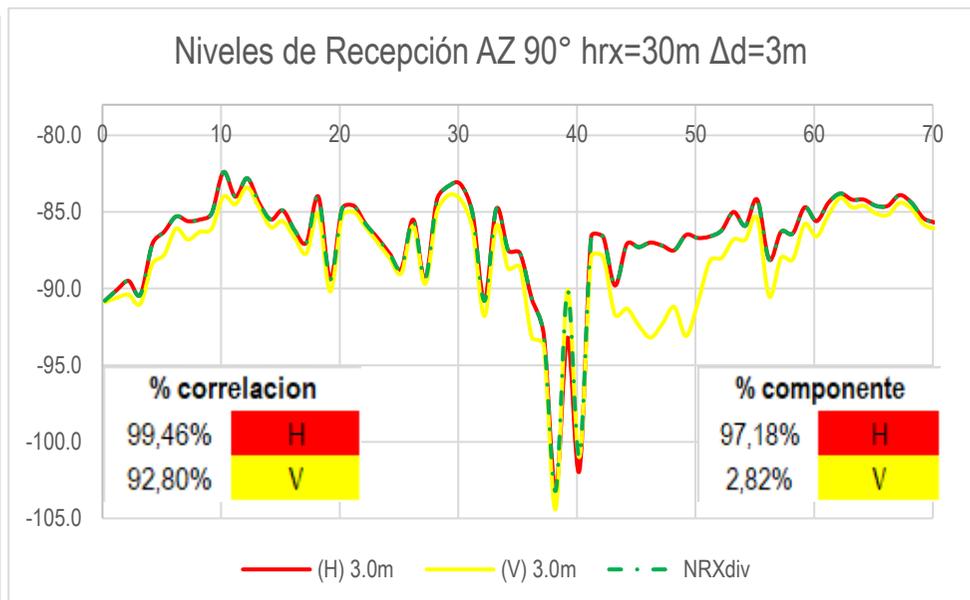
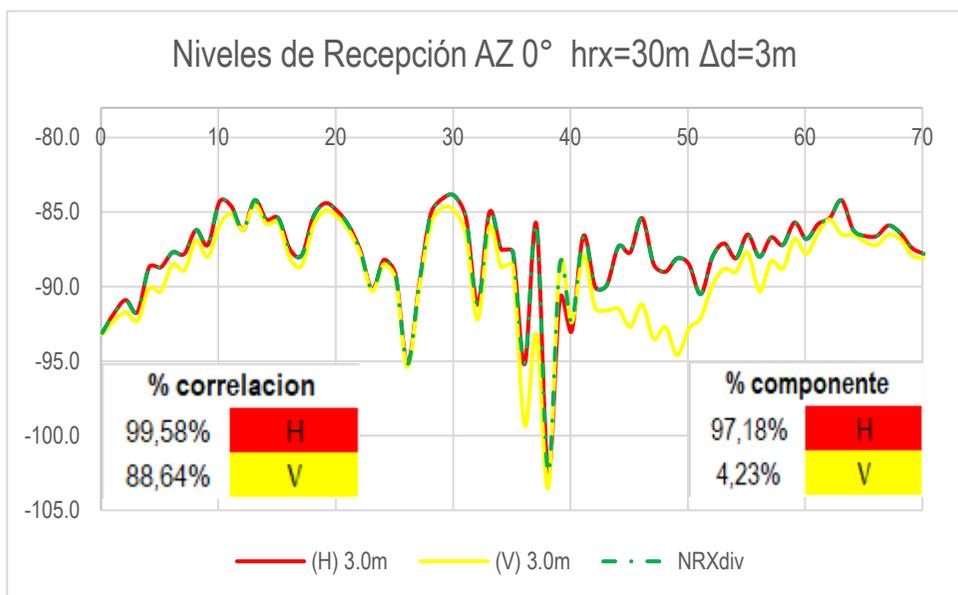


Figura 22. Niveles de Recepción en separación de antena de 2m.



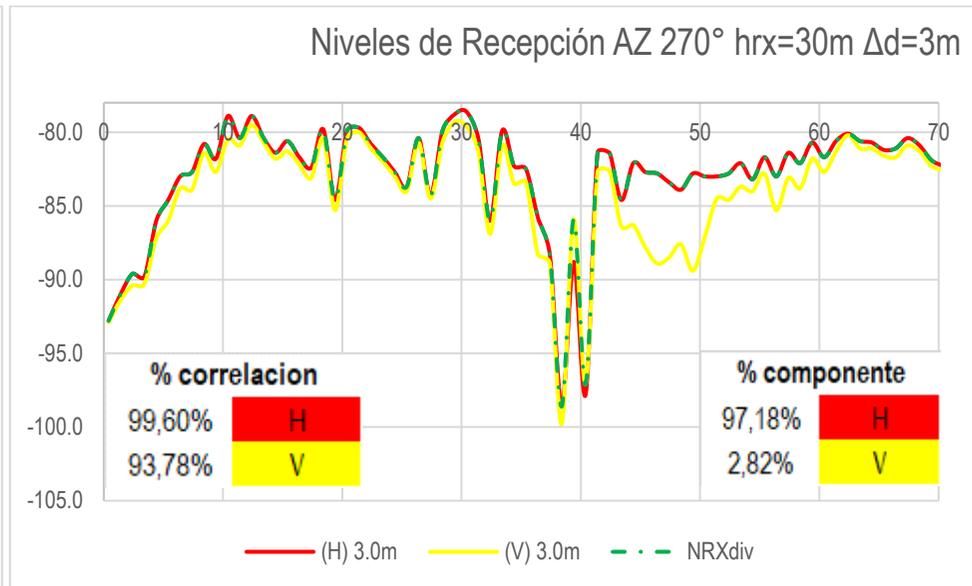
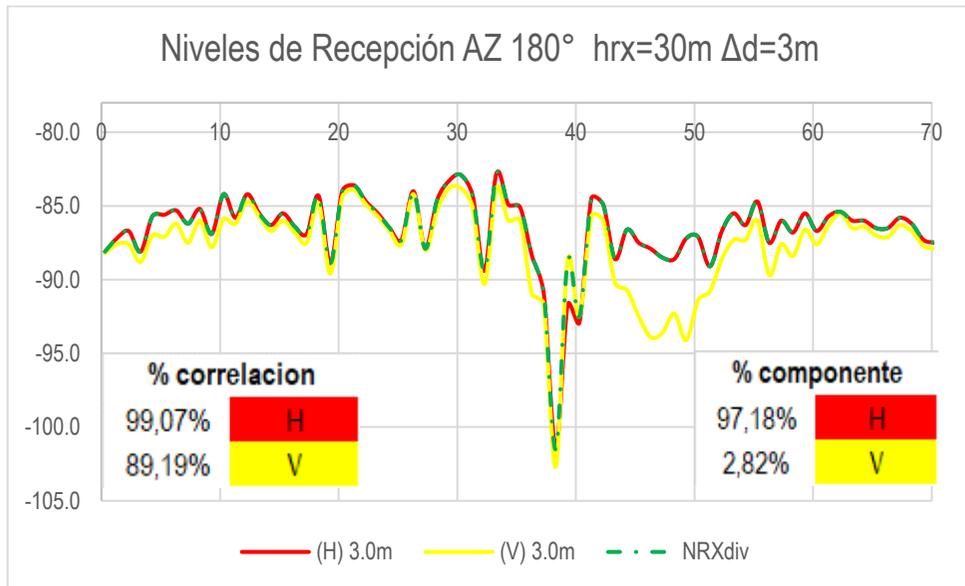


Figura 23. Niveles de Recepción en separación de antena de 3m.

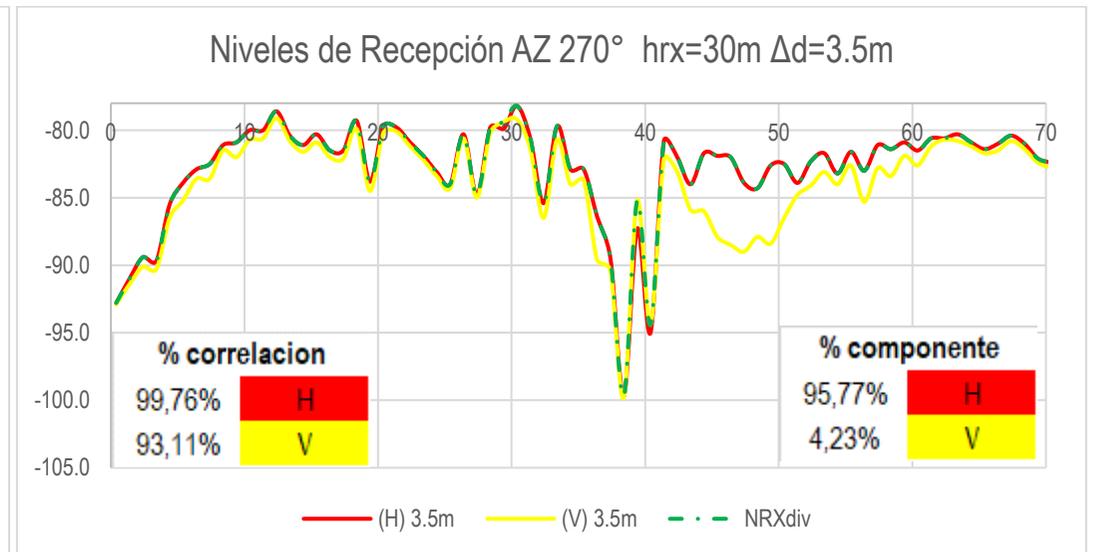
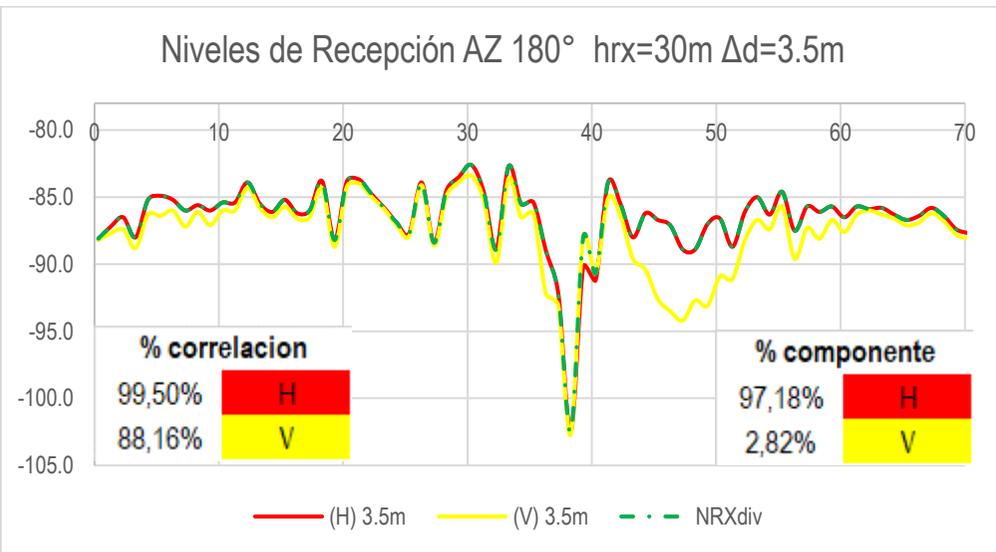
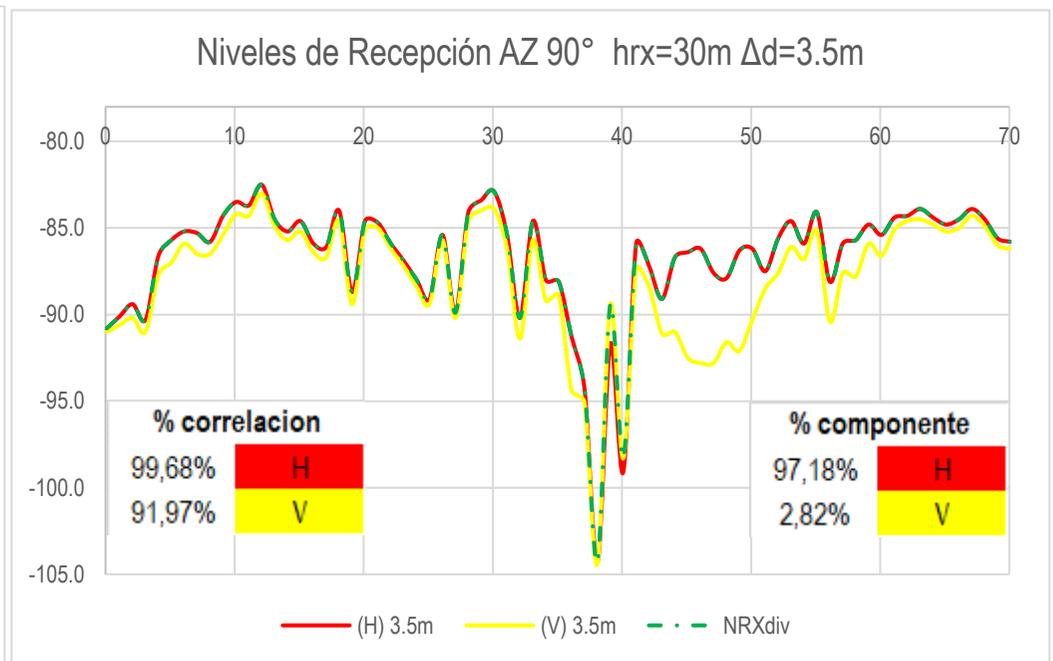
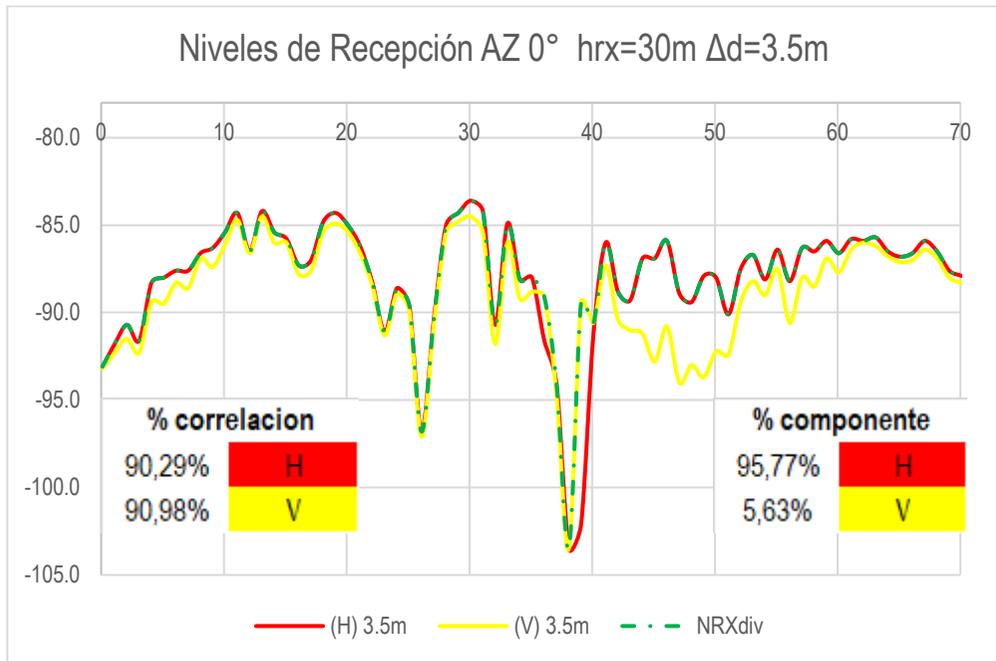


Figura 24. Niveles de Recepción en separación de antena de 3.5m.

Respecto de la cuantificación de indicadores para diversidad de polarización, se calculó el porcentaje de aportes H/V obtenidos en la señal resultante de diversidad de polarización. Asimismo, se calculó el porcentaje de correlación de las polarizaciones H/V con la señal resultante de diversidad de polarización recibida en la EBC Huacapongo, asimismo la variabilidad de la señal en diversidad de polarización y sus diferencias con la variabilidad de señales H/V.

En la Tabla 12 se muestra un resumen de variabilidad, porcentajes de correlación y componentes de cada polarización, con la señal resultante en una separación de antena de 1.5m de acuerdo a 4 posibles ángulos azimuth del usuario (0, 90, 180 y 270).

Tabla 12. Indicadores diversidad de polarización separación antenas uplink 1.5m

Az user(°)	corr Hpol	corr Vpol	comp Hpol	comp Vpol	var Hpol	var Vpol	var DIVpol
0	99,94%	91,80%	95,77%	5,63%	10,63 dB	11,57 dB	10,55 dB
90	99,98%	92,48%	97,18%	2,82%	12,12 dB	13,64 dB	11,91 dB
180	99,98%	89,15%	97,18%	4,23%	7,05 dB	9,59 dB	6,98 dB
270	99,99%	93,53%	97,18%	4,23%	14,39 dB	15,55 dB	14,22 dB

Como se puede apreciar en la Tabla 12, los indicadores de correlación, componentes de señal en diversidad de polarización favorecen a la polarización horizontal. La variabilidad de las señales se reduce con el uso de diversidad de polarización. El análisis para una separación de 2.0 m en antenas receptoras uplink se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Indicadores diversidad polarización separación de antenas uplink 2.0 m

Az user(°)	corr Hpol	corr Vpol	comp Hpol	comp Vpol	var Hpol	var Vpol	var DIVpol
0	99,99%	91,83%	98,59%	1,41%	10,68 dB	11,71 dB	10,65 dB
90	99,72%	92,41%	97,18%	2,82%	12,20 dB	13,58 dB	11,78 dB
180	99,56%	89,01%	97,18%	2,82%	7,07 dB	9,67 dB	6,87 dB
270	99,78%	93,52%	97,18%	2,82%	14,44 dB	15,63 dB	14,13 dB

Al igual que en el primer caso, para una separación de 2.0m, los indicadores de correlación y componentes de señal favorecen a la polarización horizontal. La variabilidad de la señal uplink se reduce con el uso de diversidad de polarización. Un nuevo análisis para una separación de 3.0 m en antenas receptoras uplink se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Indicadores diversidad polarización separación de antenas uplink 3.0 m

Az user(°)	corr Hpol	corr Vpol	comp Hpol	comp Vpol	var Hpol	var Vpol	var DIVpol
0	99,58%	88,64%	97,18%	4,23%	9,45 dB	11,87 dB	9,25 dB
90	99,46%	92,80%	97,18%	2,82%	12,57 dB	13,89 dB	11,77 dB
180	99,07%	89,19%	97,18%	2,82%	6,83 dB	9,53 dB	6,44 dB
270	99,60%	93,78%	97,18%	2,82%	14,95 dB	16,09 dB	14,29 dB

Al igual que en el primer y segundo caso, para una separación de 3.0m, los indicadores de correlación y componentes de señal favorecen a la polarización horizontal. La variabilidad de la señal uplink se reduce con el uso de diversidad de polarización. Un último análisis para una separación de 3.5m en antenas receptoras uplink se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Desempeño Uplink polarización H/V con separación de antena de 3.5m

Az user(°)	corr Hpol	corr Vpol	comp Hpol	comp Vpol	var Hpol	var Vpol	var DIVpol
0	90,29%	90,98%	95,77%	5,63%	12,65 dB	10,79 dB	9,57 dB
90	99,68%	91,97%	97,18%	2,82%	12,15 dB	13,49 dB	11,62 dB
180	99,50%	88,16%	97,18%	2,82%	7,00 dB	9,67 dB	6,78 dB
270	99,76%	93,11%	95,77%	4,23%	14,37 dB	15,57 dB	14,01 dB

Al igual que en el primer, segundo caso y tercer caso, para una separación de 3.5m, los indicadores de correlación y componentes de señal favorecen a la polarización horizontal. La variabilidad de la señal uplink se reduce con el uso de diversidad de polarización.

## 5 PRESENTACION DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis e interpretación de resultados.

De acuerdo con los indicadores estimados en las tablas anteriormente expuestas los resultados se presentarán bajo 3 criterios:

- Criterio de correlación.
- Criterio de componentes de conformación de la señal en diversidad de polarización.
- Criterio de variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización respecto a variabilidad en polarización horizontal y vertical.

#### a. Criterio de correlación

En la Figura 25 se muestra un cuadro resumen de los datos de correlación de la señal en diversidad de polarización, de acuerdo con los 4 posibles ángulos azimuth de usuario (0°, 90°, 180° y 270°) y las 4 separaciones de antenas en la BTS (1,5m, 2m, 3m y 3.5m).

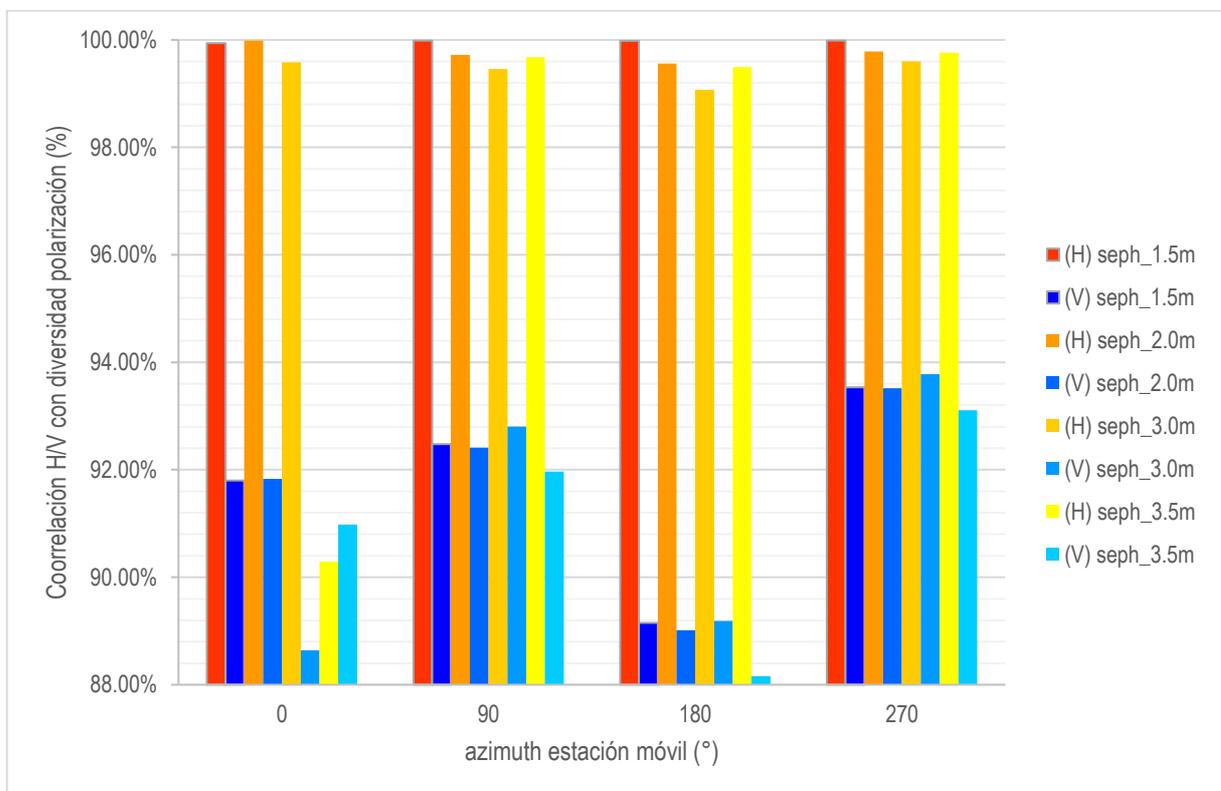


Figura 25. Gráfico Resumen de Correlación respecto a la señal resultante.

La correlación con polarización horizontal es presentada en una escala naranja (desde naranja hasta amarillo) para cada separación de antena, en tanto que la polarización vertical es presentada en una escala azul (desde azul hasta celeste). De esta forma se puede apreciar que la polarización horizontal mantiene un mayor nivel de semejanza a la señal obtenida en diversidad de polarización.

**b. Criterio de componentes H/V en la señal de diversidad de polarización**

Bajo este criterio, en la Figura 26 se puede apreciar que la señal en diversidad de polarización obtenida está conformada mayormente por componentes en polarización horizontal. Este porcentaje oscila entre 95.77% y 98.59%. En tanto el porcentaje de componentes obtenidos en polarización vertical están por debajo del 5.63%.

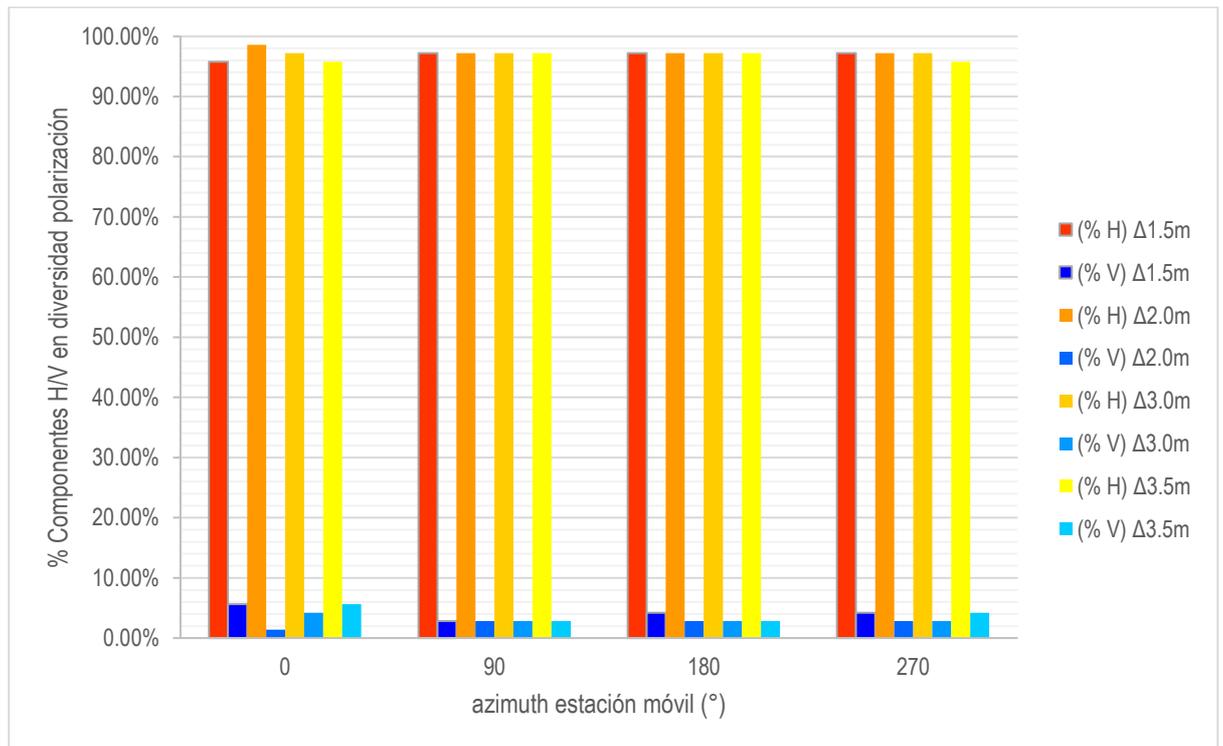


Figura 26. Componentes H/V en señal uplink diversidad de polarización.

### c. Criterio de variabilidad de señal

Para este criterio, se muestra en la Figura 27 la variabilidad de señal en polarización horizontal (escala naranja), polarización vertical (escala azul), y diversidad de polarización (escala verde), en todos los casos se puede apreciar que la variabilidad de la señal uplink en diversidad de polarización es menor a la de las polarizaciones ortogonales H/V.

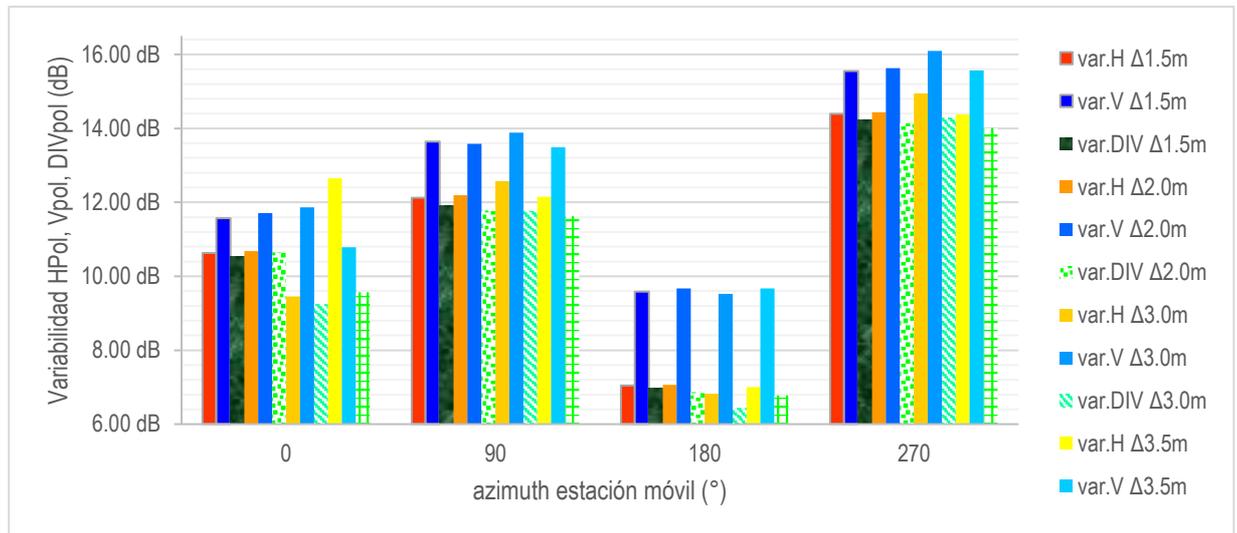


Figura 27. Variabilidad señal uplink Horizontal, Vertical y Diversidad de Polarización

Bajo este mismo orden de ideas, se puede presentar la reducción de variabilidad como una mejora respecto de las polarizaciones H/V. En tal sentido en la Tabla 16 se han cuantificado estas magnitudes, a partir de las cuales se ha elaborado la Figura 28, donde se presenta el resumen de la mejora en cuanto a variabilidad de señal obtenida por el empleo de diversidad de polarización en todos los casos evaluados.

Tabla 16. Tabla resumen de reducción de variabilidad

Az user(°)	sep. ant. 1.5m		sep. ant. 2.0m		sep. ant. 3.0m		sep. ant. 3.5m	
	red_var (H)	red_var (V)						
0	0,08 dB	1,03 dB	0,04 dB	1,06 dB	0,21 dB	2,62 dB	3,08 dB	1,22 dB
90	0,21 dB	1,73 dB	0,42 dB	1,80 dB	0,81 dB	2,12 dB	0,53 dB	1,86 dB
180	0,07 dB	2,61 dB	0,20 dB	2,80 dB	0,38 dB	3,08 dB	0,23 dB	2,90 dB
270	0,17 dB	1,33 dB	0,31 dB	1,50 dB	0,65 dB	1,80 dB	0,36 dB	1,55 dB

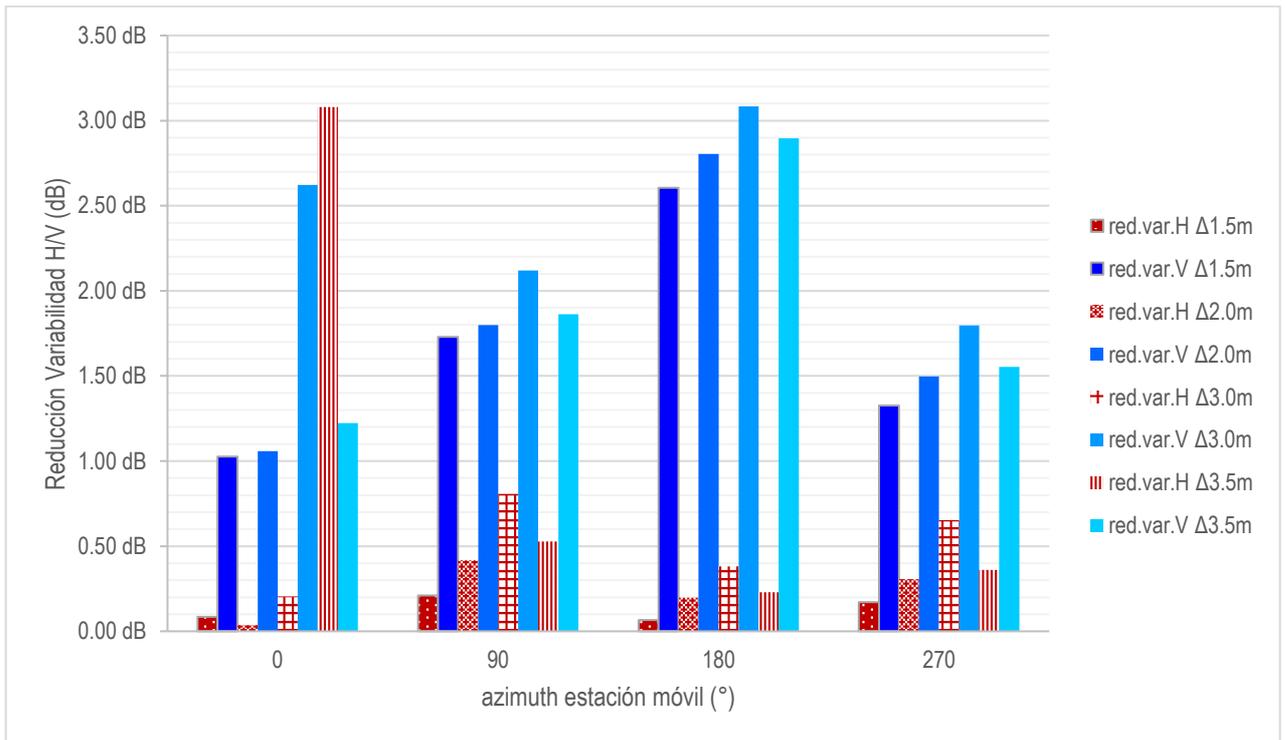


Figura 28. Reducción de variabilidad respecto de polarizaciones H/V.

Según Figura 28 se puede notar una mejora más notoria en la variabilidad de señal, respecto de la polarización vertical (promedio de 1.94 dB). Para el caso de la polarización horizontal la mejora es menor, obteniendo un promedio de 0.48 dB.

## 5.2 Docimasia de hipótesis.

De acuerdo con los criterios que se han comparado se demuestra que la diversidad de polarización ha reducido la variabilidad de la señal de cada una de las polarizaciones (vertical y horizontal) en los márgenes entre 0.04 dB hasta 3.08 dB. Por lo cual los autores consideran que la hipótesis se ha cumplido de acuerdo con lo que se propuso.

## 6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 6.1 Respecto de los parámetros técnicos empleados para la simulación de los enlaces uplink en el Centro Poblado Huacapongo de la provincia de Virú, se utilizaron parámetros típicos de estaciones celulares empleados en la red de operadores peruanos, el principal elemento que permite la realización de la simulación de la diversidad de polarización es el patrón de radiación perteneciente al mismo modelo de antena de polarización vertical y horizontal, lo cual es el parámetro técnico más importante para efectos de simulación de diversidad.
- 6.2 Respecto al objetivo parámetros de evaluación de señal recibida uplink con el uso de diversidad de polarización en un escenario de simulación, los parámetros están orientados a la variabilidad de señal puesto que la variabilidad de señal es la que origina mayor posibilidad de desvanecimientos que pueden llegar a degradar la comunicación del usuario en el enlace uplink, sin embargo, la variabilidad también debe ser comparada respecto de las polarizaciones lineales como se tiene referencia en los trabajos antecedentes, de esta manera respecto a las polarizaciones ortogonales, horizontales y verticales se tuvieron también los criterios de correlación, componentes horizontal y vertical de la señal en diversidad de polarización, y la variabilidad de señal.
- 6.3 Las curvas de respuesta reflejan los resultados de simulación para todos los casos de variación de separación de antenas y de variación en el ángulo de azimuth en el punto de ubicación de los clientes móviles, las curvas siempre favorecen a la polarización horizontal que es la que tiene más aportes en la señal de diversidad de polarización existiendo algunos puntos específicos en los cuales favorecen notoriamente la propagación con polarización horizontal y otros con polarización vertical. En los puntos donde se generan una diferencia grande entre los niveles de señal obtenidos en polarización horizontal y vertical suelen pertenecer a puntos críticos de caída de señal, lo cual coincide con los puntos identificados por Angulo, D. & Barrena, L. (2022).

6.4 La variabilidad de señal obtenida en la estación base en los diversos escenarios obtienen una notoria reducción de variabilidad respecto de la polarización vertical en los rangos de 1.94 dB, en tanto que el promedio para la mejora de variabilidad respecto de la polarización horizontal es de 0.48 dB. Estos resultados son cercanos a los resultados de Gonzales, J. (2017) en los cuales la técnica de diversidad logra una mejora de aproximadamente 1 dB lo cual es dependiente de la técnica de codificación empleada (MRC), asimismo respecto del trabajo de Ayhan A. y Saitimis T. (2015) se tiene una referencia de 0.14 dB de mejora en la variabilidad de señal lo cual difiere de los resultados obtenidos dado que este trabajo es orientado a una diversidad espacial con separación vertical para una frecuencia superior como lo es el caso de 5GHz en los cuales la mejora en decibelios se refleja más en la disponibilidad del enlace. Respecto del trabajo realizado por Schandy, J. (2019), la mejora en la señal obtenida en la dirección de máxima ganancia fue de 1.4 dB lo cual esta cercano a los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Respecto del trabajo de Alamuti, S. (1998), la mejora que se obtiene no es notoria puesto que está en 0 – 3 dB en lo que es la señal obtenida en la dirección de máxima ganancia, el aporte de dicho trabajo se orienta más en mejoras en los componentes circuitales de la amplificación.

Respecto del trabajo de Chen, Y. & Vaughan, R. (2020), se obtienen mejoras de hasta 2 dB dependiendo de la frecuencia empleada en la antena de doble polarización, lo cual también está dentro de los resultados cercanos obtenidos en el presente trabajo.

## 7 CONCLUSIONES

Los parámetros técnicos empleados para poder reproducir el escenario de propagación uplink en una estación base en el Centro Poblado Huacapongo de la Provincia de Virú, considera parámetros típicos de potencia de transmisión, de umbral de recepción, pérdidas internas y el patrón de radiación perteneciente a un mismo modelo de antena en dos polarizaciones ortogonales como horizontal y vertical, el cual es el elemento clave para poder reproducir la diversidad de polarización.

Los parámetros de evaluación de señal recibida uplink van relacionados a la variabilidad de la señal, puesto que es la que genera los desvanecimientos de señal, sin embargo, siempre como referencia comparativa se emplean las polarizaciones ortogonales horizontal y vertical, respecto de los componentes que aportan a la diversidad de polarización y la similitud que guardan con la señal de diversidad e polarización.

Las curvas de respuesta obtenida permiten identificar mayor similitud de la diversidad de polarización con la polarización horizontal, existiendo algunos puntos en los cuales hay una notoria diferencia entre los niveles obtenidos en polarización horizontal y vertical.

Respecto de la variabilidad de señal uplink recibida en la estación base, el empleo de la diversidad de polarización reduce la variabilidad de señal al ser comparado respecto de la polarización horizontal y vertical, obteniendo mejoras promedio de variabilidad de 1.94 dB para polarización vertical y 0.48 dB para polarización horizontal, en todos los casos siempre la diversidad de polarización reduce la variabilidad.

## 8 RECOMENDACIONES

El presente trabajo se ha realizado utilizando una banda y canales fijos para los cálculos realizados, sin embargo, sabiendo que la respuesta de los sistemas de radiofrecuencia puede ser variante en diferentes bandas y canales, una ampliación del presente trabajo podría orientarse a evaluar el desempeño de la diversidad de polarización en las diferentes bandas de frecuencia.

Unas de las limitaciones que se ha tenido en las estimaciones realizadas en el presente trabajo se refiere a los puntos de usuario que se han empleado en el cálculo de los niveles de señales de uplink, los resultados podrían enriquecerse si se utilizan más puntos de usuarios con mayores valores de azimuth simulando una ruta de dry test en los cuales se podrán obtener mayor riqueza de información y poder contrastar si es que la tendencia obtenida en el presente trabajo se mantiene en todos los puntos de esta zona.

El presente trabajo se ha desarrollado en el Centro Poblado de Huacapongo porque se caracteriza por obtener una uniformidad en cuanto a sus construcciones que coinciden con la distribución natural del terreno bajo lo cual favorece la simulación con la herramienta empleada, sin embargo, existirían otras zonas urbanas donde las edificaciones cambian el perfil natural del terreno, para ese caso con una mejora en la cartografía se sugiere poder ampliar la investigación hacia zonas urbanas.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Schandy, J. et. al (2019) Enhancing Parasitic Interference Directional Antennas with Múltiple Director Elements. Wiley Hindawi Vireless Communications anda Mobile Computing, Volume 2019, Department of Elecrical EGINEERING, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

González, J. y Rodríguez, B. (2017) Improving the Indoor WLAN Service by Using Polarization Diversity and MRC. Springer International Journal on Wireless Personal Communications, Springer Nature Switzerland AG.

More, J. (2017) Del 1G al 4G+: La evolución de la Telefonía Móvil. Organismo Supervisor de la Inversión en Telecomunicaciones, Lima, Perú.

Severino, O. y Carbajal, J. (2015). Estudio comparativo del desvanecimiento estimado en base al modelo de dos rayos con mediciones realizadas en la ciudad de Trujillo en la frecuencia de 900 MHz al variar la altura de la antena receptora. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Ayhan A. y Saltimis T. (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). Malatya, Turkía.

Scholz, P (2014) Basic Antenna Principles for Mobile Communications, Dipl. KATHREIN Mobile Commmunication, Berlin, Alemania

Anguis, J. (2008) Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN de

# ANEXOS

## ANEXO 1. Estado de la Banda de Espectro en el Perú

Rango de Frecuencias	Nota PNAF	América Móvil		A nivel nacional	
		Telefónica del Perú	A nivel nacional	15+15 MHz	15+15 MHz
806 - 821 MHz y 851 - 866 MHz	P52	Entel Perú	Prov. de Lima y Callao y algunas provincias del país	328 canales de 25KHz c/u en Lima y Callao	iDEN*
821 - 824 MHz y 866 - 869 MHz	P52	Entel Perú	Prov. de Lima y Callao	3+3 MHz	iDEN*
824-849 MHz y 869-894 MHz	P53	Telefónica del Perú	A nivel nacional	12.5+12.5 MHz	GSM y evoluciones HSPA y evoluciones
		América Móvil	A nivel nacional	12.5+12.5 MHz	GSM y evoluciones HSPA y evoluciones
894-899 MHz y 939-944 MHz	P55	Telefónica del Perú	Prov. de Lima y Callao	5+5 MHz	ND
894-902 MHz y 939 - 947 MHz			Resto del País	8+8 MHz	ND
899-915 MHz y 944-960 MHz	P57	Viettel Perú	Prov. de Lima y Callao	16+16 MHz	LTE
902-915 MHz y 947 - 960 MHz			Resto del País	13+13 MHz	LTE
1850-1910 MHz y 1930-1990 MHz	P65	América Móvil	A nivel nacional	17.5+17.5 MHz	GSM y evoluciones HSPA y evoluciones LTE y Evoluciones
		Entel Perú	A nivel nacional	17.5+17.5 MHz	GSM y evoluciones HSPA y evoluciones
		Telefónica del Perú	A nivel nacional	12.5+12.5 MHz	GSM y evoluciones HSPA y evoluciones
		Viettel Perú	A nivel nacional	12.5+12.5 MHz	HSPA y evoluciones LTE y Evoluciones
1910-1930 MHz	P65	Ninguno	--	20 MHz	--
1710-1780 MHz y 2110-2180 MHz	P65	Telefónica del Perú	A nivel nacional	20+20 MHz	LTE y Evoluciones
		Entel Perú	A nivel nacional	20+20 MHz	LTE y Evoluciones
2300-2400 MHz	P68A	Direcnet	Prov. de Lima y Callao y algunas provincias del país	30 MHz	LTE y Evoluciones
		Dolphin Telecom	Prov. de Yauli	30 MHz	ND
2500-2692 MHz	P67	TVS Wireless	Prov. de Lima y Callao	30 + 30 MHz	LTE CA*
		Entel Perú	Prov. de Lima y Callao y algunas provincias	20 + 20 MHz	ND
		OLO	A nivel nacional excepto Lima y Callao	30 + 30 MHz	LTE CA*
		Viettel	Algunas Provincias	20 + 20 MHz	ND
		COTEL	Algunas Provincias	20 MHz	ND
3300-3400	P73A	Ninguno	-	-	-
3400-3600 MHz	P73	Entel	Prov. De Lima, Callao, y algunas provincias del país.	25+25 MHz	ND
		Telefónica	A nivel nacional	25+25 MHz	ND
		Americatel	Prov. De Lima, Callao, y algunas provincias del país.	25+25 MHz	ND
Rango de Frecuencias	Nota PNAF	Operadores	Área de Asignación	Ancho de Banda	Tecnologías Implementadas
385 - 386 MHz y 395 - 396 MHz	P41	Dolphin Telecom del Perú S.A.C	Prov. de Lima, Callao, y algunas provincias del país.	0.5+0.5 MHz	ND
		Nikela Telecom S.A.C	Prov. de Lima y Callao y algunas provincias del país.	0.25+0.25 MHz	ND
411,675-416,675 MHz y 421,675-426,675	P45	Ninguno	Banda no canalizada ni asignada	3.325+3.325 MHz	ND
416,675-420 MHz y 426,675-430 MHz	P45	M.G. Digital S.A.C.	Dpto. de La Libertad	50 + 50 KHz	ND
		Dolphin Telecom del Perú S.A.C	Dpto. de Lima y algunas provincias del país	250 + 250 KHz	ND
		Sigma Comunicaciones S.A.C.	Algunas provincias del país	50+50 KHz	ND
450-452.5 MHz y 460-462.5 MHz	P48A	Winner Systems	Algunas provincias del país	2.5+2.5 MHz	CDMA 450
		Rural Telecom	Algunas provincias del país	2.5+2.5 MHz	ND
452.5-457.5 MHz y 462.5-467.5 MHz	P48	Telefónica del Perú	Prov. de Lima y Callao y algunas provincias del país	5+5 MHz	ND
		América Móvil	Algunas provincias del país	5+5 MHz	ND
698 - 806 MHz	P51	Entel Perú	A nivel nacional	15+15 MHz	LTE y evoluciones
		América Móvil	Prov. De Lima, Callao, y algunas provincias del país.	25+25 MHz	ND
		Gamacon (Espectro embargado)	Prov de Pasco y Daniel Alcides Carrión (Dpto. Pasco)	5+5 MHz	ND
3600-3800	P73B	Ninguno	-	-	-



# Stella Doradus Ireland Ltd.

## 24 6015 2.4GHz Base Station antenna



The 24 6015 is a base station point to point antenna designed for use in high density RF environments. The excellent radiation characteristics are the distinguishing features of these antennas.

### Electrical Specifications

Gain	15dBi
3dB beam Pattern	60° x 15°
Bandwidth	2.4-2.485GHz
VSWR	1.8 : 1
Front to Back Ratio	44dB
Polarization	Vertical
Power Rating	50W
Impedance	50 ohms
Termination	N-female
Cross Pol. Discrimination	22dB
Surge Protection	Built in

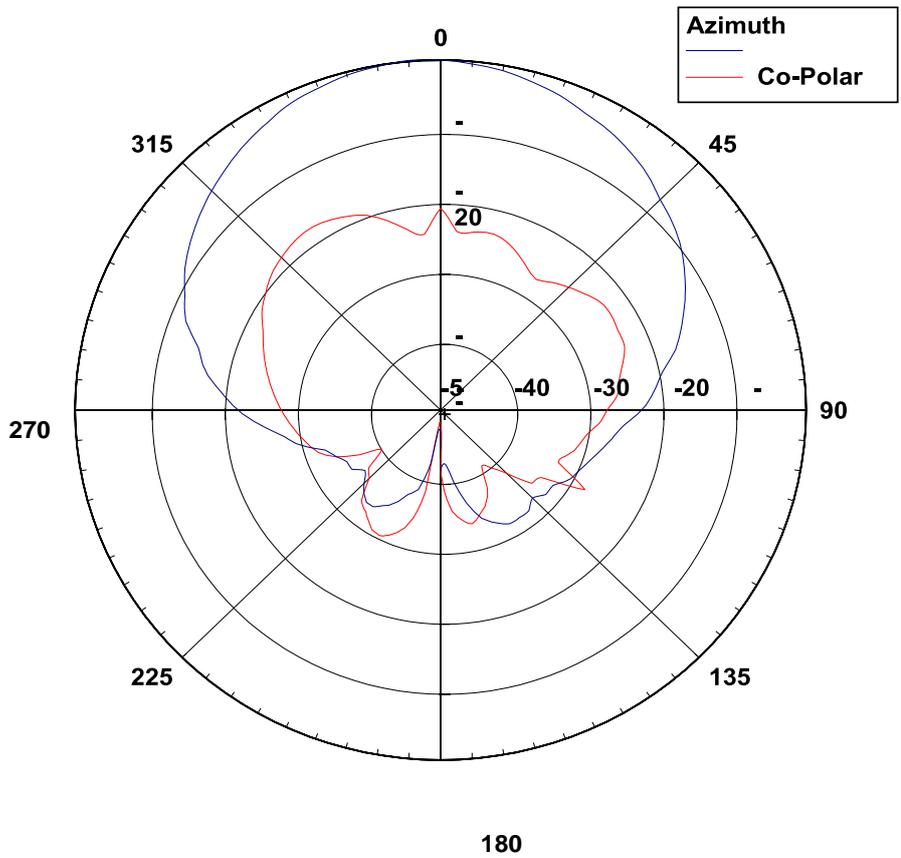
### Mechanical Specifications

Length	43.5cm
Width	22.5cm
Depth	7.5 cm
Weight	1 Kg
Windage(at 215kmph)	28 kg
Mechanical Tilt	0-25 degrees
Mounting Pipe	5 cm pipe

### Materials

Radiating Element	Beam forming PCB patch array
Radome ( feed )	ABS Grey
Clamps	HDG steel + galvanised steel bolts

### Azimuth Pattern



### Elevation Pattern

