

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



**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE POLARIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL,
MEDIANTE SIMULACIÓN DE ENLACES DE ACCESO UPLINK 2300 MHz, LA
LIBERTAD 2022.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN**

Autor (es):

Br. Caballero Cordero, Miguel Gerardo

Br. Cipiran Olivares, Brando Yurock

Jurado Evaluador:

Presidente : Ms. Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : Ms. De la Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Vocal : Ms. León Cerna, Alejandro Martín

Asesor:

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

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

TRUJILLO – PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/11/11

ACREDITACIONES

“ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE POLARIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL,
MEDIANTE SIMULACIÓN DE ENLACES DE ACCESO UPLINK 2300 MHz, LA
LIBERTAD 2022”

Elaborado por:



Br. Miguel Gerardo Caballero Cordero



Br. Brando Yurock Cipirán Olivares

Aprobado por:



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



Ms. Ing. OSCAR MIGUEL RODRIGUEZ
SECRETARIO
CIP N° 85598



Ms. Ing. ALEJANDRO MARTÍN LEÓN CERNA
VOCAL
CIP N° 177967



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

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



**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE POLARIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL,
MEDIANTE SIMULACIÓN DE ENLACES DE ACCESO UPLINK 2300 MHz, LA
LIBERTAD 2022.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN**

Autor (es):

Br. Caballero Cordero, Miguel Gerardo

Br. Cipiran Olivares, Brando Yurock

Jurado Evaluador:

Presidente : Ms. Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : Ms. De la Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Vocal : Ms. León Cerna, Alejandro Martín

Asesor:

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

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

TRUJILLO – PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/11/11

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mis padres quienes me apoyaron para poder lograr mis objetivos en mi formación profesional, también a mi novia que quien estuvo conmigo a lo largo de mi carrera apoyándome, también se lo dedico a mi hija que es mi principal motivación para poder lograr mis objetivos en la vida

Miguel Caballero

Dedico esta tesis a mis padres y hermanos por el apoyo que me brindan, por ser parte de mi educación y estar presentes en cada decisión; a mi esposa por ser el soporte y pieza constante de cada día y especialmente se lo dedico a mi primogénita que es mi motor de vida, para afrontar cada obstáculo que se me presenta.

Brando Cipiran

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la carrera de Ingeniería electrónica de la Universidad Privada Antenor Orrego, que con sus enseñanzas aportaron al éxito de nuestra formación profesional.

Nuestro agradecimiento al Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, porque sin su orientación y asesoramiento, tanto a nivel profesional como personal, no hubiese sido posible alcanzar nuestras metas trazadas.

RESUMEN

El presente trabajo presenta un análisis comparativo del desempeño de las polarizaciones horizontal y vertical en la conformación de la señal uplink 2300 MHz, obtenida mediante simulaciones de una estación base celular en el centro poblado Huacapongo, Provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

Para la obtención de las estimaciones de señal uplink en polarización horizontal y vertical, se consideró una ruta drive test conformada por 70 puntos, simulando la recepción de señal uplink en 4 emplazamientos de estación base celular, con 4 alturas distintas de antena receptora EBC.

La señal uplink resultante de los mejores componentes horizontal / vertical, fue comparada con la señal uplink de cada polarización individual bajo criterios de correlación y aporte de componentes H/V. Los resultados obtenidos por criterio de correlación favorecieron en un 83% de escenarios evaluados a la polarización horizontal, y en un 17% a la polarización vertical con diferencia muy ajustadas. Los resultados obtenidos por criterio de aporte de componentes favorecieron en todos los escenarios evaluados a la polarización horizontal.

Palabras clave: Altura, polarización, emplazamiento, señal uplink, correlación, aportes.

ABSTRACT

The present work presents a comparative analysis of the performance of the horizontal and vertical polarizations in the conformation of the 2300 MHz uplink signal, obtained through simulations of a cellular base station in Huacapongo Town, Province of Virú, Department of La Libertad.

To obtain the estimation of the uplink signal in horizontal and vertical polarization, a drive test route made up of 70 points was considered, simulating the reception of the uplink signal at 4 cellular base station locations, with 4 different heights of the EBC receiving antenna.

The uplink signal resulting from the best horizontal/vertical components was compared with the uplink signal of each individual polarization under correlation criteria and contribution of H/V components. The results obtained by correlation criteria favored horizontal polarization in 83% of the evaluated scenarios, and vertical polarization in 17% with very tight differences. The results obtained by component contribution criterion favored horizontal polarization in all the evaluated scenarios.

Keywords: Height, polarization, location, uplink signal, correlation, contribution.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Tenemos el placer de dirigirnos a ustedes con el motivo de cumplir el grado de título profesional en Ingeniería Electrónica, para poner a vuestra disposición el tema de investigación titulada: **“ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE POLARIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL, MEDIANTE SIMULACIÓN DE ENLACES DE ACCESO UPLINK 2300 MHz, LA LIBERTAD 2022”**.

El presente trabajo, es el resultado de aplicar los conocimientos adquiridos durante toda nuestra formación académica en la universidad, de la misma manera solicitamos tengan a bien disculpar posibles errores involuntarios que pudieran existir en su desarrollo.

Trujillo, noviembre del 2022

Br. Caballero Cordero Miguel Gerardo

Br. Cipiran Olivares Brando Yurock

ÍNDICE

I.	I. INTRODUCCIÓN	15
	1.1. Problema de Investigación	15
	1.1.1. Realidad problemática	15
	1.1.2. Descripción del problema	16
	1.1.3. Formulación del Problema	16
	1.2. Objetivos	16
	1.2.1. General	16
	1.2.2. Específicos	16
	1.3. Justificación del estudio	17
	1.3.1. Importancia de la Investigación	17
II.	II. MARCO DE REFERENCIA.....	18
	2.1. Antecedentes de la Investigación	18
	2.2. Marco teórico de la Investigación.....	20
	2.2.1. Servicio telefónico móvil	20
	2.2.2. Concepto de canal de comunicaciones	22
	2.2.3. Introducción de las Comunicaciones RF	24
	2.2.4. Antena de Estación base	25
	2.2.5. Planificación exitosa contra fallas: Fiabilidad en sistemas inalámbricos.....	26
	2.2.6. Polarización	28
	2.2.7. Diversidad de Espacio o Antena	29
	2.2.8. Diversidad por polarización:.....	30
	2.3. Marco Conceptual.....	33
	2.3.1. Uplink.....	33
	2.3.2. Down link	33

2.3.3. Acceso radio	33
2.3.4. Polarización Horizontal	33
2.3.5. Polarización Vertical	33
2.3.6. Diversidad de polarización.....	33
2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS	34
2.4.1. General.....	34
2.4.2. Variables.....	34
a. Variables de estudio.....	34
b. Operacionalización de las variables.....	36
III. III. METODOLOGÍA EMPLEADA	38
3.1. Tipo y nivel de investigación	38
3.2. Población y Muestra de estudio	38
3.3. Diseño de investigación	38
3.3.1. Procedimiento.....	39
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	40
3.4.1. Técnicas	40
3.4.2. Instrumentos	40
3.5. Recopilación de datos del centro poblado Huacapongo:	41
3.6. Datos técnicos de la banda 2300 MHz.....	43
3.7. Emplazamientos de referencia propuestos para EBC – Huacapongo	45
3.8. Emplazamientos de usuarios, para evaluación de diversidad polarización....	46
3.9. Características técnicas referenciales de una estación base.....	47
3.10. Características de Antenas	48
3.11. Referencia características técnicas para estaciones móviles Huacapongo	51
IV. IV. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	53

	4.1. Simulación de la señal móvil recibida	53
	4.2. Reportes obtenidos en la recepción desde los emplazamientos móviles	55
	4.3. Curvas de recepción de los emplazamientos con diferentes alturas	60
V.	V. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	67
	5.1. Análisis e interpretación de resultados.....	67
	5.2. Docimasia de hipótesis	68
	5.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	69
VI.	VI. CONCLUSIONES	71
VII.	VII. RECOMENDACIONES.....	72
VIII.	VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	73
IX.	ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Canal genérico de comunicaciones	22
Figura 2: Canal de radio y canal de propagación	23
Figura 3: Antena de estación base omnidireccional	26
Figura 4: Curva de fiabilidad aplicable a dispositivos RF	28
Figura 5: Diversidad de Espacio	29
Figura 6: Sistema sectorial de antenas	30
Figura 7: Eclipse de polarización de la onda transmitida	31
Figura 8: Vista satelital del centro poblado Huacapongo	41
Figura 9: Vista real del centro poblado Huacapongo	42
Figura 10: Distancia entre EBC niño y Huacapongo	43
Figura 11: Ubicación de 4 posibles emplazamientos EBC Huacapongo.....	46
Figura 12: Emplazamientos ruta drive test Huacapongo.....	47
Figura 13: ZXSDR b8200 de ZTE - R8860 RRU.....	48
Figura 14: Patrón de radiación y elevación de la antena 22 6015H	50
Figura 15: Patrón de radiación y elevación de la antena 22 6015V	51
Figura 16: Patrón de azimut y elevación	52
Figura 17: Configuración de los 4 emplazamientos	53
Figura 18: Trayectorias de las propagaciones resultantes	54
Figura 19: Gráficas señal uplink recibida en el 1er emplazamiento EBC Huacapongo	59
Figura 20: Gráficas señal uplink recibida en el 2do emplazamiento EBC Huacapongo	60
Figura 21: Gráficas señal uplink recibida en el 3er emplazamiento EBC Huacapongo	

..... 61

Figura 22: Gráficas señal uplink recibida en el 4to emplazamiento EBC Huacapongo
..... 62

Figura 23: Gráfico de correlación respecto a la señal ideal..... 65

Figura 24: Gráfico del % de componentes respecto a la señal uplink..... 66

Figura 25: Comparación del desempeño por correlación..... 67

Figura 26: Comparación del desempeño por aporte a la señal ideal uplink 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variable categórica 01	36
Tabla 2: Operacionalización de la variable categórica 02	37
Tabla 3: Técnicas de recolección de datos	40
Tabla 4: Rango de Frecuencias de 2300 MHz	44
Tabla 5: Propuesta de emplazamientos EBC Huacapongo	45
Tabla 6: Características del transceptor ZXSDR B8200 de ZTE	48
Tabla 7: Características técnicas antena sectorial 22 6015H SD.....	49
Tabla 8: características técnicas	50
Tabla 9: Características técnicas de Estación móvil	51
Tabla 10: Reporte de señal uplink recibida en 1er emplazamiento EBC Huacapongo	56
Tabla 11: Reporte de señal uplink recibida en 2do emplazamiento EBC Huacapongo	57
Tabla 12: Reporte de señal uplink recibida en 3er emplazamiento EBC Huacapongo	58
Tabla 13: Reporte de señal uplink recibida en 4to emplazamiento EBC Huacapongo	59
Tabla 14: Desempeño uplink polarizaciones H/V en primer emplazamiento EBC	63
Tabla 15: Desempeño uplink polarizaciones H/V en segundo emplazamiento EBC...	63
Tabla 16: Desempeño uplink polarizaciones H/V en tercer emplazamiento EBC	64
Tabla 17: Desempeño uplink polarizaciones H/V en cuarto emplazamiento EBC	64

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Realidad problemática

Desde la década de 1990 hasta la actualidad, la tecnología inalámbrica en el Perú ha experimentado una evolución vertiginosa. Es así como la demanda de crecimiento de usuarios y capacidad de transmisión de datos ha consolidado la necesidad de establecer nuevas estaciones en todo el país. En este sentido según PROINVERSIÓN (2021), dentro de los planes de crecimiento para implementación de tecnología inalámbrica, se tiene previsto al año 2022, la adjudicación de un nuevo segmento en la banda de 2300 MHz.

En las zonas rurales del Perú, es característico el empleo de una única estación base con la cual se busca la máxima cobertura posible. Una de las principales dificultades para ello es la limitación de potencia de transmisión en los terminales de usuario tales como teléfonos móviles o equipos terminales (enlace up link usuario - base). Así mismo, en cuanto a los aspectos de radio propagación, la señal emitida desde los dispositivos de usuario se ve afectada por diversos fenómenos como son: refracción, difracción, reflexión en obstáculos y vegetación, lo cual genera efectos de atenuación y despolarización.

Si bien es cierto en la actualidad es frecuente el uso de técnicas de diversidad, o polarización cruzada ($\pm 45^\circ$), existen aún escenarios tales como el reúso de canales, en los que se justifica el uso de polarizaciones ortogonales (horizontal / vertical) en un área de cobertura.

El efecto de reflexión en la geografía del terreno hace que los componentes de campo en polarización horizontal o vertical (polarizaciones ortogonales) sean fluctuantes en amplitud en los dipolos receptores, provocando posibles diferencias en la señal uplink recibida al usar diferentes tipos de polarización.

1.1.2. Descripción del problema

Conforme al orden de ideas expresado en el apartado anterior, los investigadores consideraron una notable oportunidad de investigación el poder analizar mediante simulaciones, el desempeño uplink de polarizaciones ortogonales, en una zona rural del Departamento de La Libertad.

Considerando la importancia de la nueva banda adjudicar en el país, las limitaciones de la herramienta de simulación, la accesibilidad a la información técnica y a la zona rural requerida en el Departamento de La Libertad. El presente trabajo de investigación propuso realizar una comparación del desempeño uplink de las polarizaciones horizontal y vertical en la banda de acceso radio 2300 MHz, mediante simulación de enlaces tomando como zona de referencia la provincia de Virú, específicamente el centro poblado de Huacapongo, Departamento de La Libertad.

1.1.3. Formulación del Problema

¿Cómo se diferencia el desempeño uplink de las polarizaciones horizontal y vertical al evaluarse mediante simulación de enlaces acceso radio 2300 MHz en una zona rural del Departamento de La Libertad?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Comparar el desempeño uplink en polarización horizontal y vertical mediante simulación de enlaces de acceso radio 2300 MHz en una zona rural del Departamento de La Libertad.

1.2.2. Específicos

- Identificar los parámetros más importantes para reproducir mediante simulación el escenario de propagación uplink 2300 MHz en polarización horizontal y vertical en una zona rural del Departamento de La Libertad.

- Seleccionar puntos representativos en una zona rural del Departamento de La Libertad para la estimación del nivel de recepción de señal en polarización horizontal y vertical.
- Estimar a partir de los resultados de simulación, parámetros de desempeño uplink de polarización horizontal y vertical en enlaces de la banda acceso radio 2300 MHz en una zona rural del Departamento de La Libertad.
- Evaluar las diferencias obtenidas, identificando la polarización de mejor desempeño uplink y sus condiciones favorables.

1.3. Justificación del estudio

1.3.1. Importancia de la Investigación

El trabajo de investigación se justificó académicamente, al buscar el análisis comparativo del desempeño uplink de dos polarizaciones ortogonales (Horizontal – Vertical), orientado a una problemática de diseño real para redes de acceso radio 2300 MHz en una zona rural del Departamento de La Libertad.

El trabajo también se justificó técnica y socialmente, porque estuvo orientado a generar información que aporte en la elección de una polarización ortogonal para el diseño de redes de acceso radio fijo o móvil tomando como referencia el Centro Poblado de Huacapongo, Provincia de Virú, Departamento La Libertad, lo cual podría llegar a reflejarse en el diseño, calidad de señal y accesibilidad en el servicio hacia los usuarios.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes de la Investigación

- 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.
- González, J. (2017) en el paper titulado “**Improving the Indoor WLAN Service by Using Polarization Diversity and MRC**” Estudia las ventajas que se adquieren en una WLAN interior a través del método de la diversidad de polarización, complementada con 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. Como aporte del trabajo, es el estudio en distintos lugares, donde varían los siguientes parámetros: coincidencia de polarización entre AP y CPE, densidad y distribución de AP, combinación de esquemas en recepción y modelos de canales.

- Grami, A. (2016) en la publicación titulada “**Introduction to Wireless Communications**”, indica que las señales transmitidas en polarizaciones ortogonales experimentan desvanecimientos con poca o nula correlación, lo cual permite que mediante antenas de doble polarización dichas señales puedan procesarse independientemente, ofreciendo las prestaciones de una técnica de diversidad, sin la necesidad de una gran separación física de antenas. Se considera como el principal aporte de esta publicación la descripción de las técnicas de combinación de las polarizaciones en las estaciones base, ya sea con la transmisión desde los dispositivos de usuario en ambas polarizaciones, o con la recepción de una sola señal la cual, por los efectos de dispersión y despolarización, puede ser dividida en dos polarizaciones ortogonales, lo cual servirá para definir la configuración de simulación de polarización dual a emplear en la presente investigación.

- Vasquez, A, Sánchez M, y Cuiñas I. (2012) en la investigación titulada “**Performance analysis of polarization diversity for indoor scenarios at 41.4 GHz and 61.5 GHz**”, experimentaron sobre canales de radio en las frecuencias de 41,4 GHz y 61,5 GHz en escenarios interiores a fin de probar el rendimiento de polarización ortogonal dual en un receptor móvil. Se emplearon tres métodos para combinar las polarizaciones ortogonales: selección de señal, combinación de igual ganancia y combinación de relación máxima, los resultados presentaron una ganancia de diversidad 0,25 y 4,5 dB, concluyendo que en la frecuencia de 41.4 GHz, la diversidad aporta a la reducción de desvanecimientos, en tanto que en la frecuencia de 61.5 GHz puede aumentar la capacidad del enlace. Se considera como principal aporte la dualidad de resultados para las dos frecuencias analizadas, lo cual servirá como referencia comparativa en la presente investigación.

- Carl B. et. al (2000) en el paper titulado “**Smart Antennas in Wireless Communications: Base-Station Diversity and Handset Beamforming**”, se enfocó en estudiar el valor de la diversidad espacial en las antenas de las estaciones bases, donde se muestra que la polarización y diversidad de ángulo tienen mejoras similares. A través de experimentos se demostró que las ganancias de diversidad de la estación base de 5-1 dB al nivel de probabilidad del 1% (confiabilidad del 99%) son posibles. Como aporte principal se da una ganancia de 8-11 dB en la diversidad espacial, 6-10 dB en la diversidad de ángulo, 5-9 dB en la polarización; la polarización y diversidad de ángulos tienen la ventaja de que los sistemas de antenas son relativamente compactos.

2.2. Marco teórico de la Investigación

2.2.1. Servicio telefónico móvil

El servicio telefónico móvil se ha ido actualizando hasta tener grandes avances en las comunicaciones. Los teléfonos móviles implican redes de comunicaciones intrincadas y algo complejas, constituidas con métodos analógicos - digitales, procedimientos de conmutación y distintos métodos de acceso múltiple.

Desde la década de 1940, los primeros sistemas de comunicaciones no fueron bien recibidos debido a la disponibilidad limitada, el alto costo y la asignación de baja frecuencia. Sin embargo, en los últimos años, los avances tecnológicos han ido creciendo con mayor disponibilidad, amplias frecuencias y mejor confiabilidad,

Por consiguiente, la población ha utilizado el teléfono para hablar y aprovechar sus ventajas en cualquier momento y lugar. En la antigua terminología de radio, el término móvil significa cualquier transmisor, receptor o transceptor de radio que puede cambiar de posición durante el funcionamiento. Por otro lado, el término portátil describe un transceptor de radio portátil relativamente pequeño que funciona con baterías, y que el usuario puede trasladar a cualquier velocidad.

a. Teléfono Celular:

El teléfono móvil ha corregido muchos problemas de los servicios de telefonía móvil tradicionales de dos formas, creando un nuevo entorno para los servicios de telefonía móvil y tradicionales. En 1947, investigadores de Bell Telephone Laboratories y otras empresas de comunicaciones de todo el mundo propusieron los conceptos clave de la radio celular y desarrollaron teorías y conceptos básicos. Se determinó que al subdividir un área geográfica relativamente grande (llamada área de cobertura) en el mercado en partes más pequeñas (llamadas celdas), el concepto de reutilización de frecuencias puede usarse para aumentar significativamente la capacidad de los canales de telefonía móvil. El concepto de reutilización de frecuencias se presentará más adelante en este capítulo. En esencia, los sistemas de telefonía celular permiten que un gran número de usuarios comparta un número limitado de canales comunes disponibles en un área. Además, la tecnología de circuitos integrados y microprocesadores, así como circuitos integrados de microcontrolador han permitido en fecha reciente usar circuitos complicados de radio y lógicos en máquinas electrónicas de conmutación, para guardar programas que proporcionan procesamiento más rápido y eficiente. Además, la tecnología de microprocesadores y circuitos integrados, así como los circuitos integrados de microcontroladores, han hecho posible recientemente el uso de circuitos lógicos y de radio complejos en máquinas de conmutación electrónica para guardar programas que proporcionan un procesamiento más rápido y eficiente.

b. Reutilización de frecuencias:

Según Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (2003), la reutilización de la frecuencia es el proceso en el cual se puede asignar el mismo conjunto de frecuencias (canales) a más de una célula, siempre y cuando las células estén alejadas por cierta distancia. Al reducir el área de cobertura de cada célula se invita a la reutilización de frecuencia. Las células que usan el mismo conjunto de canales de radio pueden evitar la interferencia mutua, siempre que estén

alejados la distancia suficiente. A cada estación de base de célula se le asigna un grupo de frecuencias de canal, distintas de los grupos de las células adyacentes, y se escogen las antenas de la estación base para lograr determinada distribución de cobertura (huella) dentro de su célula. Sin embargo, mientras un área de cobertura esté limitada a las fronteras de una célula, se puede usar el mismo grupo de frecuencias de canal en una célula distinta, siempre que las dos células estén separadas lo suficiente entre sí. Las células con la misma letra usan el mismo conjunto de frecuencias de canal. Al diseñar un sistema con células de forma hexagonal, se pueden mostrar los transmisores de estación base en el centro de la célula (células excitadas en el centro) o en tres de los seis vértices de la célula (células excitadas en el borde, o en la esquina). En las células excitadas en el centro se usan normalmente antenas omnidireccionales, y en las células excitadas en el borde se usan antenas direccionales sectorizadas. El concepto de reutilización de frecuencia se puede ilustrar en forma matemática, considerando un sistema con cierta cantidad de canales dúplex disponibles.

2.2.2. Concepto de canal de comunicaciones

Es el conjunto de recursos (espacio-espectro--equipo -tiempo) que se requiere para tener una comunicación, como se visualiza en la figura 1.

Figura 1

Canal genérico de comunicaciones



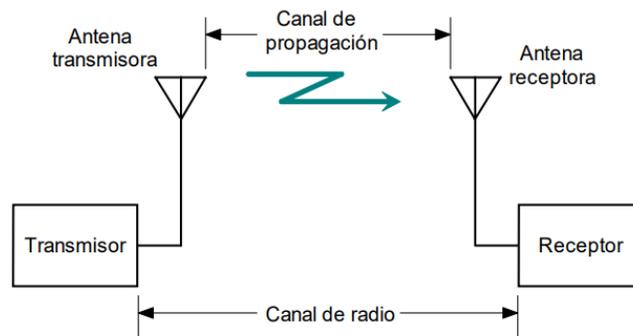
Fuente: Constantino Perez Vega (2007) Sistemas de Telecomunicacion, page 5

- ❖ **Transmisor:** Su principal función es acoplar las señales (información) en potencia y ancho de banda para traspasar al medio de transporte.

- ❖ **Receptor:** Obtiene la información del medio de transporte, y acondicionarla, y que resulte claro al usuario (animal, maquina, persona).
- ❖ **Medio de transporte:** Puede ser el aire, un cable, el agua, el vacío u otro medio material. En su mayoría las comunicaciones eléctricas emplean como medio de transporte cables metálicos, fibras ópticas o el aire.
- ❖ **Canal de Radio:** En el transmisor se genera energía electromagnética, que es radiada al medio de transporte y luego transferida al receptor sin tener comunicación física entre el transmisor y el canal de radio, como se observa en la figura 2.

Figura 2

Canal de radio y canal de propagación



Fuente: Constantino Perez Vega (2007) Sistemas de Telecomunicacion, page 6

- ❖ **Canal de Radiofrecuencia (RF):** También llamada canal de modulación, alcanza desde la entrada del demodulador en el receptor hacia la salida del modulador en el transmisor.
- ❖ **Canal Digital:** En los sistemas digitales abarca desde la entrada de la secuencia digital no modulada la salida del codificador en el transmisor, hasta la secuencia regenerada a la salida del demodulador, es decir la entrada del decodificador en el receptor. No es recíproco ni lineal.

2.2.3. Introducción de las Comunicaciones RF

Según Commscope (2021), diferentes tipos de comunicación se basan total o parcialmente en tecnologías de RF. El campo no se limita a aplicaciones establecidas desde hace mucho tiempo como radiodifusión, onda corta, etc., sino que también incluye comunicaciones móviles modernas como 4G / LTE y 5G emergente. Abarca soluciones inalámbricas para interiores que permiten a un usuario móvil encontrar una conexión clara desde cualquier lugar tal como un complejo de edificios, a bordo de un avión de pasajeros o desde un tren bala que atraviesa un túnel bajo kilómetros de granito. Incluso incluye transmisiones en las bandas de microondas, que, son también una forma eficaz de mover grandes volúmenes de datos a través de una red inalámbrica.

Las innovaciones y usos más recientes del espectro de RF incluyen las redes de radio celular con las que todas las personas están familiarizadas. Estas aplicaciones se originaron en la década de 1980 y se han convertido en un ecosistema diverso y dinámico de tecnologías, estándares y arquitecturas. Junto a estas aplicaciones, otras tecnologías inalámbricas se han convertido en sistemas de uso común en características comunes de la vida cotidiana, tales como, por ejemplo, Wi-Fi.

La cadena de componentes necesarios para hacer posible el traslado de información es compleja. Estos sistemas incluyen componentes tales como.

- **Antenas** que son las estructuras por donde las señales de radio entran y salen del aire
- **Cable de cobre coaxial**, que cuenta con una capa conductora interior y exterior para que las señales viajen
- **Cable de fibra óptica**, que utiliza pulsos de luz para transmitir información de manera eficiente
- **Filtros** que evitan que la intrusión de señales interferentes entre en la ruta de RF

- **Amplificadores**, que aumentan la potencia de transmisión de la señal para extender la distancia o mejorar la calidad de la señal
- **Recintos**, ubicado en la base de un sitio celular, conectado a radios remotos y antenas en la parte superior
- **Respaldos de energía**, que garantizan un servicio inalámbrico ininterrumpido en caso de corte de energía de la red.

2.2.4. Antena de Estación base

La antena es una de las partes más críticas de las rutas de transmisión y recepción y, a menudo, también es la parte más visible. Las antenas vienen en todas las formas y tamaños porque cada una está construida para un propósito específico. Sin embargo, todas las antenas comparten un vínculo común: son la clave para saber qué tan bien (y hasta qué punto) se pueden compartir las comunicaciones.

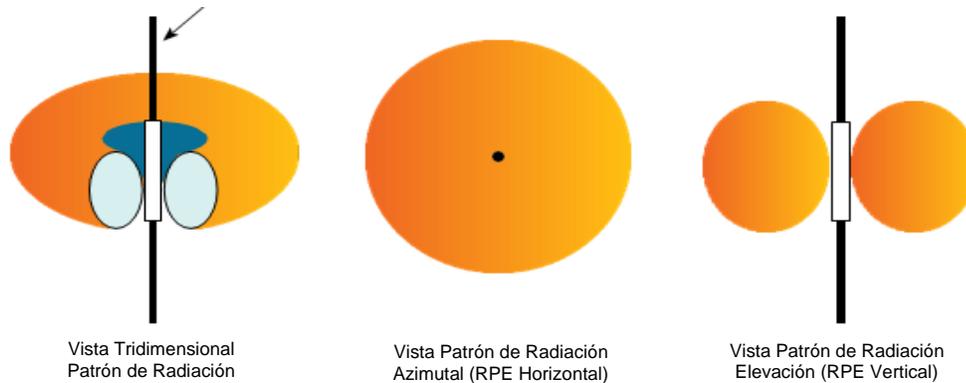
a. Diagramas de radiación de Antena vertical y horizontal

Todas las antenas, independientemente de la polarización, tienen patrones de radiación tridimensionales. Si el patrón se extiende en todas las direcciones por igual, la forma resultante sería una esfera, con la antena en el centro. La polarización de la antena determina qué parte de esa esfera representa el patrón real de una antena. Cortar la esfera verticalmente produce un círculo vertical, mientras que un corte horizontal revelaría un círculo horizontal.

Estas descripciones teóricas de los dos patrones de polarización parecen ser omnidireccionales dentro de sus planos, pero ese no es el caso. En la práctica, no existen antenas verdaderamente omnidireccionales. En la Figura 03, se presenta un ejemplo de antena dipolo de media onda. El patrón parece circular, como una rosquilla, en un plano horizontal, pero forma una figura de “ocho” en el plano vertical. En este sentido la mayoría de las antenas del mundo real consisten en una matriz vertical de elementos radiantes, y la configuración del patrón de elevación (RPE vertical) se ha vuelto muy importante para minimizar la interferencia.

Figura 3

Antena de estación base omnidireccional



Fuente: Zimmerman, M. (2021) Understanding the RF path, page 25

- **Antenas omnidireccionales**, son antenas que exhiben un patrón de radiación circular y operan en prácticamente todas las direcciones.
- **Antenas direccionales (o sectoriales)**, son aquellas que operan en una dirección específica, generalmente cubriendo un arco de 120 grados o menos, dependiendo de los requisitos de capacidad.

b. Características de las antenas

La antena de una estación base celular es una de las consideraciones más críticas en una red celular. La eficiencia de la red de acceso depende en gran medida de la elección de la antena con exactamente las características físicas correctas para una aplicación específica. Estas características se relacionan con el patrón de radiación, la ganancia de la antena, la relación delante – detrás (front to back) y otros factores críticos.

2.2.5. Planificación exitosa contra fallas: Fiabilidad en sistemas inalámbricos

La planificación del efecto de degradación por exposición ambiental también es una preocupación clave para los operadores de sitios o emplazamientos para estaciones celulares. Los nuevos requerimientos en cuanto a la eficiencia de cobertura y potencia, a menudo se traduce en colocar los componentes más lejos en la red, al aire libre, y en lo alto de las torres de antena. Los mismos efectos degradantes que

afectan la pintura de una casa actúan sin descanso contra la electrónica sensible de los equipos que sostienen las comunicaciones celulares modernas. La búsqueda del equilibrio preciso entre las tasas de falla de los componentes frente a la eficiencia operativa ha llevado a una revolución en la forma en que se desarrollan y construyen las torres y los sistemas celulares.

a. Fiabilidad, definida objetivamente

En el uso diario de la red móvil, la confiabilidad generalmente se refiere a la experiencia con un dispositivo o servicio. Es algo subjetivo en el sentido de que no hay dos personas que tengan exactamente la misma experiencia y no reaccionan de la misma manera cuando ocurre un problema.

Por ejemplo, el servicio de Internet de un hogar puede fallar ocasionalmente durante unos minutos en medio de la noche; pero, dado que no está utilizando Internet cuando sucede, se referirá a su servicio como altamente confiable, aunque ocasionalmente falle. Otra persona puede necesitar una conexión estable durante un momento particular del día y experimentar un corte de Internet durante ese momento crítico. Aunque la interrupción puede durar solo unos segundos, esa persona describiría su conexión como poco confiable.

Generalmente, las tasas de confiabilidad se pueden definir con una curva de bañera clásica, llamada así por su forma de cuenco tal como se presenta en la Figura 04. Como se puede ver, predice tasas de falla más altas al principio y al final del ciclo de vida de un dispositivo. Para cualquier dispositivo dado, este gráfico proporciona una guía general en cuanto a su tasa de fallas, disminuyendo inicialmente y aumentando durante el final de su vida útil.

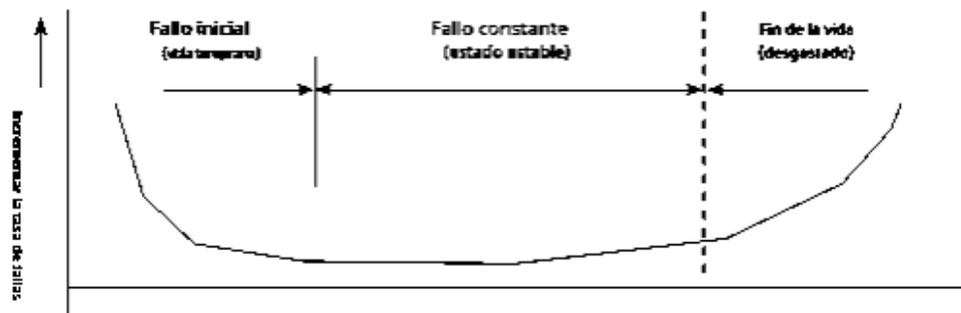
Las tres etapas de la vida útil de los componentes presentan tres causas comunes de falla:

1. La falla inicial temprana puede deberse a problemas de fabricación, instalación incorrecta o daños durante el envío.
2. La falla constante en estado estacionario indica una falla aleatoria como una función normal de operación.

3. La falla por desgaste al final de la vida útil ocurre cuando la fatiga, la corrosión u otros factores se acumulan hasta el punto en que la falla se vuelve cada vez más probable.

Figura 4

Curva de fiabilidad aplicable a dispositivos RF



Fuente: Reynolds, G. (2021) *Understanding the RF path*, page 174

2.2.6. Polarización

La polarización de las ondas electromagnéticas se define como la dirección del vector del campo eléctrico. En algunas longitudes de onda de la antena, las ondas electromagnéticas pueden considerarse planas. En una onda plana, los componentes del campo eléctrico y del campo magnético son siempre perpendiculares entre sí y, al mismo tiempo, perpendiculares a la dirección de propagación. En otras palabras, E y H se ubican en un plano perpendicular a la dirección de propagación. Esta onda se llama onda transversal, que es diferente de una onda sonora longitudinal, porque en el caso de esta presión sonora, la dirección del campo se está propagando. La polarización se describe como la trayectoria del vector de campo eléctrico E en un plano estacionario perpendicular a la dirección de propagación cuando una onda pasa por este plano. El vector de campo en este plano se puede descomponer en dos componentes ortogonales cuya amplitud cambia con el tiempo y en el espacio.

2.2.7. Diversidad de Espacio o Antena

De acuerdo con la publicación *Mobile Communications Design Fundamentals*, depende de un mínimo de dos antenas a más separadas a una distancia específica. “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 (Figura 05). 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 diversity)”. (William C.Y. Lee, s.f).

La fórmula para obtener la separación entre las antenas se obtiene a partir de:

$$\Delta h = \frac{\lambda \cdot d}{4h_1} \geq 150\lambda \quad (1)$$

Donde:

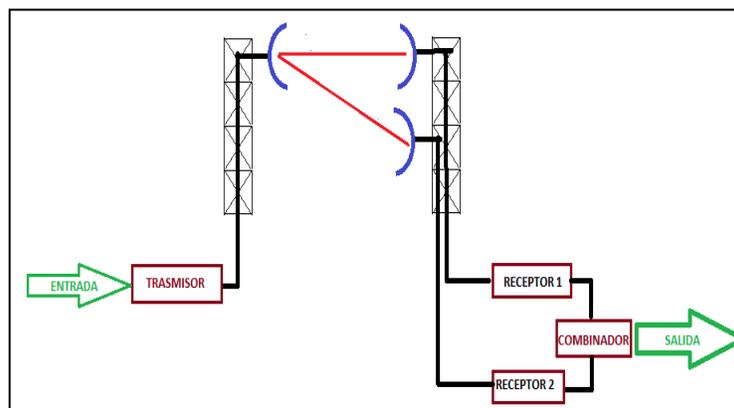
$\lambda = c / f$... (m); c: velocidad de la luz (m/seg); f: frecuencia (Hz)

d = separación de antenas (m)

h_1 = altura de transmisión (m)

Figura 5

Diversidad de Espacio



Fuente: GTE Lenkurt, junio 1973, page n-194

Hay diferentes estudios que explican, que en la diversidad espacial existen distintos tipos de comportamientos, pero hasta la fecha ningún estudio es preciso con respecto a la predicción de su comportamiento. GTE Lenkurt (1973), nos explica la diversidad espacial, por la cual determina que la separación de antenas horizontales debe ser superior que la separación de antenas verticales, para poder adquirir un grado de desempeño equivalente.

2.2.8. Diversidad por polarización:

Consiste en que una de sus principales propiedades de los campos electromagnéticos transmitidos a través de un elemento radiante con el propósito de perfeccionar el rendimiento de los sistemas de comunicación que integran antenas sensibles a la polarización. El incremento de la sensibilidad nos permite obtener más potencia proveniente de cualquier dirección espacial.

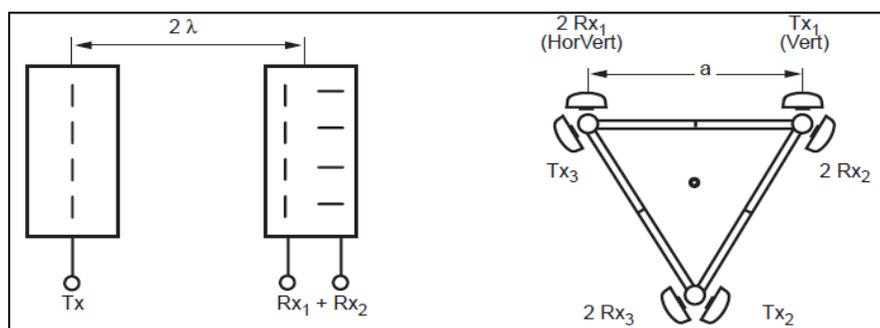
El Ing. Peter Scholz (s.f) En la publicación “Basic Antenna Principles for Mobile Communications”, nos dice que la diversidad por polarización permite duplicar el orden de diversidad ya que una antena pueda usarse para transmitir dos polarizaciones, todas las polarizaciones entre vertical-horizontal son posibles.

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

- Se requiere 2 antenas por sector (vertical u horizontal); y otra antena en vertical para la transmisión. Como se observa en la figura 6:

Figura 6

Sistema sectorial de antenas



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

Donde:

Rx_1 = Receptor A_1 en polarización vertical

Rx_2 = Receptor A_2 en polarización horizontal

Rx_3 = Receptor A_3

Tx_1 = Transmisor A_1

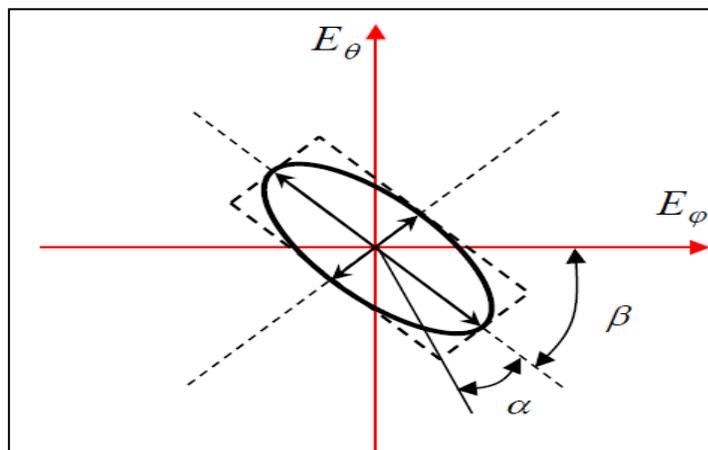
Tx_2 = Transmisor A_2

Tx_3 = Transmisor A_3

- Se utiliza un espacio horizontal mínimo entre las antenas, estas antenas pueden ir uno encima del otro en el mismo espacio del mástil. Esto hace que todo el sector sea más compacto.
- La ganancia que se adquiere en las zonas urbanas es igual que la adquirida a través de la diversidad espacial (4-6 dB).
- Cuando los vectores tienen diferentes amplitudes, y están desfasadas $\pm 90^\circ$, ambos dibujan una elipse en un plano estacionario perpendicular a la dirección de propagación de la onda, como se aprecia en la figura 7.

Figura 7

Eclipse de polarización de la onda transmitida



Fuente: Cueva, J. (2015) Contribución a la caracterización de Canales con Sistema MIMO

Donde:

E_{ϕ} = Campo Eléctrico en el plano azimutal

E_{θ} = Campo Eléctrico en el plano de elevación

α = Ángulo de despolarización

β = Ángulo de despolarización

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Uplink

Uplink es cuando un dispositivo móvil o fijo envíe paquetes (o más genéricamente un flujo finito de datos o información) a un repetidor de radio o a un aparato de red como un switch o enrutador.

2.3.2. Down link

Es la posibilidad que un dispositivo móvil o fijo reciba paquetes de datos e información, desde un aparato de red (switch – router) o antena.

2.3.3. Acceso radio

Una red de acceso de radio (RAN) es la parte de un sistema de telecomunicaciones que conecta dispositivos individuales a otras partes de una red a través de conexiones de radio. Una RAN reside entre el equipo del usuario, como un teléfono móvil, una computadora o cualquier máquina controlada de forma remota, y proporciona la conexión con su red principal.

2.3.4. Polarización Horizontal

La polarización de una onda es horizontal, cuando el campo eléctrico de la onda es horizontal a la superficie terrestre.

2.3.5. Polarización Vertical

La polarización de una onda es vertical, cuando el campo eléctrico de la onda es perpendicular a la superficie terrestre

2.3.6. Diversidad de polarización

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

2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS

2.4.1. General

La polarización horizontal presenta un mejor desempeño que la polarización vertical, al evaluarse mediante simulación de enlaces de acceso radio Uplink 2300 MHz en una zona rural del Departamento de La Libertad.

2.4.2. Variables

a. Variables de estudio

i. Variable Categórica 01

Enlaces de acceso radio Uplink 2300 MHz.

Definición Conceptual

Son los enlaces de comunicación que van desde las estaciones de usuarios hacia la estación base (BTS) en la banda de 2300 MHz, factibles de reproducir por proceso de simulación en diferentes puntos de ubicación dentro de un centro poblado rural del Departamento de La Libertad, generando con ello una multiplicidad de escenarios de propagación y despolarización sobre sus respectivos vanos radioeléctricos.

Indicadores

- Ubicación de estación de usuario
- Ubicación de estación base (BTS)
- Altura de estación de usuario
- Altura de estación base
- Distancia del vano radioeléctrico uplink
- Nivel de señal recibido uplink

ii. **Variable Categórica 02**

Desempeño de polarización.

Definición Conceptual

El desempeño de polarización es estimado en base al coeficiente de correlación obtenido al comparar los niveles de señal recibidos en una polarización específica horizontal o vertical, respecto de los niveles ideales que se obtendrían al combinar ambas polarizaciones en la sección de antenas receptoras. Asimismo, se cuantifica el número de componentes horizontal / vertical presentes en la señal ideal.

Indicadores.

- Separación horizontal de antenas receptoras H/V en BTS
- Componentes polarización horizontal en señal combinada H/V.
- Componentes polarización vertical en señal combinada H/V.
- Correlación entre señal recibida en polarización H y polarización combinada H/V
- Correlación entre señal recibida en polarización V y polarización combinada H/V

b. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de variable categórica 01

VARIABLE CATEGÓRICA 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Enlaces de acceso radio uplink 2300 MHz	De acuerdo a la ubicación y altura de la estación de usuario, así como la ubicación y altura de la estación base, se generan multiplicidad de enlaces con escenarios de propagación en la banda de 2300 MHz, sobre los cuales se producen efectos de despolarización	Ubicación de estación de usuario	Reporte configuración simulador	°W, °S
		Ubicación de estación base (BTS)	Reporte configuración simulador	°W, °S
		Altura de estación de usuario	Reporte configuración simulador	metros
		Altura de estación base	Reporte configuración simulador	metros
		Distancia del vano radioeléctrico uplink	Reporte configuración simulador	Kilómetros
		Nivel de señal recibido uplink	Reporte simulador	dBm

Tabla 2

Operacionalización de la variable categórica 02

VARIABLE CATEGÓRICA 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Desempeño de polarización	Sobre los diversos escenarios de propagación y despolarización generados mediante simulación de múltiples enlaces de uplink, se evalúa la similitud entre los niveles de señal recibido en polarización horizontal, vertical y los niveles de recepción obtenidos al combinar las dos polarizaciones ortogonales, considerando separación fija de antenas en la BTS.	Separación horizontal de antenas receptoras H/V en BTS	Reporte de configuración de simulación	metros
		Componentes polarización horizontal en señal combinada H/V	Reporte de simulación	%
		Componentes polarización vertical en señal combinada H/V	Reporte de simulación	%
		Correlación entre señal recibida H y señal combinada H/V	Reporte de simulación	%
		Correlación entre señal recibida V y señal combinada H/V	Reporte de simulación	%

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

El nivel de investigación empleada fue de tipo descriptivo-comparativo con fin de poder analizar el desempeño Uplink de las polarizaciones horizontal y vertical en una red de acceso 2300 MHz en un Centro Poblado Rural del Departamento de La Libertad a través de un proceso de simulación.

3.2. Población y Muestra de estudio

La población está compuesta por el centro poblado rural de Huacapongo, provincia de Viru, departamento de La Libertad, tanto en configuración de polarización horizontal como en polarización vertical.

Por tratarse de una condición no determinística no existe un número finito de enlaces Uplink posibles de contabilizar para efectos de simulación. Sin embargo, de acuerdo a las limitaciones de la herramienta a emplear, se han elegido 4 posiciones diferentes de la BTS cada una de ellas con 04 variaciones de altura, para cada uno de los cuales serán simuladas 71 señales transmitidas tanto en polarización horizontal como en polarización vertical en Uplink desde los emplazamientos de usuario, ubicados en el centro poblado Huacapongo, provincia de Virú, departamento de La Libertad. Con ello se generarán un total de 2272 enlaces como muestra a emplear. Los autores, justificaron la participación de 02 investigadores para el posterior proceso y análisis de los datos generados.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación del trabajo fue de tipo documental. Se recoletaron datos mediante la generación de simulaciones de la señal recibida (uplink 2300 MHz) desde diferentes emplazamientos de usuarios, en diferentes emplazamientos de BTS, así como a diferentes alturas de antena en el centro poblado de Huacapongo, provincia de Virú, departamento de La Libertad.

3.3.1. Procedimiento

- Identificación de puntos representativos de emplazamientos de usuarios y emplazamientos de BTS en el centro poblado rural de Huacapongo, provincia de Viru, Departamento de La Libertad.
- Identificación y selección de parámetros técnicos típicos del site BTS y transceptores de usuario en banda 2300 MHz.
- Configuración y calibración de parámetros de simulación, a fin de reproducir un escenario de estación base con diversidad de polarización en el centro poblado rural de Huacapongo, provincia de Viru, Departamento de La Libertad.
- Obtención de reportes de simulación y elaboración de tablas de señal Uplink H/V 2300 MHz recibida en las diferentes ubicaciones y alturas de BTS en el centro poblado rural de Huacapongo, provincia de Viru, departamento de La Libertad.
- Elaboración de curvas comparativas de nivel de potencia Uplink 2300 MHz recibida en BTS para polarizaciones horizontal, vertical y combinación de polarizaciones H/V.
- Obtención de coeficientes de correlación entre polarizaciones individuales ortogonales y polarización H/V combinada, para diferentes ubicaciones y alturas de BTS. Asimismo obtención del porcentaje de componentes en polarización horizontal / vertical, en la señal combinada.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

3.4.1. Técnicas

Tabla 3

Técnicas de recolección de datos

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Análisis de documentos	Identificación de parámetros de radiofrecuencia del site y estaciones de usuario en banda 2300 MHz	Obtención directa de valores de parámetros RF de estación base y estaciones usuario
Simulación	Simulación de valores de potencia recibida en la BTS 2300 MHz desde emplazamientos de usuarios, para diferentes alturas de antenas y ubicación de estación base, manteniendo la separación horizontal	Obtención de valores de potencia (dBm) recibida en reportes de la herramienta de simulación

3.4.2. Instrumentos

Tablas de recolección de datos y reportes de simulación de señal uplink 2300 MHz recibida en una BTS, proveniente de 71 ubicaciones de usuario en diferentes ubicaciones y diferentes alturas de antenas de estación base en un centro poblado rural de Virú, La Libertad.

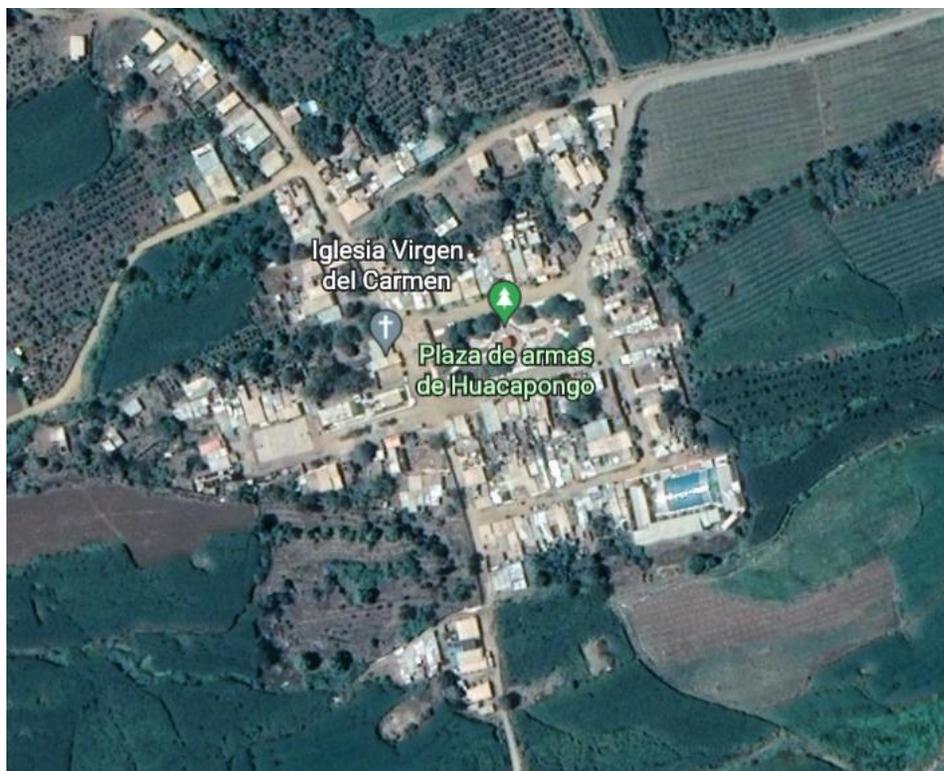
3.5. Recopilación de datos del centro poblado Huacapongo:

El centro poblado Huacapongo está ubicado en la provincia de Virú, Departamento de La Libertad, como se observa en la Figura 8, sus principales fuentes de ingreso son por parte de la ganadería, agricultura.

Cuenta con su principal centro educativo I.E. N°80073 José Abelardo Quiñones, su iglesia Virgen del Carmen y un puesto de salud Huacapongo (Figura 9).

Figura 8

Vista satelital del centro poblado Huacapongo



Fuente (Google Earth)

Figura 9

Vista real del centro poblado Huacapongo



La estación base de servicio celular más cercana, se denomina EBC Niño. Esta pertenece al operador Movistar y se encuentra a 2.5 km del centro poblado, como se observa en la Figura 10; por lo tanto, el servicio fijo o móvil presenta deficiencias en su cobertura.

En la misma Figura 10, se observa que debido a la distancia, la expectativa de calidad de señal recibida en un servicio fijo o móvil, es de bajo nivel. Esto mismo ocurriría con la señal en el enlace ascendente (Uplink), la cual tendría mucha más probabilidad de desvanecerse o atenuarse debido a que la emisión de señal en el uplink se da desde un dispositivo móvil, típicamente de baja potencia. Asimismo, se debe considerar un mayor efecto de degradación debido a, obstrucciones e interferencias.

Figura 10

Distancia entre EBC niño y Huacapongo



3.6. Datos técnicos de la banda 2300 MHz

La banda de 2300 MHz esta subdividida en 20 canales de radiofrecuencia. Respecto del rango de inicio y fin, esta banda empieza en los 2300 MHz y termina en los 2395 MHz. Cada canal consta de 5 MHz, los cuales pueden ser utilizados tanto para ida (Uplink) o retorno (Downlink).

En la Tabla 04 se muestran los detalles de la banda de 2300 MHz. Conforme lo indicado en esta tabla, se tendría una configuración de canales RF con Duplexación por División de Tiempo (TDD). Es decir, los canales pueden ser usados en el sentido móvil-base ó base-móvil, empleando el mismo rango de frecuencias, pero en tiempos distintos.

Asimismo, en la misma Tabla N° 4 se puede apreciar que algunos canales están adjudicados a empresas de telecomunicaciones tales como DirectNet. Otros se encuentran disponibles para que puedan ser adjudicados a diferentes operadores.

Tabla 4

Rango de Frecuencias de 2300 MHz

Banda / canal	Rango Freq. Ida. (MHz)		Rango Freq. Retorno (MHz)		Empresa Adj. Concesión	Área Asign.
CH01	2300.0	2305.0	2300.0	2305.0	-	La Libertad
CH02	2305.0	2310.0	2305.0	2310.0	-	La Libertad
CH03	2310.0	2315.0	2310.0	2315.0	-	La Libertad
CH04	2315.0	2320.0	2315.0	2320.0	-	La Libertad
CH05	2320.0	2325.0	2320.0	2325.0	-	La Libertad
CH06	2325.0	2330.0	2325.0	2330.0	-	La Libertad
CH07	2330.0	2335.0	2330.0	2335.0	-	La Libertad
CH08	2335.0	2340.0	2335.0	2340.0	-	La Libertad
CH09	2340.0	2345.0	2340.0	2345.0	-	La Libertad
CH10	2345.0	2350.0	2345.0	2350.0	-	La Libertad
CH11	2350.0	2355.0	2350.0	2355.0	-	La Libertad
CH12	2355.0	2360.0	2355.0	2360.0	-	La Libertad
CH13	2360.0	2365.0	2360.0	2365.0	DirecNet	La Libertad
CH14	2365.0	2370.0	2365.0	2370.0	DirecNet	La Libertad
CH15	2370.0	2375.0	2370.0	2375.0	DirecNet	La Libertad
CH16	2375.0	2380.0	2375.0	2380.0	DirecNet	La Libertad
CH17	2380.0	2385.0	2380.0	2385.0	DirecNet	La Libertad
CH18	2385.0	2390.0	2385.0	2390.0	DirecNet	La Libertad
CH19	2390.0	2395.0	2390.0	2395.0	-	La Libertad
CH20	2395.0	2400.0	2395.0	2400.0	-	La Libertad

Fuente Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2022)

Para hacer las evaluaciones de las simulaciones, se va a utilizar como muestra el canal 1, considerándose que el mismo rango se utiliza para ida (Uplink) o retorno (Downlink) de 2300-2305 MHz, como se encuentra descrito el detalla del CH01 en la Tabla 4.

3.7. Emplazamientos de referencia propuestos para EBC – Huacapongo

De acuerdo con el trabajo realizado por Angulo, D. & Barrena, L. (2022), se eligió como emplazamiento para una estación base referencial la zona nor-oeste del centro poblado, porque de esta forma se logra una orientación de una antena sectorial que puede cubrir la mayor parte de la zona poblada.

A continuación, se presenta la Tabla 5, la propuesta de otras configuraciones que podrían darse en emplazamientos ubicados en las zonas sur-oeste, sur-este y nor-este, sobre los cuales con una correcta orientación del ángulo de azimut y una antena sectorial también logran cubrir el área poblada de Huacapongo para cobertura en la zona de interés.

Tabla 5

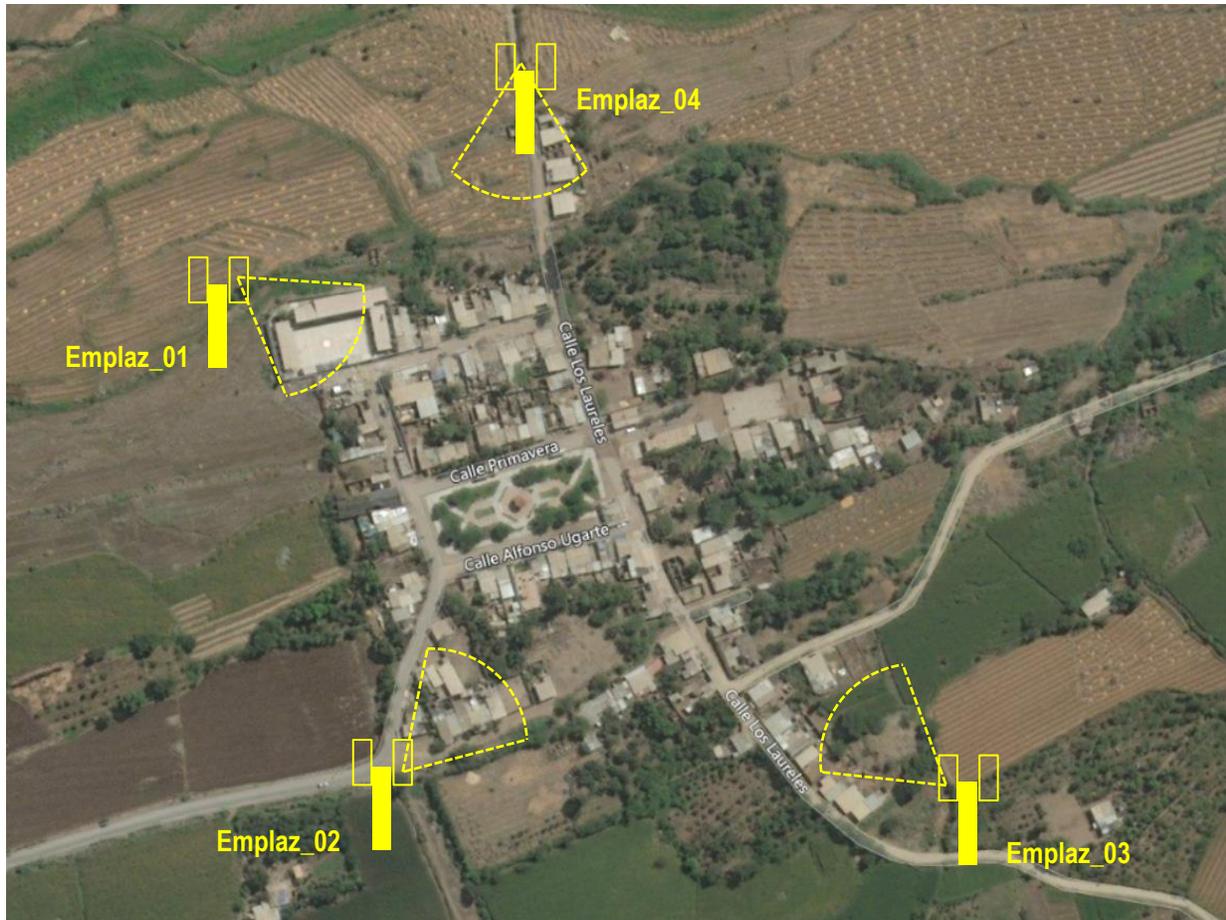
Propuesta de emplazamientos EBC Huacapongo

Emplazamientos	Coordenadas (°)	Azimuth (°)	
		P. Horizontal	P. Vertical
Nor-Oeste	-8.373528, -78.65489	100	100
Sur-Oeste	-8.375718, -78.65404	37	37
Sur-Este	-8.375722, -78.65108	310	310
Nor-Este	-8.372213, -78.65346	176	176

En la Figura 11 se muestra una representación gráfica de la ubicación y orientación de cobertura de los 04 posibles emplazamientos para una estación base celular, desde donde se podría obtener cobertura en la zona poblada de Huacapongo.

Figura 11

Ubicación de 4 posibles emplazamientos EBC Huacapongo



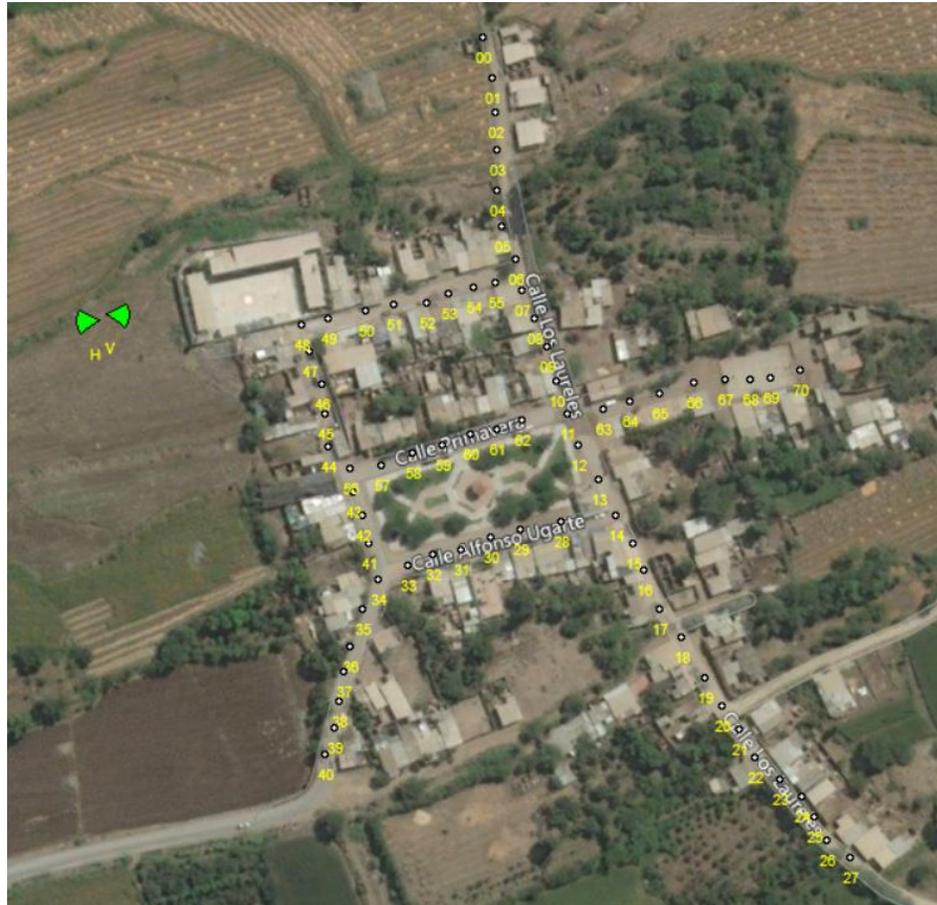
3.8. Emplazamientos de usuarios, para evaluación de diversidad polarización

En el trabajo realizado por Angulo & Barrera (2022), se consideraron 37 puntos para estimar desvanecimientos en frecuencia. Para el caso del presente trabajo se consideraron puntos intermedios con completados en el trabajo antes citado. Para ello se ha empleado la misma ruta de drive test que se utilizó en el trabajo antecedente para el centro poblado Huacapongo.

Con el criterio indicado anteriormente, se obtuvieron 71 puntos, los cuales son presentados en la Figura12. Desde cada uno de estos puntos se realizó la estimación de la diversidad de polarización en los 4 emplazamientos de estaciones base correspondientes.

Figura 12

Emplazamientos ruta drive test Huacapongo



3.9. Características técnicas referenciales de una estación base

Para la estación base se tomó como referencia una estación típica utilizada por operadores nacionales, tal como la ZXSDR B8200 de ZTE. En la figura 13 se muestra el detalle de esta estación base, la cual consta de dos módulos: un módulo indoor donde se genera todo el procesamiento de la señal, y luego, a través de un cable de fibra óptica, enruta la señal al módulo de radiofrecuencia conocido como RRU - R8860. El RRU recibe la señal de banda base, elevan a la frecuencia intermedia y finalmente a la banda de radiofrecuencia final para emparejarse con las antenas de cobertura del servicio.

Figura 13

ZXSDR b8200 de ZTE - R8860 RRU



Fuente: ZTE University (2012)

En la Tabla 6 se muestra el resumen técnico de las características técnicas del transceptor RRU ZTE ZXSDR B8200, el cual posee los datos específicos requeridos para el modelamiento en simulación.

Tabla 6

Características del transceptor ZXSDR B8200 de ZTE

Transceptor	
Transceptor	RRU (unidad radio)
Ptx	46 dBm
Umbral Rx	-110 dBm
Linternas	1.5 dBm

3.10. Características de Antenas

Respecto a las antenas consideradas para la simulación del desempeño de polarizaciones ortogonales, el mayor desafío técnico fue poder identificar dos modelos idénticos de antenas que trabajaran en la misma frecuencia y que solamente se diferenciaban en el tipo de polarización (horizontal / vertical). De esta forma, tras una búsqueda de diversos proveedores, se pudo identificar al fabricante Stella Doradus Ireland Ltd, el cual, para la banda de interés, provee los datos del mismo modelo de antena sectorial únicamente diferenciado en el tipo de polarización.

A continuación, en la Tabla 7 se muestra el resumen de características técnicas correspondiente a la antena sectorial 22 6015H SD 2300 MHz.

Tabla 7

Características técnicas antena sectorial 22 6015H SD

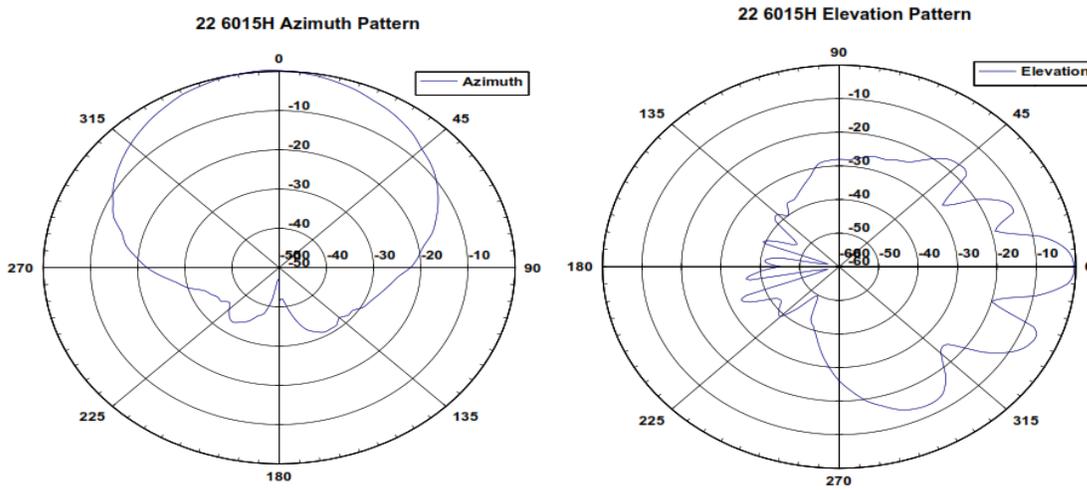
Electrical Specifications SD_226015H	
Gain	15 dBi
3dB beam Patten	60° x 15°
Bandwidth	2.1-2.3 GHz
VSWR	1.8: 1
Front to Back Ratio	44 dB
Polarization	Horizontal
Power Rating	50w
Impedance	50 ohms
Termination	N-female
Cross Pol. Discrimination	22 dB
Surge Protection	Built in

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd (2022)

El modelo 22 6015H SD presenta un patrón de radiación horizontal y patrón de elevación tal como se muestran en la Figura 14.

Figura 14

Patrón de radiación y elevación de la antena 22 6015H



Del mismo modo se presenta en la Tabla 8 un resumen de las principales características técnicas para la antena de polarización vertical 22 60 15 V

Tabla 8

características técnicas

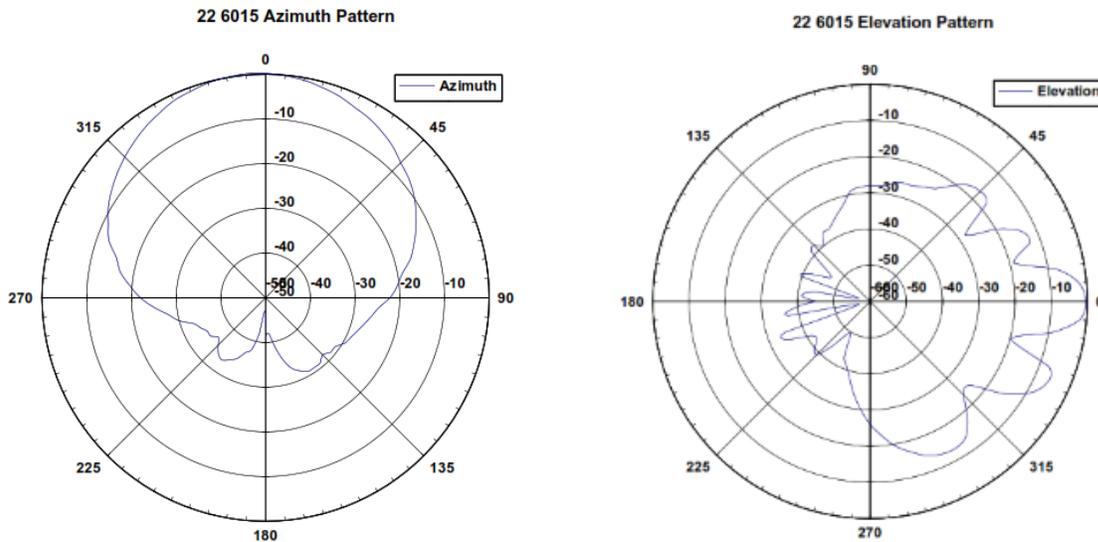
Electrical Specifications SD_226015V	
Gain	15 dBi
3dB beam Pattern	60° x 15°
Bandwidth	2.1-2.3 GHz
VSWR	1.8: 1
Front to Back Ratio	44 dB
Polarization	Vertical
Power Rating	50w
Impedance	50 ohms
Termination	N-female
Cross Pol. Discrimination	22 dB
Surge Protection	Built in

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd (2022)

En la figura 15 se muestra el patrón de azimuth y patrón de elevación de la antena 22 6015V.

Figura 15

Patrón de radiación y elevación de la antena 22 6015V



3.11. Referencia características técnicas para estaciones móviles Huacapongo

Tomando como referencia el antecedente de Angulo & Barrena (2022) se ha utilizado el mismo tipo de estación móvil de usuario para poder hacer el modelamiento. En la tabla 9 se presenta las características técnicas de la estación móvil, entre los que se destacan: parámetros de potencia, umbral de recepción, pérdidas y ganancias.

Tabla 9

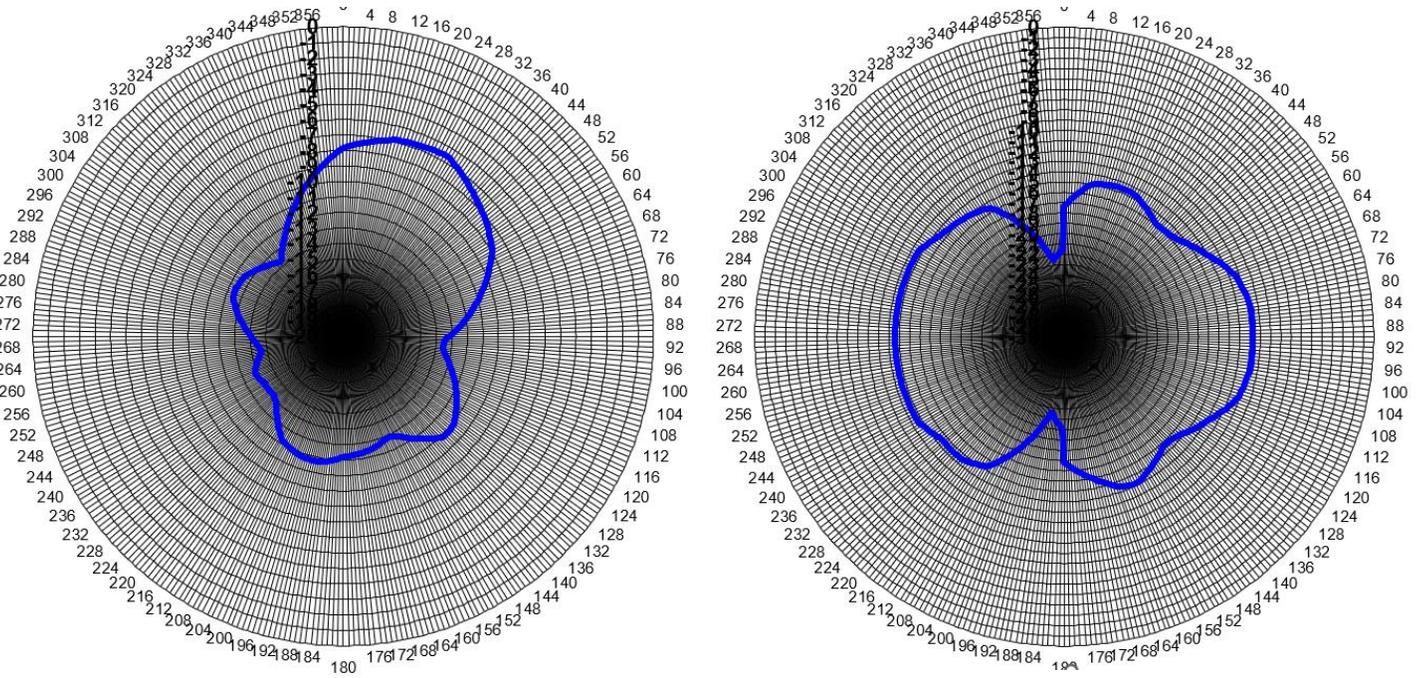
Características técnicas de Estación móvil

Estación móvil	
Ptx	20 dBm
Umbral Rx	-110 dBm
Line Loss (pérdidas por absorción por el cuerpo del usuario)	8 dB
Ganancia de antena	0 dBi

En la figura 16 se presentan los patrones de azimuth y elevación tomados como referencia por Angulo & Barrena (2022) los cuales son utilizados para la herramienta de simulación.

Figura 16

Patrón de azimuth y elevación



Fuente: (Anis Krayni, Assessment Methodologies of Child Exposure in Realistic Wireless Contexts-2018)

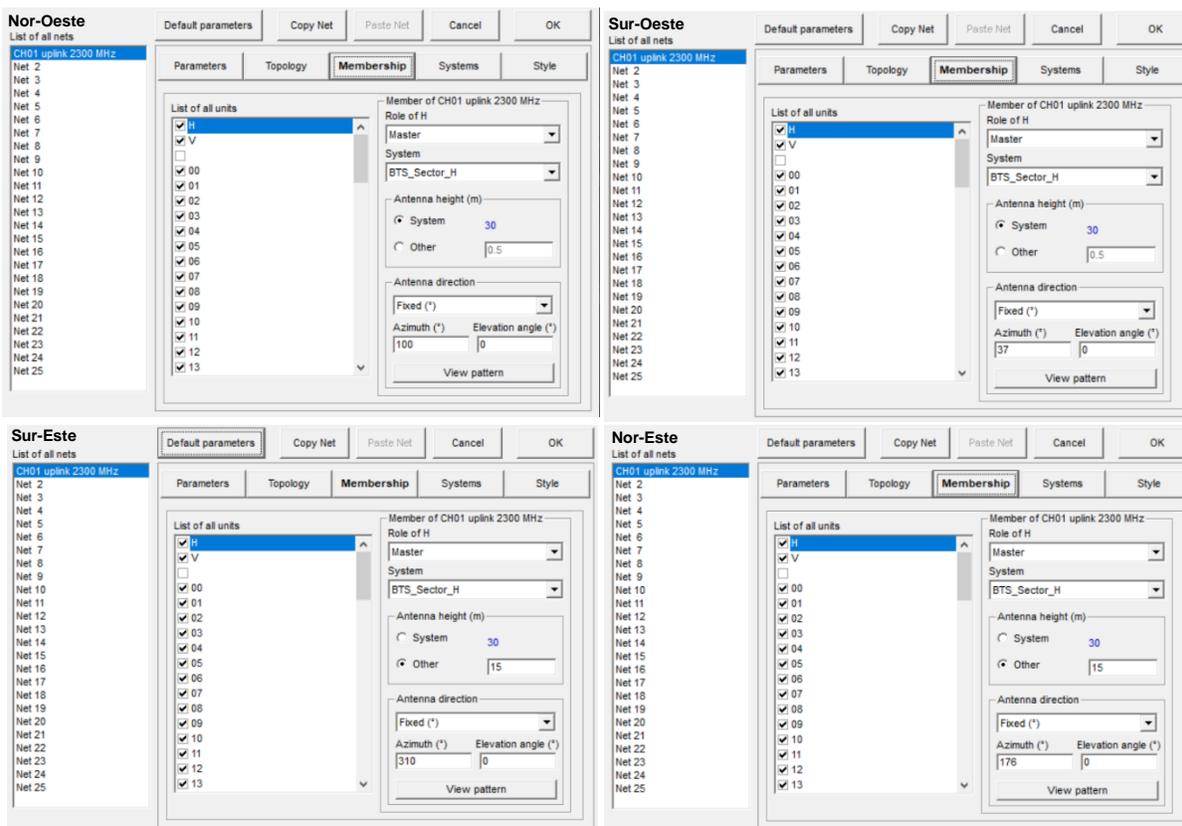
IV. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

4.1. Simulación de la señal móvil recibida

En base a los datos que se han descrito en los párrafos anteriores, respecto de los emplazamientos de la estación base, los emplazamientos de los móviles que se van a distribuir por todo Huacapongo, las antenas a emplear con polarizaciones ortogonales, los patrones de radiación identificados para la estación móvil, se procedió a realizar las simulaciones en los 4 emplazamientos EBC propuestos para el centro poblado de Huacapongo. En la figura 17 se visualiza las configuraciones realizadas en el software de simulación en la herramienta Radio Mobile para los 4 emplazamientos de las estaciones base.

Figura 17

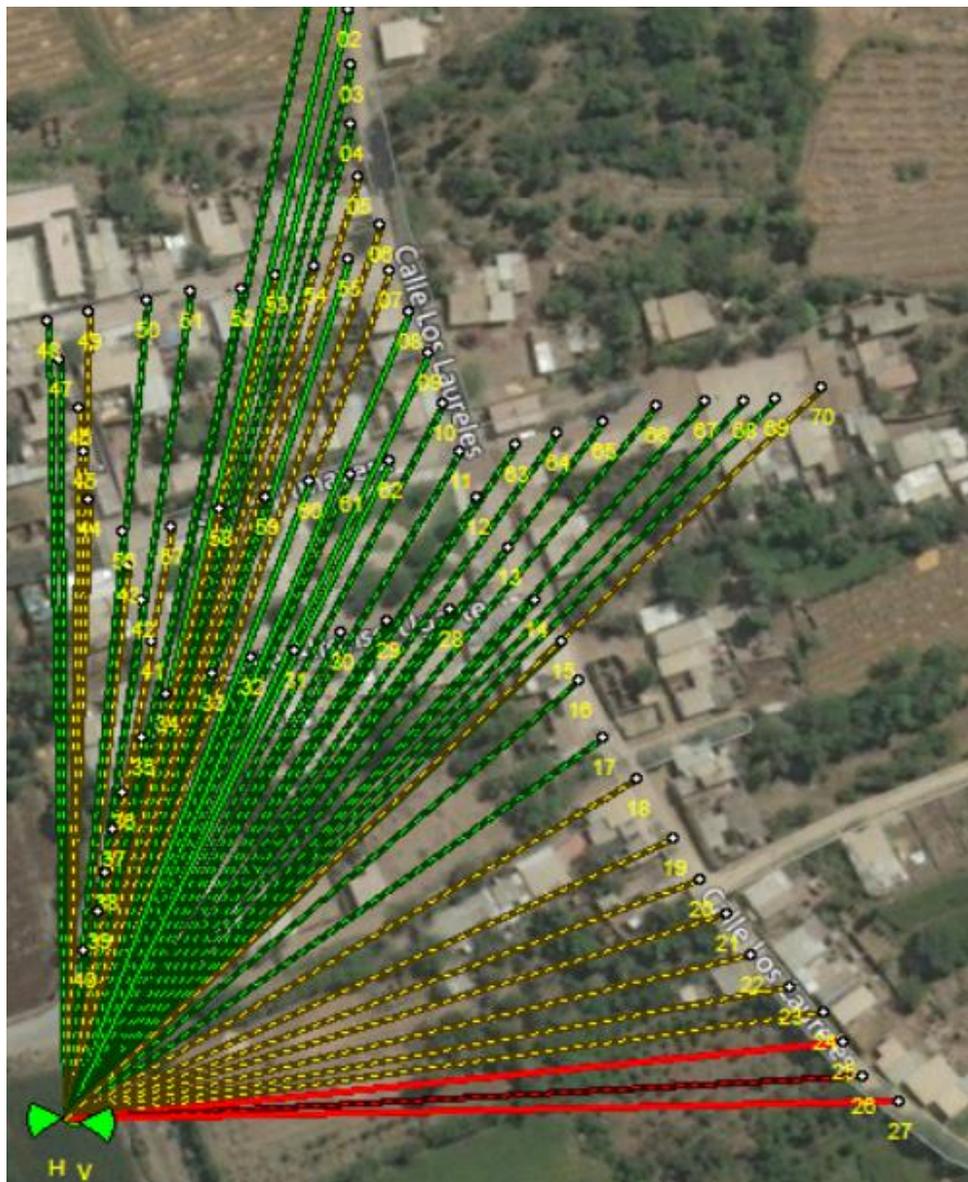
Configuración Radio Mobile de los 4 emplazamientos



En la figura 18 se observan todos los puntos outdoor presentes en el Centro Poblado de Huacapongo. Se puede observar una configuración de mayores cantidades de enlaces que van a servir para hacer la comparativa de desempeño de las polarizaciones.

Figura 18

Trayectorias de las propagaciones resultantes



4.2. Reportes obtenidos en la recepción desde los emplazamientos móviles

El proceso de simulación se realizó con 71 puntos en la banda 2300MHz para cada uno de los 4 emplazamientos con diferentes alturas y una separación de 3 metros entre las antenas SD 226015H y SD 226015V.

A continuación, se presentan las Tablas 10, 11, 12 y 13, en donde se puede visualizar los niveles de recepción obtenidos en enlace uplink para polarización horizontal y polarización vertical. En la parte inferior de las tablas asimismo se han estimado los parámetros de desviación, varianza y coeficiente de variación que permite identificar los puntos con mayor fluctuación. En el anexo 01 se pueden encontrar las tablas completas para los 4 emplazamientos.

Tabla 10: Reporte de señal uplink recibida en 1er emplazamiento EBC Huacapongo

PUNTO Rx	h=30m		h=25m		h=20m		h=15m	
	NRx (H)	NRX(V)						
0	-91.3	-92.1	-91.8	-92.4	-89.4	-90.6	-88.9	-89.8
1	-90.7	-91.2	-91.0	-91.2	-88.5	-89.3	-88.2	-88.6
2	-90.2	-90.9	-88.9	-89.1	-88.0	-88.8	-86.4	-86.9
3	-90.1	-90.7	-87.2	-87.7	-86.6	-87.2	-86.4	-87.0
4	-90.5	-91.4	-88.8	-89.5	-87.5	-88.4	-86.8	-87.0
5	-90.1	-90.7	-88.5	-89.2	-87.3	-88.0	-85.4	-85.8
6	-87.1	-88.0	-87.3	-87.9	-84.5	-85.2	-86.9	-87.3
7	-88.1	88.9	-85.0	-85.4	-85.5	-85.9	-83.2	-83.5
8	-85.7	-86.6	-85.3	-85.9	-85.6	-86.0	-83.4	-83.5
9	-86.3	-86.0	-86.9	-86.6	-85.7	-86.0	-85.4	-85.1
10	-85.4	-85.8	-84.1	-83.8	-86.1	-86.3	-83.5	-83.6
11	-86.7	-87.2	-85.7	-86.0	-84.5	-84.6	-83.1	-83.3
12	-84.7	-84.9	-83.9	-84.1	-83.0	-83.1	-82.1	-82.2
13	-85.6	-86.6	-85.6	-86.2	-86.7	-87.0	-84.6	-84.7
14	-85.4	-85.8	-86.4	-86.8	-84.4	-85.0	-83.3	-83.6
15	-85.7	-85.9	-87.0	-87.4	-84.8	-84.9	-82.7	-82.7
16	-89.5	-89.9	-85.6	-86.0	-85.3	-85.6	-89.2	-89.4
17	-92.4	-92.7	-85.8	-86.1	-85.3	-85.6	-89.8	-89.8
18	-90.8	-91.5	-88.2	-88.6	-85.0	-85.3	-91.6	-92.0
19	-88.0	-88.6	-92.4	-92.9	-85.6	-85.9	-92.6	-92.9
20	-87.0	-87.7	-94.6	-95.4	-86.0	-86.5	-93.3	-93.9
21	-86.9	-87.7	-94.2	-95.1	-86.5	-87.1	-94.0	-94.5
22	-87.7	-88.4	-92.9	-93.4	-87.2	-87.9	-94.5	-94.6
23	-89.0	-89.6	-90.8	-91.4	-89.0	-89.4	-91.6	-91.8
24	-88.8	-89.4	-97.2	-97.9	-89.5	-90.0	-87.6	-87.9
25	-89.5	-90.2	-97.9	-98.7	-89.5	-90.0	-87.8	-88.3
26	-91.3	-92.2	-90.0	-90.7	-90.0	-90.6	-89.8	-90.3
27	-89.8	-90.6	-101.3	-102.3	-89.8	-90.5	-87.1	-87.6
28	-88.1	-88.6	-84.6	-84.8	-86.2	-86.5	-83.1	-83.2
29	-85.6	-86.0	-88.3	-88.7	-83.4	-83.7	-86.7	-86.9
30	-88.0	-89.0	-86.7	-87.1	-83.3	-83.9	-87.7	-88.2
31	-89.9	-89.1	-86.0	-86.3	-90.4	-88.9	-89.6	-90.4
32	-90.0	-91.1	-84.8	-85.7	-89.0	-89.9	-84.0	-84.9
33	-91.1	-92.0	-91.5	-92.1	-92.3	-92.8	-91.0	-91.7
34	-88.8	-89.5	-91.7	-92.2	-88.8	-89.2	-83.5	-84.1
35	-89.7	-90.1	-97.0	-97.1	-88.0	-88.2	-84.7	-85.0
36	-91.1	-91.1	-93.4	-99.4	-89.3	-87.4	-87.7	-95.5
37	-91.0	-91.4	-92.8	-92.5	-92.0	-92.6	-86.1	-86.6
38	-93.9	-94.7	-89.9	-89.8	-98.4	-99.7	-86.3	-87.0
39	-103.7	-93.2	-92.8	-94.0	-89.0	-90.8	-88.2	-87.5
40	-97.6	-99.9	-91.8	-92.5	-88.6	-89.0	-86.9	-87.6
41	-92.7	-93.7	-91.1	-91.8	-84.6	-85.0	-83.2	-83.7
42	-91.8	-93.0	-86.5	-87.5	-83.4	-84.1	-83.6	-84.5
43	-88.6	-90.1	-86.9	-87.8	-84.5	-85.2	-83.0	-83.7
44	-88.6	-92.5	-86.2	-87.7	-83.1	-84.2	-81.5	-82.2
45	-86.1	-92.0	-86.5	-89.4	-85.0	-85.4	-79.7	-79.6
46	-88.5	-92.7	-85.2	-86.9	-81.7	-82.6	-78.3	-78.8
47	-87.8	-94.2	-84.9	-89.5	-83.9	-84.9	-81.1	-81.7
48	-90.0	-92.6	-87.4	-90.8	-85.0	-85.2	-81.0	-81.0
49	-88.6	-93.1	-85.4	-87.8	-82.5	-83.7	-79.4	-80.4
50	-89.0	-92.5	-87.1	-88.1	-83.6	-84.3	-80.5	-80.8
51	-86.7	-88.6	-86.9	-86.9	-85.5	-86.3	-81.1	-82.1
52	-89.3	-90.7	-86.4	-87.0	-82.7	-83.1	-82.1	-82.8
53	-89.9	-91.3	-87.8	-88.7	-86.2	-86.5	-84.8	-84.9
54	-87.0	-87.9	-86.5	-87.1	-83.8	-84.0	-84.0	-84.2
55	-87.5	-89.0	-87.7	-88.1	-84.8	-84.8	-82.2	-82.5
56	-87.0	-89.0	-86.6	-87.5	-86.2	-87.0	-82.1	-82.8
57	-88.8	-90.0	-85.3	-86.3	-83.1	-83.6	-83.0	-83.4
58	-85.6	-86.5	-86.2	-86.6	-83.5	-84.2	-80.5	-81.0
59	-85.7	-86.9	-84.1	-85.0	-83.7	-84.1	-80.7	-81.2
60	-84.9	-85.8	-84.4	-84.4	-83.8	-83.8	-82.0	-82.1
61	-85.1	-85.7	-83.6	-84.1	-83.8	-84.1	-84.2	-84.6
62	-84.3	-85.1	-83.2	-83.5	-82.3	-82.6	-81.5	-81.7
63	-87.1	-87.4	-84.5	-84.7	-85.1	-85.2	-84.5	-84.3
64	-85.8	-86.0	-85.1	-85.4	-86.0	-86.1	-83.0	-82.9
65	-86.2	-86.4	-86.1	-86.4	-85.3	-85.3	-84.0	-83.8
66	-87.6	-87.9	-85.6	-85.8	-86.1	-86.1	-84.8	-84.7
67	-86.8	-87.2	-87.5	-87.6	-85.7	-85.7	-83.9	-83.9
68	-86.7	-87.0	-87.7	-87.9	-86.2	-86.2	-84.5	-84.5
69	-87.5	-87.7	-86.3	-86.4	-87.8	-87.8	-83.1	-83.0
70	-87.6	-87.8	-88.1	-88.2	-86.6	-86.6	-85.6	-85.5

Tabla 11: Reporte de señal uplink recibida en 2do emplazamiento EBC Huacapongo

PUNTO Rx	h=30m		h=25m		h=20m		h=15m	
	NRx (H)	NRX(V)						
0	-85.0	-86.1	-91.4	-92.7	-89.6	-90.1	-84.1	-84.7
1	-84.5	-85.4	-90.1	-91.0	-88.9	-89.8	-83.8	-84.5
2	-84.2	-84.9	-87.4	-88.3	-91.5	-92.6	-84.5	-85.1
3	-84.8	-85.4	-83.8	-85.0	-89.4	-91.2	-89.7	-89.5
4	-85.0	-84.6	-84.0	-86.6	-83.3	-84.1	-91.7	-92.2
5	-93.3	-94.3	-82.2	-83.2	-84.7	-85.7	-88.3	-88.8
6	-87.5	-88.5	-82.5	-83.6	-89.5	-91.0	-83.9	-83.9
7	-89.6	-90.5	-82.0	-82.9	-88.6	-89.6	-81.8	-82.6
8	-84.2	-84.6	-81.8	-82.4	-85.8	-86.5	-86.4	-86.5
9	-83.4	-83.7	-87.2	-87.6	-81.8	-82.2	-81.1	-81.4
10	-85.5	-86.2	-83.2	-83.8	-82.8	-82.8	-84.2	-83.4
11	-87.0	-87.2	-85.2	-85.7	-83.6	-83.8	-83.8	-83.8
12	-84.1	-84.7	-84.6	-84.1	-85.0	-85.2	-83.7	-83.9
13	-84.9	-84.6	-83.3	-83.6	-82.6	-82.4	-81.5	-81.3
14	-85.9	-85.6	-84.8	-85.7	-83.1	-83.1	-81.9	-81.8
15	-86.0	-86.3	-84.2	-84.5	-83.4	-83.5	-82.6	-82.5
16	-87.3	-87.7	-85.7	-85.9	-84.0	-84.2	-83.8	-83.7
17	-87.3	-87.2	-85.7	-85.6	-84.7	-85.0	-85.7	-85.6
18	-88.1	-88.0	-86.5	-86.5	-85.4	-85.7	-86.5	-86.4
19	-88.6	-88.7	-87.0	-87.3	-86.6	-87.2	-87.2	-87.3
20	-89.5	-89.2	-88.0	-87.9	-88.1	-88.3	-87.7	-87.4
21	-90.3	-89.9	-89.5	-89.4	-89.8	-89.6	-87.1	-86.5
22	-93.1	-91.7	-90.4	-89.9	-88.3	-87.8	-88.4	-87.6
23	-93.1	-92.3	-90.2	-89.9	-90.9	-89.9	-91.3	-90.1
24	-93.3	-93.1	-94.1	-93.8	-92.7	-92.9	-90.3	-90.0
25	-96.8	-97.6	-96.7	-96.2	-93.6	-93.3	-90.6	-90.7
26	-95.7	-96.9	-97.1	-97.5	-94.3	-94.2	-90.9	-91.2
27	-96.6	-95.9	-93.9	-94.6	-94.1	-94.2	-93.8	-94.4
28	-85.9	-86.4	-83.1	-83.3	-83.5	-83.6	-82.6	-82.7
29	-85.7	-86.5	-82.5	-82.8	-82.9	-83.1	-80.3	-80.3
30	-84.9	-86.0	-82.1	-82.8	-82.7	-83.2	-80.1	-80.5
31	-83.3	-88.5	-83.8	-84.7	-79.8	-80.3	-78.1	-78.6
32	-85.9	-87.5	-84.6	-86.1	-80.9	-81.9	-78.9	-79.6
33	-87.6	-88.9	-83.1	-84.3	-79.7	-80.6	-77.9	-78.9
34	-85.9	-88.0	-84.4	-85.2	-83.2	-84.4	-78.8	-80.5
35	-88.2	-92.7	-85.8	-87.9	-82.4	-83.9	-79.5	-88.5
36	-87.0	-92.5	-85.1	-87.5	-83.2	-83.8	-81.1	-81.7
37	-90.3	-95.4	-87.9	-92.8	-83.8	-85.5	-80.1	-81.7
38	-90.8	-89.9	-88.7	-94.2	-83.8	-88.1	-81.3	-82.6
39	-86.3	-86.3	-88.8	-90.4	-84.9	-92.0	-81.1	-83.8
40	-81.8	-84.8	-85.4	-85.2	-87.9	-89.1	-82.3	-87.0
41	-90.0	-91.7	-84.8	-86.3	-80.8	-81.7	-80.1	-81.1
42	-86.9	-87.8	-88.5	-90.0	-82.4	-83.5	-79.4	-80.6
43	-88.1	-89.8	-83.3	-84.5	-81.4	-82.2	-82.1	-83.2
44	-90.4	-92.2	-83.7	-84.5	-89.1	-89.8	-82.4	-83.6
45	-92.7	-93.3	-84.5	-85.5	-85.7	-86.5	-84.6	-85.9
46	-89.4	-89.8	-87.2	-88.4	-83.9	-84.9	-87.3	-88.6
47	-86.3	-86.9	-89.0	-90.4	-83.5	-85.0	-85.1	-85.7
48	-85.4	-86.1	-95.7	-97.4	-83.4	-84.4	-90.6	-91.5
49	-87.8	-89.2	-84.6	-85.6	-83.5	-84.5	-93.7	-95.0
50	-84.6	-85.5	-92.0	-92.6	-82.0	-83.1	-94.5	-95.7
51	-85.7	-90.0	-83.4	-83.7	-89.8	-92.4	-82.3	-83.2
52	-86.6	-87.6	-85.1	-85.9	-82.3	-83.4	-87.3	-88.3
53	-89.9	-90.5	-83.2	-84.2	-82.8	-83.8	-86.9	-87.6
54	-92.8	-93.7	-82.4	-83.3	-85.9	-86.8	-83.4	-84.3
55	-83.1	-84.0	-89.1	-90.2	-81.6	-82.5	-87.7	-88.7
56	-85.3	-86.2	-84.7	-85.2	-85.5	-86.0	-86.8	-88.0
57	-84.4	-89.8	-82.6	-83.4	-84.9	-85.7	-81.7	-82.8
58	-89.4	-90.5	-87.9	-88.7	-86.5	-87.6	-85.6	-86.6
59	-85.3	-86.4	-84.7	-85.6	-81.0	-81.9	-84.6	-85.7
60	-82.6	-83.6	-81.1	-82.0	-80.0	-81.1	-79.9	-80.8
61	-86.3	-86.9	-83.9	-84.4	-81.7	-82.2	-80.2	-80.6
62	-82.5	-83.0	-82.5	-82.9	-84.7	-85.1	-84.8	-85.2
63	-85.0	-85.1	-83.2	-83.4	-84.1	-84.1	-83.0	-83.2
64	-85.0	-85.3	-85.6	-85.8	-83.2	-83.3	-84.9	-85.2
65	-87.0	-87.3	-85.8	-85.9	-84.1	-84.0	-83.9	-83.9
66	-85.9	-86.1	-86.2	-86.4	-86.2	-86.2	-83.9	-83.8
67	-86.0	-86.3	-87.0	-87.2	-85.8	-85.8	-83.3	-83.6
68	-86.2	-86.5	-87.4	-87.6	-87.4	-87.3	-82.8	-83.1
69	-87.1	-87.4	-87.5	-87.6	-85.7	-85.8	-85.1	-85.4
70	-88.5	-88.6	-87.1	-88.2	-88.1	-88.0	-83.9	-84.2

Tabla 12: Reporte de señal uplink recibida en 3er emplazamiento EBC Huacapongo

PUNTO Rx	h=30m		h=25m		h=20m		h=15m	
	NRx (H)	NRX(V)						
0	-96.6	-98.5	-90.1	-90.0	-85.3	-85.6	-87.4	-87.7
1	-105.2	-105.1	-88.2	-88.5	-84.7	-85.1	-87.4	-87.8
2	-95.6	-97.5	-89.4	-89.2	-84.3	-84.7	-87.3	-87.7
3	-88.9	-90.0	-93.2	-92.6	-84.0	-84.3	-86.2	-86.7
4	-85.5	-86.3	-101.8	-99.5	-83.3	-83.8	-85.5	-86.0
5	-85.1	-85.5	-97.2	-97.0	-82.6	-83.1	-85.3	-85.9
6	-117.7	-110	-85.2	-85.3	-83.0	-83.6	-86.7	-87.4
7	-90.1	-91.3	-83.7	-84.2	-82.9	-83.4	-87.8	-88.8
8	-82.8	-83.5	-101.6	-107.8	-82.3	-82.6	-83.0	-83.0
9	-89.0	-89.7	-81.6	-82.1	-101.4	-102.7	-80.7	-81.2
10	-90.4	-88.6	-85.2	-86.9	-80.7	-81.1	-88.2	-90.0
11	-83.2	-83.4	-89.4	-91.9	-80.1	-80.6	-86.5	-88.0
12	-81.4	-82.0	-94.4	-97.9	-79.9	-80.3	-83.7	-84.9
13	-82.0	-82.6	-80.1	-80.5	-84.5	-83.8	-87.8	-90.6
14	-95.9	-88.8	-99.1	-90.1	-85.8	-83.6	-78.3	-78.7
15	-104	-96.2	-85.1	-87.5	-79.1	-80.0	-86.4	-83.5
16	-88.2	-90.5	-80.1	-80.7	-87.5	-89.4	-77.9	-78.1
17	-82.3	-83.6	-85.2	-85.1	-81.0	-81.9	-79.6	-79.4
18	-82.7	-83.6	-94.6	-98.1	-78.6	-79.2	-84.1	-83.3
19	-86.1	-83.9	-80.9	-81.8	-80.4	-82.0	-91.6	-93.5
20	-82.7	-84.3	-81.8	-93.9	-91.9	-82.2	-78.9	-81.5
21	-102.8	-107.1	-83.8	-84.2	-78.8	-79.7	-81.3	-85.1
22	-85.1	-88.4	-83.3	-85.0	-92.9	-91.4	-77.5	-77.7
23	-85.2	-89.9	-90.7	-93.7	-80.6	-81.7	-90.4	-92.9
24	-86.4	-92.7	-84.1	-88.2	-82.3	-83.7	-79.6	-80.7
25	-93.0	-98.4	-87.9	-92.8	-83.8	-85.9	-80.3	-81.0
26	-90.6	-92.0	-87.2	-102.5	-85.3	-95.8	-91.7	-87.3
27	-91.3	-88.7	-90.4	-96.8	-87.3	-92.8	-90.8	-92.4
28	-87.6	-86.2	-81.5	-81.6	-80.3	-80.9	-92.0	-91.9
29	-97.1	-102.9	-81.1	-81.6	-93.3	-96.0	-80.6	-80.7
30	-87.5	-88.5	-92.6	-92.2	-82.8	-82.9	-81.0	-81.2
31	-83.0	-83.6	-94.6	-89.1	-81.1	-81.5	-93.2	-97.2
32	-83.8	-86.4	-84.3	-83.5	-93.5	-101.1	-81.2	-81.9
33	-89.5	-89.7	-82.8	-83.2	-82.9	-83.4	-88.1	-88.0
34	-109	-93.1	-83.3	-83.8	-90.9	-88.6	-84.6	-85.7
35	-86.5	-87.4	-119.4	-119.9	-86.1	-86.5	-83.5	-84.2
36	-85.3	-86.1	-119.8	-101.1	-83.7	-84.3	-115.6	-112.4
37	-86.4	-87.2	-98.8	-100	-88.7	-89.2	-84.6	-85.3
38	-105.2	-107.5	-85.5	-86.1	-89.7	-90.6	-89.1	-89.5
39	-87.7	-88.3	-98.0	-96.0	-85.3	-85.7	-98.4	-98.0
40	-89.4	-90.0	-87.4	-87.9	-96.5	-96.4	-86.1	-86.8
41	-84.1	-84.5	-96.1	-94.7	-86.1	-86.9	-82.7	-83.2
42	-111.8	-103.2	-87.5	-88.1	-83.5	-84.1	-82.6	-83.1
43	-87.0	-87.8	-102.8	-104.9	-89.8	-89.9	-82.8	-83.3
44	-102.1	-104.5	-87.6	-87.6	-83.7	-84.0	-83.1	-83.4
45	-88.4	-89.1	-90.6	-90.1	-82.5	-82.7	-83.8	-84.2
46	-85.9	-86.5	-100.6	-98.5	-82.7	-83.0	-84.1	-84.5
47	-89.4	-89.5	-84.5	-84.7	-84.0	-84.3	-89.1	-89.5
48	-119.3	-119.5	-85.1	-85.6	-83.8	-84.1	-86.5	-87.0
49	-83.8	-84.3	-101.5	-101.5	-83.0	-83.3	-84.1	-84.8
50	-93.7	-95.2	-83.5	-83.9	-83.3	-83.7	-86.9	-87.5
51	-110.2	-104.9	-84.2	-84.4	-82.9	-83.4	-86.4	-86.8
52	-89.2	-89.4	-83.8	-84.1	-82.9	-83.5	-88.4	-89.0
53	-94.6	-96.4	-83.9	-84.4	-82.9	-83.4	-88.2	-88.7
54	-95.5	-97.4	-83.1	-83.5	-82.9	-83.4	-88.1	-88.7
55	-88.3	-88.3	-83.5	-83.8	-83.3	-83.8	-89.0	-89.6
56	-83.9	-84.2	-84.5	-84.2	-90.1	-91.8	-82.6	-83.0
57	-98.2	-100	-87.5	-87.5	-83.2	-83.4	-82.2	-82.5
58	-82.8	-83.3	-90.7	-88.0	-85.5	-87.1	-81.8	-81.2
59	-101.2	-99.6	-85.5	-85.6	-82.3	-82.5	-81.8	-82.0
60	-82.3	-82.8	-95.5	-97.7	-83.3	-83.3	-81.1	-81.3
61	-100.1	-94.5	-81.2	-81.6	-106.1	-101.2	-80.2	-80.6
62	-81.6	-82.1	-102.6	-114.6	-80.1	-80.5	-91.5	-88.6
63	-85.2	-85.9	-81.3	-81.9	-85.1	-95.7	-80.1	-80.5
64	-82.3	-82.9	-87.9	-89.6	-83.9	-84.0	-80.7	-81.2
65	-82.6	-83.5	-100	-97.1	-80.7	-81.2	-87.1	-88.8
66	-87.4	-89.5	-82.7	-82.9	-97.0	-96.5	-81.2	-81.5
67	-84.1	-84.7	-98.8	-96.8	-82.1	-82.5	-90.6	-92.4
68	-84.1	-84.7	-99.4	-100.6	-82.4	-82.9	-89.3	-91.1
69	-89.4	-92.3	-83.5	-84.4	-83.4	-83.6	-91.5	-89.7
70	-90.6	-91.1	-87.5	-87.7	-90.4	-90.2	-88.9	-90.5

Tabla 13: Reporte de señal uplink recibida en 4to emplazamiento EBC Huacapongo

PUNTO Rx	h=30m		h=25m		h=20m		h=15m	
	NRx (H)	NRX(V)						
0	-81.8	-83.9	-79.7	-79.8	-86.0	-79.0	-78.3	-82.0
1	-90.2	-89.6	-82.5	-84.1	-79.4	-77.8	-82.8	-80.7
2	-80.3	-82.8	-83.1	-79.3	-85.6	-82.8	-81.0	-85.3
3	-86.1	-81.8	-87.5	-86.9	-82.2	-87.6	-78.8	-81.3
4	-85.4	-87.2	-82.3	-88.1	-84.6	-86.4	-79.0	-81.5
5	-82.7	-89.1	-80.3	-84.3	-79.6	-80.1	-78.9	-78.5
6	-82.4	-88.3	-81.0	-84.9	-80.1	-82.7	-78.7	-80.8
7	-92.4	-93.0	-83.6	-83.6	-78.4	-78.9	-75.0	-75.4
8	-82.0	-85.7	-79.6	-80.3	-86.8	-83.7	-79.2	-81.8
9	-91.3	-93.5	-87.7	-91.1	-81.5	-85.8	-76.6	-78.9
10	-81.8	-84.3	-85.2	-83.0	-78.3	-79.4	-77.7	-78.1
11	-93.4	-94.0	-79.1	-80.2	-82.4	-80.7	-80.4	-83.3
12	-81.6	-82.3	-87.5	-84.6	-81.1	-84.7	-76.8	-78.1
13	-81.3	-82.7	-80.2	-80.2	-82.5	-81.5	-85.7	-85.5
14	-81.9	-82.1	-80.4	-81.2	-83.1	-84.8	-92.0	-91.5
15	-88.5	-83.8	-80.9	-89.4	-80.3	-84.5	-87.2	-79.9
16	-84.4	-87.7	-81.7	-81.9	-91.5	-91.4	-80.1	-80.4
17	-85.9	-85.6	-85.7	-86.9	-86.3	-86.9	-81.0	-81.4
18	-91.9	-90.9	-83.4	-84.3	-90.6	-91.8	-81.1	-81.3
19	-98.7	-101.5	-82.1	-82.7	-89.4	-90.2	-81.7	-81.9
20	-91.2	-92.8	-82.2	-82.6	-88.4	-89.5	-82.1	-82.4
21	-89.6	-91.2	-82.4	-82.9	-89.2	-91.8	-82.4	-82.7
22	-90.6	-92.6	-82.7	-83.3	-90.8	-92.2	-82.6	-83.1
23	-88.7	-90.2	-83.2	-83.8	-96.8	-97.7	-82.9	-83.4
24	-107.6	-107.9	-85.6	-86.1	-84.2	-85.0	-86.2	-86.6
25	-93.2	-93.8	-87.8	-88.6	-83.5	-84.2	-85.4	-85.9
26	-86.6	-86.8	-93.7	-96.0	-83.9	-84.7	-85.2	-85.7
27	-85.8	-86.7	-85.3	-86.3	-87.9	-88.7	-93.3	-94.0
28	-80.3	-80.9	-87.4	-89.5	-80.4	-80.2	-78.3	-79.0
29	-82.5	-83.7	-82.2	-82.2	-84.6	-85.5	-78.4	-78.6
30	-88.4	-88.9	-86.8	-87.8	-79.5	-80.0	-77.7	-78.0
31	-79.6	-80.9	-84.3	-82.1	-80.0	-82.6	-80.5	-79.5
32	-79.7	-80.5	-83.7	-85.1	-83.4	-83.3	-77.5	-77.8
33	-89.3	-89.7	-79.3	-80.1	-88.8	-88.2	-78.3	-78.7
34	-97.5	-107.2	-78.6	-79.1	-90.1	-91.7	-78.2	-78.5
35	-82.0	-83.8	-104.3	-97.6	-81.2	-81.2	-78.4	-78.8
36	-84.5	-84.7	-79.7	-80.0	-84.2	-84.0	-80.3	-81.0
37	-86.0	-86.2	-90.6	-91.4	-80.9	-81.3	-79.0	-79.3
38	-81.3	-81.5	-81.6	-82.3	-91.2	-90.4	-78.7	-78.9
39	-86.4	-86.2	-80.3	-80.6	-85.0	-84.7	-81.5	-82.2
40	-81.2	-81.4	-115.6	-114.8	-79.6	-79.8	-91.6	-93.4
41	-80.4	-81.3	-81.7	-82.0	-87.0	-87.8	-77.9	-78.3
42	-80.8	-81.5	-92.9	-92.9	-82.5	-82.9	-77.6	-77.8
43	-105.3	-110.7	-78.9	-79.3	-80.1	-80.6	-82.2	-81.8
44	-80.9	-81.9	-95.4	-95.7	-77.5	-77.9	-90.6	-92.5
45	-86.6	-87.8	-81.7	-82.6	-78.2	-79.0	-87.9	-87.6
46	-99.4	-104	-92.8	-80.8	-79.0	-105.7	-88.5	-79.8
47	-81.5	-83.6	-85.3	-86.1	-83.6	-84.8	-76.2	-76.9
48	-85.1	-86.8	-94.2	-97.4	-79.5	-80.1	-77.1	-77.4
49	-82.1	-85.6	-91.9	-95.9	-78.8	-84.8	-76.2	-76.4
50	-87.6	-91.7	-79.9	-81.2	-77.6	-78.5	-78.5	-79.3
51	-79.8	-83.8	-83.4	-84.6	-77.6	-85.6	-82.7	-77.9
52	-81.4	-85.7	-78.0	-80.1	-76.6	-78.1	-77.4	-78.8
53	-80.9	-85.0	-84.6	-85.4	-96.2	-86.0	-75.4	-84.4
54	-80.0	-84.7	-78.2	-80.6	-77.4	-79.0	-77.2	-78.8
55	-80.4	-85.0	-78.6	-80.5	-77.2	-77.9	-75.4	-75.2
56	-87.3	-88.6	-86.6	-86.7	-77.4	-77.7	-76.3	-76.6
57	-80.1	-80.9	-87.1	-88.6	-77.5	-77.7	-80.1	-80.8
58	-92.0	-95.8	-101.7	-101.6	-90.2	-88.1	-83.1	-81.9
59	-79.5	-80.7	-91.1	-94.1	-77.0	-77.2	-79.3	-80.3
60	-99.2	-97.1	-95.4	-92.3	-91.1	-88.1	-87.5	-85.0
61	-86.6	-89.8	-85.3	-88.4	-84.5	-87.3	-84.0	-86.7
62	-81.3	-81.3	-88.0	-94.4	-76.6	-77.0	-84.1	-81.4
63	-82.2	-82.9	-80.5	-80.8	-79.1	-79.3	-77.9	-78.2
64	-87.0	-87.3	-83.7	-84.7	-82.5	-82.7	-84.8	-85.9
65	-89.7	-88.7	-87.0	-86.0	-84.6	-84.0	-82.4	-82.4
66	-91.4	-93.1	-84.9	-85.0	-85.6	-86.8	-84.5	-84.7
67	-87.5	-89.5	-87.9	-90.0	-89.0	-91.2	-90.5	-91.6
68	-88.7	-88.9	-91.6	-92.3	-85.4	-86.1	-90.2	-92.4
69	-89.0	-88.5	-86.3	-86.7	-87.6	-89.0	-89.8	-89.6
70	-92.2	-91.0	-87.9	-87.8	-85.8	-86.5	-86.3	-87.4

4.3. Curvas de recepción de los emplazamientos con diferentes alturas

En la Figura 19 se presenta un resumen de curvas de señal recibida en el enlace Uplink para el primer emplazamiento EBC Huacapongo.

Se puede notar que las curvas en color amarillo corresponden al nivel de señal Uplink obtenido por simulación para la antena SD 226015H (en polarización horizontal) y en color azul para el nivel de señal Uplink obtenido por simulación en la antena SD 226015V (en polarización vertical). Las curvas antes descritas se han estimado para la variación de 04 valores de altura de antena en la EBC Huacapongo (30m, 25m, 20m, y 15m).

Las curvas obtenidas en color rojo corresponden al mejor nivel de señal seleccionado entre las dos polarizaciones, lo cual se ha denominado “señal ideal” que corresponde a la señal combinada (H/V) que debería ser recibida en el enlace Uplink hacia la EBC Huacapongo.

Como indicadores de desempeño de las polarizaciones ortogonales, se ha cuantificado el porcentaje de aportes que cada una de ellas ha obtenido en la curva de señal ideal. Asimismo, se ha cuantificado el porcentaje de correlación de cada una de las polarizaciones con la señal ideal Uplink recibida en la EBC Huacapongo.

De esta misma forma se ha procedido a representar el comportamiento de la señal Uplink recibida en polarización horizontal, vertical, y señal ideal para cada uno de los 04 emplazamientos de la EBC Huacapongo. En todos ellos se ha variado la altura de las antenas de la EBC en el rango 30m, 25m, 20m, 15m. Estas curvas se presentan en las Figuras 20, 21, y 22, correspondientes al 2do, 3er, y 4to emplazamiento respectivamente.

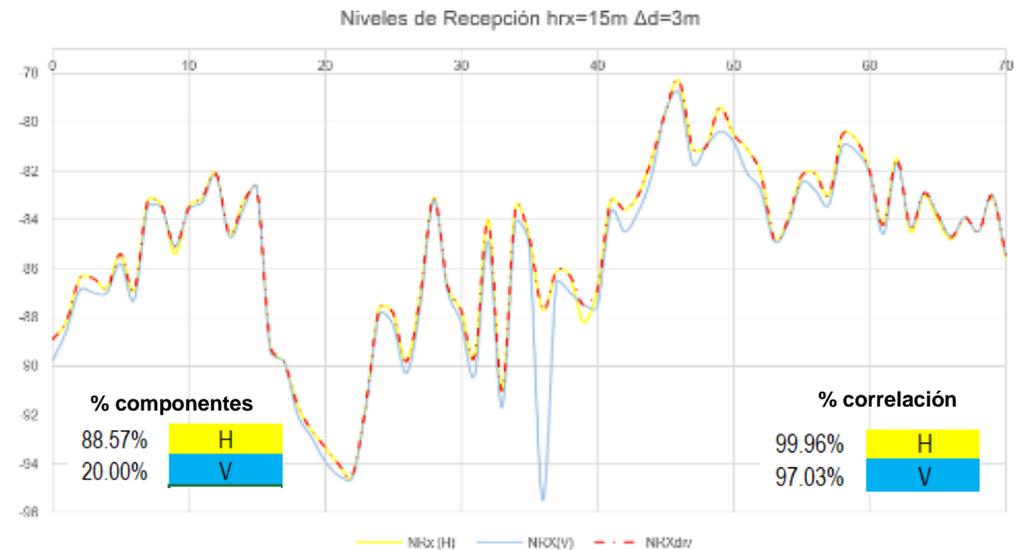
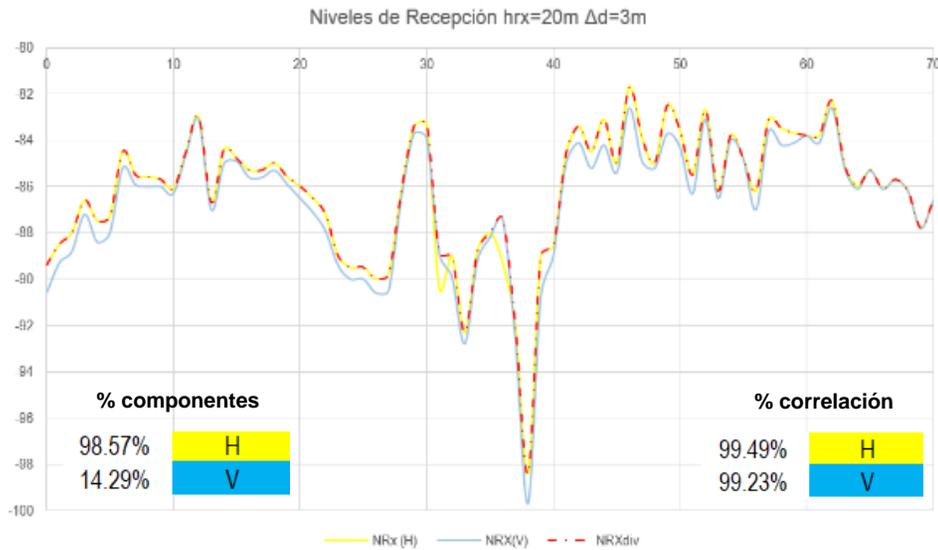
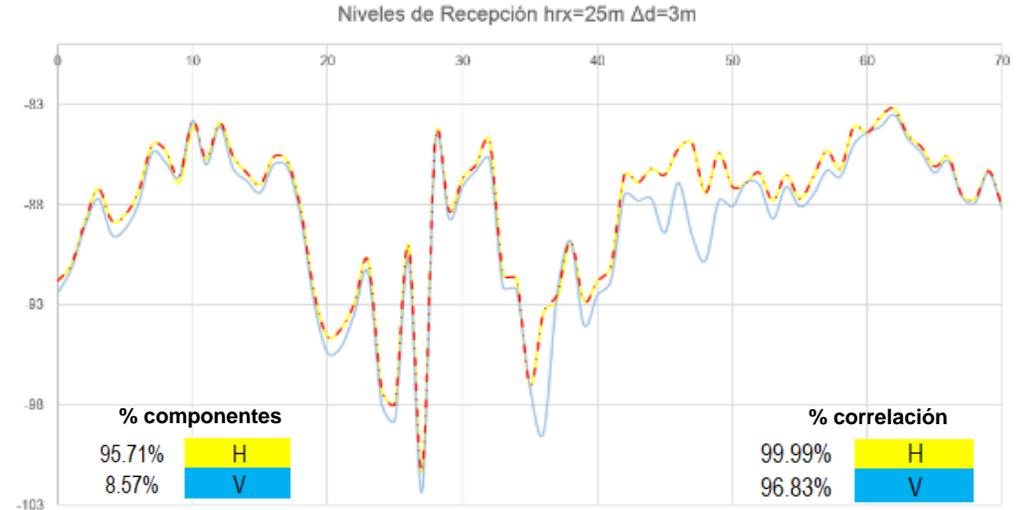
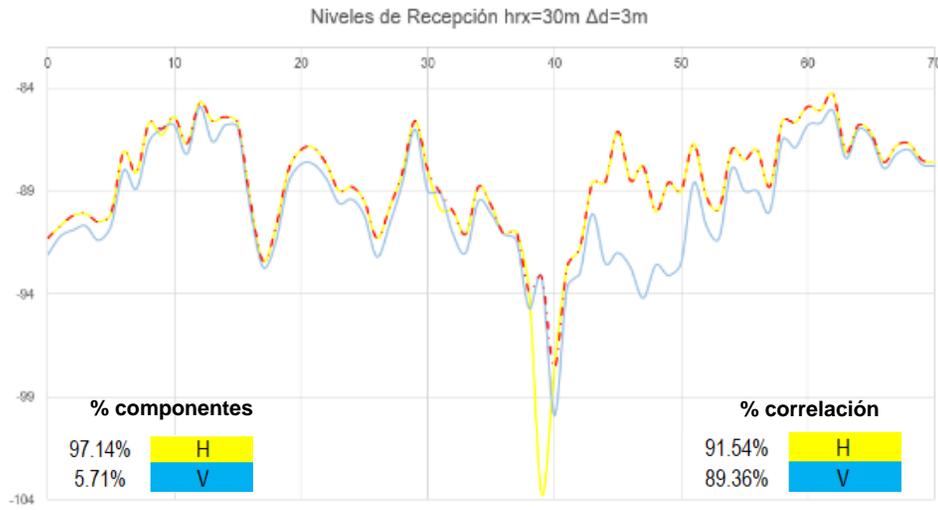


Figura 19: Gráficas señal uplink recibida en el 1er emplazamiento EBC Huacapongo

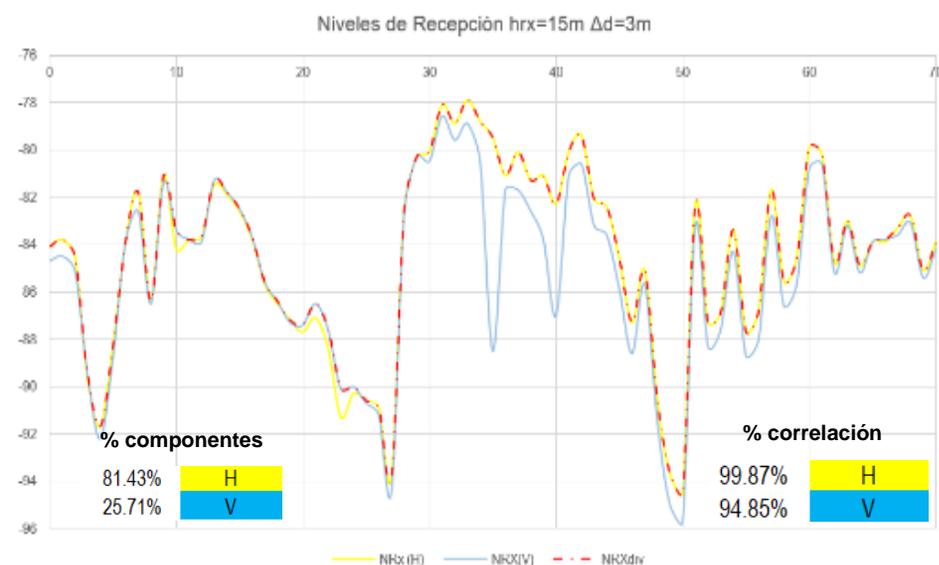
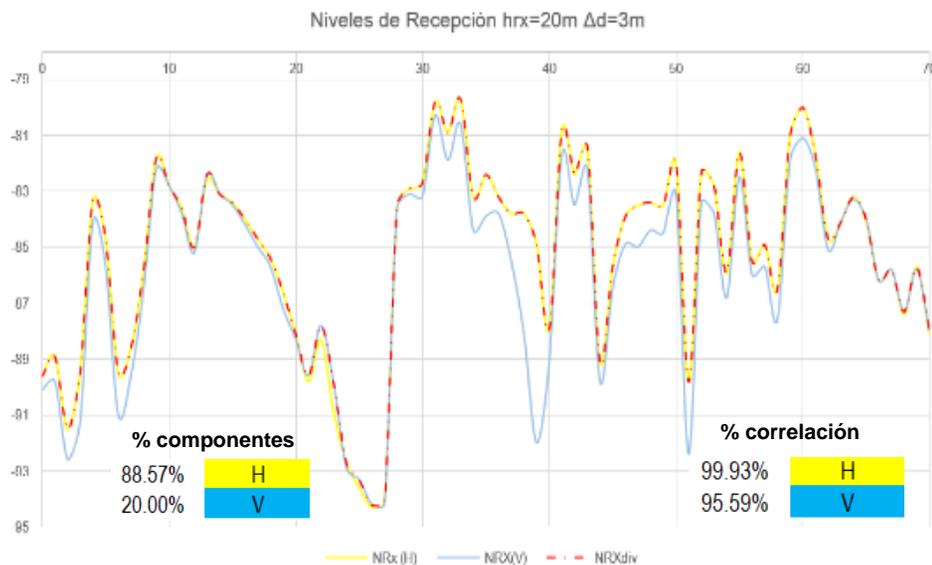
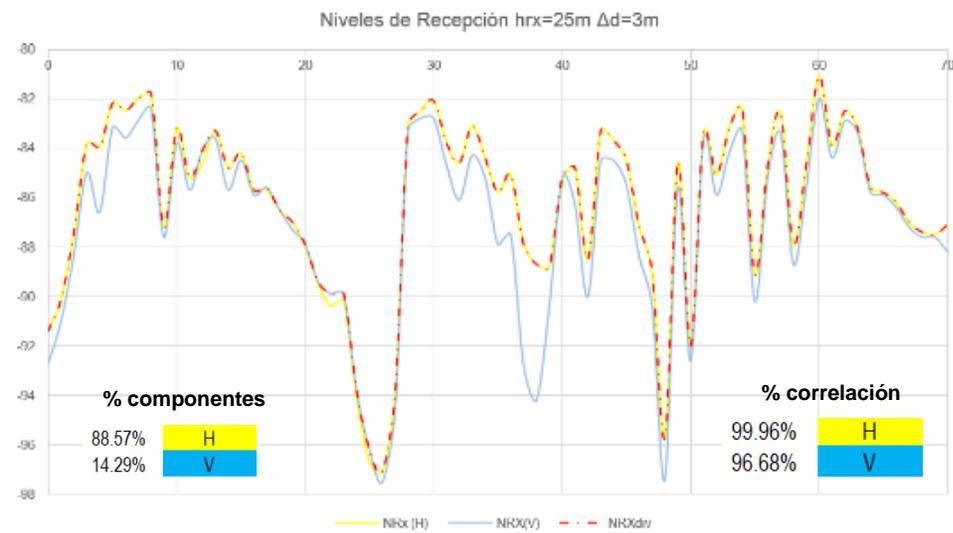
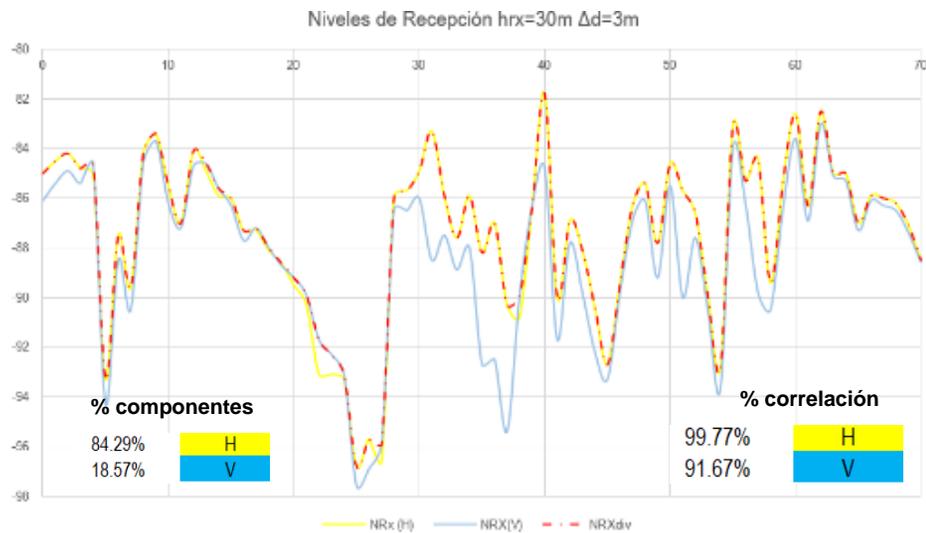


Figura 20: Gráficas señal uplink recibida en el 2do emplazamiento EBC Huacapongo

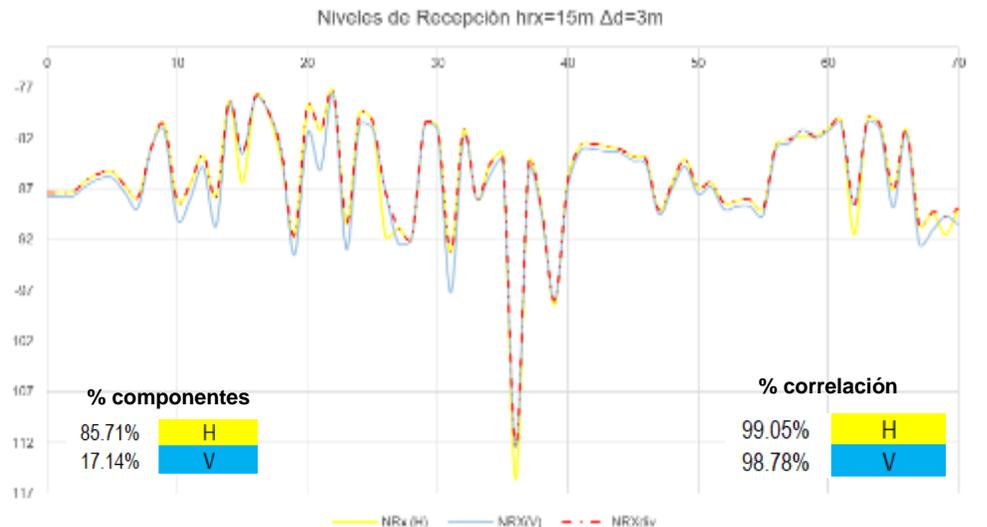
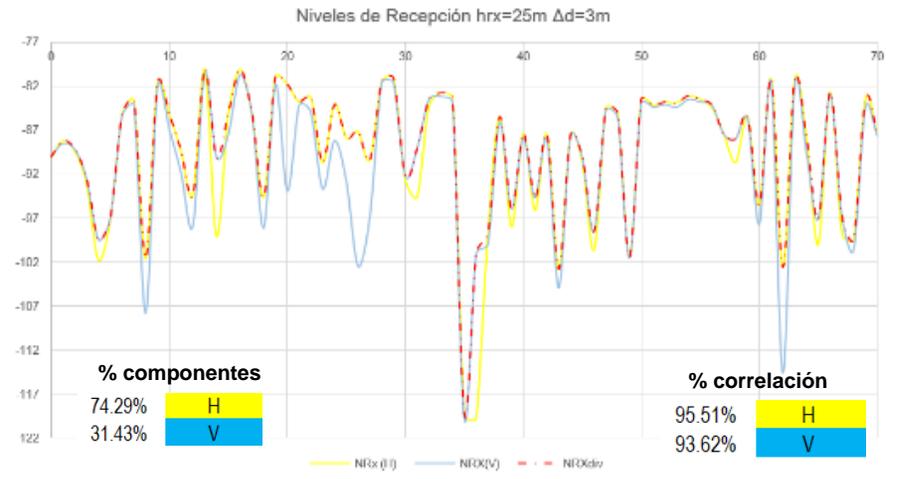
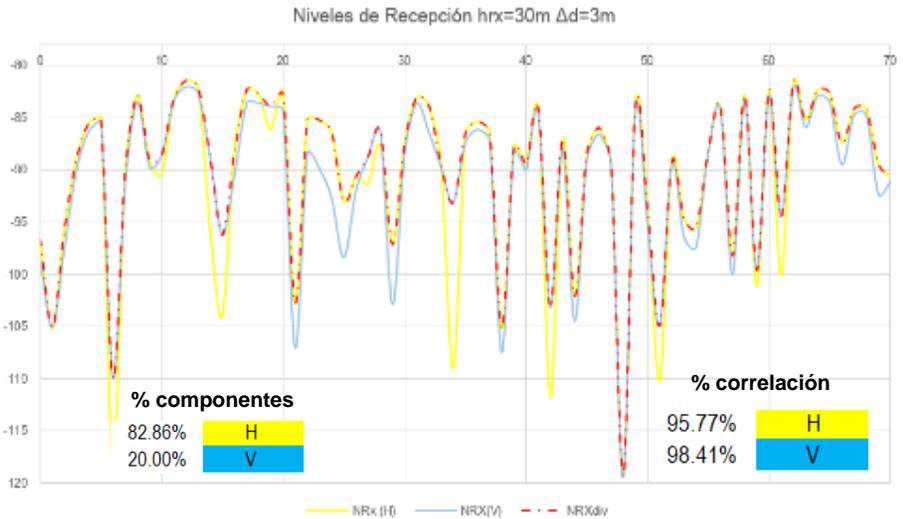


Figura 21: Gráficas señal uplink recibida en el 3er emplazamiento EBC Huacapongo

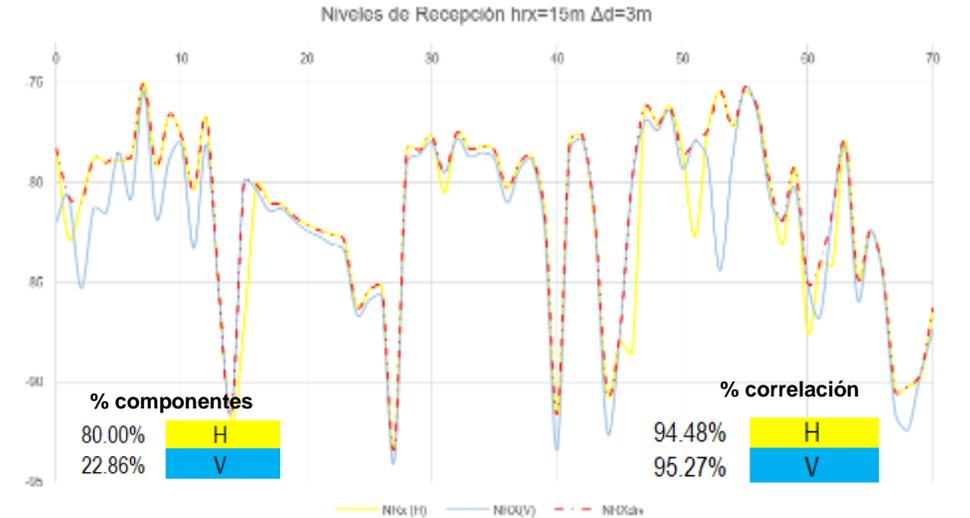
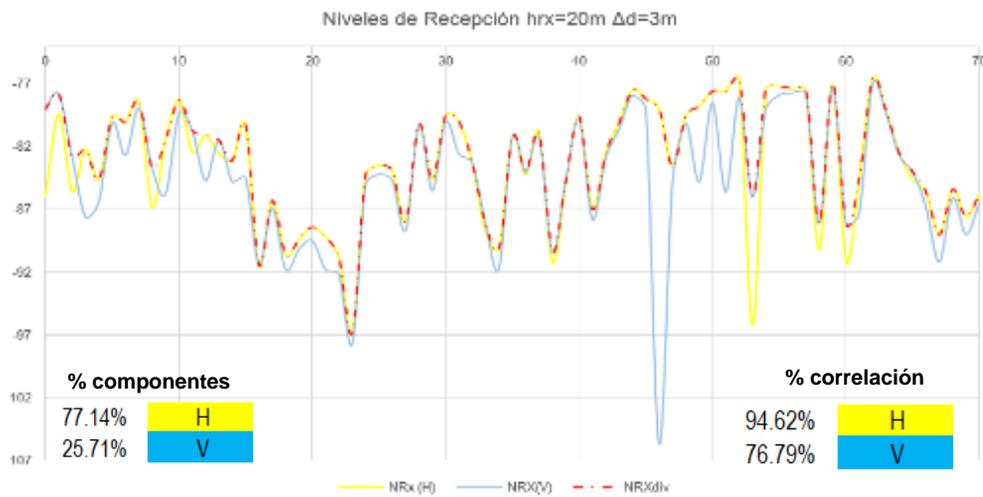
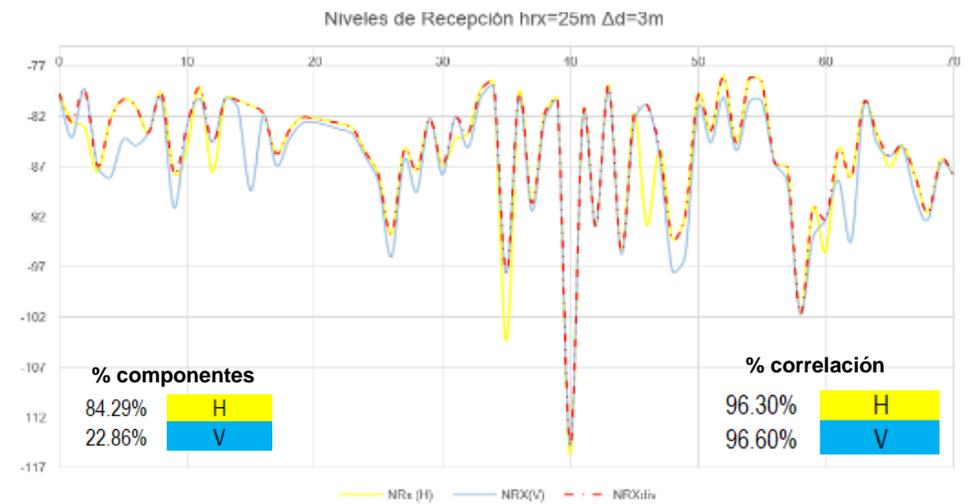
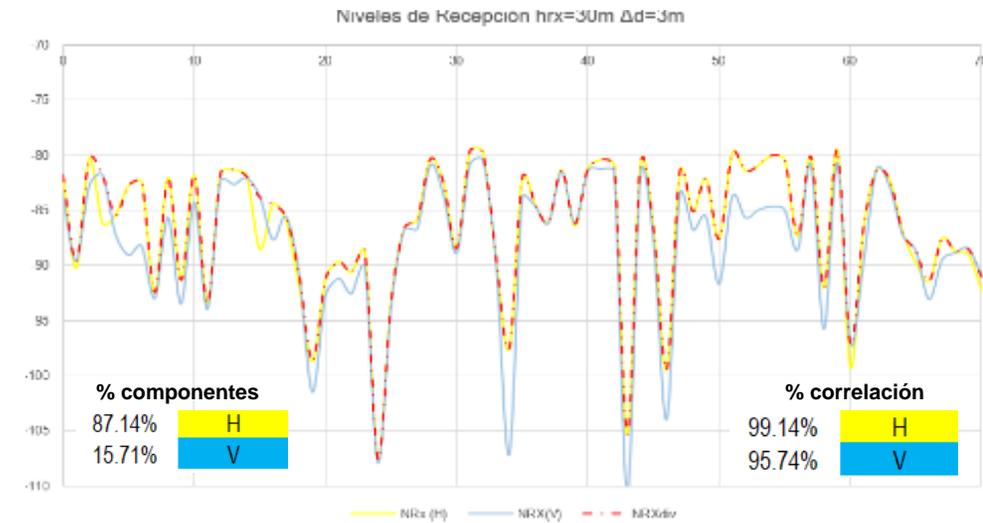


Figura 22: Gráficas señal uplink recibida en el 4to emplazamiento EBC Huacapongo

Conforme el orden de ideas presentado en las gráficas anteriores, se presenta en la Tabla 14, un resumen del porcentaje de componentes y porcentaje de correlación de cada polarización, con la señal ideal uplink (combinación H/V) en el primer emplazamiento propuesto para la EBC Huacapongo, al variar 04 aturas de antenas en la EBC.

Tabla 14

Desempeño uplink polarizaciones H/V en primer emplazamiento EBC

Alturas(m)	NRxup (% correlación a señal ideal)		NRxideal (% componentes señal ideal Uplink)	
	H	V	H	V
15	99.96	97.03	88.57	20.00
20	99.49	99.23	98.57	14.29
25	99.99	96.83	95.71	8.57
30	91.54	89.36	97.14	5.71

Se puede apreciar en la Tabla 14, que tanto el porcentaje de correlación como el porcentaje de componentes de la señal ideal, favorecen a la polarización horizontal.

En la Tabla 15, se presenta un resumen del porcentaje de componentes y porcentaje de correlación H/V, con la señal ideal uplink en el segundo emplazamiento propuesto para la EBC Huacapongo. En este caso igualmente el porcentaje de correlación y el porcentaje de componentes de la señal ideal uplink favorece a la polarización horizontal.

Tabla 15

Desempeño uplink polarizaciones H/V en segundo emplazamiento EBC

Alturas(m)	NRxup (% correlación a señal ideal)		NRxideal (% componentes señal ideal Uplink)	
	H	V	H	V
15	99.87	94.85	81.43	25.71
20	99.93	95.59	88.57	20.00
25	99.96	96.68	88.57	14.29
30	99.77	91.67	84.29	18.57

Del mismo modo en la Tabla 16, se presenta un resumen del porcentaje de componentes y correlación H/V, con la señal ideal Uplink en el tercer emplazamiento propuesto para la EBC Huacapongo. En este caso el porcentaje de correlación favorece mayormente a la polarización horizontal, excepto en la altura de 30m. Respecto del porcentaje de componentes de la señal ideal Uplink, éstos siempre favorecen a la polarización horizontal.

Tabla 16

Desempeño Uplink polarizaciones H/V en tercer emplazamiento EBC

Alturas(m)	NRxup (% correlación a señal ideal)		NRxideal (% componentes señal ideal Uplink)	
	H	V	H	V
15	99.05	98.78	85.71	17.14
20	96.69	92.99	88.57	14.29
25	95.51	93.62	74.29	31.43
30	95.77	98.41	82.86	20.00

En la Tabla 17, se presenta el resumen del porcentaje de componentes y correlación H/V, con la señal ideal uplink en el cuarto emplazamiento propuesto para la EBC Huacapongo. En este caso el porcentaje de correlación favorece a la polarización horizontal en las alturas de 20m y 30m, y favorece ligeramente a la polarización vertical en las alturas de 15 y 25m. Respecto del porcentaje de componentes de la señal ideal uplink, éstos siempre favorecen a la polarización horizontal.

Tabla 17

Desempeño uplink polarizaciones H/V en cuarto emplazamiento EBC

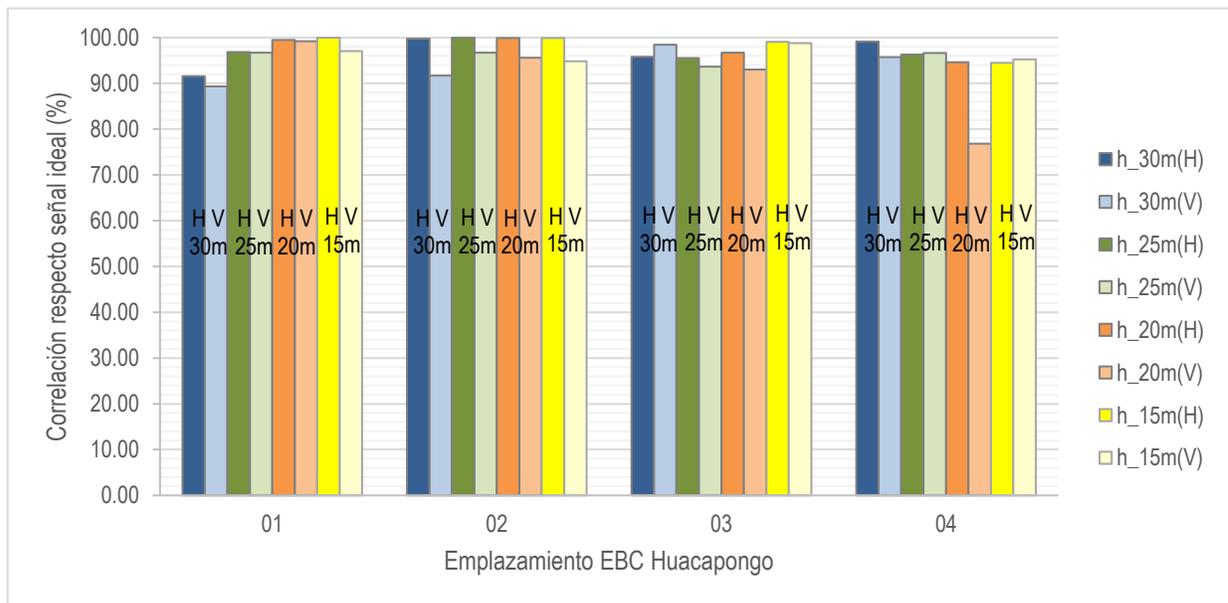
Alturas(m)	NRxup (% correlación a señal ideal)		NRxideal (% componentes señal ideal Uplink)	
	H	V	H	V
15	94.48	95.27	80.00	22.86
20	94.62	76.79	77.14	25.71
25	96.30	96.60	84.29	22.86
30	99.14	95.74	87.14	15.71

Conforme a los datos presentados en las tablas 14, 15, 16 y 17, se ha elaborado un resumen gráfico de los datos de correlación H/V y porcentaje de componentes H/V presentes en la señal combinada o señal ideal, los cuales son mostrados en las Figuras 23 y 24.

En la Figura 23 se muestra un resumen gráfico de los valores de correlación de las señales uplink recibidas en polarización horizontal y vertical, respecto de la señal combinada H/V ideal, evaluados para los 04 emplazamientos EBC propuestos para Huacapongo.

Figura 23

Gráfico de correlación respecto a la señal ideal combinada (H/V)



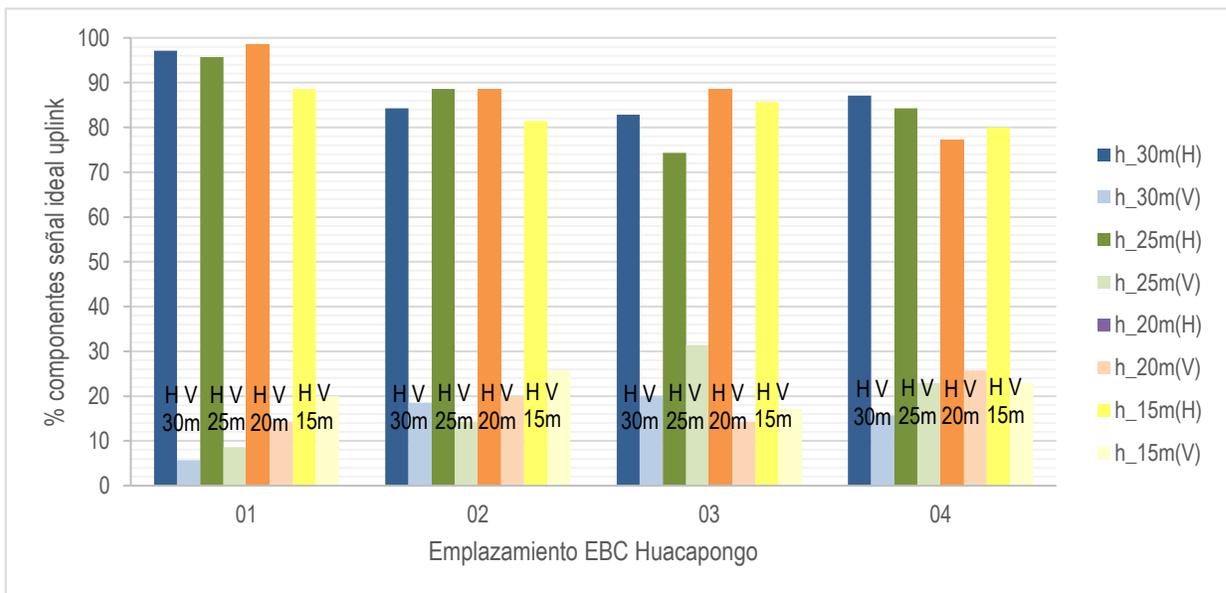
Para diferenciar las alturas de antenas EBC evaluadas (30m, 25m, 20m, y 15m), se han empleado 04 pares de colores (azul / azul claro, verde / verde claro, naranja / naranja claro, amarillo / amarillo claro), cuyos resultados de correlación son presentados para los 04 emplazamientos de EBC evaluados.

Se puede apreciar asimismo en la Figura 23, que el valor de correlación de polarización horizontal obtiene en la gran mayoría de casos, un valor superior al de polarización vertical. Sólo en el caso del 4to emplazamiento EBC la polarización vertical obtiene una correlación ligeramente superior al de polarización horizontal en las alturas de 25 y 15m.

En el mismo orden de ideas, en la Figura 24, se presenta el resumen del porcentaje de componentes en polarización Horizontal y Vertical respecto de la señal combinada uplink H/V. Respecto de este criterio, se puede apreciar que todos los casos favorecen a la polarización horizontal (entre 74% a 99%), con un máximo de 31% de aportes de componentes en polarización vertical para el caso de la altura de antena EBC 25m, en el tercer emplazamiento.

Figura 24

Gráfico del porcentaje de componentes respecto a la señal uplink



V. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis e interpretación de resultados

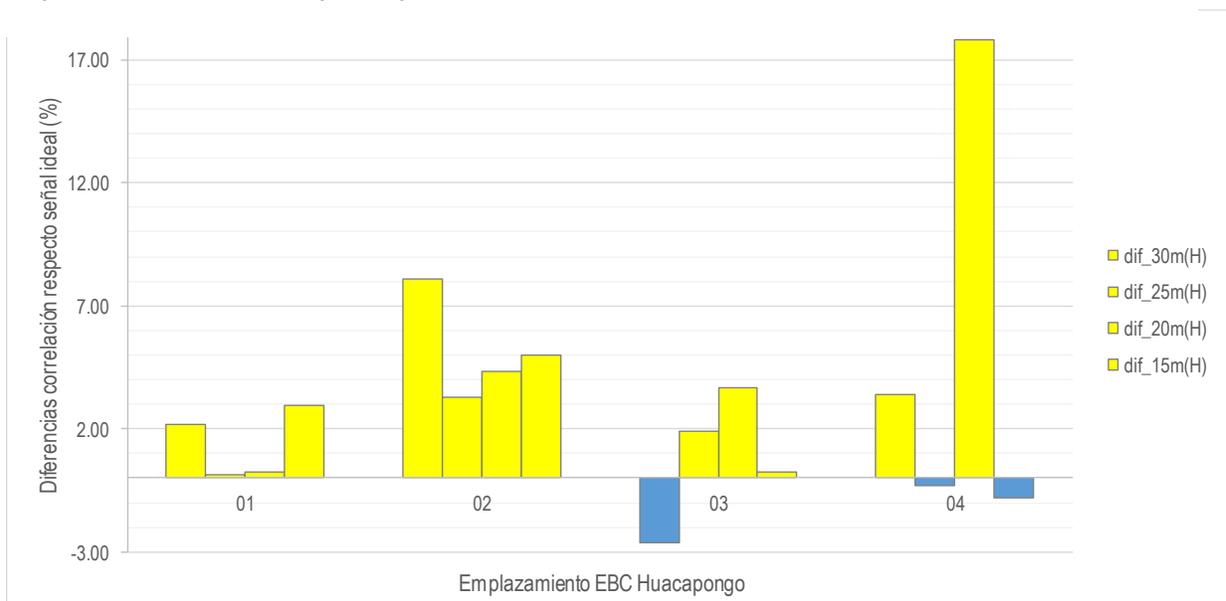
En base a los datos que se han procesado en el apartado anterior los resultados se presentaran en base a 2 criterios, primero, el análisis respecto del parámetro de correlación y, segundo, el análisis respecto a la comparación de porcentaje componentes de la señal combinada H/V uplink.

Para el caso del desempeño por correlación en la Figura 25, se muestran las diferencias de desempeños favorables a la polarización horizontal en color amarillo y a la polarización vertical en color azul.

Se puede apreciar que, al comparar los desempeños favorables a una u otra polarización de todas las evaluaciones que se han hecho por criterio de correlación, 13 de ellas favorecen a la polarización horizontal y 3 solamente han favorecido a la polarización vertical. En este sentido, la comparación del desempeño por criterio de correlación favorece en el 81.3 % de evaluaciones a la polarización horizontal y en el 18.8 % de evaluaciones a la polarización vertical.

Figura 25

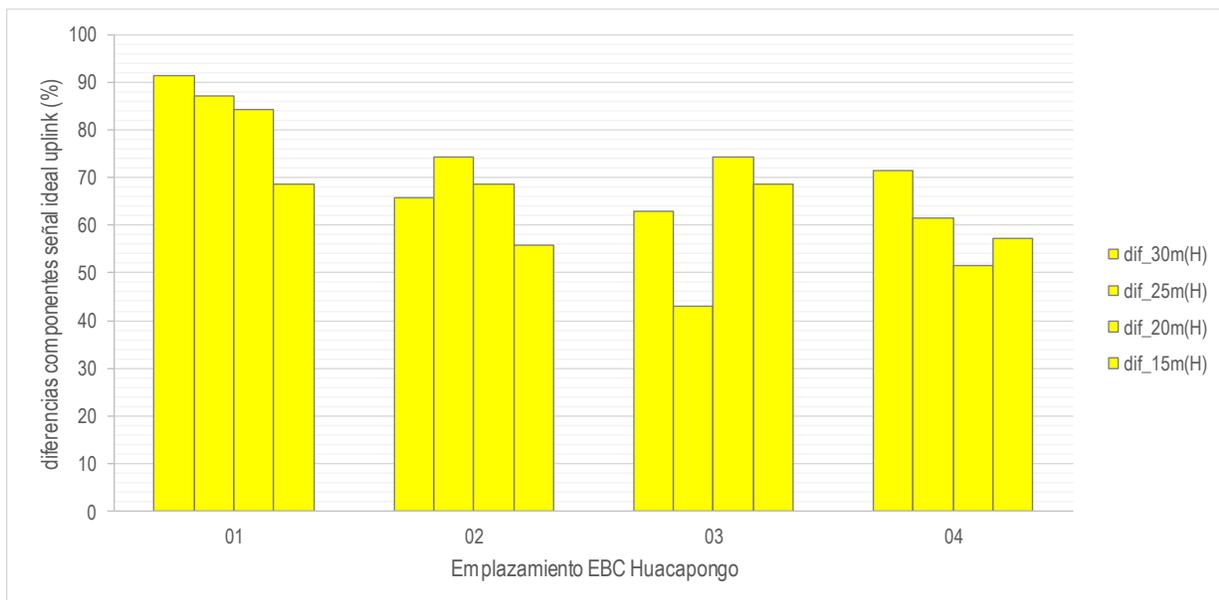
Comparación del desempeño por correlación



En la Figura 26, se muestra la comparativa del desempeño por criterio de aportes o componentes a la señal H/V (señal ideal). Como se puede apreciar, los componentes de polarización horizontal siempre superan en el 100% de evaluaciones a los componentes verticales, El caso más favorable se da en el emplazamiento N° 01, en donde la polarización horizontal posee una diferencia a favor de 91% de componentes sobre la polarización vertical, en los demás casos se mantiene sobre 40% a favor.

Figura 26

Comparación del desempeño por aporte a la señal combinada H/V uplink



5.2. Docimasia de hipótesis

De acuerdo con los criterios comparativos del desempeño de las polarizaciones por criterio de correlación y por criterio de aportes a la señal Uplink combinada H/V (ideal), en ambos casos siempre la polarización horizontal obtiene un mejor desempeño que la polarización vertical, por lo cual como resultados generales la polarización horizontal ha obtenido, en comparativa un mejor desempeño en todas las evaluaciones que se han hecho sobre la polarización vertical. Por lo cual los autores con estos resultados afirman que se ha cumplido la hipótesis propuesta.

5.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Dentro de los parámetros más importantes para poder reproducir el escenario de simulación se encuentran los parámetros de potencia, ganancia y pérdida, tanto de la estación móvil como de la estación base celular, sin embargo se resalta que uno de los datos más importantes a considerar, es el patrón envolvente de radiación (RPE), el cual debe ser obtenido para un mismo modelo de antena que pueda ser empleada en polarización horizontal y polarización vertical. En el presente trabajo se obtuvo del fabricante israelí “Stella Doradus”, el cual fue empleado en el modelamiento correspondiente en la banda de 2300 MHz.
- Los puntos representativos para los emplazamientos de estaciones móviles de usuario, se han obtenido del antecedente de Angulo & Barrena (2022) en la misma ruta drive test que se utilizó en dicho trabajo. En la presente investigación se han ampliado el número de puntos móviles de drive test, número de emplazamientos y variaciones de altura de antena EBC; con el fin de poder aumentar la cantidad de muestras que puedan ampliar los resultados de la investigación.
- Los parámetros considerados para poder estimar el desempeño uplink de polarización horizontal y vertical han sido basados en 2 criterios; criterio comparativo de correlación Pearson respecto de la señal combinada H/V ideal, asimismo el criterio comparativo del porcentaje de aportes que cada polarización consigue en la señal combinada ideal. En ambos criterios la polarización horizontal se ve favorecida.
- Al evaluar las diferencias obtenidas por criterio de correlación y por criterio de aportes a la señal combinada H/V se coincide con Gonzales J. (2017) quien obtuvo resultados favorables a la polarización horizontal en enlaces de conexión WLAN. De igual forma también se coincide con Grami, A. (2016) dado que la combinación de polarizaciones H/V mejoran la señal recibida en uplink. Del mismo modo existen diferencias en los resultados obtenidos por Carl, B. (2000) y Vásquez, A. (2012) dado que sus diferencias en cuanto la mejora obtenida por el uso de diversidad de polarizaciones se ubicó en el rango de 5 a 9 dB, en tanto

que las diferencias obtenidas en el presente trabajo ha podido llegar hasta 20 dB de mejora entre polarización horizontal y vertical. Cabe destacar que estas mejoras son obtenidas en puntos específicos. Asimismo, en términos generales la tendencia del desempeño de polarización horizontal siempre tiene una ventaja sobre la polarización vertical conforme los resultados obtenidos, existiendo puntos específicos en los cuales la polarización vertical se desempeña mejor que la polarización horizontal. Estos puntos específicos se dan en condiciones particulares donde la altura de antena del móvil, altura de antena de la estación celular, patrón específico de azimuth o elevación de polarización vertical dan como resultado una ventaja sobre la polarización horizontal.

VI. CONCLUSIONES

- Los parámetros más importante para poder reproducir mediante simulación el escenario de propagación en la banda 2300 MHz en polarización horizontal y vertical son los parámetros de potencia, ganancia y pérdida de los sistemas base celular y sistema móvil. Se resalta que uno de los datos más importantes a tener presente para la comparativa y base del modelamiento, es el patrón de radiación para cada polarización ortogonal (H/V), en la antena de estación base celular.
- Los puntos representativos han sido tomados como referencia del antecedente Angulo, D. & Barrena, L. (2022), sin embargo, en el presente trabajo se incrementó el número de puntos de la ruta drive test uplink sobre Huacapongo, incrementado también el número de emplazamientos y variaciones de altura de antena de la estación EBC.
- Los parámetros de desempeño Uplink se han evaluado a partir de los criterios de correlación con la señal combinada H/V y el porcentaje de aporte de cada polarización a la señal uplink ideal. Estos fueron los 2 parámetros más sencillos de poder calcular en base a los reportes de simulación obtenidos.
- Las diferencias obtenidas al comparar el desempeño de polarización favorecen 100 % a la polarización horizontal por criterio de aportes y 83% a la polarización horizontal por criterio de correlación 83%, Los puntos específicos donde se obtuvo mejor desempeño de polarización vertical, corresponden a emplazamientos dentro del centro poblado, en donde hay características específicas de propagación que favorecen a la polarización vertical.

VII. RECOMENDACIONES

- Una de las limitaciones que ha tenido el trabajo es la cartografía empleada, puesto que se empleó cartografía SRTM de uso libre, la cual tiene limitaciones al solamente tener una referencia limitada de construcciones y elementos sobre el área de cobertura (cluttering). Por ello se recomienda ampliar la investigación con una mejor cartografía y con un mejor cluttering data, ya sea mejorando la resolución de la cartografía o con otra herramienta de simulación.
- También se recomienda que el análisis se pueda repetir en otras bandas de frecuencia, en otras bandas que pueden obtener resultados distintos, como son las bandas móviles de 850 MHz, 1900 MHz, 3500 MHz o 5800 MHz que son también bandas disponibles para el servicio de acceso, debiendo contarse para este análisis con los correspondientes patrones de radiación de la antena en las polarizaciones a evaluarse.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- Leonhard Korowajczuk (2011). Lte, wimax and wlan network design, optimization, and performance análisis. 1er edición, John Wiley & Sons, Reino Unido.
- Wayne Tomasi. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4ta edición, Pearson Educación, México.
- GTE Lenkurt (1973) Engineering Considerations Microwave Communication Systems: "Space Diversity". GTE Lenkurt Inc.; 3rd Printing edición, San Carlos, California, EEUU.
- Vaughan, R.G. (1990) Polarization Diversity in Mobile Comunications, IEEE Transactions on Vehicular Technology (Volume: 39, Issue: 3, Aug 1990), Nueva Jersey, EEUU.
- Schandy, J. et. al (2019) Enhancing Parasitic Interference Directional Antennas with Múltiple Director Elements. Wiley Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing, Volume 2019, Department of Electrical Engineering, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Alamuti, S.M. (1998) A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Comunications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (Volume: 16, Issue: 8. AT&T Wireless Services, Redmond, WA, USA.
- 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.

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.

Grami, A. (2016) Introduction to wireless communications, Elsevier Inc. Londres, Reino Unido.

Vasquez A., Sanchez M. y Cuiñas I. (2012) Performance analysis of polarization diversity for indoor scenarios at 41.4 GHz and 61.5 GHz, Hindawi. Londres, Reino Unido.

Carl B. y Warren (2000) Smart antennas in wireless communications: Base-Station diversity and handset Beamforming, IEEE Antennas and propagation Magazine, Vol 42. Virginia, USA

ANEXOS

Anexo 1: Características técnicas antena sectorial 22 6015H SD

Electrical Specifications		Mechanical Specifications	
Gain	15dBi	Length	49cm
3dB beam Pattern	60° x 15°	Width Depth	17cm
Bandwidth	2.1-2.3GHz	Weight	9 cm
VSWR	1.8 : 1		1.4Kg
Front to Back Ratio	44dB	Windage(at 215kmph)	24kg
Polarization	Horizontal	Mechanical Tilt	0-25 degrees
Power Rating	50W	Mounting Pipe	5 cm pipe
Impedance	50 ohms		
Termination	N-female	Materials	
Cross Pol. Discrimination	22dB	Radiating Element	Beam forming PCB patch array
Surge Protection	Built in	Radome (feed)	ABS Grey
		Clamps	HDG steel + galvanised steel bolts

Anexo 2: Características técnicas antena sectorial 22 6015V SD

Electrical Specifications		Mechanical Specifications	
Gain	15dBi	Length	78cm
3dB beam Pattern	60° x 15°	Width	24.5cm
Bandwidth	2.1-2.3GHz	Depth	2.5cm
VSWR	1.8 : 1	Weight	2.7kg
Front to Back Ratio	44dB	Windage(at 215kmph)	55kg
Polarization	Vertical	Mechanical Tilt	0-25 degrees
Power Rating	50W	Mounting Pipe	9 cm pipe
Impedance	50 ohms		
Termination	N-female	Materials	
Cross Pol. Discrimination	22dB	Radiating Element	Beam forming PCB patch array
Surge Protection	Built in	Radome (feed)	ABS Grey
		Clamps	HDG steel + galvanised steel bolts