

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Estudio de variabilidad de señal en diversidad de polarización, mediante simulación
uplink en diferentes bandas de frecuencia, Virú, La Libertad-2023

Línea de investigación: Comunicación, tecnologías de la información e innovación
Sublínea de Investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Bocanegra Córdova, Víctor Hugo
Córdova García, Walter Javier

Jurado Evaluador:

Presidente : Linares Vértiz, Saúl Noé
Secretario : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel
Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor:

CERNA SÁNCHEZ, EDUARDO ELMER

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

Trujillo – Perú
2024

Fecha de sustentación: 2024/03/12

Estudio de variabilidad de señal en diversidad de polarización, mediante simulación uplink en diferentes bandas de frecuencia, Virú, La Libertad- 2023

por VICTOR HUGO BOCANEGRA CÓRDOVA

Fecha de entrega: 11-mar-2024 03:43p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2314236187

Nombre del archivo: Tesis_VBocanegra_-_WCordova_110324.docx (8.79M)

Total de palabras: 11388

Total de caracteres: 63421



Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Estudio de variabilidad de señal en diversidad de polarización, mediante simulación uplink en diferentes bandas de frecuencia, Virú, La Libertad-2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

8%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias: < 1%

Excluir bibliografía

Activo

Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Jurado de sustentación Oral



LINARES VÉRTIZ, SAÚL NOÉ
N° CIP 142213
Presidente



DE LA CRUZ RODRÍGUEZ OSCAR MIGUEL
N° CIP 85598
Secretario



ALVARADO RODRÍGUEZ, LUIS ENRIQUE
N° CIP 149200
Vocal

Entregado el: 12 de marzo del 2024

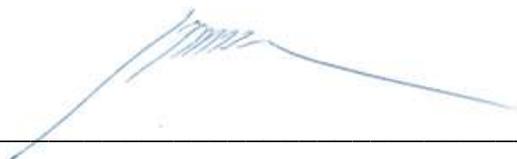
Aprobado por:



Bocanegra Córdova, Víctor Hugo.
DNI 41077431



Córdova García, Walter Javier
DNI 42142995



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

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Estudio de variabilidad de señal en diversidad de polarización, mediante simulación
uplink en diferentes bandas de frecuencia, Virú, La Libertad-2023

Línea de investigación: Comunicación, tecnologías de la información e innovación
Sublínea de Investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Bocanegra Córdova, Víctor Hugo
Córdova García, Walter Javier

Jurado Evaluador:

Presidente : Linares Vértiz, Saúl Noé
Secretario : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel
Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor:

CERNA SÁNCHEZ, EDUARDO ELMER

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

Trujillo – Perú
2024

Fecha de sustentación: 2024/03/12

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER, docente del Programa de Estudio de Pregrado de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada **“Estudio de variabilidad de señal en diversidad de polarización, mediante simulación uplink en diferentes bandas de frecuencia, Virú, La Libertad-2023”**, de los autores BOCANEGRA CÓRDOVA, VÍCTOR HUGO, y CÓRDOVA GARCÍA, WALTER JAVIER.

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 8%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 11 de marzo del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“Estudio de variabilidad de señal en diversidad de polarización, mediante simulación uplink en diferentes bandas de frecuencia, Virú, La Libertad-2023.”** y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Trujillo 11 de marzo del 2024.



CERNA SÁNCHEZ, EDUARDO ELMER

DNI: 18216463

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



Bocanegra Córdova, Víctor Hugo.

DNI 41077431

FIRMA



Córdova García, Walter Javier.

DNI 42142995

FIRMA

DEDICATORIAS

El desarrollo y resultado de este proyecto se la dedico a mi amada madre Edtih Córdova; porque siempre estuvo conmigo, apoyándome en los buenos y duros momentos, y a dios por darnos esa fortaleza de hacer posible esto en sus tiempos perfectos y maravillosos.

Victor Hugo

El agradecimiento a mi señora madre Doris García, por ser la persona más importante en mi vida, que ha estado presente siempre en los momentos de dificultad como también buenos momentos y esta no es la excepción, apoyando en cada momento que lo he requerido, así mismo por enseñarme a que nunca es tarde para realizar lo que queremos hacer. Cada momento de la vida tiene su valor, de ahí la importancia de saber apreciar las oportunidades que se nos presentan. Asimismo, agradecer al ingeniero Eduardo Cerna Sánchez por su apoyo, en conocimiento, experiencia durante todo el proceso de este proyecto

Walter Javier

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Asesor Ing. Eduardo Cerna; con sus virtudes, su paciencia y constancia, este trabajo no lo hubiéramos logrado; muchas gracias por sus palabras de aliento cuando más las necesitábamos; sus consejos, orientaciones y aportes profesionales, fueron siempre útiles para lograr este objetivo.

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

RESUMEN

La presente investigación estuvo enfocada a la evaluación del desempeño de diversidad de polarización y variabilidad de señal uplink mediante simulaciones de una estación base referencial en el Centro Poblado Rural Huacapongo, Provincia de Virú, Departamento de La Libertad. Se realizó la estimación de la señal uplink proveniente desde 71 emplazamientos representativos de drive test, en las bandas de 1700 MHz, 2100 MHz y 2500 MHz, con incrementos de 10 MHz en cada banda para la evaluación de la respuesta de la señal uplink en diversidad. Como parámetros más notables para reproducir el escenario de simulación se consideraron los patrones de radiación horizontal y vertical de antenas, así como un drive test de referencia que permita ajustar el simulador a las mediciones realizadas.

Los resultados obtenidos mostraron que el desempeño de diversidad de polarización llega a tener un impacto notable entre el 13% a 14% de puntos evaluados, incrementando la señal uplink más de 3dB por encima del promedio. Al mismo tiempo se obtuvo de 13% a 18% de puntos en los que, a pesar del incremento introducido por la técnica de diversidad no alcanzan un nivel cercano al promedio.

Respecto de la variabilidad de señal, los resultados mostraron una reducción de variabilidad desde la 15 dB en la banda de 1700 MHz, 10 dB en la banda 2100 MHz, hasta los 7 dB en la banda de 2500 MHz. Los puntos donde se evidencia más el efecto favorable de diversidad de polarización se encuentran en las cercanías y límites de cobertura de la estación base.

Palabras clave: Diversidad de polarización, señal uplink, variabilidad, desempeño diversidad.

ABSTRACT

The present research was focused on the evaluation of the performance of polarization diversity and uplink signal variability through simulations of a reference BTS in the Huacapongo rural population center, it is located in Virú Province, Department of La Libertad - Perú.

The estimation of the uplink signal coming from 71 representative drive test locations was carried out, in the 1700 MHz, 2100 MHz and 2500 MHz cellular bands, with increments of 10 MHz in each band for the evaluation of the response of the uplink signal in diversity. The most notable parameters to reproduce the simulation scenario were the horizontal and vertical radiation patterns of the antennas, as well as a reference drive test that allows the simulator to be adjusted to the measurements made.

The results obtained showed that the polarization diversity performance has a notable impact between 13% to 14% of points evaluated, increasing the uplink signal more than 3dB above the average. At the same time, 13% to 18% of points were obtained in which, despite the increase introduced by the diversity technique, they did not reach a level close to the average.

Regarding signal variability, the results showed a reduction in variability from 15 dB in the 1700 MHz band, 10 dB in the 2100 MHz band, to 7 dB in the 2500 MHz band. The points where it is most evident the favorable effect of polarization diversity are found in the vicinity and coverage limits of the base station.

Keywords: Polarization diversity, uplink signal, variability, diversity performance.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad con lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, ponemos a su disposición el informe de tesis titulado: **“Estudio de variabilidad de señal en diversidad de polarización, mediante simulación uplink en diferentes bandas de frecuencia, Virú, La Libertad-2023”**. para que sea revisado y evaluado y de ser aprobado pueda ser defendido oralmente para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico.

De antemano, nos excusamos de los errores involuntarios en que se hubiera incurrido en el desarrollo y redacción del misma, esperando del honorable jurado un justo dictamen.

Bocanegra Córdova Víctor Hugo
Córdova García Walter Javier

TABLA DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	vii
Agradecimiento.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Presentación.....	xi
Tabla de contenidos.....	xii
Índice de tablas.....	xv
Índice de figuras.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	xv
1.1 Problema de investigación	17
1.1.1 Descripción de la Realidad Problemática	17
1.1.2 Delimitación del problema.....	18
1.1.3 Formulación del Problema.....	19
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo General.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
1.3 Justificación de la Investigación	20
II. MARCO REFERENCIAL	21
2.1 Antecedentes de la Investigación	21
2.2 Marco teórico de la Investigación	24
2.2.1 Antenas.....	24
2.2.1.1 Impedancia	21
2.2.1.2 Diagrama de radiación.....	25
2.2.1.3 Ancho de haz.....	25
2.2.1.4 Directividad	25
2.2.1.5 Ganancia	25
2.2.1.6 Ancho de banda.....	26

2.2.1.7	Polarización	26
2.2.2	Técnicas de diversidad	27
2.2.3	Diversidad de Polarización	28
2.2.4	Diversidad Frecuencia	29
2.2.5	Diversidad Espacial	30
2.3	Marco Conceptual	31
2.3.1	Variabilidad de señal uplink con diversidad de polarización	31
2.3.2	Banda de frecuencia	31
2.4	Sistema de Hipótesis.....	32
2.4.1	General	32
2.4.2	Variables.....	32
2.2.1.1	Variables de estudio	32
	Variable 01	32
	Variable 02.....	32
	Operacionalización de las variables	33
III.	METODOLOGÍA EMPLEADA	35
3.1	Nivel de Investigación	32
3.2	Población y Muestra de Estudio.....	32
3.3	Diseño de investigación	33
	Esquema Gráfico del diseño de investigación:.....	33
3.4	Procedimiento	33
3.5	Recolección de Información	34
3.5.1	Datos generales del Centro Poblado.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2	Servicio celular en el Centro Poblado	¡Error! Marcador no definido.
3.5.3	Datos técnicos de las bandas a evaluar	¡Error! Marcador no definido.
3.5.4	Emplazamiento de referencia en el centro poblados	¡Error! Marcador no definido.

3.5.5 Características referenciales para estación móvil usuario	41
3.5.6 Puntos de drive test referencial para estación móvil usuario	¡Error!
Marcador no definido.	
3.6 Procesamiento de Información.....	45
3.6.1 Reportes de simulación obtenidos	45
3.6.2 Parámetros analizados en reportes de simulación	49
IV. PRESENTACION DE RESULTADOS	51
4.1 Análisis e interpretación de resultados.....	51
4.2 Docimasia de hipótesis.	57
4.3 Discusión de Resultados	588
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. RECOMENDACIONES.....	64
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	65
Anexo 01	72
Anexo 02	72

ÍNDICE DE TABLAS	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de la Variable 01	30
Tabla 2 Operacionalización de la Variable 02	31
Tabla 3. Distribución de la banda AWS	37
Tabla 4. Distribución de la banda 2500 MHz	37
Tabla 5. Características referenciales para EBC Huacapongo	39
Tabla 6. Características referenciales simulación RF EBC Huacapongo	40
Tabla 7. Características referenciales simulación móvil usuario	41
Tabla 8. Reporte simulación señal uplink banda 1700 MHz	46
Tabla 9. Reporte simulación señal uplink banda 2100 MHz	47
Tabla 10. Reporte simulación señal uplink banda 2500 MHz	48
Tabla 11. Extracto parámetros de análisis reportes simulación	50
Tabla 12. Promedio y variabilidad señal uplink en diversidad de polarización	54

ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
Fig. 01 Tipos de Polarización	24
Fig. 02 Sistema de Diversidad de Polarización Recepción	25
Fig. 03 Sistema de Diversidad de Polarización Recepción/transmisión	26
Fig. 04. Esquema de Diversidad de Frecuencia	27
Fig. 05. Esquema de Diversidad de Espacio	28
Fig. 6. Vista satelital del centro poblado Huacapongo	34
Fig. 7. Ruta por mapa Trujillo - Huacapongo	35
Fig. 8. Datos estadísticos referenciales Huacapongo	35
Fig. 9. Emplazamiento de referencia para la EBC Huacapongo	38
Fig. 10. Configuración referencia simulación uplink EBC Huacapongo	42
Fig. 10. Ubicación de puntos drive test en el centro poblado	44
Fig. 11. Resumen Div. Pol. en bandas 1700 MHz, 2100 MHz, 2500 MHz	53
Fig. 12. Div. de polarización: señal y variabilidad 1700, 2100, 2500 MHz	55
Fig. 13. Loc. ptos Div. Pol. en bandas 1700 MHz, 2100 MHz, 2500 MHz	60

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Según MTC (2021), conforme la evolución de las redes celulares, aún se tiene pendiente mejorar la infraestructura de redes de telecomunicaciones instaladas en las zonas rurales del país. Debido a factores geográficos, climáticos, y otros; las poblaciones de esos sectores tienen desventajas en el acceso a las tecnologías digitales, siendo importantes para su desarrollo social, educativo y económico. En tal sentido, existe un objetivo común entre el estado y la empresa privada, para extender las redes de acceso móvil, mejorar la accesibilidad a internet de banda ancha mediante el despliegue de redes de fibra óptica, principalmente en las zonas rurales del país.

Global System Mobile Association - GSMA (2014), indica que las bandas frecuencia llamadas AWS (Servicios Inalámbricos Avanzados) comprendidas por 1700, 2100 MHz, así como la banda 2.5 GHz son bandas de que poseen canales con importantes capacidades de transmisión de datos, permitiendo ampliar y mejorar el acceso a los servicios móviles. En tal sentido, estas bandas están incluidas dentro de los planes de despliegue de redes inalámbricas hacia zonas rurales en el Perú, en donde es factible emplear la técnica de diversidad de polarización para el acceso uplink.

Según Antonio C. y Rubén F. (2014), las redes de comunicaciones móviles se ven afectadas por cuatro tipos de fenómenos que deforman la información durante la propagación de señales entre equipos de usuario y estación base. Entre estos fenómenos se pueden señalar atenuación, distorsión, ruido, y retardo de transmisión, teniendo como inconveniente no permitir la interpretación correcta de los datos afectando la calidad de comunicación.

Rey M. Francesc y Villeras P. Nemesio (2014), indican que, la polarización de una onda radioeléctrica viene definida por la dirección del vector campo eléctrico. Este vector se puede estar conformado por los componentes ortogonales (Horizontal y Vertical). Como en general el campo eléctrico experimenta desvanecimientos y despolarización al propagarse hacia la estación base, se hace necesario el uso de la técnica de diversidad de polarización para mejorar el nivel de señal recibido en uplink.

Murillo, J. (2008), señala que, la geografía del terreno influye en la amplitud de los componentes horizontal o vertical del campo eléctrico. Esto debido al fenómeno de reflexión y dependencia climática de su radiopropagación. En tal sentido, esta fenomenología puede a su vez influir en el comportamiento de la señal uplink en diversidad de polarización.

Angulo D. y Barrena, L. (2022), realizaron un estudio en una zona rural de la provincia de Virú, Departamento de La Libertad, en la cual identificaron zonas de ocurrencia de desvanecimiento downlink en diferentes bandas de frecuencia. En este orden de ideas, la frecuencia puede cambiar también el comportamiento o variabilidad de señal del enlace uplink con diversidad de polarización. En particular, los centros poblados rurales de rugosidad moderada de la franja costera peruana, tales como los pertenecientes al Departamento de La Libertad presentan facilidades para la simulación de su radiopropagación, siendo el interés académico el estudio de la variabilidad de señal uplink en diferentes bandas de frecuencia.

1.1.2 Delimitación del problema

De acuerdo al orden de ideas expresado anteriormente, los autores consideraron una notable oportunidad de investigación describir y analizar el comportamiento de la variabilidad de señal en diversidad de polarización con la variación de la frecuencia, proponiendo para ello un estudio que permita analizar dicho comportamiento tomando como referencia dicha variabilidad. Todo ello mediante procesos de simulación de enlaces uplink en una zona rural de la provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

Asimismo, teniendo en cuenta, las bandas disponibles, las limitaciones en el proceso de simulación, las facilidades de acceso a recopilación de información en una zona rural. El desarrollo de este trabajo de investigación propuso centrarse en las bandas de acceso radio 1700, 2100 y 2500 MHz, tomando como referencia una zona rural de la provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

1.1.3 Formulación del Problema

¿Cómo se comporta la variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización para diferentes bandas de frecuencia, al evaluarse mediante simulaciones en un centro poblado del Departamento de La Libertad?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Describir el comportamiento de la variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización en diferentes bandas de frecuencia, mediante simulaciones de acceso radio en una zona rural del Departamento de La Libertad.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros técnicos más relevantes para reproducir la propagación uplink con diversidad de polarización en diferentes bandas de frecuencia en una zona rural de Virú, Departamento de La Libertad.
- Determinar las principales características de bandas de frecuencia y puntos representativos disponibles en una zona rural de Virú, Departamento de La Libertad para la estimación de señal uplink con diversidad de polarización.

- Determinar mediante proceso de simulación, parámetros de comportamiento de la diversidad de polarización en diferentes bandas de frecuencia en una zona rural de Virú, Departamento de La Libertad.
- Evaluar el nivel y variabilidad de señal uplink recibida con diversidad de polarización, en las diferentes bandas de frecuencia, identificando posibles factores que puedan favorecer o desfavorecer su desempeño.

1.3 Justificación de la Investigación

El proyecto se desarrolló sobre una justificación académica, teniendo como objetivo describir el comportamiento de la señal en diversidad de polarización, en diversas bandas de frecuencia, orientándose a profundizar criterios de diseño en redes de acceso radio en una zona rural de La Libertad, cuyos hallazgos podrán ser ampliados a otras zonas rurales.

El proyecto tuvo también una justificación técnica, y social, porque los hallazgos específicos que aporten al diseño de diversidad de polarización en una zona rural de la Libertad. Podrán ser tomados en cuenta a futuro e impactar en el diseño y calidad de señal y servicio hacia los usuarios.

II. MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes de la Investigación

- Cipirán, B. y Caballero, M. (2022) en la investigación denominada **“Análisis del Desempeño de Polarización Horizontal y Vertical Mediante Simulación de enlaces de Acceso Uplink 2300 MHz, la Libertad 2022”**, realizaron una comparación del comportamiento de señal uplink con polarizaciones horizontal y vertical en la banda de frecuencia 2300 MHz. La señal uplink ideal (compuesta), fue comparada con la señal uplink de cada polarización ortogonal (H/V) teniendo en cuenta dos criterios, correlación y aporte de componentes vertical y horizontal a la señal ideal. Los resultados obtenidos por correlación favorecieron en un 83% a la polarización horizontal. Asimismo, en un 100% a la misma polarización al evaluarse por componentes. Se considera como aporte principal los criterios de evaluación del desempeño respecto de polarizaciones ortogonales.
- 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 de desvanecimientos downlink en 30 emplazamientos receptores de usuarios en la zona rural de Huacapongo - Virú, en diferentes canales, frecuencias y bandas de acceso radio, logrando identificar 4 puntos con mayor tendencia a fluctuaciones críticas en todas las bandas evaluadas. Se considera que el principal aporte consiste en la metodología y puntos drive test identificados para caracterizar el comportamiento de la señal, que sirvió como referencia para el análisis uplink del presente trabajo de investigación.

- Bergadà, P., Alsina-Pagès, R. M., & Hervás, M. (2017), en el artículo titulado **“Polarization diversity in a long-haul transequatorial HF link from Antarctica to Spain”**; describieron un conjunto de experimentos que examinaron la factibilidad de aplicar diversidad polarización a un enlace ionosférico de 12.760 km. Se utilizó un monopolo transmisor y un dipolo tipo V invertida. Las antenas receptoras fueron polarizadas ortogonalmente para comprobar si la rotación de la polarización de onda provocaba diferencias entre señales simultáneas. Los resultados recogidos en el trabajo indicaron que existe una marcada diferencia entre las señales simultáneas en antenas polarizadas vertical y horizontalmente, con dependencia de la hora del día y la frecuencia de la señal. Como principal aporte se rescata la valorización de la diversidad de polarización como técnica para aumentar la relación señal ruido (SNR) a través de una combinación adecuada de señales de recepción, lo cual sirve como referencia de discusión en el presente trabajo de investigación.
- Ndao P.M., Erhel Y., Lemur D., Oger M. y Le Masson J. (2013), en el artículo titulado **“Development and test of a trans-horizon communication system based on a MIMO architecture”**; presentaron una arquitectura MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) que utilizaba diversidad de polarización para aumentar la capacidad de los radioenlaces de alta frecuencia (HF) a través de un canal ionosférico con el uso de antenas múltiples (MIMO). La caracterización física de los enlaces se centró en la polarización de ondas de radio. Los resultados obtuvieron una reducción de la inter espaciado de antenas y modelamiento de la capacidad y propagación ionosférica. Asimismo, una ecualización de la señal en el dominio de la frecuencia. Se considera como principal aporte el uso de la combinación de polarizaciones y antenas múltiples para alcanzar una respuesta plana en frecuencia, lo cual sirve como una referencia comparativa en el presente trabajo.

- Kapinas, V., Ilic, M., Pejanović-Đurišić, M., & Karagiannidis, G. (TELFOR 2007) en el artículo titulado “**Aspects on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication Systems**”; describieron una sinopsis del uso combinado de Diversidad de Polarización (PD) y Diversidad Espacial (SD), empleadas en los actuales sistemas de comunicación para mitigar el desvanecimiento por multitrayecto. Se considera como aporte principal la descripción de características del uso combinado de diversidad de espacio y diversidad de polarización, es decir una diversidad híbrida (SPD – Space Polarization Diversity), que sirve como referencia comparativa.

2.2 Marco teórico de la Investigación

2.2.1 Antenas

Según Murillo J. (2012) se concibe por antena a un elemento pasivo que permite el acoplo de impedancia para radiar energía al espacio en forma de ondas electromagnéticas. Típicamente estas ondas son denominadas ondas TEM (transversal electromagnética). Por el principio de reciprocidad la antena también puede recibir estas ondas radioeléctricas y guiar estas perturbaciones a los circuitos de recepción para poder ser traducidas en corriente o energía eléctrica. De esta forma se describen a continuación los parámetros más importantes respecto del comportamiento de una antena.

3.2.1.1 Impedancia

De acuerdo a Anguera J. y Pérez A. (2008), el parámetro está referido como una impedancia de entrada, siendo posible su estimación a través de la razón entre el voltaje y corriente que ingresa en el conector de entrada de antena. La impedancia se compone de una parte real y una imaginaria y ambas dependen de la frecuencia.

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (1)$$

Donde:

Z_a = Impedancia

R_a = Resistencia de Entrada

X_a = Reactancia de Entrada

La parte real es R_a , la cual representa la disipación de energía que puede ocurrir por la radiación electromagnética que es emitida desde la antena, o también por las pérdidas por disipación de potencia en forma de calor que puede experimentar dicha antena. La impedancia de entrada es un parámetro de suma importancia, esto inclusive estandariza su uso respecto del valor de voltaje que ser suministrado por la fuente RF para obtener una corriente que permita la radiación en la antena.

3.2.1.2 Diagrama de radiación

Según Albornoz J. (2011) El diagrama de radiación es una representación de la potencia radiada alrededor de una antena transmisora. Este patrón de radiación representa gráficamente la intensidad de energía radiada en todas direcciones espaciales desde el centro de la antena. Para el caso de una antena receptora, el patrón de radiación representa la sensibilidad de la antena cuando un frente de onda incide sobre ella proveniente desde cualquier dirección espacial. Para facilitar la visualización de los haces de energía, se suele presentar el patrón de radiación en cortes desde dos planos: el plano horizontal (vista azimutal o vista superior) y el plano vertical (vista de elevación o vista lateral). La representación se puede realizar en coordenadas polares o XY.

3.2.1.3 Ancho de haz

El ancho de haz también es conocido como ángulo de media potencia, y este define la apertura del lóbulo principal de radiación de la antena. El término más utilizado para referirse a este parámetro es Half Power Beamwidth (HPBW ancho de haz de media potencia) el cual se determina como la separación angular entre los puntos en donde la potencia cae a la mitad de su nivel máximo (- 3dB), por esta razón a este ángulo también se le conoce como ángulo de ancho del haz de 3 dB.

3.2.1.4 Directividad

La directividad de una antena se define en términos de densidad de potencia. Es estimada como la relación entre densidad de potencia en una dirección dada y la densidad de potencia promedio evaluada sobre todas las direcciones de propagación. Si la densidad de potencia es multiplicada 4π , el valor obtenido se conoce como intensidad de radiación.

3.2.1.5 Ganancia

La ganancia de una antena se define a partir de una comparación con la radiación de una antena modelo (típicamente la antena modelo es una antena isotrópica, es decir con radiación simétrica en todas las direcciones). En este sentido la ganancia puede entenderse como el cociente entre la intensidad de radiación de la antena evaluada y la radiación de la antena modelo.

Típicamente este cociente o ganancia es expresada en unidades logarítmicas (dBi para antenas isotrópicas). La antena modelo puede ser también un dipolo de media onda (dBd para antenas dipolo).

3.2.1.6 Ancho de banda

Según Balanis C. (2016) El ancho de banda de una antena se define a un rango de frecuencia RF dentro del cual sus parámetros se ajustan dentro de valores específicos aceptables por un estándar. El rango del ancho de banda considera una frecuencia mínima, frecuencia central y frecuencia máxima donde las características técnicas de la antena mantienen un valor estable y aceptable.

3.2.1.7 Polarización

Según Tomasi (2003) la polarización de una antena está definida por la orientación de su campo eléctrico respecto de un plano de referencia. Los tipos de polarizaciones más elementales son la polarización horizontal (variación de campo paralela al plano horizontal), polarización vertical (variación de campo perpendicular al plano horizontal). A partir de estas polarizaciones básicas se pueden obtener arreglos de polarización más complejos como: polarización circular o elíptica (giro a izquierda o derecha). Así como polarización cruzada $\pm 45^\circ$. La Figura 01 muestra las diversas polarizaciones que se acaban de referir.

Donde:

- a: Polarización Lineal
- b: Polarización Elíptica
- c: Polarización Circular

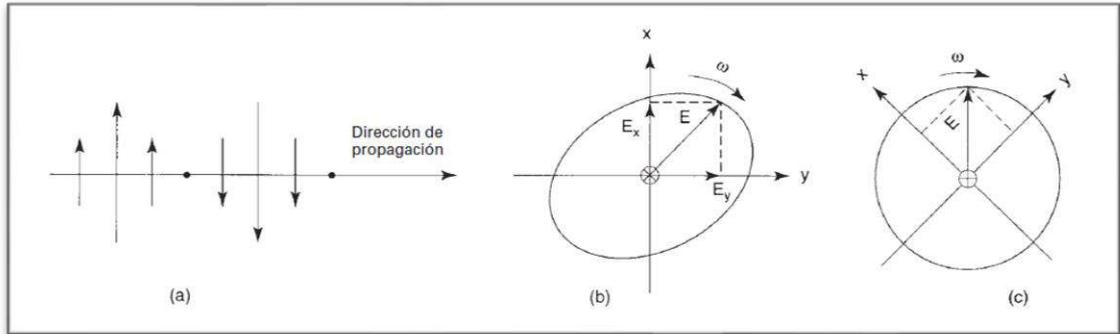


Fig. 01. Tipos de Polarización

Fuente: Tomasi. (2003)

2.2.2 Técnicas de diversidad

Yáñez P. (2009), indica que las técnicas de diversidad consisten en la transmisión / recepción de la misma información por rutas radioeléctricas diferentes (típicamente 02 rutas), de manera que se vean afectadas de formas contrapuestas ante la aparición de desvanecimientos.

Asimismo, se indica que las entradas correspondientes brindan al receptor dos o más entradas no correlacionadas, es decir con una correlación fuertemente negativa para que de esta manera desvanecimientos de señal no afecten de la misma forma a todas las entradas disponibles. Es decir, si la primera entrada es afectada por el desvanecimiento, la segunda no debería ser afectada con la misma intensidad, y viceversa. Los circuitos de recepción pueden elegir la entrada de mayor intensidad (hitless) o combinarlas para reducir el desvanecimiento de la señal resultante.

2.2.3 Diversidad de Polarización

Respecto de la diversidad por polarización, se utiliza una sola portadora de radio frecuencia (Ej. Uplink) que se propaga con 2 polarizaciones ortogonales diferentes (vertical y horizontal). En el lado receptor debido a que las condiciones de propagación afectan de manera distinta a cada polarización, uno de los componentes ortogonales H/V poseerá mayor intensidad de señal, la cual es seleccionada o procesada en la etapa receptora. La diversidad de polarización se suele usar en antenas de estaciones base, en conjunto con un arreglo de diversidad espacial, típicamente con separación horizontal de antenas, cada una de ellas en una polarización distinta.

Un parámetro importante descrito en el sistema de diversidad de polarización es el coeficiente de correlación entre las señales recibidas. Desde la diversidad de polarización se asume la utilización de una sola antena polarizada dual en la estación base. Según los estudios presentan que múltiples sistemas de antenas pueden lograr una significativa ganancia de diversidad, con un coeficiente de correlación menor a 0.7. Por lo tanto, la diversidad de polarización presenta una solución efectiva en costos. Una típica configuración de sistema de diversidad de polarización consiste en una antena transmisora y una antena receptora de dual polarización de acuerdo a la Figura 02.

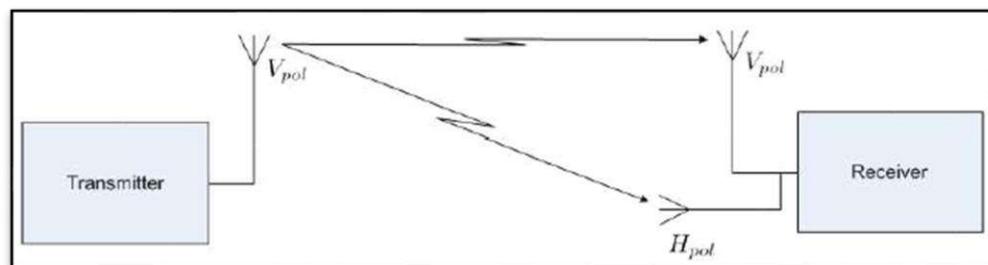


Fig. 02. Sistema de Diversidad de Polarización Recepción

Fuente: Kapinas V. Ilic M., Karagiannidis G., Pejanovic M. (2007). Comunicaciones: Aspects on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication Systems, page 2.

En la figura 03 se presenta una configuración adicional, para incrementar la diversidad con antenas duales de polarización en la recepción y transmisión.

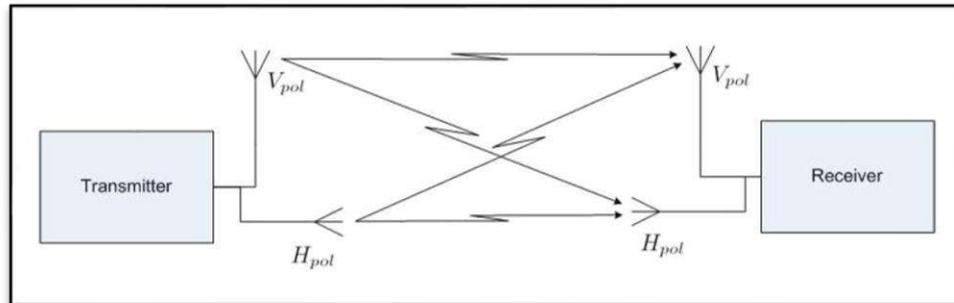


Fig. 03. Sistema de Diversidad de Polarización
Recepción/transmisión

Fuente: Kapinas V. Ilic M., Karagiannidis G., Pejanovic M. (2007). Comunicaciones: Aspects on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication Systems, page 2.

2.2.4 Diversidad Frecuencia

Rey M. Francesc.; Villares P. Javier (2014), indica y detalla que para que la técnica de diversidad de frecuencia toma como base la naturaleza dispersiva del trayecto de propagación, es decir, que en diferentes frecuencias se reciba la misma señal con retardos relativos suficientemente grandes para generar un comportamiento no correlacionado de sus desvanecimientos. Esta condición es denominada desvanecimiento selectivo en frecuencia; por lo cual se puede transmitir la señal en varias frecuencias, de manera que el receptor puede seleccionar o combinar a conveniencia estas señales, consiguiendo con ello reducir el impacto de los desvanecimientos, reduciendo las fluctuaciones de señal recibida y mejorando la disponibilidad y confiabilidad de la comunicación.

En la Figura 04 se presenta un esquema de transmisión con dos frecuencias portadoras.

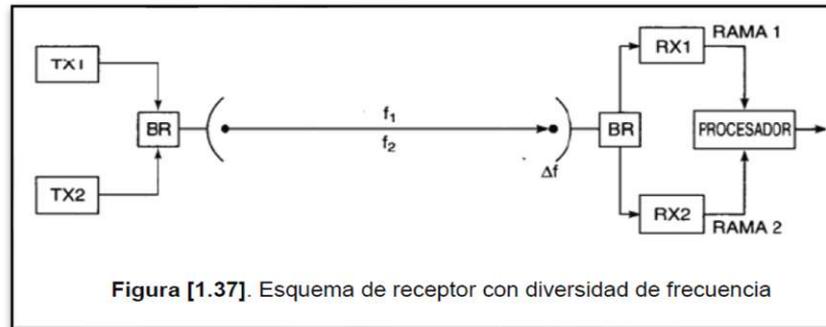


Fig. 04. Esquema de Diversidad de Frecuencia

Fuente: Yanez P. (2003), Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistema de radio Comunicaciones, page 59

2.2.5 Diversidad Espacial

Marrufo R. Sabino B. (2017), indican y detallan que la diversidad de espacio, puede obtenerse instalando múltiples antenas en los lados transmisor / receptor. En este sentido el comportamiento no correlacionado de los desvanecimientos en cada antena se logra cuando se encuentran lo suficientemente separadas entre sí. Para el caso de enlaces punto a punto se suele utilizar separación vertical de antenas. Para el caso de acceso móvil en BTS se suele utilizar separación horizontal de antenas. La separación de antenas puede estimarse en función del retardo de los trayectos radioeléctricos, así como de la frecuencia de la portadora. La figura 05, se presenta un esquema de diversidad espacial, con dos antenas receptoras. Para el caso de comunicaciones móviles se suelen emplear separaciones de antenas equivalentes a la mitad del ancho de banda de la portadora. En el caso de enlaces fijos, se toma como referencia 10 veces el ancho de banda. La fórmula para separación de antenas obedece a la siguiente ecuación:

$$\Delta h = \frac{\lambda d}{4h_1} \geq 150\lambda \quad (2)$$

Donde:

λ : c/f (m); c: velocidad de la luz (m/seg); f: frecuencia (Hz)

d: separación de antenas (m)

h_1 : altura de transmisora (m)

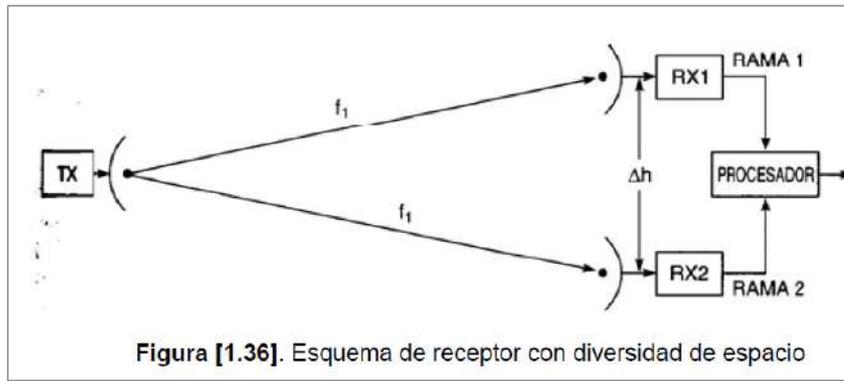


Fig. 05. Esquema de Diversidad de Espacio

Fuente: Yanez P. (2003), Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistema de radio Comunicaciones, page 59

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Variabilidad de señal uplink con diversidad de polarización

Se refiere a las fluctuaciones de señal uplink (móvil – base), recibida con la técnica de diversidad de polarización.

2.3.2 Banda de frecuencia

Se refiere a la franja del espectro radioeléctrico asignada para la comunicación móvil – base (uplink) y base móvil (downlink). Se encuentra dividida en radiocanales.

2.4 Sistema de Hipótesis

2.4.1 General

La variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización se reduce con el aumento de frecuencia, al evaluarse mediante simulaciones de enlaces acceso radio en una zona rural del Departamento de La Libertad.

2.4.2 Variables

3.4.2.1 Variables de estudio

Variable 01

Frecuencia uplink; es la frecuencia portadora que lleva a cabo el radio enlace uplink desde la estación de usuario a la estación base (BTS), en las bandas de frecuencia 1700, 2100 y 2500 MHz, en un centro poblado del departamento de La Libertad.

Indicadores:

- Frecuencias uplink mínimas de las bandas
- Frecuencias uplink máximas de las bandas
- Frecuencias uplink centrales de las bandas
- Rango de frecuencias uplink en las bandas

Variable 02

Variabilidad de señal en diversidad de polarización; se refiere a la fluctuación de señal evaluada por simulación en el enlace uplink para diferentes bandas de frecuencia. La variabilidad de señal puede también ser comparada con la variabilidad de señal de polarizaciones ortogonales.

Indicadores:

- Variabilidad de señal en diversidad polarización por banda de frecuencia
- Variabilidad de señal comparada con polarización horizontal.
- Variabilidad de señal comparada con polarización vertical.
- Desvanecimientos de señal por banda de frecuencia

Operacionalización de las variables

Tabla 1 Operacionalización de la Variable 01

VARIABLE 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Frecuencia Uplink	<p>La frecuencia portadora en la que se transmite el enlace uplink (usuario – base) puede darse en diferentes bandas de frecuencia. Cada banda uplink es caracterizada por frecuencias central, mínima, máxima, sobre la cual se distribuyen sus canales.</p>	Frecuencias uplink mínimas de las bandas	Reporte de recopilación de datos técnicos	MHz
		Frecuencias uplink máximas de las bandas	Reporte de recopilación de datos técnicos	MHz
		Frecuencias uplink centrales de las bandas	Reporte de recopilación de datos técnicos	MHz
		Rango de frecuencias uplink en las bandas	Reporte de recopilación de datos técnicos	MHz

Tabla 2 Operacionalización de la Variable 02

VARIABLE 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Variabilidad de señal en diversidad de polarización	La señal recibida en el enlace uplink con diversidad de polarización sufre degradaciones por efectos de propagación y despolarización en diversas frecuencias. Mediante proceso de simulación se evalúa la variabilidad o fluctuación de señal comparándose con la variabilidad en polarización horizontal, vertical, Se considera una separación fija de antenas en la BTS.	Nivel de señal promedio	Guías de observación señal recibida	dBm
		Desviación de señal favorable	Guías de observación señal recibida	dB
		Desviación de señal desfavorable	Guías de observación señal recibida	dB
		Puntos de usuario con desviación desfavorable	Guías de observación señal recibida	%

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1 Nivel de Investigación

El nivel de investigación del presente proyecto es de tipo descriptivo con fin de poder analizar la fluctuación de la señal uplink en diversidad de polarización, evaluando sus parámetros de variabilidad en diferentes bandas de frecuencia de una posible red de acceso rural, en la provincia de Virú, Departamento de La Libertad, mediante proceso de simulación.

3.2 Población y Muestra de Estudio

La población está constituida por todos los centros poblados rurales con características de rugosidad moderada pertenecientes a la franja costera del Departamento de La Libertad con factibilidad de evaluar señal uplink en diversidad de polarización mediante simulación.

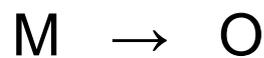
Por tratarse de una condición no determinística no existe un número finito de centros poblados posibles de contabilizar para evaluar la fluctuación de señal uplink en diversidad. Sin embargo, considerando el acceso a información y condiciones de simulación aplicable a centros poblados con rugosidad moderada, se ha optado por un muestreo no aleatorio por conveniencia, eligiendo como muestra el Centro Poblado Huacapongo, en la provincia de Virú, Departamento de La Libertad.

Para fines de simulación, se seleccionarán 03 bandas de frecuencia para acceso radio, sobre las cuales se hará una evaluación de 6 portadoras uplink en cada banda, contabilizando una muestra total de 18 frecuencias en las que se evaluará la variabilidad de la señal uplink. Para caracterizar la variabilidad señal en diversidad de polarización, por cada frecuencia empleada se simularán 71 enlaces uplink en polarización horizontal y 71 enlaces uplink en polarización vertical, obteniendo un total de 2556 reportes de simulación con lo cual los autores consideran que se justificó la participación de 02 investigadores con el fin de estimar y procesar los resultados obtenidos.

3.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación del presente proyecto es de tipo descriptivo no experimental. Se recolectó datos mediante la generación de reportes de simulación de enlaces uplink en diferentes bandas de frecuencia, desde distintos puntos de ubicación de usuarios hacia una BTS, de un centro poblado rural del departamento de La Libertad.

Esquema Gráfico del diseño de investigación:



Donde:

M : Muestra, Centro Poblado Huacapongo.

O : Observación de la señal uplink con diversidad de polarización en distintas bandas de frecuencia.

3.4 Procedimiento

- Identificación de puntos representativos de usuarios sobre una zona rural de Virú en el departamento de La Libertad.
- Identificación y selección de parámetros técnicos típicos de una BTS y transceptores de usuarios en las bandas de 1700 MHz, 2100 MHz y 2500 MHz.
- Configuración y calibración de parámetros de simulación, a fin de reproducir un escenario de recepción de señal uplink con diversidad de polarización en una BTS rural de Virú, en el Departamento de La Libertad.

- Generación de reportes de simulación y elaboración de tablas de señal uplink con diversidad de polarización en diferentes bandas y desde las ubicaciones de usuarios hacia una BTS celular de la zona rural del departamento de La Libertad.
- Elaboración de curvas de señal uplink recibida en diversidad de polarización y obtención de parámetros de variabilidad para los diferentes emplazamientos de usuarios en los enlaces hacia la estación base celular o BTS.

3.5 Recolección de Información

3.5.1 Datos generales del Centro Poblado

Huacapongo, es un centro poblado rural de La Libertad, se encuentra ubicado en la provincia y distrito de Viru, con coordenadas $8^{\circ}22'26.02''S$ y $78^{\circ}39'10.22''O$, a una altura de 320.80 msnm. Aproximadamente a 49 km. de la ciudad de Trujillo; la Figura 06 muestra una vista satelital del Centro Poblado, se caracteriza por las edificaciones mantienen una armonía con la distribución natural del terrero, donde las viviendas no exceden de un piso de altura.



Fig. 7. Vista satelital del centro poblado Huacapongo

Fuente: Google Earth (2024)

El centro poblado también cuenta con el centro educativo principal I.E. N°80073 llamado José Abelardo Quiñones, un puesto de salud, la Iglesia Virgen del Carmen y la municipalidad. Como actividades económicas características se encuentra la agricultura, crianza de animales, comercio y otros. La Figura 07 muestra una ruta comercial y principal desde Trujillo, Viru y finalmente el centro rural de Huacapongo.

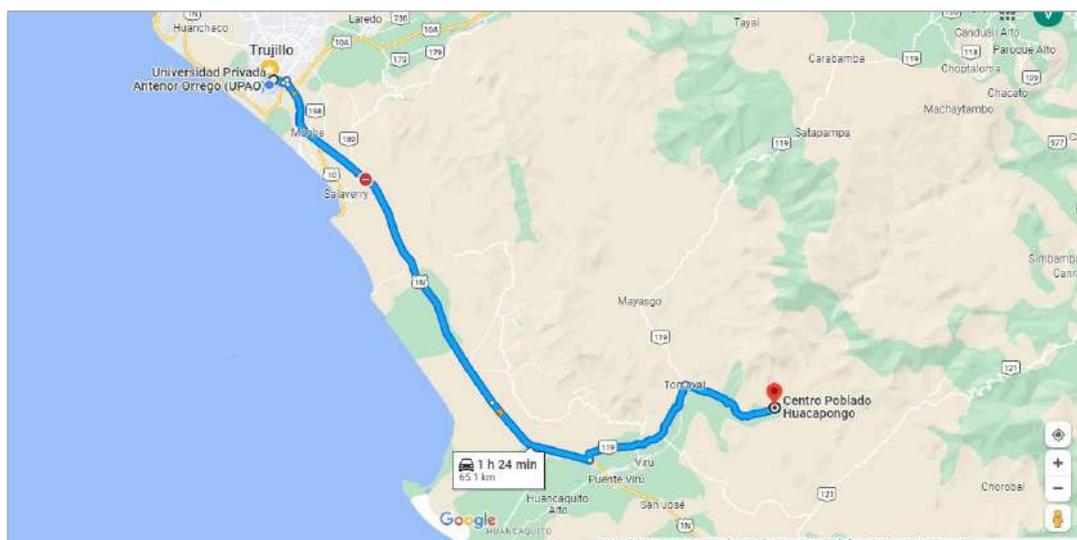


Fig. 6. Ruta por mapa Trujillo - Huacapongo

Fuente: Google Maps (2024)

En la Figura 08 se muestra un extracto de datos recopilados de Huacapongo, dentro de lo cual se aprecia un total de 371 habitantes, 140 viviendas

DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD									
CÓDIGO	CENTROS POBLADOS	REGIÓN NATURAL (según piso altitudinal)	ALTITUD (m s.n.m.)	POBLACIÓN CENSADA			VIVIENDAS PARTICULARES		
				Total	Hombre	Mujer	Total	Ocupadas 1/	Desocupadas
131201	DISTRITO VIRÚ			52 407	25 995	26 412	15 153	13 835	1 318
0001	VIRU	Chala	88	10 357	5 059	5 298	2 744	2 539	205
0002	JUYACUL	Yunga marítima	1 027	51	32	19	26	25	1
0003	MAYASGO	Chala	476	84	40	44	43	34	9
0004	LA CALERA	Chala	388	19	12	7	19	8	11
0005	LA HUACA	Chala	343	70	31	39	50	33	17
0006	PUQUIO GRANDE	Chala	255	21	11	10	15	11	4
0007	QUENETO	Chala	157	65	33	32	37	24	13
0008	TOMABAL	Chala	165	325	166	159	154	105	49
0009	CARAY	Yunga marítima	574	118	70	48	60	49	11
0010	SUSANGA	Chala	384	245	143	102	105	87	18
0011	HUACAPONGO	Chala	321	371	177	194	140	113	27

Fig. 8. Datos estadísticos referenciales Huacapongo

Fuente: INEI (2017)

3.5.2 Servicio celular en el Centro Poblado

La estación base de servicio celular más cercana a Huacapongo, se denomina EBC Niño. Esta pertenece al operador Movistar y se encuentra a 2.62 km del centro poblado. Esta distancia de la estación dificulta la correcta recepción de señal al usuario. Conforme Angulo D. y Barrena L. (2022), en la tesis denominada "Identificación de puntos de desvanecimiento en frecuencia, mediante simulaciones realizadas para un centro poblado rural en diferentes bandas de acceso, La Libertad, 2020" se obtuvieron mediciones drive test de señales en los alrededores de la EBC Niño, con los cuales se pudo realizar la configuración de simulación para poder acercar la predicción de la herramienta de simulación a las características de propagación en una estación base celular en Huacapongo. Bajo esos lineamientos se tomaron los parámetros empleados en los antecedentes para poder realizar una nueva proyección con simulaciones en diferentes bandas de frecuencias.

3.5.3 Datos técnicos de las bandas a evaluar

a. Banda 1700/2100 MHz

También llamada banda AWS está constituida por las bandas 1700 y 2100 MHz. Está distribuida en 3 bloques. El bloque A 1710 - 1730 MHz, bloque B 1730 - 1750 MHz y bloque C 1750 - 1780 MHz. En la Tabla 5 se detalla la adjudicación de la banda AWS, siendo el bloque de canales del CH01 al CH04 adjudicados al Operador Telefónica del Perú, en tanto el bloque de canales del CH05 al CH08 adjudicados al operador Entel. En este mismo orden de ideas, se observa el bloque del canal CH09 al CH14, el cual ha sido adjudicado al operador Viettel Perú SAC.

Tabla 3. Distribución de la banda AWS

Banda / canal	Rango de Frecuencias (MHz)				Empresa	Asignación
	Ida		Retorno			
CH01	1710.0	1715.0	2110.0	2115.0	TdP	A nivel nacional
CH02	1715.0	1720.0	2115.0	2120.0	TdP	A nivel nacional
CH03	1720.0	1725.0	2120.0	2125.0	TdP	A nivel nacional
CH04	1725.0	1730.0	2125.0	2130.0	TdP	A nivel nacional
CH05	1730.0	1735.0	2130.0	2135.0	Entel	A nivel nacional
CH06	1735.0	1740.0	2135.0	2140.0	Entel	A nivel nacional
CH07	1740.0	1745.0	2140.0	2145.0	Entel	A nivel nacional
CH08	1745.0	1750.0	2145.0	2150.0	Entel	A nivel nacional
CH09	1750.0	1755.0	2150.0	2155.0	Viettel Perú S.A.C	A nivel nacional
CH10	1755.0	1760.0	2155.0	2160.0	Viettel Perú S.A.C	A nivel nacional
CH11	1760.0	1765.0	2160.0	2165.0	Viettel Perú S.A.C	A nivel nacional
CH12	1765.0	1770.0	2165.0	2170.0	Viettel Perú S.A.C	A nivel nacional
CH13	1770.0	1775.0	2170.0	2175.0	Viettel Perú S.A.C	A nivel nacional
CH14	1775.0	1780.0	2175.0	2180.0	Viettel Perú S.A.C	A nivel nacional

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2024)

b. Banda 2500 MHz

Esta banda se define desde 2500 a 2690 MHz, con un ancho de banda de 5 MHz. En la Tabla 6 se detalla la adjudicación de la banda 2500 MHz, siendo el bloque de canales del CH01 al CH05 y del CH20 al CH23, adjudicados al Operador América Móviles, en tanto el bloque de canales del CH07 al CH10 adjudicados al operador Viettel Perú SAC. En este mismo orden de ideas, se observa el bloque del canal CH11 al CH19, los cuales se encuentran aún sin adjudicación.

Tabla 4. Distribución de la banda 2500 MHz

Banda / canal	Rango de Frecuencias (MHz)				Empresa	Asignación
	Ida		Retorno			
CH01	2500.0	2505.0	2620.0	2625.0	América Móviles	La Libertad
CH02	2505.0	2510.0	2625.0	2630.0	América Móviles	La Libertad
CH03	2510.0	2515.0	2630.0	2635.0	América Móviles	La Libertad
CH04	2515.0	2520.0	2635.0	2640.0	América Móviles	La Libertad
CH05	2520.0	2525.0	2640.0	2645.0	América Móviles	La Libertad
CH06	2525.0	2530.0	2645.0	2650.0	América Móviles	La Libertad
CH07	2530.0	2535.0	2650.0	2655.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad
CH08	2535.0	2540.0	2655.0	2660.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad
CH09	2540.0	2545.0	2660.0	2665.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad
CH10	2545.0	2550.0	2665.0	2670.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad
CH11	2550.0	2555.0	2670.0	2675.0	-	La Libertad
CH12	2555.0	2560.0	2675.0	2680.0	-	La Libertad
CH13	2560.0	2565.0	2680.0	2685.0	-	La Libertad
CH14	2565.0	2570.0	2685.0	2690.0	-	La Libertad
CH15	2570.0	2575.0	2615.0	2620.0	-	La Libertad
CH16	2575.0	2580.0	2620.0	2625.0	-	La Libertad
CH17	2580.0	2585.0	2625.0	2630.0	-	La Libertad
CH18	2585.0	2590.0	2630.0	2635.0	-	La Libertad
CH19	2590.0	2595.0	2635.0	2640.0	-	La Libertad
CH20	2595.0	2600.0	2640.0	2645.0	América Móviles	La Libertad
CH21	2600.0	2605.0	2645.0	2650.0	América Móviles	La Libertad
CH22	2605.0	2610.0	2650.0	2655.0	América Móviles	La Libertad
CH23	2610.0	2615.0	2655.0	2660.0	América Móviles	La Libertad

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2024)

3.5.4 Emplazamiento de referencia en el centro poblado

Angulo D. y Barrena L. (2022) propusieron la ubicación una estación base en Huacapongo, en la zona noroeste del centro poblado. Del mismo modo, Cipirán B. y Caballero M. (2022) analizaron el desempeño de la señal uplink en polarización horizontal y vertical, comparando resultados desde 04 emplazamientos distintos de la EBC, zona noroeste, zona suroeste, zona sureste y zona noreste. Los dos trabajos de investigación coincidieron en que el punto más favorable de ubicación se daba en la zona noroeste del centro poblado. Esto debido a la simetría de la distribución geográfica del centro poblado con el patrón de radiación típico de una antena tipo panel sectorial tal como es usada por la mayoría de operadores en el país. En este sentido dicho emplazamiento será tomado como referencia en el presente trabajo. La Figura 9 presenta el emplazamiento elegido para la EBC.

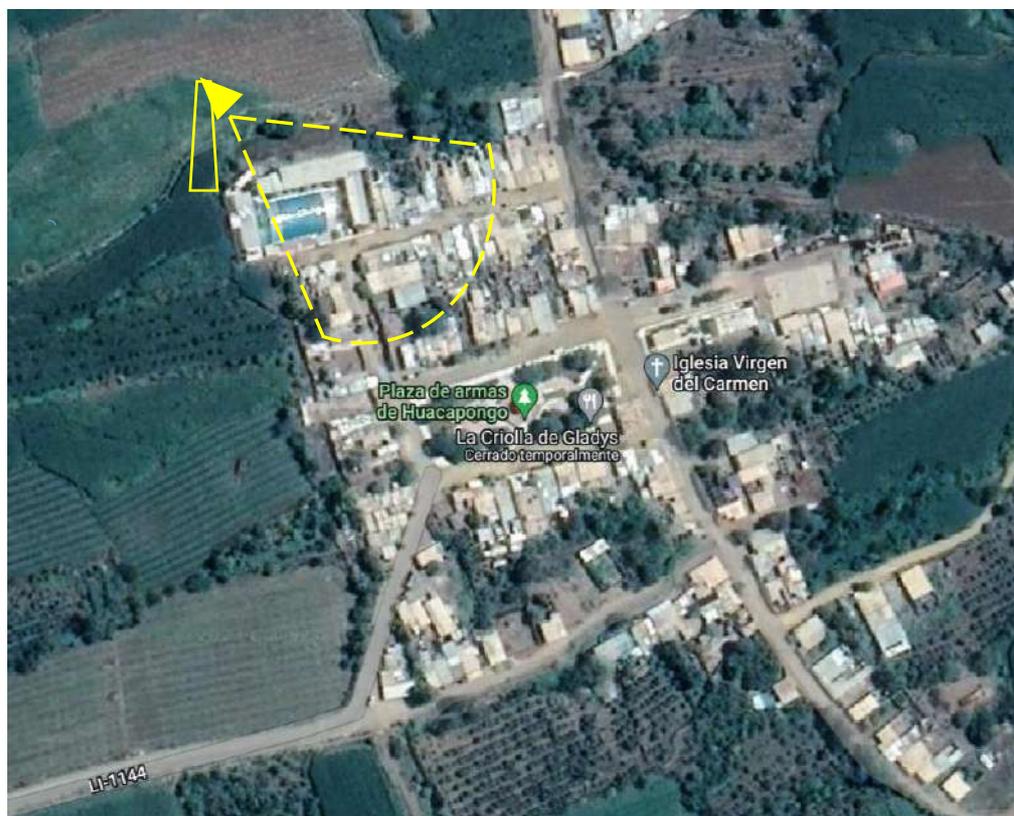


Fig. 9. Emplazamiento de referencia para la EBC Huacapongo

En el orden de ideas antes mencionado, en la Tabla 7, se presenta un resumen de características elegidas como referencia para la EBC Huacapongo.

Tabla 5. Características referenciales para EBC Huacapongo

Característica	Valor
Latitud	: 8°22'19.97"S
Longitud	: 78°39'12.46"O
Altura terreno	: 303 msnm
Altura de antena	: 30 m
Angulo azimuth	: 100 °
Ángulo downtilt	: 5°

Fuente: Adaptado de Cipirán B. y Caballero M. (2022)

Del mismo modo, respecto de las características técnicas referenciales para la simulación en radiofrecuencia de la EBC Huacapongo, Angulo D. y Barrena L. (2022) consideraron parámetros típicos de transceptores de estaciones base comerciales, así como un sistema radiante (antenas) de tipo panel sectorial con haz de media potencia (beamwidth) de 65°. En tal sentido en la Tabla 8 se muestra un resumen de las características referenciales RF tomadas en cuenta a partir de los antecedentes antes mencionados. Cabe destacar que el detalle de hojas técnicas correspondientes podrá ser ubicado en el Anexo 01 del presente trabajo.

Tabla 6. Características referenciales simulación RF EBC Huacapongo

1. Transceptor RF EBC (RRU Tx / Rx)

Característica	Valor
Bandas de Radiofrecuencia	: AWS, 2500 MHz
Impedancia RF	: 50 Ω
Umbral de calidad en recepción uplink	: -90 dBm
Potencia de transmission máxima	: 48.2 dBm
Pérdidas internas transceptor	: 1.5 dB

2. Antena tipo panel sectorial

Característica	Valor
Rango de frecuencias	: 1700 – 2700 MHz
Impedancia nominal	: 50 Ω
Polarización	: Horizontal / Vertical
Banda 1700 MHz	
Ancho haz media potencia horizontal	: 66°
Ancho haz media potencia vertical	: 5°
Ganancia	: 18.5 dBi
Banda 2100 MHz	
Ancho haz media potencia horizontal	: 60°
Ancho haz media potencia vertical	: 4.6°
Ganancia	: 18.7 dBi
Banda 2500 MHz	
Ancho haz media potencia horizontal	: 58°
Ancho haz media potencia vertical	: 4.2°
Ganancia	: 18.9 dBi

Fuente: Adaptado de Angulo D. y Barrena L. (2022)

3.5.5 Características referenciales para estación móvil usuario

Respecto de las características referenciales para el modelamiento de la estación móvil de usuario, tanto Angulo D. y Barrena L. (2022) como Cipirán B. y Caballero M. (2022) basaron su modelo en base a características técnicas típicas de transceptores comerciales de usuario con potencias de transmisión moderadas y patrones de antena de estación móvil con las deformaciones típicas de la interacción en modo tráfico tráfico de voz de un usuario en desplazamiento a pie (voice standing) modeladas por Krayni, A. (2018).

En la Tabla 9 se presenta un resumen de las características referenciales tomadas en cuenta para simulación RF del enlace uplink estación móvil – estación base.

Tabla 7. Características referenciales simulación móvil usuario

Transceptor RF usuario (Tx / Rx)

Característica	Valor
Potencia de transmission máxima	: 20 dBm
Impedancia RF	: 50 Ω
Pérdidas (modelo absorción de usuario)	: 8 dB
Ganancia de antenna móvil usuario	: 0.0 dBi
Altura de antenna móvil usuario	: 1.5 m

Fuente: Adaptado de Angulo D. y Barrena L. (2022), Krayni, A. (2018)

Del mismo modo se destaca que el detalle de hojas técnicas y patrones correspondientes podrá ser ubicado en el anexo 01 del presente trabajo.

3.5.6 Puntos de drive test referencial para estación móvil usuario

Los trabajos de Angulo D. y Barrena L. (2022) como Cipirán B. y Caballero M. (2022) partieron de un drive test de campo llevado a cabo desde la EBC Niño, para caracterizar la potencia recibida en 71 puntos de drive test en las calles del Centro Poblado Huacapongo. Los resultados del drive test original, sirvieron para la calibración de parámetros de simulación buscando reproducir el escenario original de propagación de EBC Niño, aplicado en la simulación de la EBC Huacapongo.

En tal sentido, en la Figura 9 se muestra el resultado de ajuste de simulación resultante, en las 03 bandas de frecuencia, empleado en el simulador de radiopropagación. Se destaca la configuración de variabilidad del Algoritmo Longley Rice en 50% de tiempo y 70% de ocurrencias con la adición de pérdidas urbanas del 85%. Bajo esta configuración base de modelaron las 03 bandas de frecuencia uplink, 1700 MHz, 2100 MHz y 2500 MHz.

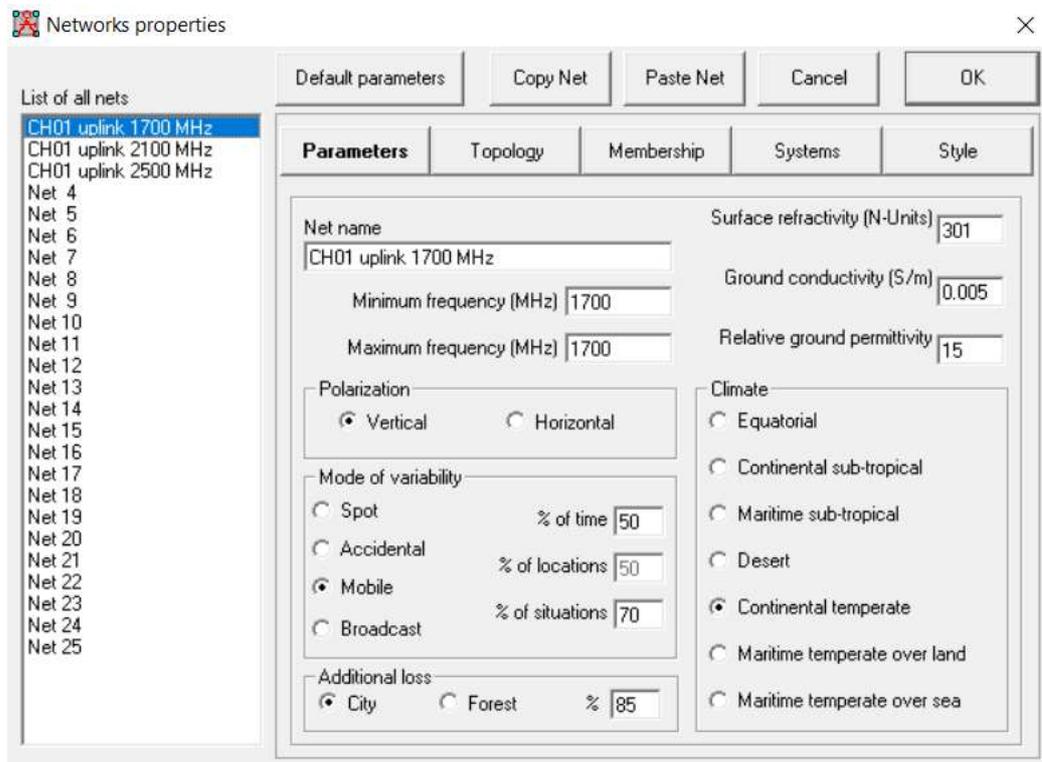


Fig. 9. Configuración referencia simulación uplink EBC Huacapongo

En la Figura 10, se presenta un extracto de las coordenadas de ubicación de los 71 puntos de drive test tomados como referencia por Angulo D. y Barrena L. (2022) como Cipirán B. y Caballero M. (2022). Al mismo tiempo estos se representan en la ruta de drive test sobre las calles del Centro Poblado Huacapongo. Cabe destacar que la representación en color verde de los puntos de drive test de la Figura 10, no está relacionada aún a calidad de señal u otro parámetro de clasificación o valoración cuantitativa / cualitativa.

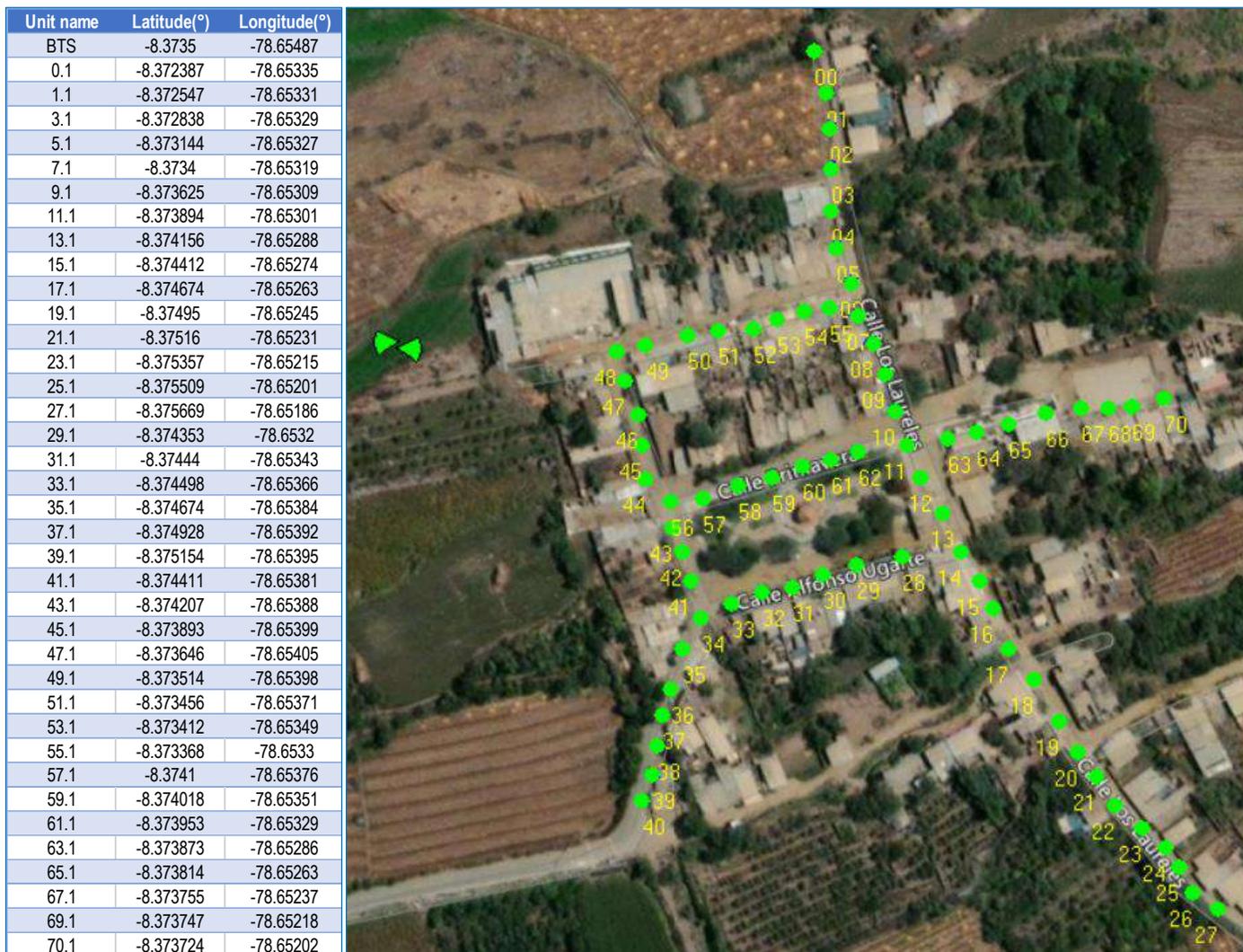


Fig. 10. Ubicación de puntos drive test en el centro poblado

Fuente: Adaptado de Angulo D. y Barrera L. (2022), Cipirán B. y Caballero M. (2022)

3.6 Procesamiento de información

3.6.1 Reportes de simulación obtenidos

En las Tablas 9, 10 y 11 se presentan los reportes de señal uplink obtenidos del proceso de simulación. Se puede apreciar que, para cada uno de los 71 puntos de usuario, la señal uplink se han estimado en primer lugar en polarización horizontal y en polarización vertical. A partir de los valores obtenidos de señal uplink Horizontal y Vertical, se ha elegido el mayor nivel de señal (emulación de configuración hitless) con lo cual se logra estimar el nivel de señal uplink en diversidad de polarización. Esta misma operación se ha repetido para cada una de las bandas evaluadas, desde la frecuencia de inicio de banda hasta el límite de la frecuencia más alta de fin de banda, en incrementos de 10 MHz.

Como datos adicionales se pueden mencionar que se han empleado alturas referenciales para la estación móvil emisora de 1.5m. Asimismo altura referencial de 30m. para la antena de la estación base Huacapongo. La recepción se realiza en una configuración de diversidad espacial con dos antenas separadas horizontalmente 3m. Cada una de estas antenas se encuentra polarizada ortogonalmente ya sea en polarización horizontal y vertical, generando de esta manera la configuración de diversidad de polarización.

Tabla 8. Reporte simulación señal uplink banda 1700 MHz

Pto Rx	1700 MHz			1720 MHz			1740 MHz			1760 MHz			1780 MHz			1800 MHz		
	fuplink NRx(H)	NRX(V)	NRXdiv															
0	-91.8	-92.5	-91.8	-92.0	-92.6	-92.0	-92.1	-92.7	-92.1	-92.2	-92.7	-92.2	-92.2	-92.7	-92.2	-92.2	-92.6	-92.2
1	-90.9	-91.3	-90.9	-91.1	-91.4	-91.1	-91.2	-91.5	-91.2	-91.3	-91.5	-91.3	-91.3	-91.5	-91.3	-91.3	-91.4	-91.3
2	-89.5	-89.9	-89.5	-89.4	-89.8	-89.4	-89.3	-89.6	-89.3	-89.1	-89.4	-89.1	-89.1	-89.4	-89.1	-89.0	-89.3	-89.0
3	-86.2	-86.7	-86.2	-86.1	-86.6	-86.1	-86.1	-86.6	-86.1	-86.0	-86.6	-86.0	-86.0	-86.6	-86.0	-86.0	-86.6	-86.0
4	-84.8	-86.3	-84.8	-85.5	-87.2	-85.5	-86.3	-88.0	-86.3	-87.1	-88.9	-87.1	-87.1	-88.9	-87.1	-88.0	-89.7	-88.0
5	-85.1	-87.1	-85.1	-85.9	-88.0	-85.9	-86.7	-88.8	-86.7	-87.6	-89.5	-87.6	-87.6	-89.5	-87.6	-88.3	-90.0	-88.3
6	-84.1	-85.2	-84.1	-84.3	-85.5	-84.3	-84.6	-85.8	-84.6	-85.0	-86.1	-85.0	-85.0	-86.1	-85.0	-85.3	-86.5	-85.3
7	-85.2	-85.9	-85.2	-85.0	-85.7	-85.0	-84.8	-85.6	-84.8	-84.7	-85.4	-84.7	-84.7	-85.4	-84.7	-84.6	-85.3	-84.6
8	-82.4	-83.1	-82.4	-82.4	-83.1	-82.4	-82.5	-83.3	-82.5	-82.7	-83.6	-82.7	-82.7	-83.6	-82.7	-82.9	-83.9	-82.9
9	-82.2	-83.0	-82.2	-82.9	-83.9	-82.9	-83.8	-84.8	-83.8	-84.7	-85.8	-84.7	-84.7	-85.8	-84.7	-85.6	-86.6	-85.6
10	-82.0	-82.5	-82.0	-82.4	-82.9	-82.4	-82.9	-83.5	-82.9	-83.6	-84.2	-83.6	-83.6	-84.2	-83.6	-84.3	-84.9	-84.3
11	-81.5	-81.9	-81.5	-81.6	-82.1	-81.6	-81.9	-82.5	-81.9	-82.6	-82.9	-82.3	-82.3	-82.9	-82.3	-82.8	-83.5	-82.8
12	-85.7	-86.0	-85.7	-85.2	-85.5	-85.2	-84.6	-84.8	-84.6	-84.0	-84.2	-84.0	-84.0	-84.2	-84.0	-83.5	-83.7	-83.5
13	-82.9	-83.1	-82.9	-82.6	-82.9	-82.6	-82.4	-82.7	-82.4	-82.3	-82.7	-82.3	-82.3	-82.7	-82.3	-82.4	-82.8	-82.4
14	-82.2	-82.6	-82.2	-82.5	-82.9	-82.5	-82.8	-83.2	-82.8	-83.2	-83.5	-83.2	-83.2	-83.5	-83.2	-83.6	-83.9	-83.6
15	-82.4	-82.6	-82.4	-82.7	-82.8	-82.7	-83.0	-83.1	-83.0	-83.4	-83.4	-83.4	-83.4	-83.4	-83.4	-83.8	-83.7	-83.7
16	-82.8	-83.2	-82.8	-82.9	-83.3	-82.9	-83.0	-83.4	-83.0	-83.1	-83.5	-83.1	-83.1	-83.5	-83.1	-83.3	-83.6	-83.3
17	-85.0	-85.2	-85.0	-84.6	-84.8	-84.6	-84.2	-84.5	-84.2	-84.0	-84.2	-84.0	-84.0	-84.2	-84.0	-83.8	-84.1	-83.8
18	-88.3	-88.6	-88.3	-87.6	-87.9	-87.6	-87.0	-87.3	-87.0	-86.4	-86.7	-86.4	-86.4	-86.7	-86.4	-86.0	-86.3	-86.0
19	-92.9	-93.4	-92.9	-92.5	-92.9	-92.5	-91.9	-92.2	-91.9	-91.2	-91.5	-91.2	-91.2	-91.5	-91.2	-90.4	-90.7	-90.4
20	-92.4	-93.3	-92.4	-93.1	-94.0	-93.1	-93.6	-94.4	-93.6	-93.8	-94.5	-93.8	-93.8	-94.5	-93.8	-93.6	-94.2	-93.6
21	-90.2	-91.1	-90.2	-91.1	-92.1	-91.1	-92.1	-93.1	-92.1	-93.0	-94.0	-93.0	-93.0	-94.0	-93.0	-93.8	-94.8	-93.8
22	-88.3	-89.1	-88.3	-89.1	-89.9	-89.1	-89.9	-90.8	-89.9	-90.8	-91.6	-90.8	-90.8	-91.6	-90.8	-91.7	-92.6	-91.7
23	-86.9	-87.6	-86.9	-87.4	-88.1	-87.4	-88.0	-88.8	-88.0	-88.7	-89.4	-88.7	-88.7	-89.4	-88.7	-89.4	-90.2	-89.4
24	-96.5	-97.3	-96.5	-96.5	-97.3	-96.5	-96.3	-97.0	-96.3	-96.0	-96.7	-96.0	-96.0	-96.7	-96.0	-95.6	-96.3	-95.6
25	-96.5	-97.4	-96.5	-96.8	-97.7	-96.8	-96.9	-97.8	-96.9	-96.9	-97.7	-96.9	-96.9	-97.7	-96.9	-96.7	-97.5	-96.7
26	-85.9	-86.8	-85.9	-86.3	-87.2	-86.3	-86.7	-87.6	-86.7	-87.2	-88.1	-87.2	-87.2	-88.1	-87.2	-87.8	-88.7	-87.8
27	-98.7	-99.8	-98.7	-99.5	-100.6	-99.5	-100.1	-101.1	-100.1	-100.4	-101.4	-100.4	-100.4	-101.4	-100.4	-100.3	-101.3	-100.3
28	-87.7	-84.9	-84.9	-84.5	-84.6	-84.5	-84.2	-84.3	-84.2	-84.0	-84.1	-84.0	-84.0	-84.1	-84.0	-83.8	-84.0	-83.8
29	-87.1	-87.6	-87.1	-87.5	-88.0	-87.5	-87.9	-88.3	-87.9	-88.1	-88.6	-88.1	-88.1	-88.6	-88.1	-88.3	-88.7	-88.3
30	-88.7	-89.5	-88.7	-88.2	-88.9	-88.2	-87.7	-88.4	-87.7	-87.1	-87.8	-87.1	-87.1	-87.8	-87.1	-86.6	-87.4	-86.6
31	-85.0	-86.2	-85.0	-86.1	-87.5	-86.1	-87.5	-88.9	-87.5	-89.1	-90.6	-89.1	-89.1	-90.6	-89.1	-90.7	-92.1	-90.7
32	-84.3	-85.4	-84.3	-84.2	-85.2	-84.2	-84.1	-85.2	-84.1	-84.1	-85.2	-84.1	-84.1	-85.2	-84.1	-84.2	-85.3	-84.2
33	-84.6	-85.3	-84.6	-85.0	-85.7	-85.0	-85.7	-86.4	-85.7	-86.4	-87.1	-86.4	-86.4	-87.1	-86.4	-87.4	-88.1	-87.4
34	-86.5	-87.1	-86.5	-87.0	-85.6	-85.6	-87.6	-88.2	-87.6	-88.3	-88.9	-88.3	-88.3	-88.9	-88.3	-89.0	-89.6	-89.0
35	-88.0	-88.3	-88.0	-88.6	-89.0	-88.6	-89.4	-89.7	-89.4	-90.3	-90.6	-90.3	-90.3	-90.6	-90.3	-91.4	-91.6	-91.4
36	-87.9	-100.0	-87.9	-88.1	-98.3	-88.1	-88.4	-96.5	-88.4	-88.9	-94.9	-88.9	-88.9	-94.9	-88.9	-89.6	-93.6	-89.6
37	-88.0	-88.3	-88.0	-88.2	-88.5	-88.2	-88.5	-88.7	-88.5	-88.8	-89.0	-88.8	-88.8	-89.0	-88.8	-89.3	-89.4	-89.3
38	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.4	-88.8	-88.4
39	-93.0	-88.9	-88.9	-95.1	-88.8	-88.8	-97.9	-88.8	-88.8	-101.6	-88.9	-88.9	-101.6	-88.9	-88.9	-105.0	-89.1	-89.1
40	-93.1	-92.7	-92.7	-95.5	-94.8	-94.8	-98.8	-97.7	-97.7	-103.9	-102.1	-102.1	-103.9	-102.1	-102.1	-109.9	-109.3	-109.3
41	-90.8	-91.7	-90.8	-91.8	-92.8	-91.8	-92.8	-93.7	-92.8	-93.4	-94.4	-93.4	-93.4	-94.4	-93.4	-93.5	-94.5	-93.5
42	-91.1	-92.3	-91.1	-90.3	-91.5	-90.3	-89.5	-90.7	-89.5	-88.8	-89.9	-88.8	-88.8	-89.9	-88.8	-88.1	-89.3	-88.1
43	-90.2	-92.0	-90.2	-90.6	-92.3	-90.6	-90.5	-91.1	-90.5	-89.9	-91.4	-89.9	-89.9	-91.4	-89.9	-89.2	-90.6	-89.2
44	-86.9	-91.0	-86.9	-87.3	-91.3	-87.3	-87.6	-91.5	-87.6	-87.6	-91.5	-87.6	-87.6	-91.5	-87.6	-87.6	-91.4	-87.6
45	-86.2	-90.1	-86.2	-85.0	-89.0	-85.0	-84.0	-88.4	-84.0	-83.5	-88.1	-83.5	-83.5	-88.1	-83.5	-83.3	-88.3	-83.3
46	-82.8	-88.8	-82.8	-83.2	-89.6	-83.2	-83.9	-90.6	-83.9	-85.0	-91.8	-85.0	-85.0	-91.8	-85.0	-86.2	-92.8	-86.2
47	-86.9	-92.7	-86.9	-87.1	-92.7	-87.1	-87.1	-92.5	-87.1	-86.9	-92.3	-86.9	-86.9	-92.3	-86.9	-86.7	-92.0	-86.7
48	-86.0	-89.8	-86.0	-86.0	-90.0	-86.0	-86.1	-90.2	-86.1	-86.3	-90.6	-86.3	-86.3	-90.6	-86.3	-86.6	-91.0	-86.6
49	-84.5	-91.5	-84.5	-85.2	-92.6	-85.2	-86.3	-93.5	-86.3	-87.4	-93.8	-87.4	-87.4	-93.8	-87.4	-88.0	-93.3	-88.0
50	-85.7	-90.2	-85.7	-86.2	-90.7	-86.2	-86.7	-91.1	-86.7	-87.2	-91.3	-87.2	-87.2	-91.3	-87.2	-87.5	-91.4	-87.5
51	-86.6	-89.1	-86.6	-86.6	-90.1	-86.6	-87.7	-90.8	-87.7	-88.5	-91.0	-88.5	-88.5	-91.0	-88.5	-88.9	-90.6	-88.9
52	-87.6	-89.2	-87.6	-87.8	-89.2	-87.8	-87.8	-89.0	-87.8	-87.7	-88.8	-87.7	-87.7	-88.8	-87.7	-87.4	-88.4	-87.4
53	-84.0	-85.9	-84.0	-84.7	-86.6	-84.7	-85.4	-87.5	-85.4	-86.3	-88.3	-86.3	-86.3	-88.3	-86.3	-87.1	-89.1	-87.1
54	-83.7	-84.8	-83.7	-83.9	-85.1	-83.9	-84.2	-85.4	-84.2	-84.5	-85.7	-84.5	-84.5	-85.7	-84.5	-84.8	-86.1	-84.8
55	-85.4	-87.0	-85.4	-86.1	-87.6	-86.1	-86.7	-88.2	-86.7	-87.2	-88.6	-87.2	-87.2	-88.6	-87.2	-87.7	-89.0	-87.7
56	-87.1	-89.5	-87.1	-88.2	-90.5	-88.2	-89.0	-91.2	-89.0	-89.3	-91.4	-89.3	-89.3	-91.4	-89.3	-89.1	-91.0	-89.1
57	-87.4	-88.5	-87.4	-87.2	-88.3	-87.2	-86.9	-88.0	-86.9	-86.6	-87.7	-86.6	-86.6	-87.7	-86.6	-86.3	-87.4	-86.3
58	-83.9	-85.4	-83.9	-84.8	-86.4	-84.8	-85.9	-87.5	-85.9	-86.8	-88.3	-86.8	-86.8	-88.3	-86.8	-87.5	-88.7	-87.5
59	-82.4	-83.6	-82.4	-82.6	-83.8	-82.6	-82.9	-84.1	-82.9	-83.2	-84.4	-83.2	-83.2	-84.4	-83.2	-83.5	-84.7	-83.5
60	-86.2	-87.3	-86.2	-86.3	-87.1	-86.3	-85.9	-86.6	-85.9	-85.4	-86.0	-85.4	-85.4	-86.0	-85.4	-84.7	-85.3	-84.7
61	-85.0	-85.8	-85.0	-84.7	-85.9	-84.7	-84.3	-85.8	-84.3	-83.9	-85.5	-83.9	-83.9	-85.5	-83.9	-83.6	-85.2	-83.6
62	-84.2	-85.7	-84.2	-85.0	-86.2	-85.0	-85.5	-86.2	-85.5	-85.6	-85.8	-85.6	-85.6	-85.8	-85.6	-85.2	-85.1	-85.1
63	-85.1	-85.5	-85.1	-85.1	-85.5	-85.1	-85.0	-85.4	-85.0	-84.9	-85.2	-84.9	-84.9	-85.2	-84.9	-84.7	-85.1	-84.7
64	-82.2	-82.6	-82.2	-82.4	-82.8	-82.4	-82.7	-83.0	-82.7	-83.0	-83.3	-83.0	-83.0	-83.3	-83.0	-83.3	-83.7	-83.3
65	-82.9	-83.2	-82.9	-83.0	-83.4	-83.0	-83.2	-83.5	-83.2	-83.4	-83.8	-83.4	-83.4	-83.8	-83.4	-83.6	-84.0	-83.6
66	-83.9	-84.2	-83.9	-84.0	-84.3	-84.0	-84.0	-84.3	-84.0	-84.1	-84.4	-84.1	-84.1	-84.4	-84.1	-84.2	-84.5	-84.2
67	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.5	-86.2	-86.2	-86.5	-86.2	-86.2	-86.5	-86.2
68	-86.2	-86.7	-86.2	-86.5	-86.9	-86.5	-86.7	-87.1	-86.7	-86.9	-87.3	-86.9	-86.9	-87.3	-86.9	-87.1		

Tabla 9. Reporte simulación señal uplink banda 2100 MHz

Pto Rx	fuplink 2100 MHz			fuplink 2120 MHz			fuplink 2140 MHz			fuplink 2160 MHz			fuplink 2180 MHz			fuplink 2200 MHz		
	NRx(H)	NRx(V)	NRXdiv															
0	-91.8	-92.5	-91.8	-92.0	-92.6	-92.0	-92.1	-92.7	-92.1	-92.2	-92.7	-92.2	-92.2	-92.7	-92.2	-92.2	-92.6	-92.2
1	-90.9	-91.3	-90.9	-91.1	-91.4	-91.1	-91.2	-91.5	-91.2	-91.3	-91.5	-91.3	-91.3	-91.5	-91.3	-91.3	-91.4	-91.3
2	-89.5	-89.9	-89.5	-89.4	-89.8	-89.4	-89.3	-89.6	-89.3	-89.1	-89.4	-89.1	-89.1	-89.4	-89.1	-89.0	-89.3	-89.0
3	-86.2	-86.7	-86.2	-86.1	-86.6	-86.1	-86.1	-86.6	-86.1	-86.0	-86.6	-86.0	-86.0	-86.6	-86.0	-86.0	-86.6	-86.0
4	-84.8	-86.3	-84.8	-85.5	-87.2	-85.5	-86.3	-88.0	-86.3	-87.1	-88.9	-87.1	-87.1	-88.9	-87.1	-88.0	-89.7	-88.0
5	-85.1	-87.1	-85.1	-85.9	-88.0	-85.9	-86.7	-88.8	-86.7	-87.6	-89.5	-87.6	-87.6	-89.5	-87.6	-88.3	-90.0	-88.3
6	-84.1	-85.2	-84.1	-84.3	-85.5	-84.3	-84.6	-85.8	-84.6	-85.0	-86.1	-85.0	-85.0	-86.1	-85.0	-85.3	-86.5	-85.3
7	-85.2	-85.9	-85.2	-85.0	-85.7	-85.0	-84.8	-85.6	-84.8	-84.7	-85.4	-84.7	-84.7	-85.4	-84.7	-84.6	-85.3	-84.6
8	-82.4	-83.1	-82.4	-82.4	-83.1	-82.4	-82.5	-83.3	-82.5	-82.7	-83.6	-82.7	-82.7	-83.6	-82.7	-82.9	-83.9	-82.9
9	-82.2	-83.0	-82.2	-82.9	-83.9	-82.9	-83.8	-84.8	-83.8	-84.7	-85.8	-84.7	-84.7	-85.8	-84.7	-85.6	-86.6	-85.6
10	-82.0	-82.5	-82.0	-82.4	-82.9	-82.4	-82.9	-83.5	-82.9	-83.6	-84.2	-83.6	-83.6	-84.2	-83.6	-84.3	-84.9	-84.3
11	-81.5	-81.9	-81.5	-81.6	-82.1	-81.6	-81.9	-82.5	-81.9	-82.3	-82.9	-82.3	-82.3	-82.9	-82.3	-82.8	-83.5	-82.8
12	-85.7	-86.0	-85.7	-85.2	-85.5	-85.2	-84.6	-84.8	-84.9	-84.0	-84.2	-84.0	-84.0	-84.2	-84.0	-83.5	-83.7	-83.5
13	-82.9	-83.1	-82.9	-82.6	-82.9	-82.6	-82.4	-82.7	-82.4	-82.3	-82.7	-82.3	-82.3	-82.7	-82.3	-82.4	-82.8	-82.4
14	-82.2	-82.6	-82.2	-82.5	-82.9	-82.5	-82.8	-83.2	-82.8	-83.2	-83.5	-83.2	-83.2	-83.5	-83.2	-83.6	-83.9	-83.6
15	-82.4	-82.6	-82.4	-82.7	-82.8	-82.7	-83.0	-83.1	-83.0	-83.4	-83.4	-83.4	-83.4	-83.4	-83.4	-83.8	-83.7	-83.7
16	-82.8	-83.2	-82.8	-82.9	-83.3	-82.9	-83.0	-83.4	-83.0	-83.1	-83.5	-83.1	-83.1	-83.5	-83.1	-83.3	-83.6	-83.3
17	-85.0	-85.2	-85.0	-84.6	-84.8	-84.6	-84.2	-84.5	-84.2	-84.0	-84.2	-84.0	-84.0	-84.2	-84.0	-83.8	-84.1	-83.8
18	-88.3	-88.6	-88.3	-87.6	-87.9	-87.6	-87.0	-87.3	-87.0	-86.4	-86.7	-86.4	-86.4	-86.7	-86.4	-86.0	-86.3	-86.0
19	-92.9	-93.4	-92.9	-92.5	-92.9	-92.5	-91.9	-92.2	-91.9	-91.2	-91.5	-91.2	-91.2	-91.5	-91.2	-90.4	-90.7	-90.4
20	-92.4	-93.3	-92.4	-93.1	-94.0	-93.1	-93.6	-94.4	-93.6	-93.8	-94.5	-93.8	-93.8	-94.5	-93.8	-93.6	-94.2	-93.6
21	-90.2	-91.1	-90.2	-91.1	-92.1	-91.1	-92.1	-93.1	-92.1	-93.0	-94.0	-93.0	-93.0	-94.0	-93.0	-93.8	-94.8	-93.8
22	-88.3	-89.1	-88.3	-89.1	-89.9	-89.1	-89.9	-90.8	-89.9	-90.8	-91.6	-90.8	-90.8	-91.6	-90.8	-91.7	-92.6	-91.7
23	-86.9	-87.6	-86.9	-87.4	-88.1	-87.4	-88.0	-88.9	-88.0	-88.7	-89.4	-88.7	-88.7	-89.4	-88.7	-89.4	-90.2	-89.4
24	-96.5	-97.3	-96.5	-96.5	-97.3	-96.5	-96.3	-97.0	-96.3	-96.0	-96.7	-96.0	-96.0	-96.7	-96.0	-95.6	-96.3	-95.6
25	-96.5	-97.4	-96.5	-96.8	-97.7	-96.8	-96.9	-97.8	-96.9	-96.9	-97.7	-96.9	-96.9	-97.7	-96.9	-96.7	-97.5	-96.7
26	-85.9	-86.8	-85.9	-86.3	-87.2	-86.3	-86.7	-87.6	-86.9	-87.2	-88.1	-87.2	-87.2	-88.1	-87.2	-87.8	-88.7	-87.8
27	-98.7	-99.8	-98.7	-99.5	-100.6	-99.5	-100.1	-101.1	-100.1	-100.4	-101.4	-100.4	-100.4	-101.4	-100.4	-100.3	-101.3	-100.3
28	-87.7	-84.9	-84.9	-84.5	-84.6	-84.5	-84.2	-84.3	-84.2	-84.0	-84.1	-84.0	-84.0	-84.1	-84.0	-83.8	-84.0	-83.8
29	-87.1	-87.6	-87.1	-87.5	-88.0	-87.5	-87.9	-88.3	-87.9	-88.1	-88.6	-88.1	-88.1	-88.6	-88.1	-88.3	-88.7	-88.3
30	-88.7	-89.5	-88.7	-88.2	-88.9	-88.2	-87.7	-88.4	-87.7	-87.1	-87.8	-87.1	-87.1	-87.8	-87.1	-86.6	-87.4	-86.6
31	-85.0	-86.2	-85.0	-86.1	-87.5	-86.1	-87.5	-88.9	-87.5	-89.1	-90.6	-89.1	-89.1	-90.6	-89.1	-90.7	-92.1	-90.7
32	-84.3	-85.4	-84.3	-84.2	-85.2	-84.2	-84.1	-85.2	-84.1	-84.1	-85.2	-84.1	-84.1	-85.2	-84.1	-84.2	-85.3	-84.2
33	-84.6	-85.3	-84.6	-85.0	-85.7	-85.0	-85.7	-86.4	-85.7	-86.4	-87.1	-86.4	-86.4	-87.1	-86.4	-87.4	-88.1	-87.4
34	-86.5	-87.1	-86.5	-87.0	-85.6	-85.6	-87.6	-88.2	-87.6	-88.3	-88.9	-88.3	-88.3	-88.9	-88.3	-89.0	-89.6	-89.0
35	-88.0	-88.3	-88.0	-88.6	-89.0	-88.6	-89.4	-89.7	-89.4	-90.3	-90.6	-90.3	-90.3	-90.6	-90.3	-91.4	-91.6	-91.4
36	-87.9	-100.0	-87.9	-88.1	-98.3	-88.1	-88.4	-96.5	-88.4	-88.9	-94.9	-88.9	-88.9	-94.9	-88.9	-89.6	-93.6	-89.6
37	-88.0	-88.3	-88.0	-88.2	-88.5	-88.2	-88.5	-88.7	-88.5	-88.8	-89.0	-88.8	-88.8	-89.0	-88.8	-89.3	-89.4	-89.3
38	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.3	-88.7	-88.3	-88.4	-88.8	-88.4
39	-93.0	-88.9	-88.9	-95.1	-88.8	-88.8	-97.9	-88.8	-88.8	-101.6	-88.9	-88.9	-101.6	-88.9	-88.9	-105.0	-89.1	-89.1
40	-93.1	-92.7	-92.7	-95.5	-94.8	-94.8	-98.8	-97.7	-97.7	-103.9	-102.1	-102.1	-102.1	-103.9	-102.1	-109.9	-109.3	-109.3
41	-90.8	-91.7	-90.8	-91.8	-92.8	-91.8	-92.8	-93.7	-92.8	-93.4	-94.4	-93.4	-93.4	-94.4	-93.4	-93.5	-94.5	-93.5
42	-91.1	-92.3	-91.1	-90.3	-91.5	-90.3	-89.5	-90.7	-89.5	-88.8	-89.9	-88.8	-88.8	-89.9	-88.8	-88.1	-89.3	-88.1
43	-90.2	-92.0	-90.2	-90.6	-92.3	-90.6	-90.5	-92.1	-90.5	-89.9	-91.4	-89.9	-89.9	-91.4	-89.9	-89.2	-90.6	-89.2
44	-86.9	-91.0	-86.9	-87.3	-91.3	-87.3	-87.6	-91.5	-87.6	-87.6	-91.5	-87.6	-87.6	-91.5	-87.6	-87.6	-91.4	-87.6
45	-86.2	-90.1	-86.2	-85.0	-89.0	-85.0	-84.0	-88.4	-84.0	-83.5	-88.1	-83.5	-83.5	-88.1	-83.5	-83.3	-88.3	-83.3
46	-82.8	-88.8	-82.8	-83.2	-89.6	-83.2	-83.9	-90.6	-83.9	-85.0	-91.8	-85.0	-85.0	-91.8	-85.0	-86.2	-92.8	-86.2
47	-86.9	-92.7	-86.9	-87.1	-92.7	-87.1	-87.1	-92.5	-87.1	-86.9	-92.3	-86.9	-86.9	-92.3	-86.9	-86.7	-92.0	-86.7
48	-86.0	-89.8	-86.0	-86.0	-90.0	-86.0	-86.1	-90.2	-86.1	-86.3	-90.6	-86.3	-86.3	-90.6	-86.3	-86.6	-91.0	-86.6
49	-84.5	-91.5	-84.5	-85.2	-92.6	-85.2	-86.3	-93.5	-86.3	-87.4	-93.8	-87.4	-87.4	-93.8	-87.4	-88.0	-93.3	-88.0
50	-85.7	-90.2	-85.7	-86.2	-90.7	-86.2	-86.7	-91.1	-86.7	-87.2	-91.3	-87.2	-87.2	-91.3	-87.2	-87.5	-91.4	-87.5
51	-86.6	-89.1	-86.6	-86.6	-90.1	-86.6	-87.7	-90.8	-87.7	-88.5	-91.0	-88.5	-88.5	-91.0	-88.5	-88.9	-90.6	-88.9
52	-87.6	-89.2	-87.6	-87.8	-89.2	-87.8	-87.8	-89.0	-87.8	-87.7	-88.8	-87.7	-87.7	-88.8	-87.7	-87.4	-88.4	-87.4
53	-84.0	-85.9	-84.0	-84.7	-86.6	-84.7	-85.4	-87.5	-85.4	-86.3	-88.3	-86.3	-86.3	-88.3	-86.3	-87.1	-89.1	-87.1
54	-83.7	-84.8	-83.7	-83.9	-85.1	-83.9	-84.2	-85.4	-84.2	-84.5	-85.7	-84.5	-84.5	-85.7	-84.5	-84.8	-86.1	-84.8
55	-85.4	-87.0	-85.4	-86.1	-87.6	-86.1	-86.7	-88.2	-86.7	-87.2	-88.6	-87.2	-87.2	-88.6	-87.2	-87.7	-89.0	-87.7
56	-87.1	-89.5	-87.1	-88.2	-90.5	-88.2	-89.0	-91.2	-89.0	-89.3	-91.4	-89.3	-89.3	-91.4	-89.3	-89.1	-91.0	-89.1
57	-87.4	-88.5	-87.4	-87.2	-88.3	-87.2	-86.9	-88.0	-86.9	-86.6	-87.7	-86.6	-86.6	-87.7	-86.6	-86.3	-87.4	-86.3
58	-83.9	-85.4	-83.9	-84.8	-86.4	-84.8	-85.9	-87.5	-85.9	-86.8	-88.3	-86.8	-86.8	-88.3	-86.8	-87.5	-88.7	-87.5
59	-82.4	-83.6	-82.4	-82.6	-83.8	-82.6	-82.6	-82.9	-82.4	-82.9	-83.2	-83.2	-83.2	-83.2	-83.2	-83.5	-84.7	-83.5
60	-86.2	-87.3	-86.2	-86.3	-87.1	-86.3	-85.9	-86.6	-85.9	-85.4	-86.0	-85.4	-85.4	-86.0	-85.4	-84.7	-85.3	-84.7
61	-85.0	-85.8	-85.0	-84.7	-85.9	-84.7	-84.3	-85.8	-84.3	-83.9	-85.5	-83.9	-83.9	-85.5	-83.9	-83.6	-85.2	-83.6
62	-84.2	-85.7	-84.2	-85.0	-86.2	-85.0	-85.5	-86.2	-85.5	-85.6	-85.8	-85.6	-85.6	-85.8	-85.6	-85.2	-85.1	-85.1
63	-85.1	-85.5	-85.1	-85.1	-85.5	-85.1	-85.0	-85.4	-85.0	-84.9	-85.2	-84.9	-84.9	-85.2	-84.9	-84.7	-85.1	-84.7
64	-82.2	-82.6	-82.2	-82.4	-82.8	-82.4	-82.7	-83.0	-82.7	-83.0	-83.3	-83.0	-83.0	-83.3	-83.0	-83.3	-83.7	-83.3
65	-82.9	-83.2	-82.9	-83.0	-83.4	-83.0	-83.2	-83.5	-83.2	-83.4	-83.8	-83.4	-83.4	-83.8	-83.4	-83.6	-84.0	-83.6
66	-83.9	-84.2	-83.9	-84.0	-84.3	-84.0	-84.0	-84.3	-84.0	-84.1	-84.4	-84.1	-84.1	-84.4	-84.1	-84.2	-84.5	-84.2
67	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.5	-86.2	-86.2	-86.5	-86.2	-86.2	-86.5	-86.2
68	-86.2	-86.7	-86.2	-86.5	-86.9	-86.5	-86.7	-87.1	-86.7	-86.9	-87.3	-86.9	-86.9	-87.3	-86			

Tabla 10. Reporte simulación señal uplink banda 2500 MHz

Pto Rx	fuplink 2500 MHz			fuplink 2520 MHz			fuplink 2540 MHz			fuplink 2560 MHz			fuplink 2580 MHz			fuplink 2600 MHz		
	NRx(H)	NRx(V)	NRXdiv															
0	-93.6	-94.3	-93.6	-93.8	-94.5	-93.8	-93.9	-94.6	-93.9	-94.1	-94.7	-94.1	-94.2	-94.8	-94.2	-94.3	-94.9	-94.3
1	-92.7	-93.2	-92.7	-92.9	-93.4	-92.9	-93.1	-93.5	-93.1	-93.2	-93.6	-93.2	-93.4	-93.7	-93.4	-93.5	-93.8	-93.5
2	-91.9	-92.4	-91.9	-91.9	-92.4	-91.9	-92.0	-92.4	-92.0	-91.9	-92.4	-91.9	-91.9	-92.4	-91.9	-91.9	-92.3	-91.9
3	-89.5	-90.0	-89.5	-89.5	-90.0	-89.5	-89.5	-90.1	-89.5	-89.5	-90.1	-89.5	-89.5	-90.1	-89.5	-89.6	-90.2	-89.6
4	-88.1	-88.9	-88.1	-88.1	-89.0	-88.1	-88.2	-89.3	-88.2	-88.4	-89.5	-88.4	-88.6	-89.9	-88.6	-88.9	-90.3	-88.9
5	-87.6	-89.0	-87.6	-87.8	-89.2	-87.8	-88.0	-89.6	-88.0	-88.3	-89.9	-88.3	-88.6	-90.3	-88.6	-89.0	-90.7	-89.0
6	-89.0	-90.1	-89.0	-89.2	-90.3	-89.2	-89.4	-90.5	-89.4	-89.6	-90.7	-89.6	-89.7	-90.8	-89.7	-89.9	-90.9	-89.9
7	-88.2	-88.9	-88.2	-88.1	-88.9	-88.1	-88.0	-88.8	-88.0	-88.0	-88.7	-88.0	-87.9	-88.7	-87.9	-87.9	-88.7	-87.9
8	-88.4	-89.0	-88.4	-88.3	-88.9	-88.3	-88.3	-88.8	-88.3	-88.1	-88.7	-88.1	-88.0	-88.5	-88.0	-87.8	-88.3	-87.8
9	-87.6	-88.4	-87.6	-88.0	-88.6	-88.0	-88.3	-88.7	-88.3	-88.4	-88.6	-88.4	-88.3	-88.4	-88.3	-88.1	-88.2	-88.1
10	-86.9	-87.2	-86.9	-86.6	-86.9	-86.6	-86.4	-86.7	-86.4	-86.2	-86.5	-86.2	-86.1	-86.5	-86.1	-86.1	-86.6	-86.1
11	-85.8	-86.4	-85.8	-86.0	-86.6	-86.0	-86.3	-86.9	-86.3	-86.6	-87.3	-86.6	-87.0	-87.6	-87.0	-87.3	-88.0	-87.3
12	-87.6	-88.0	-87.6	-87.7	-88.0	-87.7	-87.6	-88.0	-87.6	-87.5	-87.8	-87.5	-87.4	-87.7	-87.4	-87.2	-87.5	-87.2
13	-86.4	-86.7	-86.4	-86.2	-86.6	-86.2	-86.1	-86.5	-86.1	-86.1	-86.5	-86.1	-86.1	-86.6	-86.1	-86.3	-86.7	-86.3
14	-87.5	-87.8	-87.5	-87.7	-88.1	-87.7	-88.0	-88.3	-88.0	-88.2	-88.5	-88.2	-88.3	-88.7	-88.3	-88.5	-88.9	-88.5
15	-87.9	-87.8	-87.8	-88.1	-88.1	-88.1	-88.4	-88.4	-88.4	-88.6	-88.6	-88.6	-88.8	-88.9	-88.8	-89.0	-89.1	-89.0
16	-89.3	-89.6	-89.3	-89.2	-89.6	-89.2	-89.2	-89.5	-89.2	-89.1	-89.4	-89.1	-89.0	-89.3	-89.0	-88.9	-89.3	-88.9
17	-87.8	-88.0	-87.8	-87.6	-87.8	-87.6	-87.4	-87.7	-87.4	-87.3	-87.5	-87.3	-87.2	-87.5	-87.2	-87.2	-87.5	-87.2
18	-91.2	-91.4	-91.2	-90.7	-90.9	-90.7	-90.2	-90.5	-90.2	-89.8	-90.0	-89.8	-89.4	-89.6	-89.4	-89.0	-89.3	-89.0
19	-94.5	-95.1	-94.5	-94.7	-95.3	-94.7	-94.7	-95.2	-94.7	-94.5	-95.0	-94.5	-94.2	-94.6	-94.2	-93.8	-94.1	-93.8
20	-92.3	-93.2	-92.3	-92.9	-93.8	-92.9	-93.6	-94.5	-93.6	-94.2	-95.1	-94.2	-94.8	-95.7	-94.8	-95.2	-96.1	-95.2
21	-90.3	-91.1	-90.3	-90.8	-91.7	-90.8	-91.4	-92.3	-91.4	-92.0	-92.9	-92.0	-92.6	-93.6	-92.6	-93.2	-94.2	-93.2
22	-89.1	-89.9	-89.1	-89.4	-90.2	-89.4	-89.8	-90.6	-89.8	-90.2	-91.0	-90.2	-90.7	-91.5	-90.7	-91.1	-92.0	-91.1
23	-88.6	-89.2	-88.6	-88.8	-89.4	-88.8	-89.0	-89.6	-89.0	-89.2	-89.8	-89.2	-89.4	-90.1	-89.4	-89.7	-90.4	-89.7
24	-88.7	-89.4	-88.7	-88.8	-89.5	-88.8	-88.9	-89.6	-88.9	-89.0	-89.7	-89.0	-89.0	-89.8	-89.0	-89.1	-89.9	-89.1
25	-89.1	-89.8	-89.1	-89.2	-89.9	-89.2	-89.2	-89.9	-89.2	-89.2	-90.0	-89.2	-89.3	-90.0	-89.3	-89.4	-90.1	-89.4
26	-88.7	-89.5	-88.7	-88.7	-89.5	-88.7	-88.7	-89.6	-88.7	-88.8	-89.6	-88.8	-88.9	-89.7	-88.9	-89.0	-89.8	-89.0
27	-89.0	-89.9	-89.0	-89.0	-89.9	-89.0	-89.0	-89.9	-89.0	-89.1	-89.9	-89.1	-89.1	-90.0	-89.1	-89.2	-90.0	-89.2
28	-87.6	-87.8	-87.6	-87.6	-87.8	-87.6	-87.5	-87.7	-87.5	-87.4	-87.6	-87.4	-87.4	-87.6	-87.4	-87.3	-87.6	-87.3
29	-88.4	-88.9	-88.4	-88.7	-89.1	-88.7	-88.9	-89.4	-88.9	-89.2	-89.7	-89.2	-89.4	-89.9	-89.4	-89.6	-90.1	-89.6
30	-91.1	-91.9	-91.1	-90.9	-91.7	-90.9	-90.6	-91.4	-90.6	-90.3	-91.1	-90.3	-90.0	-90.8	-90.0	-89.7	-90.4	-89.7
31	-86.3	-87.4	-86.3	-86.6	-87.7	-86.6	-86.9	-88.1	-86.9	-87.4	-88.6	-87.4	-88.0	-89.3	-88.0	-88.8	-90.1	-88.8
32	-87.8	-88.9	-87.8	-87.9	-89.0	-87.9	-88.1	-89.1	-88.1	-88.2	-89.3	-88.2	-88.5	-89.6	-88.5	-88.7	-89.9	-88.7
33	-90.3	-90.9	-90.3	-89.7	-90.3	-89.7	-89.2	-89.8	-89.2	-88.9	-89.5	-88.9	-88.7	-89.3	-88.7	-88.7	-89.3	-88.7
34	-94.8	-95.4	-94.8	-95.5	-96.1	-95.5	-96.1	-96.8	-96.1	-96.5	-97.2	-96.5	-96.6	-97.3	-96.6	-96.5	-97.2	-96.5
35	-99.6	-99.8	-99.6	-100.7	-101.0	-100.7	-101.1	-101.7	-101.1	-100.7	-101.4	-100.7	-99.7	-100.5	-99.7	-98.5	-99.3	-98.5
36	-97.0	-92.0	-92.0	-95.7	-92.0	-92.0	-94.7	-92.1	-92.1	-93.8	-92.3	-92.3	-93.2	-92.6	-92.6	-92.7	-93.1	-92.7
37	-93.6	-93.7	-93.6	-94.4	-94.4	-94.4	-95.3	-95.2	-95.2	-96.4	-96.2	-96.2	-97.6	-97.4	-97.4	-99.0	-98.7	-98.7
38	-91.6	-91.9	-91.6	-91.7	-92.1	-91.7	-92.0	-92.3	-92.0	-92.3	-92.5	-92.3	-92.7	-92.9	-92.7	-93.2	-93.4	-93.2
39	-92.2	-107.3	-92.2	-92.8	-106.1	-92.8	-93.6	-103.2	-93.6	-94.6	-100.6	-94.6	-95.9	-98.6	-95.9	-97.6	-97.1	-97.1
40	-91.9	-92.0	-91.9	-92.5	-92.4	-92.4	-93.4	-93.2	-93.2	-94.5	-94.1	-94.1	-96.0	-95.4	-95.4	-98.0	-97.1	-97.1
41	-91.7	-92.5	-91.7	-91.2	-92.1	-91.2	-90.8	-91.7	-90.8	-90.5	-91.4	-90.5	-90.3	-91.1	-90.3	-90.1	-90.9	-90.1
42	-89.0	-90.2	-89.0	-89.1	-90.4	-89.1	-89.4	-90.7	-89.4	-89.7	-91.0	-89.7	-90.1	-91.4	-90.1	-90.5	-91.8	-90.5
43	-90.8	-92.6	-90.8	-91.3	-93.1	-91.3	-91.8	-93.6	-91.8	-92.2	-93.9	-92.2	-92.4	-94.1	-92.4	-92.4	-94.0	-92.4
44	-89.0	-93.0	-89.0	-89.3	-93.3	-89.3	-89.6	-93.6	-89.6	-89.9	-93.9	-89.9	-90.2	-94.2	-90.2	-90.4	-94.4	-90.4
45	-87.3	-92.3	-87.3	-87.6	-92.8	-87.6	-88.1	-93.5	-88.1	-88.7	-94.1	-88.7	-89.3	-94.6	-89.3	-89.8	-94.7	-89.8
46	-88.9	-94.2	-88.9	-88.7	-93.8	-88.7	-88.3	-93.5	-88.3	-87.9	-93.2	-87.9	-87.6	-93.2	-87.6	-87.5	-93.5	-87.5
47	-89.2	-94.4	-89.2	-89.0	-94.3	-89.0	-88.8	-94.3	-88.8	-88.7	-94.3	-88.7	-94.5	-88.7	-88.8	-88.8	-94.8	-88.8
48	-90.9	-94.8	-90.9	-91.0	-94.6	-91.0	-91.0	-94.3	-91.0	-90.8	-94.1	-90.8	-90.5	-93.8	-90.5	-90.2	-93.7	-90.2
49	-89.4	-94.4	-89.4	-89.0	-94.3	-89.0	-88.7	-94.4	-88.7	-88.6	-94.8	-88.6	-88.6	-95.3	-88.6	-89.0	-95.9	-89.0
50	-88.1	-92.3	-88.1	-88.3	-92.6	-88.3	-88.5	-92.8	-88.5	-88.7	-93.2	-88.7	-89.0	-93.5	-89.0	-89.3	-93.8	-89.3
51	-90.4	-92.1	-90.4	-90.2	-91.7	-90.2	-89.9	-91.4	-89.9	-89.6	-91.1	-89.6	-89.2	-90.8	-89.2	-88.9	-90.7	-88.9
52	-88.2	-89.6	-88.2	-88.2	-89.5	-88.2	-88.2	-89.6	-88.2	-88.2	-89.6	-88.2	-88.2	-89.7	-88.2	-88.3	-89.9	-88.3
53	-87.6	-88.6	-87.6	-87.6	-88.8	-87.6	-87.6	-89.9	-87.6	-87.7	-89.2	-87.7	-87.9	-89.5	-87.9	-88.2	-89.8	-88.2
54	-88.6	-89.8	-88.6	-88.9	-90.1	-88.9	-89.1	-90.3	-89.1	-89.3	-90.5	-89.3	-89.5	-90.7	-89.5	-89.7	-90.8	-89.7
55	-89.2	-89.9	-89.2	-89.1	-89.7	-89.1	-88.9	-89.6	-88.9	-88.8	-89.4	-88.8	-88.6	-89.3	-88.6	-88.5	-89.2	-88.5
56	-90.5	-92.5	-90.5	-90.2	-92.1	-90.2	-89.8	-91.7	-89.8	-89.5	-91.4	-89.5	-89.2	-91.2	-89.2	-89.1	-91.1	-89.1
57	-88.0	-89.3	-88.0	-88.1	-89.4	-88.1	-88.2	-89.5	-88.2	-88.4	-89.7	-88.4	-88.6	-89.9	-88.6	-88.8	-90.1	-88.8
58	-89.0	-90.2	-89.0	-89.0	-90.0	-89.0	-88.9	-89.8	-88.9	-88.6	-89.4	-88.6	-88.3	-89.1	-88.3	-87.9	-88.7	-87.9
59	-87.3	-88.5	-87.3	-87.5	-88.8	-87.5	-87.7	-89.0	-87.7	-88.0	-89.2	-88.0	-88.2	-89.4	-88.2	-88.4	-89.6	-88.4
60	-87.4	-88.7	-87.4	-87.7	-89.0	-87.7	-88.0	-89.1	-88.0	-88.1	-89.1	-88.1	-88.1	-89.0	-88.1	-87.9	-88.8	-87.9
61	-87.4	-87.7	-87.4	-87.5	-88.0	-87.5	-87.5	-88.2	-87.5	-87.5	-88.4	-87.5	-87.3	-88.5	-87.3	-87.2	-88.5	-87.2
62	-86.8	-87.0	-86.8	-86.6	-86.8	-86.6	-86.3	-86.6	-86.3	-86.1	-86.5	-86.1	-86.0	-86.4	-86.0	-85.9	-86.5	-85.9
63	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.6	-86.2	-86.2	-86.7	-86.2	-86.3	-86.8	-86.3	-86.4	-86.9	-86.4	-86.6	-87.0	-86.6
64	-87.1	-87.5	-87.1	-87.3	-87.7	-87.3	-87.6	-88.0	-87.6	-87.8	-88.2	-87.8	-88.0	-88.4	-88.0	-88.2	-88.6	-88.2
65	-86.9	-87.3	-86.9	-87.1	-87.5	-87.1	-87.3	-87.7	-87.3	-87.6	-88.0	-87.6	-87.8	-88.2	-87.8	-88.0	-88.4	-88.0
66	-88.8	-89.1	-88.8	-88.9	-89.1	-88.9	-88.9	-89.2	-88.9	-88.9	-89.2	-88.9	-88.9	-89.2	-88.9	-88.9	-89.2	-88.9
67	-88.9	-89.3	-88.9	-89.0	-89.4	-89.0	-89.1	-89.5	-89.1	-89.2	-89.5	-89.2	-89.2	-89.6	-89.2	-89.3	-89.6	-89.3
68	-88.3	-88.7	-88.3	-88.5	-88.9	-88.5	-88.7	-89.1	-88.7	-88.9	-89.3	-88.9	-89.1	-89.5	-89.1	-89.2		

3.6.2 Parámetros analizados en reportes de simulación

En la Tabla 12 se puede apreciar un extracto del análisis realizado a partir de los reportes de simulación obtenidos para la señal uplink en polarización horizontal, vertical y diversidad de polarización. Los tres cuadros mostrados corresponden al primer rango (frecuencia inferior) evaluada en cada una de las bandas (1700 MHz, 2100 MHz y 2500 MHz).

Por cada incremento de 10 MHz de frecuencia uplink en cada banda, y por cada técnica de polarización se han estimado para los 71 puntos de drive test, en Huacapongo, parámetros tales como: nivel de señal mínimo, nivel de señal máximo, nivel de señal promedio, varianza, desviación, y coeficiente de variabilidad de señal uplink.

También se ha considerado, un nivel referencial de fading (caída de -3 dB o mayor debajo del promedio), lo cual sirvió para poder identificar emplazamientos con desvanecimientos notables.

Tal como se aprecia en la Tabla 12, al cuantificar los desvanecimientos con la técnica de diversidad de polarización, se reporta siempre un número de fadings menor al obtenido con las polarizaciones ortogonales tradicionales (horizontal / vertical). Bajo el mismo orden de ideas, se ha buscado evaluar de manera mas directa el desempeño de la técnica de diversidad espacial sobre la señal uplink. En este sentido se han identificado en color rojo emplazamientos de usuario en los que, a pesar del efecto de aumento de señal uplink introducido por la diversidad de polarización, no se alcanza el nivel de recepción suficiente como para ubicarse a menos de 3dB del valor promedio de señal. Estos puntos han sido identificados y contabilizados como los puntos con mayor desvanecimiento de señal.

A su vez, también se han podido identificar emplazamientos desde donde la introducción de diversidad espacial logra aumentar la señal 3 dB o más por encima del promedio de señal, Estos puntos han sido identificados en color verde y contabilizados como los puntos donde se obtiene el mejor desempeño con la introducción de diversidad de polarización. El parámetro denominado Mdiv hace referencia a este margen de diversidad favorable.

Tabla 11. Extracto parámetros de análisis reportes simulación

PUNTO Rx	h 30 m					h 30 m					h 30 m				
	sep ant 3 m					sep ant 3 m					sep ant 3 m				
	CH 1					CH 1					CH 1				
	AZ 0° uplink 1700 MHZ					AZ 0° uplink 2100 MHZ					AZ 0° uplink 2500 MHZ				
	NRx (H)	NRx (V)	NRXdiv	Fad	Mdiv	NRx (H)	NRx (V)	NRXdiv	Fad	Mdiv	NRx (H)	NRx (V)	NRXdiv	Fad	Mdiv
0	-91.8	-92.5	-91.8	-5.2	0.7	-90.5	-91.0	-90.5	-2.4	0.5	-93.6	-94.3	-93.6	-4.3	0.7
1	-90.9	-91.3	-90.9	-4.3	0.4	-89.8	-90.1	-89.8	-1.7	0.3	-92.7	-93.2	-92.7	-3.4	0.5
2	-89.5	-89.9	-89.5	-2.9	0.4	-88.5	-89.2	-88.5	-0.4	0.7	-91.9	-92.4	-91.9	-2.6	0.5
3	-86.2	-86.7	-86.2	0.4	0.5	-88.9	-89.7	-88.9	-0.8	0.8	-89.5	-90.0	-89.5	-0.2	0.5
4	-84.8	-86.3	-84.8	1.8	1.5	-86.1	-87.3	-86.1	2.0	1.2	-88.1	-88.9	-88.1	1.2	0.8
5	-85.1	-87.1	-85.1	1.5	2.0	-86.0	-87.7	-86.0	2.1	1.7	-87.6	-89.0	-87.6	1.7	1.4
6	-84.1	-85.2	-84.1	2.5	1.1	-87.3	-88.2	-87.3	0.8	0.9	-89.0	-90.1	-89.0	0.3	1.1
7	-85.2	-85.9	-85.2	1.4	0.7	-86.2	-87.2	-86.2	1.9	1.0	-88.2	-88.9	-88.2	1.1	0.7
8	-82.4	-83.1	-82.4	4.2	0.7	-86.0	-86.5	-86.0	2.1	0.5	-88.4	-89.0	-88.4	0.9	0.6
9	-82.2	-83.0	-82.2	4.4	0.8	-85.3	-86.3	-85.3	2.8	1.0	-87.6	-88.4	-87.6	1.7	0.8
10	-82.0	-82.5	-82.0	4.6	0.5	-85.7	-86.3	-85.7	2.4	0.6	-86.9	-87.2	-86.9	2.4	0.3
11	-81.5	-81.9	-81.5	5.1	0.4	-84.0	-84.5	-84.0	4.1	0.5	-85.8	-86.4	-85.8	3.5	0.6
12	-85.7	-86.0	-85.7	0.9	0.3	-86.9	-87.2	-86.9	1.2	0.3	-87.6	-88.0	-87.6	1.7	0.4
13	-82.9	-83.1	-82.9	3.7	0.2	-84.9	-85.2	-84.9	3.2	0.3	-86.4	-86.7	-86.4	2.9	0.3
14	-82.2	-82.6	-82.2	4.4	0.4	-86.2	-86.9	-86.2	1.9	0.7	-87.5	-87.8	-87.5	1.8	0.3
15	-82.4	-82.6	-82.4	4.2	0.2	-87.1	-87.7	-87.1	1.0	0.6	-87.9	-87.8	-87.8	1.5	0.1
16	-82.8	-83.2	-82.8	3.8	0.4	-87.1	-87.5	-87.1	1.0	0.4	-89.3	-89.6	-89.3	0.0	0.3
17	-85.0	-85.2	-85.0	1.6	0.2	-87.7	-88.2	-87.7	0.4	0.5	-87.8	-88.0	-87.8	1.5	0.2
18	-88.3	-88.6	-88.3	-1.7	0.3	-85.7	-86.2	-85.7	2.4	0.5	-91.2	-91.4	-91.2	-1.9	0.2
19	-92.9	-93.4	-92.9	-6.3	0.5	-85.6	-86.1	-85.6	2.5	0.5	-94.5	-95.1	-94.5	-5.2	0.6
20	-92.4	-93.3	-92.4	-5.8	0.9	-86.3	-86.9	-86.3	1.8	0.6	-92.3	-93.2	-92.3	-3.0	0.9
21	-90.2	-91.1	-90.2	-3.6	0.9	-87.6	-88.3	-87.6	0.5	0.7	-90.3	-91.1	-90.3	-1.0	0.8
22	-88.3	-89.1	-88.3	-1.7	0.8	-89.7	-90.3	-89.7	-1.6	0.6	-89.1	-89.9	-89.1	0.2	0.8
23	-86.9	-87.6	-86.9	-0.3	0.7	-92.8	-93.3	-92.8	-4.7	0.5	-88.6	-89.2	-88.6	0.7	0.6
24	-96.5	-97.3	-96.5	-9.9	0.8	-89.9	-90.6	-89.9	-1.8	0.7	-88.7	-89.4	-88.7	0.6	0.7
25	-96.5	-97.4	-96.5	-9.9	0.9	-90.9	-91.6	-90.9	-2.8	0.7	-89.1	-89.8	-89.1	0.2	0.7
26	-85.9	-86.8	-85.9	0.7	0.9	-98.9	-99.6	-98.9	-10.8	0.7	-88.7	-89.5	-88.7	0.6	0.8
27	-98.7	-99.8	-98.7	-12.1	1.1	-91.7	-92.5	-91.7	-3.6	0.8	-89.0	-89.9	-89.0	0.3	0.9
28	-87.7	-84.9	-84.9	1.7	2.8	-85.5	-85.9	-85.5	2.6	0.4	-87.6	-87.8	-87.6	1.7	0.2
29	-87.1	-87.6	-87.1	-0.5	0.5	-85.4	-85.7	-85.4	2.7	0.3	-88.4	-88.9	-88.4	0.9	0.5
30	-88.7	-89.5	-88.7	-2.1	0.8	-84.7	-85.6	-84.7	3.4	0.9	-91.1	-91.9	-91.1	-1.8	0.8
31	-85.0	-86.2	-85.0	1.6	1.2	-85.2	-86.4	-85.2	2.9	1.2	-86.3	-87.4	-86.3	3.0	1.1
32	-84.3	-85.4	-84.3	2.3	1.1	-91.9	-93.2	-91.9	-3.8	1.3	-87.8	-88.9	-87.8	1.5	1.1
33	-84.6	-85.3	-84.6	2.0	0.7	-86.7	-87.3	-86.7	1.4	0.6	-90.3	-90.9	-90.3	-1.0	0.6
34	-86.5	-87.1	-86.5	0.1	0.6	-90.1	-90.8	-90.1	-2.0	0.7	-94.8	-95.4	-94.8	-5.5	0.6
35	-88.0	-88.3	-88.0	-1.4	0.3	-90.2	-90.8	-90.2	-2.1	0.6	-99.6	-99.8	-99.6	-10.3	0.2
36	-87.9	-100.0	-87.9	-1.3	12.1	-91.1	-92.8	-91.1	-3.0	1.7	-97.0	-92.0	-92.0	-2.7	5.0
37	-88.0	-88.3	-88.0	-1.4	0.3	-97.6	-98.5	-97.6	-9.5	0.9	-93.6	-93.7	-93.6	-4.3	0.1
38	-88.3	-88.7	-88.3	-1.7	0.4	-104.7	-104.3	-104.3	-16.2	0.4	-91.6	-91.9	-91.6	-2.3	0.3
39	-93.0	-88.9	-88.9	-2.3	4.1	-92.0	-95.1	-92.0	-3.9	3.1	-92.2	-107.3	-92.2	-2.9	15.1
40	-93.1	-92.7	-92.7	-6.1	0.4	-91.9	-91.7	-91.7	-3.6	0.2	-91.9	-92.0	-91.9	-2.6	0.1
41	-90.8	-91.7	-90.8	-4.2	0.9	-87.5	-88.4	-87.5	0.6	0.9	-91.7	-92.5	-91.7	-2.4	0.8
42	-91.1	-92.3	-91.1	-4.5	1.2	-89.8	-91.2	-89.8	-1.7	1.4	-89.0	-90.2	-89.0	0.3	1.2
43	-90.2	-92.0	-90.2	-3.6	1.8	-90.4	-92.2	-90.4	-2.3	1.8	-90.8	-92.6	-90.8	-1.5	1.8
44	-86.9	-91.0	-86.9	-0.3	4.1	-87.9	-91.9	-87.9	0.2	4.0	-89.0	-93.0	-89.0	0.3	4.0
45	-86.2	-90.1	-86.2	0.4	3.9	-87.7	-93.3	-87.7	0.4	5.6	-87.3	-92.3	-87.3	2.0	5.0
46	-82.8	-88.8	-82.8	3.8	6.0	-86.2	-91.4	-86.2	1.9	5.2	-88.9	-94.2	-88.9	0.4	5.3
47	-86.9	-92.7	-86.9	-0.3	5.8	-88.5	-93.8	-88.5	-0.4	5.3	-89.2	-94.4	-89.2	0.1	5.2
48	-86.0	-89.8	-86.0	0.6	3.8	-88.1	-92.6	-88.1	0.0	4.5	-90.9	-94.8	-90.9	-1.6	3.9
49	-84.5	-91.5	-84.5	2.1	7.0	-86.8	-92.7	-86.8	1.3	5.9	-89.4	-94.4	-89.4	-0.1	5.0
50	-85.7	-90.2	-85.7	0.9	4.5	-86.9	-91.2	-86.9	1.2	4.3	-88.1	-92.3	-88.1	1.2	4.2
51	-86.6	-89.1	-86.6	0.0	2.5	-89.0	-91.8	-89.0	-0.9	2.8	-90.4	-92.1	-90.4	-1.1	1.7
52	-87.6	-89.2	-87.6	-1.0	1.6	-86.5	-88.3	-86.5	1.6	1.8	-88.2	-89.6	-88.2	1.1	1.4
53	-84.0	-85.9	-84.0	2.6	1.9	-85.5	-86.9	-85.5	2.6	1.4	-87.6	-88.6	-87.6	1.7	1.0
54	-83.7	-84.8	-83.7	2.9	1.1	-87.8	-88.6	-87.8	0.3	0.8	-88.6	-89.8	-88.6	0.7	1.2
55	-85.4	-87.0	-85.4	1.2	1.6	-85.3	-86.3	-85.3	2.8	1.0	-89.2	-89.9	-89.2	0.1	0.7
56	-87.1	-89.5	-87.1	-0.5	2.4	-90.0	-92.2	-90.0	-1.9	2.2	-90.5	-92.5	-90.5	-1.2	2.0
57	-87.4	-88.5	-87.4	-0.8	1.1	-87.5	-88.8	-87.5	0.6	1.3	-88.0	-89.3	-88.0	1.3	1.3
58	-83.9	-85.4	-83.9	2.7	1.5	-87.3	-88.8	-87.3	0.8	1.5	-89.0	-90.2	-89.0	0.3	1.2
59	-82.4	-83.6	-82.4	4.2	1.2	-86.5	-87.5	-86.5	1.6	1.0	-87.3	-88.5	-87.3	2.0	1.2
60	-86.2	-87.3	-86.2	0.4	1.1	-86.8	-88.1	-86.8	1.3	1.3	-87.4	-88.7	-87.4	1.9	1.3
61	-85.0	-85.8	-85.0	1.6	0.8	-86.0	-86.5	-86.0	2.1	0.5	-87.4	-87.7	-87.4	1.9	0.3
62	-84.2	-85.7	-84.2	2.4	1.5	-86.4	-86.9	-86.4	1.7	0.5	-86.8	-87.0	-86.8	2.5	0.2
63	-85.1	-85.5	-85.1	1.5	0.4	-85.1	-85.6	-85.1	3.0	0.5	-86.2	-86.6	-86.2	3.1	0.4
64	-82.2	-82.6	-82.2	4.4	0.4	-86.6	-86.7	-86.6	1.5	0.1	-87.1	-87.5	-87.1	2.2	0.4
65	-82.9	-83.2	-82.9	3.7	0.3	-86.8	-87.1	-86.8	1.3	0.3	-86.9	-87.3	-86.9	2.4	0.4
66	-83.9	-84.2	-83.9	2.7	0.3	-86.1	-86.5	-86.1	2.0	0.4	-88.8	-89.1	-88.8	0.5	0.3
67	-86.2	-86.6	-86.2	0.4	0.4	-85.7	-86.1	-85.7	2.4	0.4	-88.9	-89.3	-88.9	0.4	0.4
68	-86.2	-86.7	-86.2	0.4	0.5	-86.3	-86.5	-86.3	1.8	0.2	-88.3	-88.7	-88.3	1.0	0.4
69	-84.0	-84.3	-84.0	2.6	0.3	-87.7	-88.0	-87.7	0.4	0.3	-87.7	-88.0	-87.7	1.6	0.3
70	-85.2	-85.5	-85.2	1.4	0.3	-87.7	-87.9	-87.7	0.4	0.2	-88.0	-88.2	-88.0	1.3	0.2
Rxmax	-81.50	-81.90	-81.50			-84.00	-84.50	-84.00			-85.80	-86.40	-85.80		
Rxprom	-86.70	-87.97	-86.60			-88.12	-89.35	-88.11			-89.38	-90.58	-89.31		
Rxmin	-98.70	-100.00	-98.70			-104.70	-104.30	-104.30			-99.60	-107.30	-99.60		
var	13.41	16.09	12.87			11.35	12.69	11.14			6.39	10.78	5.65		
desv.s	3.66	4.01	3.59			3.37	3.56	3.34			2.53	3.28	2.38		
coef.var	-0.04	-0.05	-0.04			-0.04	-0.04	-0.04			-0.03	-0.04	-0.03		
ref. fading	-89.15	-90.42	-89.05			-90.57	-91.80	-90.56			-91.83	-93.03	-91.76		
N° fading	14	16	12			10	15	8			11	12	6		
Prom Mdiv				1.5					1.2					1.3	
N° Mdiv				9					8					9	

IV. PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados.

- a. Respecto de los parámetros técnicos más relevantes para reproducir la propagación uplink con diversidad de polarización en diferentes bandas de frecuencia del Centro Poblado Huacapongo - Virú. Los parámetros de radiofrecuencia uplink relacionados a potencia, ganancias y pérdidas de transceptor móvil y de EBC permanecen constantes, siendo los parámetros más sensibles de variación para efectos de simulación los patrones de radiación de antena EBC en polarización horizontal y vertical, así como la frecuencia portadora uplink, la cual fue aumentada en incrementos de 10 MHz en el rango de cada banda de frecuencia evaluada, observándose cambios resultados de simulación al variar la frecuencia.
- b. Dentro de las principales características de las bandas de frecuencia evaluadas se distinguen, que todas poseen una división en canales de 5 MHz con duplexación TX/RX dividida en frecuencia (FDD), sin embargo, cuentan con la posibilidad de migrar a duplexación TX/RX dividida en tiempo (TDD), por lo cual todos sus rangos pueden ser considerados para la evaluación de un posible enlace uplink. En cuanto a los puntos representativos de usuario, estos fueron considerados a partir de puntos drivetest antecedentes sobre todas las calles del centro poblado. Desde estos puntos se da la emisión de señal uplink hacia la estación base referencial EBC Huacapongo.
- c. Respecto del comportamiento de la diversidad de polarización en diferentes bandas de frecuencia en el centro poblado rural Huacapongo, se han caracterizado parámetros de desempeño para esta técnica de diversidad, en base a la cuantificación de fadings resultantes (valores de potencia uplink resultante por debajo de 3dB del promedio luego del proceso de diversidad).

En tal sentido en la Figura 11, se presenta un resumen del comportamiento de la diversidad de polarización uplink en base a los fadings o desvanecimientos identificados en los resultados de simulación de cada banda de frecuencia. Es así que, en la banda de 1700 MHz, el promedio de los fadings identificados se encuentra en un promedio de 12, en tanto que en la banda de 2100 MHz este número se reduce a 8, volviendo a incrementarse ligeramente a un número de 9 desvanecimientos en la banda de 2500 MHz. Estos desvanecimientos son comparados con los desvanecimientos resultantes del uso de polarizaciones individuales (horizontal/ vertical). En todos los casos la diversidad de polarización reduce el número de desvanecimientos al ser comparada con las polarizaciones ortogonales H/V. Los fadings también son mostrados a nivel de porcentaje resaltado en color rojo en los gráficos circulares de la Figura 11.

En cuanto a los márgenes favorables de diversidad (valores de potencia uplink resultante por encima de 3dB del promedio luego del proceso de diversidad), estos se encuentran cuantificados a nivel de porcentaje en los gráficos circulares mostrados en la Figura 11. Se puede apreciar que los márgenes favorables (porcentajes en color verde), no muestran un cambio notable en las diferentes bandas de frecuencia evaluadas.

Al mismo tiempo los gráficos circulares muestran los márgenes intermedios, es decir aquellos en la que el resultado de diversidad de polarización no alcanza a estar 3 dB, por debajo del nivel promedio (fading), ni 3dB por encima del promedio como para ser considerado margen favorable de diversidad. Estos porcentajes tampoco evidencian un cambio notable al ser evaluados en las tres bandas de frecuencia, encontrándose entre el 68% a 72% de puntos evaluados.

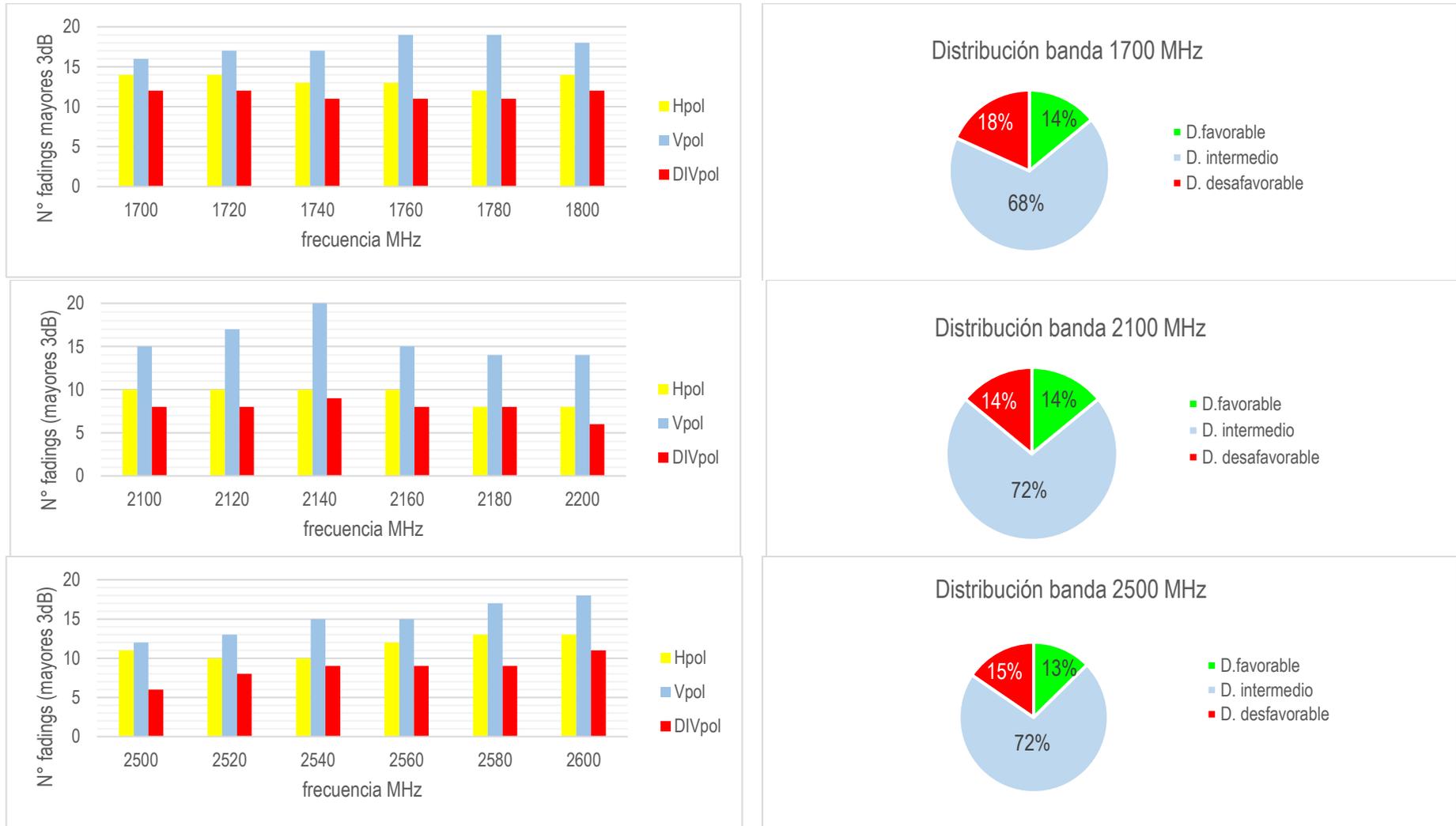


Fig. 11. Resumen desempeño de diversidad de polarización en bandas 1700 MHz, 2100 MHz, 2500 MHz

- d. La señal uplink en diversidad de polarización, se ha evaluado en cada banda de frecuencia, a partir del nivel promedio y su variabilidad. Comparándola con la obtenidas en polarizaciones comunes H/V. En la Tabla 13 se presenta un resumen de los datos obtenidos, los mismos que han sido representados gráficamente en la Figura 12.

Tabla 12. Promedio y variabilidad señal uplink en diversidad de polarización

f (MHz)	Var_H (dB)	Var_V (dB)	Var_{DIV} (dB)	DIV_N_{rxprom} (dBm)
1700	13.4	16.1	12.9	-86.60
1720	14.5	16.2	13.5	-86.82
1740	16.2	16.5	14.3	-87.11
1760	19.4	17.6	15.8	-87.40
1780	19.8	17.6	16.1	-87.25
1800	24.0	20.6	19.4	-87.68
promedio	17.9	17.4	15.3	-87.1

f (MHz)	Var_H (dB)	Var_V (dB)	Var_{DIV} (dB)	DIV_N_{rxprom} (dBm)
2100	11.4	12.7	11.1	-88.11
2120	11.4	12.8	11.3	-88.24
2140	10.6	12.3	10.2	-88.28
2160	9.9	11.4	9.0	-88.32
2180	10.0	11.0	8.2	-88.36
2200	12.0	11.6	8.7	-88.41
promedio	10.9	12.0	9.8	-88.3

f (MHz)	Var_H (dB)	Var_V (dB)	Var_{DIV} (dB)	DIV_N_{rxprom} (dB)
2500	6.4	10.8	5.7	-89.31
2520	6.7	10.6	6.3	-89.42
2540	7.1	9.9	6.8	-89.52
2560	7.4	9.3	7.2	-89.63
2580	7.8	9.0	7.6	-89.74
2600	8.5	9.1	8.2	-89.87
promedio	7.3	9.8	6.9	-89.6

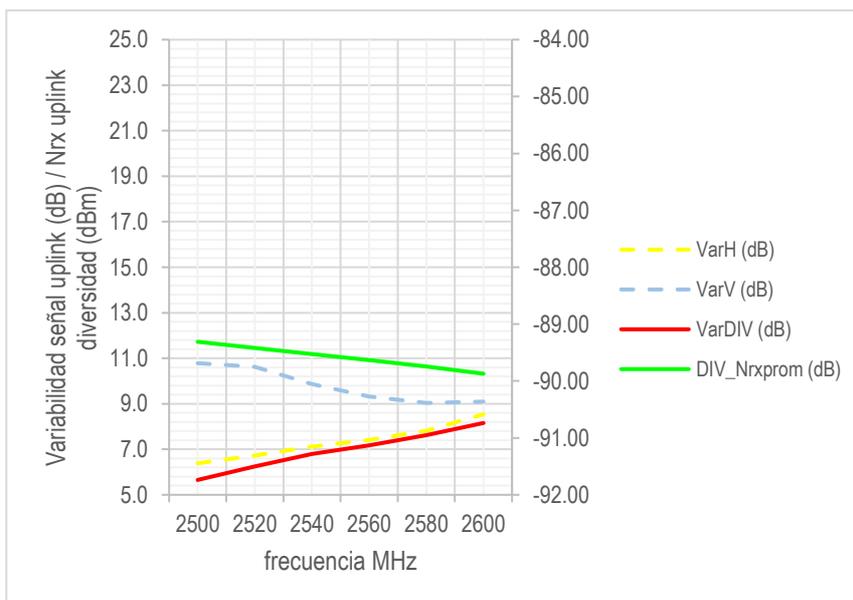
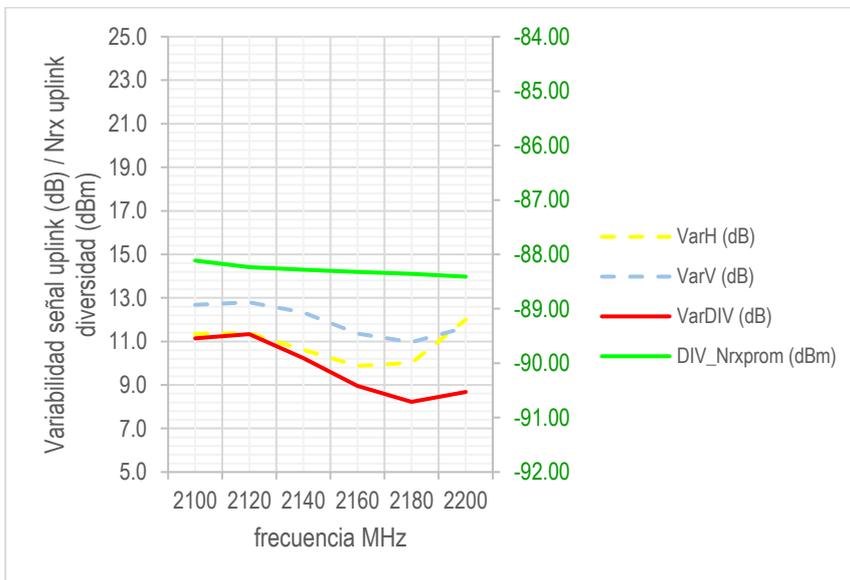
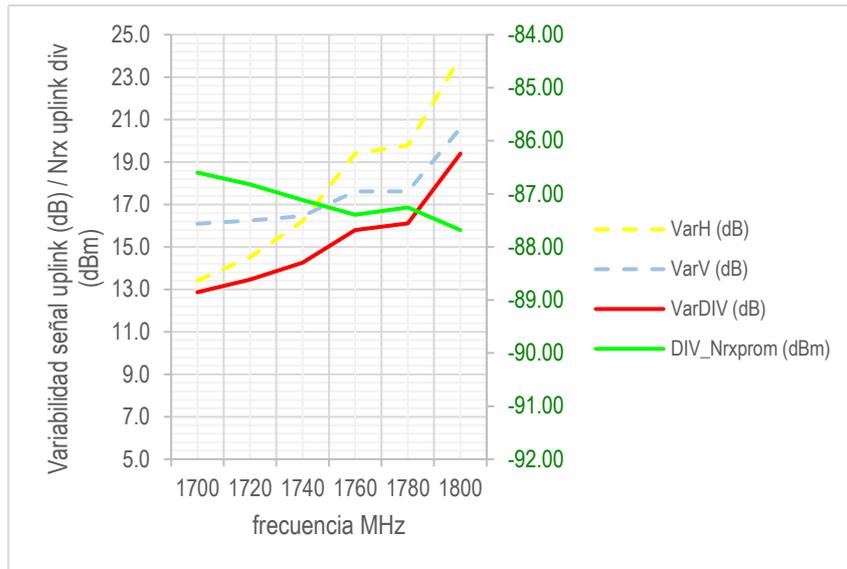


Fig. 12. Diversidad de polarización: señal y variabilidad 1700, 2100, 2500 MHz

A partir de los datos presentados en la Tabla 13, en la Figura 12, se puede observar que el nivel promedio de señal uplink en diversidad de polarización (línea tendencia en color verde), tiende a presentar un ligero decremento con la frecuencia dentro de su respectiva banda; sin embargo, a nivel de las 3 bandas evaluadas los niveles promedio son muy similares (entre -89 a -87 dBm).

En la Figura 12 también se muestra la variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización (línea de tendencia en color rojo). Esta variabilidad en principio es comparada con la variabilidad de señales uplink obtenidas en polarizaciones tradicionales: polarización horizontal (línea color amarillo), polarización vertical (línea color celeste). Para todos los casos evaluados la variabilidad de señal uplink obtenida en diversidad de polarización es menor a la obtenida en polarizaciones tradicionales H/V.

Dentro de la banda de 1700 MHz, la variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización tiende a aumentar de aproximadamente 13 dB al inicio de la banda, hasta 19 dB al final de la banda.

Respecto de la banda de 2100 MHz, la variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización tiende a reducir desde aproximadamente 11 dB al inicio de la banda, hasta 9 dB al final de la banda.

Respecto de la banda de 2500 MHz, la variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización tiende a incrementar desde aproximadamente 6 dB al inicio de la banda, hasta 8 dB al final de la banda.

Al margen de los aumentos o disminuciones de variabilidad dentro de cada banda. Se puede identificar claramente que los rangos de variabilidad de señal uplink recibida en diversidad de polarización, se van reduciendo con el incremento de la frecuencia.

4.2 Docimasia de hipótesis.

De acuerdo con los resultados presentados se evidencia que la señal uplink recibida con diversidad de polarización en la EBC Huacapongo, reporta niveles promedio de señal de -87.1 dBm en la banda de 1700 MHz, -88.3 dBm en la banda de 2100 MHz, y de -89.6 dBm en la banda de 2500 MHz. Asimismo, esta señal reporta rangos de variabilidad entre 12.9 a 19.4 dB en la banda de 1700 MHz; rangos entre 8.2 a 11.3 dB en la banda de 2100 MHz; y de 5.7 a 8.2 dB en la banda de 2500 MHz. Es decir, los rangos de variabilidad reportan una reducción con el aumento de la banda de frecuencia. Ante ello los autores consideran que la hipótesis se ha cumplido la hipótesis propuesta.

V. Discusión de resultados

1. Respecto de los parámetros técnicos más relevantes para reproducir la propagación uplink con diversidad de polarización en diferentes bandas de frecuencia en Huacapongo, se resalta la ventaja de contar con un drive test antecedente que permitió el ajuste de parámetros en la herramienta de simulación. Asimismo, para la reproducción de la técnica de diversidad espacial en uplink, es de vital importancia, disponer de los patrones de radiación de antena EBC en polarización vertical y horizontal. En cuanto a los incrementos de 10 MHz realizados en cada banda de frecuencia, si bien es cierto la canalización es de 5 MHz, los cambios en los reportes de simulación, comienzan a ser notorios a partir de separaciones de 10 MHz, lo cual a su vez facilita el procesamiento de la información. Los criterios antes mencionados coinciden con los trabajos de Angulo, D. y Barrena, L. (2022), así como con Cipiran, B. y Caballero, M. (2022).
2. Respecto de las principales características de bandas de frecuencia y puntos representativos disponibles en Huacapongo, se destaca que las tres bandas de frecuencia evaluadas poseen la capacidad de configuración duplexada en frecuencia (FDD) o duplexada en el tiempo (TDD), por lo cual el uplink es factible de poder evaluar en las tres bandas. Respecto de los puntos representativos, Angulo D. y Barrena L. (2022), emplearon dichos puntos a partir de un estudio de drive test (dowlink) en las calles de Huacapongo. Esta misma referencia ha sido utilizada en el presente trabajo de manera que ahora estos puntos se convierten en los emplazamientos transmisores de usuario desde donde se recibe la señal en diversidad de polarización en la EBC referencial Huacapongo.

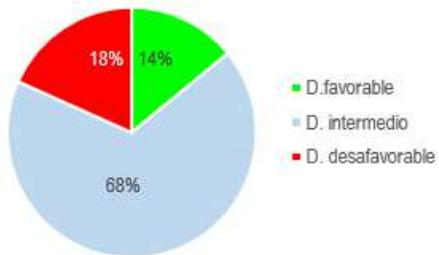
3. Respecto del comportamiento de la técnica de diversidad de polarización; su desempeño se ha evaluado por su capacidad de poder recuperar una señal ya sea en polarización horizontal o vertical hasta niveles al menos 3 dB superiores al nivel promedio reportado en los 71 puntos evaluados. En tal sentido, este criterio puede ser discutible en cuanto a su exigencia, dado que hay casos en los que el nivel uplink recibido en la EBC, puede haberse incrementado notablemente por el efecto de la diversidad de polarización, sin embargo, no alcanzó a superar 3 dB al nivel promedio, ni igualar al nivel promedio, ni estar menos de 3dB por debajo del nivel promedio, por lo cual se puede recomendar la profundización en este criterio de análisis para mejoras de la investigación.

Un aspecto importante de mencionar, es que a pesar de que los puntos con bajo desempeño (fading), desempeño neutral y desempeño alto de diversidad de polarización, se mantienen en similar proporción en las tres bandas de frecuencia evaluadas, éstos se encuentran localizados en puntos específicos, tal como se ha representado en la Figura 13. En ese sentido, se identifica claramente que la zona donde se da el desempeño mas favorable de diversidad de polarización (color verde), corresponde a las cercanías de la EBC, como también a la zona suroeste del centro Poblado Huacapongo. Cabe mencionar que este desempeño baja su intensidad conforme aumenta la banda de frecuencia (ver intensidad de puntos en color verde).

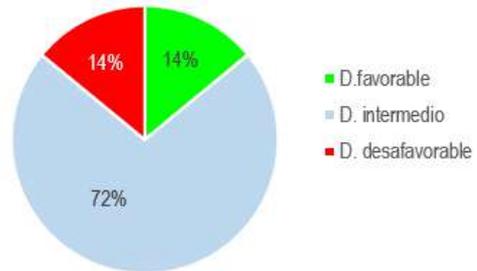
Del mismo modo se puede identificar que las zonas mas críticas de desempeño de diversidad de polarización (color rojo), corresponden a las zonas suroeste y sureste. Se resalta que la intensidad de su criticidad varía con las bandas de frecuencia (ver intensidad de puntos en color rojo).

Los resultados antes mencionados coinciden con las zonas geográficas de mayor criticidad de cobertura, identificadas por Angulo, D. y Barrena, L. (2022), así como con Cipiran, B. y Caballero, M. (2022).

Distribución banda 1700 MHz



Distribución banda 2100 MHz



Distribución banda 2500 MHz

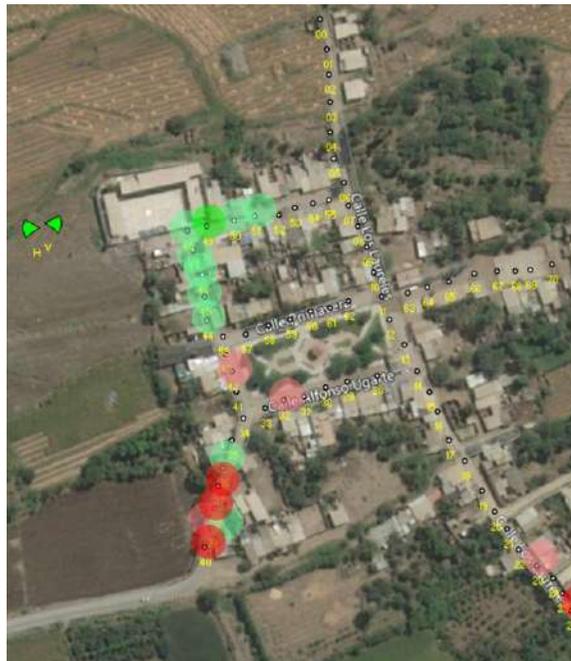
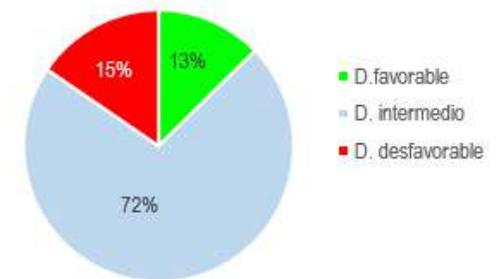


Fig. 13. Localización puntos desempeño de diversidad de polarización en bandas 1700 MHz, 2100 MHz, 2500 MHz

4. Respecto de la evaluación del nivel y variabilidad de señal uplink recibida con diversidad de polarización, en las diferentes bandas de frecuencia. Las curvas obtenidas de los reportes de simulación, respecto del nivel promedio de señal uplink recibida para los 71 puntos evaluados no permiten identificar una tendencia favorable o desfavorable al cambiar la banda de frecuencia. Sin embargo, al evaluar la variabilidad de señal, si se pueden identificar diferencias notables, llegando a identificar que dicha variabilidad de señal se decrementa en las bandas más altas conforme los reportes de simulación obtenidos. Al respecto este resultado se puede interpretar bajo el concepto de que por tratarse de un área focalizada de cobertura, conforme se incrementa la banda frecuencia, se logra concentrar más la señal en la zona de interés, reduciéndose por lo tanto la variabilidad de señal respecto del promedio obtenido para todos los puntos evaluados.

CONCLUSIONES

1. Como parámetros técnicos más relevantes para poder reproducir el escenario de propagación uplink con recepción en diversidad de polarización en una estación base referente en el Centro Poblado Huacapongo, se considera el disponer de un drive test previo llevado a cabo en la zona de interés, disponer de los patrones de antena requeridos en polarización horizontal y vertical, los cuales se complementan con parámetros típicos de transmisión, recepción, ganancias y pérdidas en radiofrecuencia de estación base y estación móvil de usuario.
2. Como principales características de la banda de frecuencia para la estimación de señal uplink se considera, los datos de canalización y duplexación. Respecto de los incrementos de frecuencia para efectos de simulación; las variaciones de señal se hicieron notables en incrementos de 10 MHz. Asimismo, respecto de los puntos representativos, éstos fueron tomados de un drive test antecedente, a partir del cual se modelaron como puntos transmisores de usuario hacia la EBC referencial de Huacapongo (enlace uplink).
3. A partir de los resultados de simulación, se tiene un porcentaje máximo de 18% de puntos que mantienen condición desfavorable a pesar del aumento de señal uplink introducido por diversidad de polarización. A su vez se tiene un máximo de 14% de puntos que obtuvieron una mejora notable de señal con la introducción de la técnica de diversidad. Las zonas más cercanas a la estación base, reportaron mayor evidencia de mejora por diversidad. En las zonas más lejanas de cobertura, el efecto de mejora por diversidad de polarización se reduce.

4. La variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización, recibida en la estación base referencial Huacapongo, reporta valores que van desde un promedio cercano a 15 dB en la banda de 1700 MHz, 10 dB en la banda de 2100 MHz, y 7 dB en la banda de 2500 MHz, es decir de acuerdo a los resultados obtenidos, la señal uplink en diversidad de polarización, reduce su variabilidad con el incremento de la banda de frecuencia.

RECOMENDACIONES

1. La evaluación del desempeño de diversidad de polarización realizada en el presente trabajo ha tomado como indicador una exigencia de incremento de señal uplink resultante, 3 dB por encima del promedio. Sobre la base de este indicador se recomienda se pueda ampliar la investigación evaluando diferentes umbrales respecto del promedio y ampliar el análisis para establecer con más claridad el desempeño de diversidad de polarización y su dependencia con la frecuencia o banda de frecuencia evaluada.
2. El escenario de simulación planteado en el presente trabajo, se desarrolló a partir de una configuración basada en antenas sectoriales para brindar cobertura en el centro poblado Huacapongo, sin embargo, existen otros centros poblados rurales en donde aún se mantienen configuraciones de cobertura basada en antenas omnidireccionales. En tal sentido se recomienda, poder ampliar el análisis a una configuración basada en antenas omnidireccionales, ubicadas en el centro de cobertura de la zona poblada a evaluar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alamouti, S. (1998, octubre). *A simple transmit diversity technique for wireless communications*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/730453>
- Albornoz, J. (2014, marzo). *RADIOENLACES DIGITALES*. <https://www.eae-publishing.com/>. Recuperado 9 de noviembre de 2022, de http://tableroalparque.weebly.com/uploads/5/1/6/9/51696511/libro_radioenlaces_caps_1-2-1-libre.pdf
- Anguera, J., & Pérez, A. (2008). *TEORÍA DE ANTENAS*. Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://users.salle.url.edu/~jaume.anguera/Teoria-Antenas-by-Jaume%20Anguera.pdf>
- Angulo D. y Barrena L. (2022) *Identificación de puntos de desvanecimiento en frecuencia, mediante simulaciones realizadas para un centro poblado rural en diferentes bandas de acceso, La Libertad*. Tesis Pregrado. Trujillo, Perú. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego.
- Castro A., Fusario R. (2013). *Comunicaciones: Una Introducción a las redes digitales de transmisión de Datos y señales Isócronas*. Alfaomega, Buenos Aires, Argentina.
- Cipirán B. y Caballero M. (2022) *Análisis del Desempeño de Polarización Horizontal y Vertical Mediante Simulación de enlaces de Acceso Uplink 2300 MHz, la Libertad 2022*. Tesis Pregrado. Trujillo, Perú. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego.

- Balanis, C. (2016, 1 febrero). *Antenna Theory: Analysis and Design, 4th Edition*. Wiley.com. <https://www.wiley.com/en-us/Antenna+Theory:+Analysis+and+Design,+4th+Edition-p-9781118642061>
- Bergada, P., Alsina, R., & Hervás, M. (2017, enero). *Polarization diversity in a long-haul transequatorial HF link from Antarctica to Spain*.
- Cardama, A., Jofre, L., Rius, J., Romeu, J., Blanch, S., & Ferrando, M. (2002, septiembre). *Antenas*. Google Books. Recuperado 9 de noviembre de 2022, de <https://books.google.com.pe/books?id=r2sjWlcZhDQC>
- Espín R., Flores H. (s/f). *Técnicas de diversidad ante el desvanecimiento por multitrayectoria en el diseño y funcionamiento de los sistemas de radioenlaces digitales con visibilidad*. Universidad Técnica de Ambato.
- Huidobro J. (2001) *Fundamentos de Telecomunicaciones*. Paraninfo, Madrid, España.
- Jorgenson, M., Johnson, W., Moreland, K., Serinken, N., Chow, S., & Willink, T. (1997, julio). *Polarization diversity for HF data transmission*. VII Congreso Internacional de Sistemas y Técnicas de Radio HF. Recuperado 9 de noviembre de 2022, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/607563>
- Kapinas, V., Ilic, M., Pejanović-Đurišić, M., & Karagiannidis, G. (2013). *Aspects on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication Systems*.
- Murillo, J. (2012). *Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación*. Recuperado 1 de noviembre de 2022, de <https://personal.us.es/murillo/docente/Libros/FundRadiacionyRadiocom.pdf>

MTC *buscará ampliar cobertura de telefonía móvil e internet en zonas rurales.*
(s. f.). Noticias | Diario Oficial El Peruano.
<https://elperuano.pe/noticia/132823-mtc-buscara-ampliar-cobertura-de-telefonía-movil-e-internet-en-zonas-rurales>

Ndao, P. M., Erhel, Y., Lemur, D., Oger, M., & Le Masson, J. (2013). Development and test of a trans-horizon communication system based on a MIMO architecture. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013(1).

Proinversion *convoca a licitación la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones para zonas urbanas y rurales.* (2021, mayo). Noticias - Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/proinversion/noticias/492944-proinversion-convoca-a-licitacion-la-prestacion-de-servicios-publicos-de-telecomunicaciones-para-zonas-urbanas-y-rurales>

Proinversion *más de 1,561 nuevas localidades rurales tendrán servicios móviles 4G de telefonía e internet.* (2021, junio). Noticias - Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/proinversion/noticias/498076-mas-de-1-561-nuevas-localidades-rurales-tendran-servicios-moviles-4g-de-telefonía-e-internet>

Smale P. (1993) *Introducción a los Sistemas de Telecomunicaciones*. Primera Edición. Trillas, México.

Tomasi W. (2003) *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. 4ta edición, Pearson Educación, México.

Vaughan, R. (1990, agosto). *Polarization Diversity in Mobile Communications*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/130998>

Yáñez P. (2009) *Estudio de los Canales con Desvanecimiento Sobre Redes Fijas y Móviles en Sistemas de Radio Comunicación. Tesis Pregrado. Quito, Ecuador. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional.*

ANEXOS

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

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

ANEXO 2. Hoja Técnica de la Antena Stella Doradus 246015 H/V



Stella Doradus Ireland Ltd.

24 6015 2.4GHz Base Station antenna



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

Electrical Specifications

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

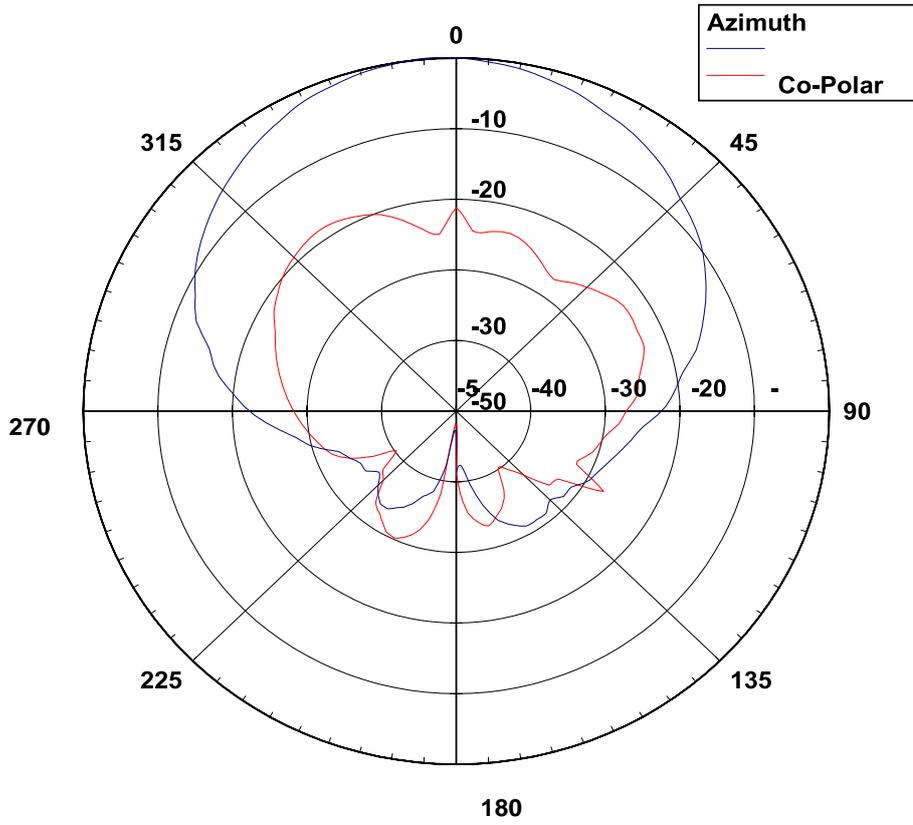
Mechanical Specifications

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

Materials

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

Azimuth Pattern



Elevation Pattern

