

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRONICO

Análisis del desempeño de diversidad de polarización con variación del ángulo downtilt,
mediante simulaciones uplink 2100 MHz, La Libertad 2022

Línea de Investigación: Comunicación, tecnologías de la información e innovación

Sublínea de Investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

García Bocanegra, Marcos Augusto

Gariza Chiguala, José Paul

Jurado Evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Vocal : León Cerna, Alejandro Martin

Asesor: Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

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

Trujillo - Perú

2023

Fecha de Sustentación: 2023/09/11

Análisis del desempeño de diversidad de polarización con variación del ángulo downtilt, mediante simulaciones uplink 2100 MHz, La Libertad 2022

por MARCOS AUGUSTO GARCÍA BOCANEGRA



Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Fecha de entrega: 20-feb-2024 09:29p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2182795088

Nombre del archivo: Tesis_Garc_a_-_Gariza_sanexos.docx (11.94M)

Total de palabras: 11299

Total de caracteres: 61441

Análisis del desempeño de diversidad de polarización con variación del ángulo downtilt, mediante simulaciones uplink 2100 MHz, La Libertad 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

8%

2

repositorio.unicach.mx

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Jurado de sustentación Oral



Azabache Fernández, Filiberto Melchor

N° CIP 97916
Presidente



De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

N° CIP 85598
Secretario



León Cerna, Alejandro Martin

N° CIP 177967
Vocal

Entregado el:

Aprobado por:



García Bocanegra, Marcos

Augusto

DNI 44841837



Gariza Chiguala, Jose Paul

DNI 45488317



Cerna Sánchez, Eduardo

Elmer

Asesor de Tesis

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRONICO

Análisis del desempeño de diversidad de polarización con variación del ángulo downtilt,
mediante simulaciones uplink 2100 MHz, La Libertad 2022

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

Autores:

García Bocanegra, Marcos Augusto

Gariza Chiguala, José Paul

Jurado Evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Vocal : León Cerna, Alejandro Martin

Asesor: Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

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

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, EDUARDO ELMER CERNA SÁNCHEZ, docente del Programa de Estudio de pregrado del Programa de Estudio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada “Análisis del desempeño de diversidad de polarización con variación del ángulo downtilt, mediante simulaciones uplink 2100 MHz, La Libertad 2022”, de los autores: García Bocanegra, Marcos Augusto, y Gariza Chiguala, José Paul, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 9%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 20 de febrero del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis “Análisis del desempeño de diversidad de polarización con variación del ángulo downtilt, mediante simulaciones uplink 2100 MHz, La Libertad 2022.” y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo, 24 de febrero de 2024



CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER:

ASESOR

DNI: 18216463

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



GARCÍA BOCANEGRA, MARCOS AUGUSTO

TESISTA

DNI: 44841837



GARIZA CHIGUALA, JOSÉ PAUL

TESISTA

DNI: 45488317

DEDICATORIAS

Con cariño y gratitud a Dios y a mis padres porque son el soporte fundamental y admiración de mi superación profesional y desarrollo como persona. A mis abuelos que desde la eternidad guían con sabiduría mi vida. A mis hermanos, por su apoyo incondicional, sin el cual no hubiera sido posible seguir adelante, todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

José Paul.

Al Todopoderoso por haber permitido estar aquí y darme unos excelentes padres (Genaro y Alverta), quienes luchan día a día por el bienestar de sus hijos, y porque sin ellos no sería lo que yo soy, es un orgullo y privilegio ser su hijo, los amo. A mi hermano (Irvin), a mis hijos (Christoffer, Kiara y Kahori), a ellos se suma este logro, quiénes me enseñaron a ser el mejor como hijo, hermano, padre y profesional.

Marcos Augusto.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar nuestros pasos y brindarnos bienestar y firmeza de seguir mejorando, superando las diversas dificultades que se presentan en esta vida y que nos permitió llegar, hoy hasta aquí.

A nuestros progenitores por enseñarnos desde la práctica valores y comprendernos en los momentos más difíciles que nos ha tocado vivir hasta el momento y ser parte de nuestras decisiones.

A la Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, por la acogida y formación que nos brido durante los cinco años de formación profesional, hecho con mucho esmero, responsabilidad y sobre todo brindándonos una enseñanza de calidad.

A los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, quienes nos brindaron sabias enseñanzas y experiencias que fueron muy valiosos para nuestra formación profesional y gracias a ello seguimos avanzando en el campo profesional, muchas gracias.

A nuestro asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por brindarnos su apoyo incondicional en la realización y finalización del trabajo de investigación, por su perseverancia y entrega; y sobre todo por ser un buen profesor y habernos brindado sus conocimientos científicos en las diversas asignaturas a través de nuestra formación profesional.

RESUMEN

La presente investigación estuvo enfocada en el estudio del desempeño de la diversidad de polarización en la señal uplink de una estación celular, al variar por simulación el ángulo de declinación o downtilt. Para ello se tomó como referencia un centro poblado ubicado en una zona rural del Departamento de La Libertad, evaluando su desempeño en base a criterios comparativos de nivel promedio y variabilidad de señal uplink respecto a las polarizaciones horizontal y vertical. Los resultados obtenidos para el desempeño de la diversidad de polarización, mostraron un aumento de la variabilidad de señal entre 11 dB a 22 dB con el aumento del ángulo de downtilt entre 0° a 10°. Asimismo, se identificó un aumento del nivel promedio de recepción entre -88.2 dBm hasta -85.4 dBm con un ángulo límite favorable de hasta 7° downtilt, a partir del cual la señal promedio inicia su disminución. Respecto de la comparación con polarizaciones ortogonales, la polarización horizontal es la que obtuvo los indicadores más desfavorables de variabilidad y promedio de señal uplink.

Palabras clave: diversidad, polarización, uplink, variabilidad, recepción

ABSTRACT

The present research was focused on the study of the performance of the polarization diversity in the uplink signal of a cellular station, by varying the declination angle or downtilt by simulation. For this, a small town located in a rural area of the Department of La Libertad was taken as a reference, evaluating their performance based on comparative criteria of average level and uplink signal variability with respect to horizontal and vertical polarizations. The results obtained for the performance of polarization diversity showed an increase in signal variability between 11 dB to 22 dB with the increase in the downtilt angle between 0° and 10° . Likewise, an increase in the average reception level between -88.2 dBm to -85.4 dBm was identified with a favorable limit angle of up to 7° downtilt, from which the average signal begins to decrease. Regarding the comparison with orthogonal polarizations, the horizontal polarization is the one that obtained the most unfavorable indicators of variability and average of the uplink signal.

Keywords: diversity, polarization, uplink, variability, reception

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De acuerdo y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno del Programa de Estudios de Ingeniería Electrónica para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, dejamos a vuestra disposición el presente Trabajo de Investigación titulado: **“ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN CON VARIACIÓN DEL ÁNGULO DOWNTILT, MEDIANTE SIMULACIONES UPLINK 2100 MHz, LA LIBERTAD 2022”**.

Esta investigación, es producto de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, los cuales nos facilitaron la realización de nuestro trabajo de investigación.

Señores miembros del jurado esperamos que el presente trabajo de investigación se ajuste a las exigencias establecidas por nuestra universidad y merezca su aprobación.

Trujillo, junio del 2023

Br. Marcos Augusto, García Bocanegra.

Br. José Paul, Gariza Chiguala.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN:	13
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:.....	14
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2. MARCO DE REFERENCIA.....	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.2. MARCO TEÓRICO	22
2.3. MARCO CONCEPTUAL	35
2.4. HIPÓTESIS.....	36
2.5. VARIABLES DE ESTUDIO CATEGÓRICAS	36
3. METODOLOGÍA EMPLEADA	41
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	41
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	42
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	43
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	55
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	67
4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	68
4.2. DOCIMASIA DE HIPÓTESIS.....	77
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	78
6. CONCLUSIONES	81
7. RECOMENDACIONES	83
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
9. ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de banda de frecuencias (3Hz - 300 GHz)	23
Tabla 2. Operacionalización de la Variable Independiente	38
Tabla 3. Operacionalización de la Variable Dependiente	39
Tabla 4. Tecnicas de recoleccion de datos.	43
Tabla 5. Rango de frecuencias de 2100Mhz.....	48
Tabla 6. Propuesta de puntos de emplazamientos de una EBC Huacapongo.	49
Tabla 7. Datos tecnicos del equipo transceptor ZXSDR B8900 de ZTE.	52
Tabla 8. Datos técnicos de antena sectorial 22 6015H SD.....	52
Tabla 9. Datos técnicos de Antena SD 22 60 15 V.	53
Tabla 10. Datos técnicos de Estación móvil.....	54
Tabla 11. Reporte de señal para diferentes grados de downtilt.....	59
Tabla 12. Resumen de variabilidad y nivel promedio Horizontal, Vertical, Diversidad.	65
Tabla 13. Desvanecimientos y márgenes de mejora por diversidad.....	66
Tabla 14. Selección de desvanecimientos y márgenes de mejora.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de diagrama bidimensional de radiación de antena	24
Figura 2. Ratio Front to back.	26
Figura 3. Sistema de antenas, combinaciones de antenas.	30
Figura 4. Sistema sectorial de antenas	32
Figura 5. Elipse de polarización de la onda transmitida	33
Figura 6. Distribución de la energía por distintas celdas	34
Figura 7. Forma de inclinación del lóbulo principal.....	34
Figura 8. Vista satelital de la zona de Huacapongo.....	44
Figura 9. Municipalidad de Huacapongo	45
Figura 10. EBC Niño.....	46
Figura 11. Posible punto de ubicación de una EBC Huacapongo.	49
Figura 12. Punto de ruta del drive test en el centro poblado Huacapongo.	50
Figura 13. Equipos ZXSDR B8900 de ZTE - R8978 RRU	51
Figura 14. Detalle del patrón de radiación y elevación de la antena 22 6015H	53
Figura 15. Patrón de radiación y elevación de la antena SD 22 6015V.....	54
Figura 16. Patrón de elevación y azimut estación móvil usuario.	55
Figura 17. Configuraciones de Herramienta Simulación.	56
Figura 18. Trayectorias de las propagaciones de los enlaces resultantes	57
Figura 19. Análisis de los ángulos downtilt de 0° a 3°	62
Figura 20. Análisis de los ángulos downtilt de 4° a 7°.	63
Figura 21. Análisis de los ángulos downtilt de 8° a 10°.	64
Figura 22. Emplazamientos con desvanecimientos y márgenes de mejora notables, señal en diversidad de polarización	69

Figura 23. Porcentajes de emplazamientos con resultados favorables, neutrales y desfavorables en señal uplink con diversidad de polarización	70
Figura 24. Gráfica análisis ANOVA, Nrx uplink promedio H/V/Div y varianza versus ángulo downtilt.....	72
Figura 25. Variabilidad señal uplink, polarizaciones H/V y diversidad polarización	73
Figura 26. Nrx promedio uplink, polarización H/V y diversidad de polarización	75
Figura 27. Emplazamientos notables en diferentes rangos downtilt.....	76

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN:

1.1 Problema de Investigación

a. Descripción de la Realidad Problemática

Los enlaces de radiocomunicaciones constituyen un elemento vital para el acceso a telecomunicaciones orientadas a mejorar el nivel de vida de toda comunidad, sea en la salud, educación, comunicaciones digitales, etc. Poniendo a disposición recursos para un mejor nivel de vida de la población.

Según More, J. (2022), con la creciente demanda de servicios de usuarios y servicios de datos, en estos últimos tiempos se ha consolidado un salto tecnológico enorme en el campo de las comunicaciones inalámbricas en el Perú, lo cual, al mismo tiempo, ha traído consigo diferentes desafíos técnicos en las tecnologías existentes y emergentes.

Dentro de los desafíos técnicos referidos, se pueden mencionar: la optimización de los patrones de cobertura, mejoramiento de la eficiencia espectral, inmunidad a las interferencias, mejoramiento de técnicas de acceso y modulaciones adaptativas dinámicas. En el tema más específico concerniente al mejoramiento de la cobertura, uno de los aspectos de importancia a considerar es la calidad de señal recibida en el enlace ascendente o uplink, encontrándose actualmente en un escenario de ampliación de nuevas bandas y segmentos de frecuencia tales como los disponibles en la banda de 2100 MHz.

Angulo D. y Barrena, L. (2022) señalan que, en las zonas rurales del país, la característica principal de los diseños en el segmento de acceso, es la búsqueda de la mayor área de cobertura con una sola estación base. En este sentido, el reto técnico para mejorar la calidad de señal en uplink, se enfoca en poder vencer las limitaciones del terminal del usuario, que tiene una baja potencia de emisión y tiende a sufrir diferentes fenómenos de degradación.

Según Manning, T. (2009), al buscar alcanzar mayor cobertura, las irregularidades propias de los patrones de radiación de cualquier antena sectorial u omnidireccional, se acentúan de acuerdo a la geografía de zona, pudiendo generarse zonas de cobertura irregular o con una considerable fluctuación de señal en el uplink. Para tratar de reducir estos efectos, se suele utilizar la técnica de diversidad de polarización, buscando una cobertura regular y concentrada con el balance del ángulo de declinación de las antenas, también denominado ángulo de downtilt.

La técnica de diversidad de polarización, consiste en el uso de antenas en polarización horizontal y vertical, de manera que, en una de las dos polarizaciones, la señal uplink va a llegar con mayor intensidad. En este sentido la investigación de Fehima T. et al. (2021) revaloriza el uso de esta técnica para sistemas de acceso móvil, concluyendo que su uso puede aportar a una mejor comunicación del usuario.

Respecto de la técnica de downtilt, es comúnmente utilizada en las configuraciones de antenas sectoriales. Consiste en buscar compensar las irregularidades propias del patrón de radiación, apuntando la antena hacia abajo, dentro de un rango típico de declinación (downtilt) entre 0° a 10° grados, buscando un balance entre un área de cobertura más concentrada y la menor la fluctuación de señal. En este orden de ideas, en el trabajo de Atsuya A. et al. (2018), lograron identificar una mejora en el desempeño de cobertura con la combinación de técnicas: diversidad de polarización y ángulo de downtilt

b. Identificación del problema

De acuerdo a lo señalado anteriormente, el uso de diversidad de polarización, en conjunto con la técnica de downtilt, da lugar a una inquietud académica, en cuanto al estudio del comportamiento de la diversidad de polarización en diversos ángulos de downtilt.

En tal sentido los autores consideraron una importante oportunidad de investigación poder realizar un estudio, en el cual se pueda analizar el desempeño de la diversidad de polarización en función del ángulo downtilt, mediante simulaciones realizadas, en una zona rural del Departamento de la Libertad.

Tomando en cuenta el acceso a las herramientas de simulación, acceso a la información y acceso de trabajos preexistentes, se propuso, realizar un estudio de desempeño de la diversidad de polarización en la banda de 2100 MHz, mediante simulaciones, a realizarse en un centro poblado rural de provincia de Viru, en el Departamento de la Libertad.

c. **Formulación del problema**

¿Cómo se desempeña la diversidad de polarización al variar el ángulo de downtilt, al evaluarse mediante simulaciones en la banda de 2100MHz en una zona rural del Departamento de La Libertad?

1.2 Objetivos de la investigación

a. **Objetivo General**

Describir el desempeño de la diversidad de polarización con variación del ángulo de downtilt, mediante simulaciones de uplink en la banda 2100 MHz para una zona rural en el Departamento de La Libertad.

b. **Objetivos Específicos**

- Analizar los puntos de mayor desvanecimiento de señal uplink 2100 MHz, de acuerdo a la variación del ángulo de declinación (downtilt).
- Evaluar el nivel de señal recibidas mediante simulación considerando niveles de potencia y variabilidad generados por efectos de propagación y despolarización.

- Proponer recomendaciones respecto de los ángulos downtilt que favorecen el desempeño de diversidad de polarización uplink, conforme los resultados de simulación.

1.3 Justificación de la Investigación

El trabajo de investigación se justificó académicamente, porque se realizó un estudio aplicando los conocimientos aprendidos, en los cursos de propagación y antenas, de la formación de pregrado; para analizar una problemática real, en la banda de 2100 MHz para el acceso inalámbrico en diversos sistemas, con la posibilidad de aportar al diseño de sistemas que operen en la banda de 2100 MHz en el Departamento de La Libertad.

La investigación también se justificó desde el punto vista técnica y social, puesto que los criterios de diseño y los criterios de análisis que se obtuvieron del presente proyecto pueden ser rescatados por otros investigadores y profesionales que busquen ampliar sus horizontes de análisis y diseño en proyectos inalámbricos.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes de la Investigación

- a. Angulo D. y Barrena L. (2022) desarrollaron el trabajo de investigación titulado "Identificación de puntos de desvanecimiento en frecuencia, mediante simulaciones realizadas para un centro poblado rural en diferentes bandas de acceso, La Libertad, 2020." se enfocaron en un análisis sobre desvanecimiento en diferentes canales y bandas de radiofrecuencia en emplazamientos de usuario ubicados en el Centro Poblado Huacapongo, Departamento de La Libertad realizando un análisis en 04 bandas acceso radio (1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz y 2600 MHz) mediante simulaciones. El principal aporte de esta investigación se considera la selección de emplazamientos y los parámetros para el modelamiento de la estación base y estación móvil, así como los resultados de desvanecimiento selectivo que sirve como referencia para la presente investigación.

- b. Fehima T. et al. (2021) en la investigación titulada "Impact of receiver antenna polarization and resource scheduler on the downlink performance of high velocity users in 5G millimeter wave small cell technology." Analizaron el efecto de la polarización de la antena receptora y la planificación de los recursos de radio utilizados en una estación base sobre el rendimiento del enlace descendente de los usuarios móviles (0-120 km/h) en una red de pequeñas celdas mmWave (30 a 300 GHz). Después de un exhaustivo análisis en escenarios de alta movilidad, lograron identificar las combinaciones más ventajosas de antenas para el equipamiento de usuario bajo diferentes algoritmos de programación. Los resultados indicaron que el rendimiento de los recursos se complementa con una adecuada selección de la polarización de la antena receptora, asimismo sus resultados mostraron un mejor desempeño de polarizaciones lineales sobre otras polarizaciones como la circular, para escenarios de alta velocidad. El principal aporte de este trabajo se considera que es la revalorización las polarizaciones lineales tradicionales, cuyos

resultados sirve como referencia comparativa para la presente investigación.

c. Atsuya A. et al. (2018) en el paper de investigación titulado “A Study of Radio Zone Length of Dual-Polarized Omnidirectional Antennas Mounted on Rooftop for Personal Handy-Phone System” propusieron el despliegue de una antena omnidireccional de doble polarización para antenas de estación base rooftop (estaciones montadas sobre los tejados de los edificios). La antena desarrollada suprimía la degradación del nivel de la señal recibido debido a la inclinación de las antenas móviles en el sistema PHS (Personal Handy Phone System). La antena de diversidad de polarización propuesta se compone de una antena cilíndrica ranurada con carga dieléctrica para ondas polarizadas horizontalmente y una antena de matriz colineal convencional para ondas polarizadas verticalmente en una configuración de diversidad en altura. El trabajo describió la estructura de la antena y sus características eléctricas fundamentales, como la impedancia de entrada y el patrón de radiación, asimismo se midió el cambio en la longitud de alcance de radio (RZL) en base al ángulo de inclinación de la antena móvil para estimar la mejora en una zona urbana. Mientras que la antena de diversidad de polarización propuesta restringe la degradación a aproximadamente un 20 %, independientemente del ángulo de inclinación sin downtilt y del 20% al 40% para un downtilt de 15°. A pesar de tratarse de un arreglo de diversidad con separación vertical de antenas, se señala que el principal aporte de este trabajo es la mejora demostrada con el empleo de diversidad de polarización, en combinación con el ángulo de downtilt, lo cual sirve de referencia comparativa con la presente investigación.

d. Junnan Y., Ming D., Guoqiang M y Tom H. (2018) en el paper de investigación titulado “Optimal Base Station Antenna Downtilt in Downlink Cellular Networks” discutieron la disminución del rendimiento de eficiencia espectral de área (ASE), debido a característica ultradensa (UDN) de las redes actuales. El problema fue analizado

considerando el impacto del ángulo downtilt de la estación base como alternativa para aumentar la potencia recibida o reducir interferencia entre celdas. Los resultados obtenidos mostraron que se puede obtener un ángulo de downtilt óptimo para lograr la máxima probabilidad de cobertura, mejorando con ello el rendimiento de la red. Se considera como principal aporte de esta investigación el hallazgo del ángulo downtilt óptimo en downlink, el cual sirve como referencia comparativa con el análisis uplink a llevar a cabo en la presente investigación.

- e. Yejun He., Wei T.Y Long Z. (2017) en el paper de investigación titulado "A Novel Dual-broadband Dual-polarized Electrical Downtilt Base Station Antenna For 2G/3G Applications" Propusieron un arreglo de antenas de estación base de doble banda ancha y doble polarización con estructura compacta y perfil bajo para el sistema de comunicación 790-960 MHz (CDMA/GSM) y 1710-2170 MHz (PCS/UMTS). Los resultados medidos demostraron que el conjunto de antenas logra un downtilt eléctrico de 0° - 14° en banda inferior y de 0° - 10° en la banda superior, con características notables de SLS, PLS, ROE, IPI, XPIC, y HPBW de $65^{\circ} \pm 5^{\circ}$ en ambas bandas de frecuencia y todos los ángulos de inclinación eléctrica. Se considera como principal aporte la demostración de que una configuración de antena con diversidad de polarización se obtienen parámetros estables para todos los ángulos downtilt, lo cual sirve de referencia comparativa en el presente trabajo de investigación.

2.2 Marco Teórico

2.2.1. Fundamentos de antenas

Las antenas conforman uno de los componentes más importantes en la estación base de la red de acceso celular, siendo vital su buen desempeño tanto en el enlace descendente (downlink) estación base a usuario, como en el enlace ascendente (uplink) usuario a estación base. Su función principal es acoplar las señales electromagnéticas desde la estación al espacio libre y viceversa a fin de transformar las corrientes de los circuitos transmisores en campos electromagnéticos radiantes a puntos distantes, así como concentrar los campos provenientes de las estaciones distantes para convertirlas en corrientes capaces de ser reconocidas por un circuito receptor. Las características apropiadamente seleccionadas para una antena garantizarán el correcto desempeño del sistema inalámbrico.

a. El espectro electromagnético

La denominación de espectro electromagnético corresponde a todo el rango de frecuencia en que las radioeléctricas pueden ser generadas y/o recibidas. Típicamente el espectro se encuentra dividido en bandas de frecuencia la cual posee un rango mínimo, máximo y valor central que da la denominación a la banda. Asimismo, la banda puede estar dividida en canales cuando es empleada para sistemas de comunicaciones. Los canales pueden ser unidireccionales (simplex), bidireccionales (duplex) o con posibilidad de comunicación simultánea en dirección de ida y vuelta (full dúplex). Cada sistema de comunicación emplea una configuración simplex o dúplex de acuerdo a su naturaleza y requerimientos. en la Tabla 1 se muestra la distribución de bandas de frecuencia para el espectro electromagnético.

Tabla 1: Bandas de frecuencia

Nombre	Banda	Frecuencia	Longitud de Onda	Uso
Tremendamente baja frecuencia	TLF	<3 Hz	>1000.000 km	Frecuencia en la que trabaja la actividad neuronal
Extra baja frecuencia	ELF	3-30 Hz	100,000-10,000 km	No se utiliza en radiofrecuencia
Super baja frecuencia	SLF	30-300 Hz	10,000-1,000 km	Comunicaciones submarinas
Ultra baja frecuencia	ULF	300-3,000 Hz	1,000-100 km	Comunicaciones militares secretas
Muy baja frecuencia	VLF	3-30 kHz	100-10 km	Comunicaciones militares y gubernamentales
Baja frecuencia	LF	30-300 kHz	10.1 km	Comunicaciones aéreas y marítimas
Frecuencia Media	MF	300-3,000 kHz	1,000-100 m	Radiodifusión
Alta frecuencia	HF	3-30 MHz	100-10 m	Seguridad, defensa, radioaficionados
Muy alta frecuencia	VHF	30-300 MHz	10-1 m	Televisión, radio FM, aviación, satélites, servicio marítimo
Ultra alta frecuencia	UHF	300-3,000 MHz	1m – 100 mm	Televisión, radiotransmisiones, uso personal, telefonía móvil, militar.
Super alta frecuencia	SHF	3-30 GHz	100-10 mm	Televisión vía satélite, radioenlaces, radar
Extra alta frecuencia	EHF	30-300 GHz	10-1 mm	Radioastronomía, radar alta resolución
Tremendamente alta frecuencia	THF	>300Ghz	>1 mm	Radiografía de terahercios, espectroscopía, comunicaciones

Fuente: Kathrein Mobilcom (2021)

Respecto de los sistemas móviles celulares en nuestro país, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC, (2022), las bandas usadas tradicionalmente abarcan el rango de 800 MHz (divididos en rangos de subida y bajada), habiéndose expandido el espectro a las bandas de 900 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz. Habiéndose expandido actualmente a las bandas de 700 MHz y 2100 MHz con la posibilidad de dedicar rangos de frecuencia en estas bandas para uso exclusivo de uplink o downlink.

b. Diagramas bidimensionales

La forma de representar la radiación de energía desde / hacia una antena se realiza a través de los diagramas denominados envolventes del patrón de radiación (RPEs). Estos diagramas procuran representar la representación tridimensional de la energía en un corte superior (plano XY) el cual se denomina patrón de radiación azimutal o patrón horizontal. Del mismo modo se tiene un corte en un plano vertical (plano XZ) el cual se denomina patrón de radiación vertical o patrón de elevación. A continuación, en la Figura 1, se muestra un diagrama de radiación bidimensional.

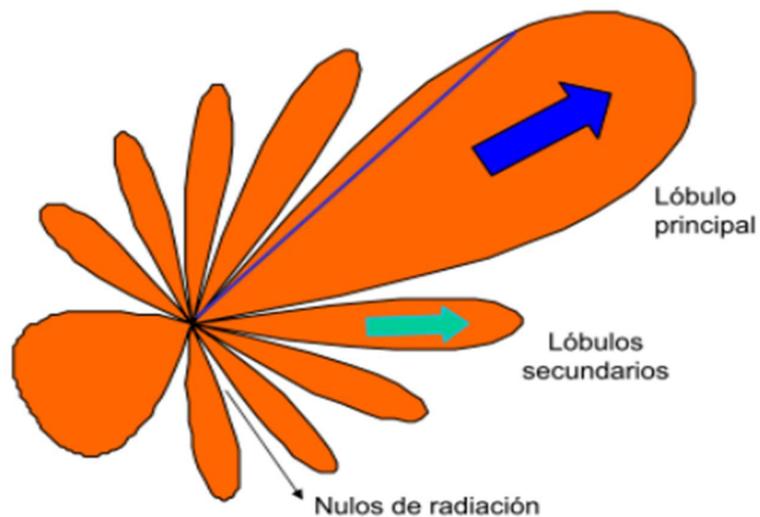


Fig.1. Representación diagrama bidimensional radiación de antena

Fuente: Kathrein Mobilcom (2021)

c. Parámetros de interés.

- Lóbulo y apertura de máxima radiación
- Presencia de los lóbulos en direcciones de radiación secundarias
- Presencia de puntos nulos o de mínima radiación de potencia

d. Ganancia

La ganancia en una antena se cuantifica en base a la comparación de potencia recibida respecto de antenas de referencia. Entre las antenas de referencia se encuentran la antena isotrópica y la antena dipolo de media onda. Cuando la diferencia de potencia en dB se mide tomando como comparación una antena isotrópica, la ganancia se cuantifica en unidades dBi (decibelios isotrópicos). Asimismo, cuando la diferencia de potencia en dB se mide tomando como referencia una antena de media onda, la ganancia se cuantifica en dBd (decibelios dipolo). El incremento de la concentración de energía es una medida de la ganancia de antena.

e. Ratio Front-to-Back (F/B)

La relación front to back de una antena cuantifica el aislamiento o diferencia en dB entre la potencia de una señal transmitida en la dirección frontal, respecto de la señal transmitida en dirección contraria (180°). Esta misma cuantificación puede considerarse desde el punto de vista de potencia recibida, de manera que el parámetro Front to Back (F/B) puede verse como un parámetro de aislamiento. La Figura 2 muestra el concepto de relación Front – to - Back.

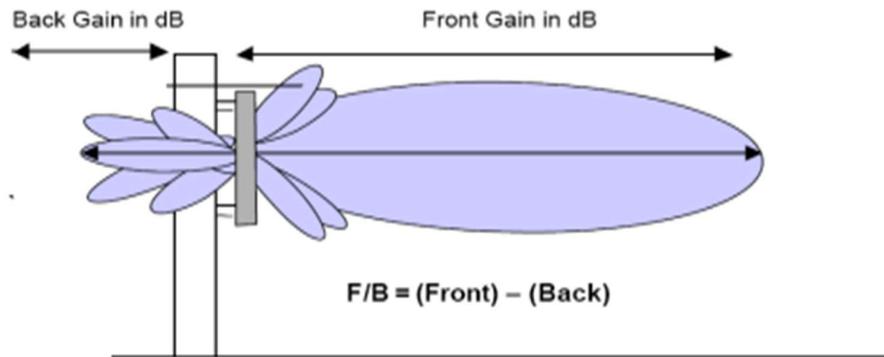


Fig. 2. Ratio Front – to - back

Fuente: Kathrein Mobilcom (2021)

f. Impedancia

La impedancia de una antena se define el cociente entre el voltaje y corriente en sus conexiones de entrada. Dado que dicha impedancia contiene componentes reactivos, suele tener variación respecto de la frecuencia, existiendo un rango en donde logra mantener un valor estable.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$Z_i = \text{Impedancia}$

$V_i = \text{Tension}$

$I_i = \text{Corriente}$

g. Polarización

La polarización de una antena está definida por la orientación o dirección de sus dipolos internos y como éstos transmiten o reciben los componentes de campo eléctrico. Existen tres tipos de polarización de antenas:

- **Polarización Lineal** Este tipo de polarización mantiene un desfase de 0° entre todos los componentes generados por los dipolos internos de la antena. Las direcciones más notables corresponden a una

dirección de variación de campo eléctrico paralela al plano horizontal terrestre (polarización horizontal), y la variación de campo eléctrico en dirección perpendicular al plano terrestre horizontal (polarización vertical).

- **Polarización Circular** El arreglo de dipolos horizontal y vertical es desfasado un cuarto de longitud de onda de manera que produzca un giro permanente hacia izquierda o hacia derecha de la dirección de campo eléctrico, el cual mantiene amplitud constante.
- **Polarización Elíptica** Cuando el desfase de los dipolos horizontales y verticales se realiza con diferente amplitud, se puede obtener un campo eléctrico con rotación permanente hacia izquierda o hacia derecha con una mayor amplitud en el plano horizontal o en el plano vertical, dependiendo de las amplitudes generadoras en los correspondientes dipolos.

h. Intermodulación

Es una característica de los dispositivos pasivos de radiofrecuencia usados en los sistemas inalámbricos, el cual consiste en que los componentes de frecuencia adquieren una condición no lineal pueden generar componentes a partir de la suma y resta de las frecuencias de entrada, así como la suma y resta de los múltiplos de las frecuencias de entrada, pudiendo llegar a producir importantes niveles de interferencia en el mismo sistema Tx / Rx o en otros sistemas o canales de frecuencia. El ejemplo más simple es cuando dos portadoras de frecuencia f_1 y f_2 son alimentadas dentro de una antena. Si la no linealidad está presente se generan las frecuencias siguientes:

$$f_{DI} = nf_1 \pm mf_2 \dots\dots\dots (2)$$

Donde f_{DI} es la frecuencia generada por la no linealidad

$n = 0, 1, 2, \dots$

$m = 0, 1, 2, \dots$

Se puede apreciar que cuando se generen múltiplos de f_1 y f_2 , entonces f_{DI} , podrá llegar a generar frecuencias que llegarían a afectar a bandas o canales superiores cuando se sumen los múltiplos correspondientes, o llegar a afectar por interferencia a bandas inferiores, o la misma banda de comunicación cuando se resten los múltiplos correspondientes. La degradación de las conexiones RF por efectos de mala conectorización o corrosión suele ser el origen de este parámetro indeseable.

i. Estación base

Es la estación base transceptora que sirve para proveer el acceso inalámbrico a los usuarios a fin de que puedan hacer uso de los recursos de conmutación y puedan de esta forma generar tráfico de voz y/o datos. Para ello posee una determinada cantidad de recursos de radio frecuencia los cuales son puestos a disposición de los usuarios a través de la cobertura alcanzada por su sistema de antenas.

- **Tipos Básicos de Antenas para Estaciones Base**

Los dos tipos básicos de antenas para estaciones base son las antenas omnidireccionales, las cuales son típicamente usadas en entornos rurales, y las antenas sectoriales, las cuales dependiendo de su ángulo de apertura puede usarse en carreteras (180° de apertura), sectorizaciones en zonas urbanas (120° de apertura) o en zonas de gran capacidad con ángulos de apertura reducidos para lograr una mayor capacidad de utilización de los radiocanales o recursos de radiofrecuencia.

- **Antenas Omnidireccionales**

Las antenas omnidireccionales se caracterizan por irradiar de manera simétrica en todas las direcciones alrededor de su punto de ubicación. A pesar de que su patrón de radiación azimutal puede verse como un patrón circular, poseen irregularidades en su patrón de elevación, lo cual se acentúa con la altura. Su uso es mayor en zonas de cobertura rural.

- **Antenas Direccionales**

Las antenas direccionales se caracterizan por la concentración de potencia en su haz principal. Típicamente una antena con ángulo de apertura hasta 15° es considerada como una antena direccional. Sus aplicaciones van dirigidas mayormente a enlaces de comunicación punto a punto, con una relación front to back alrededor de 20 dB o mayor.

- **Sistemas de radiación transversal.**

Las antenas conformadas por dipolos múltiples en polarización ortogonal horizontal / vertical con patrones de radiación direccionales en diferentes ángulos de apertura se clasifican dentro de los sistemas de radiación transversal. Los paneles sectoriales de 45° , 65° , 90° , 120° , 180° son típicamente conformados por estos arreglos de antenas.

- **Sistemas de antenas**

Esta configuración es mayormente usada para las coberturas de radio y televisión en ciudades. Se pueden conformar por arreglos individuales tales como paneles de antenas que de acuerdo a una adecuada separación horizontal y vertical generan un desfase y patrón resultante. La Figura 03 presenta un ejemplo de obtención de RPE en sistemas de antenas.

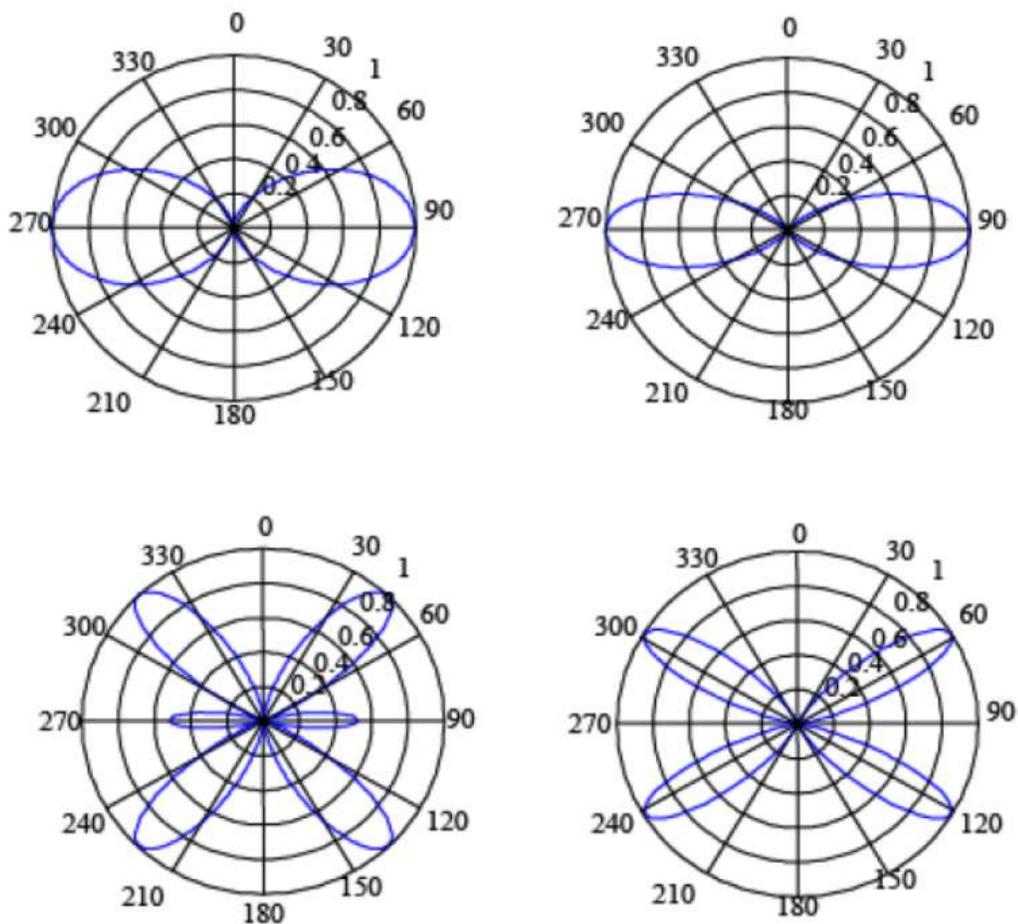


Fig. 3. Combinaciones de antenas.

Fuente Kathrein Mobilcom (2021)

2.2.2. Configuraciones usadas en cobertura de sistemas celulares

a. Diversidad de antenas

Cuando se tiene el uso de una o más antenas receptoras se conforma un sistema de diversidad. Si las antenas poseen una separación horizontal o vertical se denomina diversidad espacial. Si las antenas poseen diferente polarización se denomina diversidad de polarización. El circuito receptor, selecciona la mejor de las señales para ser procesada en la comunicación del usuario.

b. Estación Base Omnidireccional

Una Estación Base Omnidireccional está formada típicamente por 3

antenas omnidireccionales. Una de ellas transmisora y las otras dos receptoras. La transmisora suele montarse a mayor altura para buscar una radiación plenamente omnidireccional y aislar mejor la retroalimentación Tx / Rx. El rango de separación entre las dos antenas receptoras suele estar en el rango de 12λ a 20λ para lograr una ganancia entre 4dB a 6 dB. Su uso está más orientado a zonas con poca población tales como las zonas rurales.

c. Estación Base Sectorizada

Una estación base sectorizada suele tener esta configuración con fines de distribuir más eficientemente sus recursos de radiocomunicación para el acceso de los usuarios. Típicamente se suele tener 03 sectores de 120° sobre los cuales se implementan paneles de similar o menor apertura de ángulo de radiación. El uso de antenas con ángulos menores tales como 65° es muy popular en la actualidad en zonas de alta densidad, dado que reduce los traslapes entre sectores e interferencias entre estaciones.

d. Diversidad de polarización.

Cuando la señal se propaga desde el móvil de usuario a la estación celular, suele enfrentar efectos de despolarización que puede hacer que la señal recibida en uplink pueda tener más componentes de campo horizontal o vertical, según su ubicación o condiciones de radiopropagación. En este sentido se puede emplear dos antenas receptoras en polarizaciones H/V a fin de que el circuito receptor seleccione y procese la señal con mayor intensidad. Esta técnica se denomina diversidad de polarización.

Scholz, P. (2022) en la publicación “Principios Básicos de Antenas para Comunicaciones Móviles”, afirma que la técnica de diversidad de

polarización está basada en la selección del mayor nivel recibido entre dos 2 antenas polarizadas ortogonalmente. Presentando las siguientes características:

- La configuración típica emplea por cada sector, una antena transmisora en polarización vertical y dos antenas receptoras (Hpol / Vpol) separadas 2λ . Como se muestra en la figura 4:

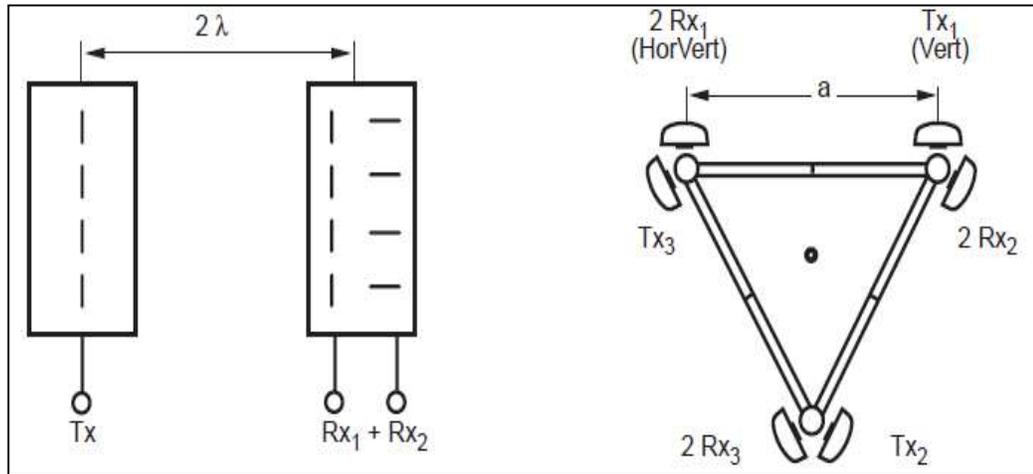


Fig. 04. Sistema sectorial de antenas

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

Donde:

Rx_1 = Receptor A_1 en polarización vertical

Rx_2 = Receptor A_2 en polarización horizontal

Rx_3 = Receptor A_3

Tx_1 = Transmisor A_1

Tx_2 = Transmisor A_2

Tx_3 = Transmisor A_3

- Cuando los vectores de campo eléctrico poseen diferentes amplitudes, un desfase de $\lambda/4$ genera una envolvente giratoria en

forma de elipse proyectada en el plano perpendicular al vector de propagación de la onda, como se observa en la figura 5.

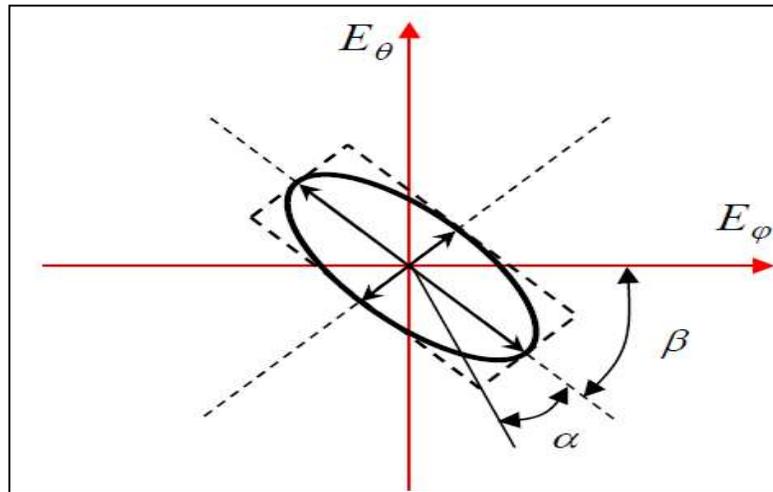


Fig. 5. Elipse de polarización de la onda transmitida

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

Donde:

E_ϕ = Campo Eléctrico en el plano azimutal

E_θ = Campo Eléctrico en el plano de elevación

α = Ángulo de despolarización

β = Ángulo de despolarización

2.2.3. Aspectos de diseño en las Antenas de Estaciones Bases

a. Downtilt

El ángulo de downtilt juega un papel importante en la concentración de señal para una estación celular. Se debe ajustar de manera que la interferencia de lóbulos posteriores o laterales (back lobe o side lobe) sea reducido, concentrando señal en la zona de interés. En la Figura 6 se representa el concepto de uso de downtilt en configuración sectorizada.

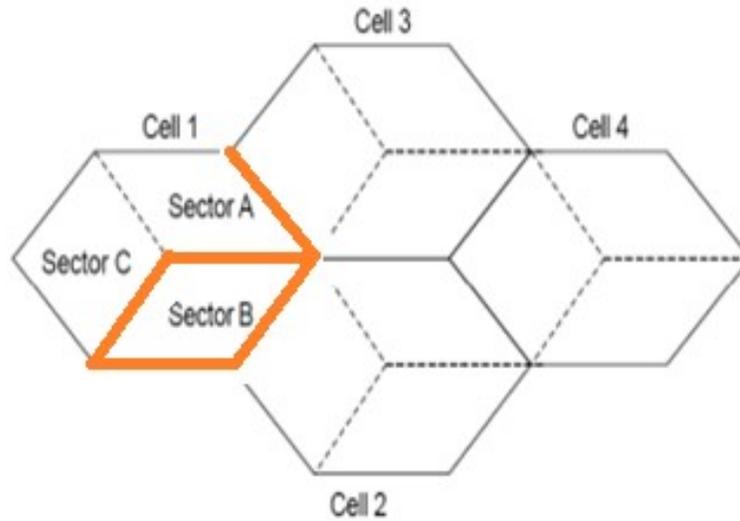


Fig. 6. Distribución de la energía por distintas celdas.

Los rangos típicos comerciales permiten una variación del ángulo de downtilt entre 0° a 10° . En la Figura 7 se muestra el concepto de declinación con downtilt. Actualmente se cuentan con soluciones tales como downtilt eléctrico remoto (RET downtilt), con el cual dicho ángulo puede ser manipulado a través del control de desfase entre dipolos, desde el centro de gestión sin necesidad de la intervención física en la estación celular.

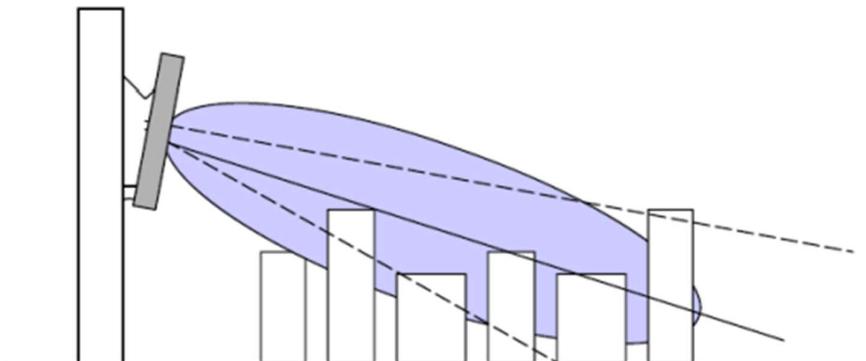


Fig. 7. Forma de inclinación del lóbulo principal.

Fuente: Joanni (2011)

b. Sistema Downtilt

Para Mitigar la interferencia entre celdas el sistema downtilt es uno de los principales desafíos técnicos a los que se enfrentan los operadores cuando administran redes celulares con múltiples estaciones base. Esto será cada vez más importante a medida que los sistemas ingresen en la era 5G, ya que los proveedores de servicios buscarán densificar las redes para aumentar la capacidad. Para densificar con éxito, las estaciones base deben poder reutilizar frecuencias dentro de sus grupos celulares. Por lo tanto, los operadores deben tener un control estricto sobre el patrón de radiación de cada antena. La expansión de la radiación dará lugar a interferencias electromagnéticas y comunicaciones de mala calidad.

2.3. Marco Conceptual

a. Polarización Vertical y Horizontal

Es la dirección que obtiene el campo eléctrico de la señal electromagnética, respecto de un plano horizontal terrestre. Si la variación de campo es paralela al plano la polarización es horizontal. Si la variación del campo es perpendicular al plano terrestre, se dice que la onda posee una polarización vertical.

b. Downtilt

Es el ángulo de declinación con el cual una antena brinda cobertura a la zona de interés donde se ubican los usuarios móviles. Su variación típica comercial se encuentra entre 0° - 10° .

c. Diversidad de polarización

Técnica empleada contra los efectos de despolarización del móvil, mediante la cual la señal del móvil de usuario es recibida en la estación celular (uplink) con dos antenas, una en polarización horizontal y otra en polarización vertical. Los circuitos receptores seleccionan y procesan la señal de mayor amplitud entre las dos.

2.4. Hipótesis

a. General

El desempeño de diversidad de polarización mejora en los límites inferior y superior de downtilt, al evaluarse mediante simulaciones de uplink en banda de 2100 MHz en una zona rural del Departamento de La Libertad.

2.5. Variables de estudio

a. Variable Categórica 01:

Ángulo de Downtilt

Definición Conceptual

Es un ángulo de declinación que suele estar desde los 0 a 10 grados y es utilizado para declinar el alumbramiento de la antena a zonas más concentradas y de menor radio de cobertura.

Indicadores.

- Ángulo de declinación

b. Variable Categórica 02:

Desempeño diversidad de polarización

Definición Conceptual

Se refiere al comportamiento de la señal uplink en diversidad de polarización, respecto de nivel promedio y márgenes de variabilidad superiores o inferiores a 3dB sobre el promedio (criterio desvanecimiento ITU-R P.530-18).

Indicadores.

- Nivel promedio de señal uplink en diversidad de polarización
- Variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización
- Márgenes variabilidad desfavorable en diversidad de polarización
- Márgenes variabilidad limitada en diversidad de polarización
- Márgenes variabilidad favorable en diversidad de polarización.

c. Operacionalización de las variables

Tabla 2 Operacionalización de la Variable Independiente

CATEGORÍA 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Ángulo Downtilt.	De acuerdo con la necesidad de diseño el downtilt puede tener un alineamiento completamente horizontal de línea de vista o puede declinar su línea de vista haciendo un ángulo para poder concentrar la señal en un área de cobertura menor o más concentrada.	Ángulo de declinación	Reporte configuración simulador	Grados

Tabla 3 Operacionalización de la Variable Dependiente

CATEGORÍA 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
<p>Desempeño diversidad de polarización</p>	<p>Sobre los diferentes escenarios de simulación de múltiples enlaces de uplink, se evalúa el nivel de señal recibida en diversidad de polarización, considerando sus niveles de potencia y variabilidad generados por efectos de propagación y despolarización</p>	<p>Nivel promedio de señal uplink en diversidad de polarización</p>	<p>Reporte de simulación</p>	<p>dB</p>
		<p>Variabilidad de señal uplink en diversidad de polarización</p>	<p>Reporte de simulación</p>	<p>dB</p>
		<p>Márgenes variabilidad desfavorable en diversidad de polarización</p>	<p>Reporte de simulación</p>	<p>dB</p>
		<p>Márgenes variabilidad limitada en diversidad de polarización</p>	<p>Reporte de simulación</p>	<p>dB</p>
		<p>Márgenes variabilidad favorable en diversidad de polarización</p>	<p>Reporte de simulación</p>	<p>dB</p>

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

III. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1 Tipo y nivel de investigación

El nivel de investigación del presente trabajo es de tipo descriptivo, con fin de poder evaluar el comportamiento de la señal uplink en diversidad de polarización con la variación del ángulo de downtilt, en una red de acceso 2100 MHz, en un Centro Poblado de La Libertad mediante simulación.

3.2 Población y muestra de estudio

a. Población y muestra

La población se compone por las redes de acceso uplink 2100 MHz, posibles de evaluar en zonas rurales de rugosidad media en franja costera del Departamento de La Libertad.

Por ser de una condición no determinística no existe un número finito posible de contabilizar. Sin embargo, de acuerdo a la disponibilidad de información y accesibilidad a la zona, se ha considerado como muestra el centro poblado Huacapongo, en la Provincia de Virú, Departamento de La Libertad, el cual es una muestra de zona rural costera con rugosidad moderada posible de evaluar mediante simulación.

Cabe destacar que dentro del proceso de simulación se evaluaron 11 variaciones de ángulo downtilt en una ruta de drivetest constituida por 71 puntos a lo largo del centro poblado tanto en polarización horizontal y vertical. Con ello se generaron un total de 1562 estimaciones con lo cual los autores justificaron la presencia de 02 investigadores para el posterior proceso y análisis de los datos generados.

3.3 Diseño de Investigación

El diseño de la investigación propuesta fue de tipo descriptivo no experimental, dado que todo el estudio se realizó en base a la recolección de datos de simulaciones de la señal recibida en uplink 2100 MHz, para los 71 diferentes emplazamientos representativos de usuarios, para una sola BTS, con una distancia fija de separación de antena típica de 3m y una altura también típica de su estación base celular de 30m, en el centro poblado de Huacapongo, departamento de La Libertad.

El diseño que se utilizó en el presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo, consistiendo en observar por simulación la muestra para recabar la información deseada.

Esquema Gráfico del diseño de investigación:

$$M \rightarrow O$$

Dónde:

M : Red de acceso uplink 2100 MHz en el Centro poblado de Huacapongo. Departamento de La Libertad.

O : Observación del desempeño de la técnica de diversidad de polarización en uplink 2100 MHz.

a. Procedimiento

- Identificación de características técnicas y configuración de los parámetros técnicos de estación base celular y estaciones móviles en la banda 2100 MHz en la herramienta de simulación.
- Configuración y pruebas de la herramienta de simulación, para reproducir el escenario de diversidad de polarización.

- Obtención de los reportes de simulación, bajo herramienta de simulación.
- Obtención de curvas de señal uplink proveniente de los diferentes puntos de emisión en los emplazamientos de usuarios. El cálculo se repite para 11 ángulos de downtilt en la estación base.
- Identificación de variabilidad de señal para polarización ortogonal, y diversidad de polarización en los 11 ángulos downtilt evaluados.
- Identificación de los puntos de usuario con mayor desvanecimiento de señal
- Identificación de puntos de usuario con mayores márgenes de mejora por diversidad de polarización, respecto de cada una de las polarizaciones, a nivel individual (horizontal, vertical).

3.4 Técnicas e Instrumentos de investigación

Tabla 4 Técnicas de recolección de datos

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Observación	Simulación de los valores de potencia uplink recibidos en la banda de 2100 MHz.	Guía de observación de valores de potencia uplink 2100 MHz recibida en reportes de simulación.

Recopilación de datos y reportes de simulación de señal uplink en la banda de 2100 MHz recibida en una estación base, proveniente de 71 emplazamientos de usuario en diferentes localizaciones en el centro poblado de Huacapongo, Virú, La Libertad.

a) Recopilación de datos del centro poblado Huacapongo:

El centro poblado Huacapongo está situado en el Distrito de Virú, Provincia Viru, Departamento de La Libertad, con una altitud 315 m sobre el nivel del mar, como se presenta en la Figura 8. Sus principales actividades y que les genera un ingreso económico a las familias de Huacapongo son la agricultura (palta, esparrago, maíz amarillo duro, etc.), la ganadería (ganado vacuno, caprino, ovino, etc.) y actividades complementarias como son la crianza de animales menores, albañilería, carpintería, peonaje, etc.

Asimismo, cuenta con la iglesia Virgen del Carmen, con la posta de salud Huacapongo, la municipalidad y la principal Institución Educativa Nacional de Educación Primaria y Secundaria N°80073 José Abelardo Quiñones.



Fig. 8. Vista satelital de la zona de interés

Fuente: Google Earth (2022)

En la Figura 9, se presenta una vista de la Municipalidad de Huacapongo con algunas edificaciones en sus alrededores, donde se puede apreciar que no existen edificaciones de gran tamaño, que puedan contrastar con la geografía natural o la distribución natural del terrero sobre todo el centro poblado.



Fig. 9. Municipalidad y edificaciones en Huacapongo

La estación base transceptora de servicio celular más próxima, se denomina EBC Niño. Esta corresponde al operador Telefónica Movistar y se localiza a 2.62 km del centro poblado. En la Figura 10; se muestra una fotografía del EBC Niño desde la cual hasta 2.62 km se recibe la señal de Huacapongo, el servicio fijo o móvil presentando fallas en su cobertura.



Fig. 10. EBC Niño, estación más cercana a Huacapongo

En la misma Figura 10, se puede apreciar la configuración de la estación base, cuyo sistema radiante está soportado en una antena de tipo omnidireccional con polarización vertical. Debido a la distancia de separación a Huacapongo (2.5 Km), la expectativa en la señal uplink recibida desde este centro poblado es de bajo nivel, acentuándose los efectos de propagación y despolarización por tratarse de un haz omnidireccional que no está especialmente dirigido al centro poblado en mención.

b) Datos técnicos de la banda 2100 MHz

Según el Plan Nacional de Frecuencias del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, (2022), a banda de 2100 MHz está asignada a servicios fijos y móviles inalámbricos, estando compuesta por 20 radiocanales dentro del rango 2100 MHz a 2195 MHz. El ancho de banda disponible en

cada canal es de 5 MHz, los cuales dependiendo de la red de acceso pueden emplearse en uplink o downlink. La Tabla 04 se muestran los detalles de canalización y rangos referenciales para la banda de 2100 MHz.

La posibilidad de que el ancho de banda del canal se pueda emplear en uplink o downlink se denomina técnica de Duplexación por División de Tiempo (TDD). Es decir, se asignan tiempos distintos y debidamente sincronizados para que la información pueda ser dirigida en flujo de datos ascendente o descendente. Este tipo de técnica permite optimizar el uso del ancho de banda.

Asimismo, cabe destacar que, algunos de los canales mostrados en la Tabla N° 4 ya se encuentran actualmente adjudicados a operadores de telecomunicaciones rurales tales como DirectNet. Se espera que las próximas adjudicaciones permitan el ingreso de nuevos operadores rurales para el Departamento de La Libertad.

Tabla 5. Rango de Frecuencias de 2100 MHz

BANDA / CANAL	TDD INICIO (MHz)	TDD FIN (MHz)	Área Asign.
CH01	2110	2115	La Libertad
CH02	2115	2120	La Libertad
CH03	2120	2125	La Libertad
CH04	2125	2130	La Libertad
CH05	2130	2135	La Libertad
CH06	2135	2140	La Libertad
CH07	2140	2145	La Libertad
CH08	2145	2150	La Libertad
CH09	2150	2155	La Libertad
CH10	2155	2160	La Libertad
CH11	2160	2165	La Libertad
CH12	2165	2170	La Libertad
CH13	2170	2175	La Libertad
CH14	2175	2180	La Libertad

Fuente: Adaptado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2022)

Para efectos de simulación de la red de acceso, se ha considerado el canal CH01, el cual es uno de los canales adjudicados a servicio inalámbrico. Dado que se trata de una configuración TDD, el rango de ida considerado para uplink corresponde a los valores entre 2100-2105 MHz, es decir una transmisión uplink con ancho de banda 5 MHz.

c) Emplazamiento de referencia propuesto para una EBC en la localidad Huacapongo

Según el trabajo realizado por Angulo, D. & Barrena, L. (2022), se optó como punto de ubicación para una EBC referencial, la zona nor-oeste en la localidad Huacapongo, dado que se logra una orientación que cubre la mayor parte del centro poblado con una antena sectorial.

En la siguiente Tabla 6, se presenta algunas propuestas de configuraciones que podrían darse en puntos ubicados en las zonas sur-oeste, sur-este y nor-este, en los cuales con una correcta alineación del ángulo de azimut y una antena sectorial, se lograría cubrir el centro poblado de Huacapongo para una mayor cobertura en sus distintas zonas.

Tabla 6 Propuesta de puntos de emplazamientos de una EBC Huacapongo

Emplazamientos	Coordenadas (°)	Azimuth (°)	
		P. Horizontal	P. Vertical
Nor-Oeste	8°22'19.97"S,78°39'12.46"O	100	100
Sur-Oeste	8°22'32.58"S,78°39'14.54"O	37	37
Sur-Este	8°22'32.60"S,78°39'3.89"O	310	310
Nor-Este	8°22'19.97"S,78°39'12.46"O	176	176

Fuente: Cipirán B. & Caballero M. (2022)

En la Figura 11 se aprecia el punto de ubicación y orientación de cobertura desde la posición para la EBC, donde se podría adaptar mejor la forma de patrón de radiación a la cobertura en el centro poblado de Huacapongo.



Fig. 11. Posible punto de ubicación de una EBC Huacapongo.

d) Emplazamientos representativos de ubicaciones de usuarios

Según el trabajo realizado por Angulo & Barrena (2022), se estimaron 37 puntos para considerar desvanecimientos en frecuencia. Para el presente trabajo se estimaron puntos intermedios a fin de complementar la ruta empleada en el trabajo antes citado. Para ello se ha empleado los mismos recorridos drive test que fueron utilizados en el trabajo precedente para la zona de la localidad de Huacapongo. Con la perspectiva indicada anteriormente, se consideraron 71 puntos, de los cuales están presentados en la Figura 12. En cada punto se realizó la estimación de la diversidad de polarización de la posición de la estación base correspondiente.

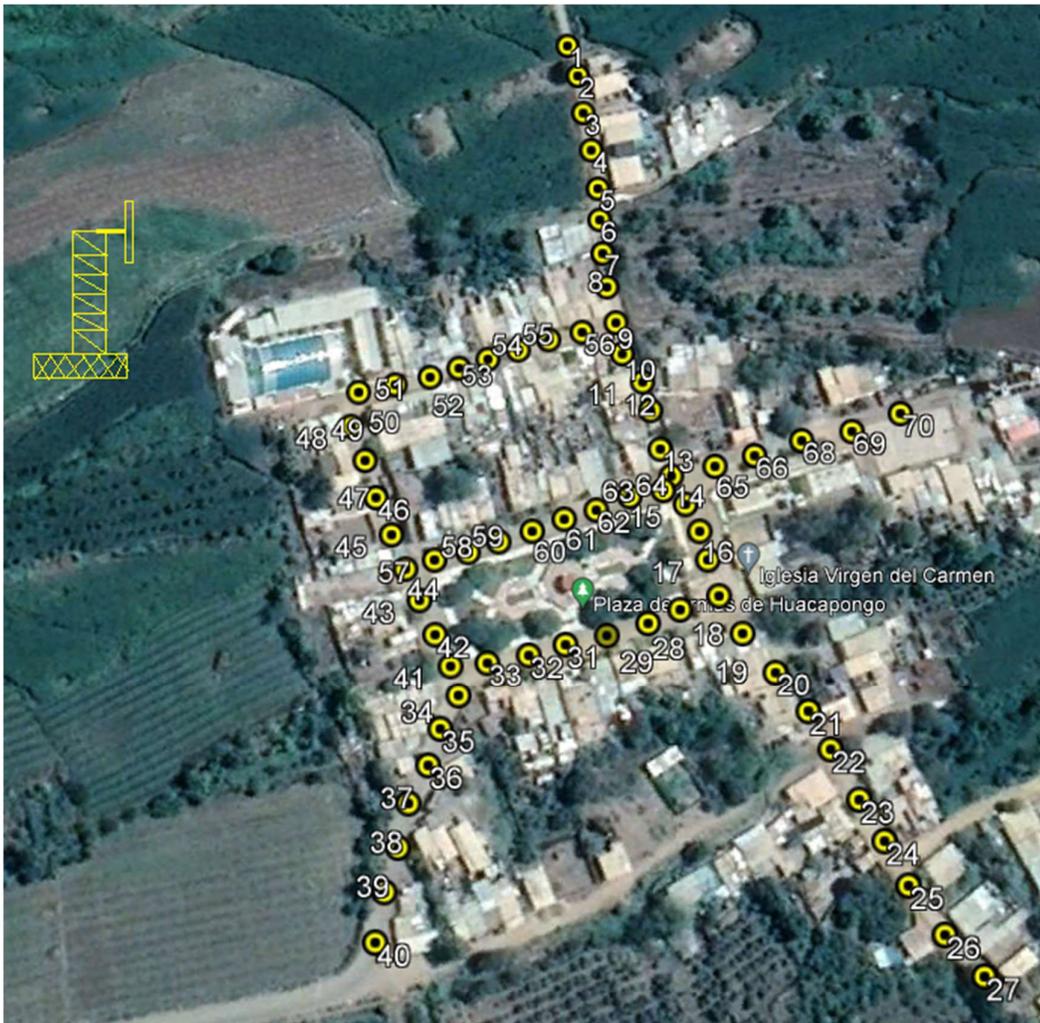


Fig. 12. Punto de ruta del drive test en el centro poblado Huacapongo

e) Características técnicas referenciales de una estación base

Como referencia para las características técnicas requeridas para la simulación en radiofrecuencia de la EBC, se consideró un modelo comercial típico empleado por operadores nacionales. De manera específica se seleccionó la estación modelo ZXSDR B8900 del fabricante ZTE. En la figura 13, se muestran el módulo de exteriores RRU - R8978 donde la señal es recibida en la radiofrecuencia 2100 MHz uplink desde el equipo de usuario, la cual se demodula y convierte a señal óptica para ser llevada y procesada el módulo de banda base (interiores). De esta forma se consigue el enlace uplink.



Fig. 13. ZXSDR B8900 de ZTE - R8978 RRU

Fuente: ZTE University (2012)

En la Tabla 7, se detalla un resumen de las características técnicas seleccionadas del RRU ZTE ZXSDR B8900, con el fin de poder modelar el enlace uplink en la herramienta de simulación.

Tabla 7. Datos técnicos del equipo transceptor ZXSDR B8900 de la marca ZTE

Transceptor	
Item	Description
Frequency	2100 MHz
Impedance	50 Ω
Umbral Rx	-140 dBm
Power Tx	66 dBm
L. internas	1.50 dBm

f) Características de Antenas

Respecto de las antenas seleccionadas para la simulación de la señal en diversidad de polarización. El principal requisito técnico es poder identificar dos modelos de antenas que operen en el mismo rango de frecuencia diferenciándose únicamente en el tipo de polarización (H/V). De este modo se pudieron identificar los modelos de antenas SD 226015H y SD 226015V del fabricante Stella Doradus Ireland Ltd., La Tabla 8 presenta su resumen.

Tabla 8. Datos técnicos de la antena sectorial SD 22 6015H

Especificaciones técnicas SD_226015H	
Ganancia	15,0 dBi.
Ancho de haz media potencia	60° x 15°
Ancho de banda	2.1-2.3 GHz
Relación Onda Estacionaria	1.8: 1
Aislamiento Frente - Espalda	44,0 dB.
Polarización	Horizontal
Potencia Nominal	50,0w
Impedancia	50,0 ohms.
Tipo conector	N-female.
Discriminación XPOL	22,0 dB.
Protección sobretensión	Incorporada

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd. (2022)

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

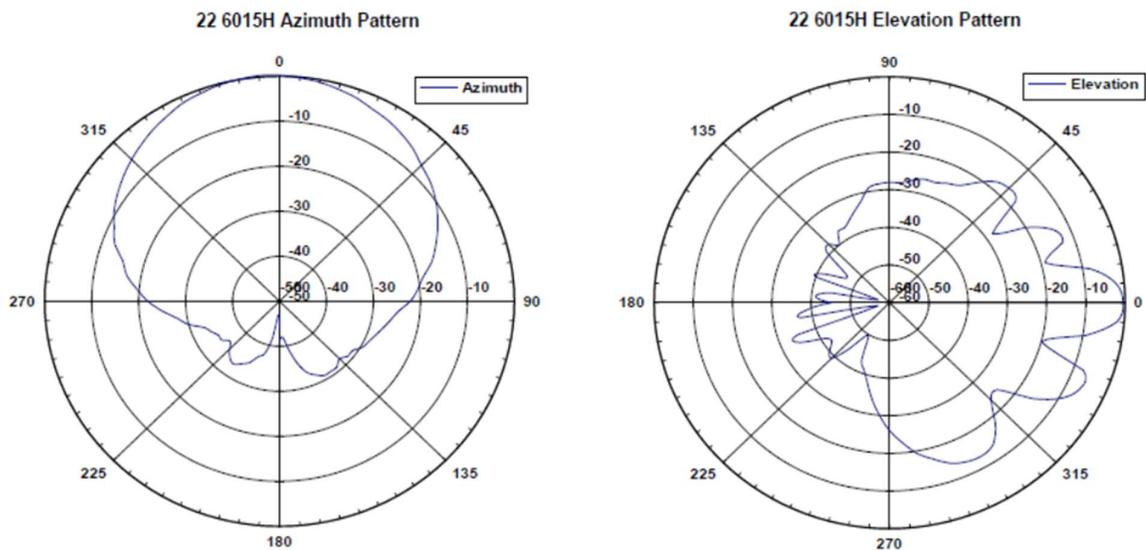


Figura 14. Detalle del patrón de radiación y elevación de la antenna 22 6015H

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd. (2022)

De la misma manera, se presenta en la Tabla 9, un resumen de las características técnicas más principales del modelo de la antenna SD 226015 V de polarización vertical.

Tabla 9. Datos técnicos de la Antena SD 22 60 15 V

Especificaciones Técnicas SD_226015V	
Ganancia	15,0 dBi.
Ancho de haz media potencia	60° x 15°
Ancho de banda	2.1-2.3 GHz
Relación Onda Estacionaria	1.8: 1
Aislamiento Frente - Espalda	44,0 dB
Polarización	Vertical
Potencia Nominal	50,0 W
Impedancia	50,0 ohms
Tipo conector	N-female
Discriminación XPOL	22,0 dB.
Protección Sobretensión	Incorporada

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd. (2022)

Se detalla en la figura 15, el patrón de azimut y el patrón de elevación de la antena SD 22 6015 V.

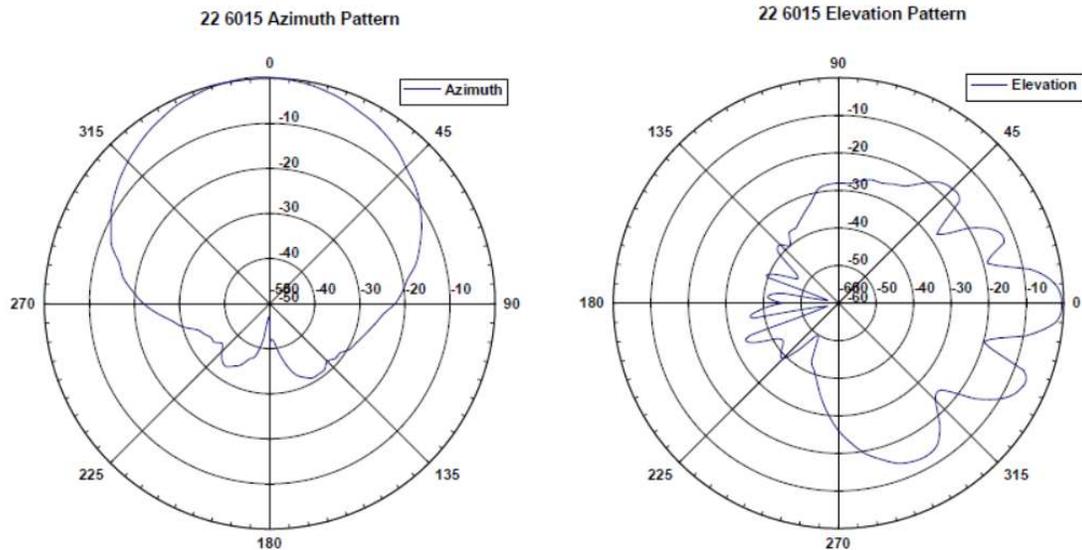


Fig. 15. Patrón de radiación y elevación de la antena SD 22 6015V.

Fuente: Stella Doradus Ireland Ltd. (2022)

g) Características técnicas referenciales para estaciones móviles

Considerando como referencia el trabajo de Angulo & Barrena (2022) se ha utilizado el mismo tipo de estación móvil de usuario para poder hacer el modelamiento. En la tabla 10, se detalla los datos técnicos de la estación móvil, considerando los más principales siendo, parámetros de potencia, umbral de recepción, pérdidas y ganancias.

Tabla 10. Datos técnicos de Estación móvil

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

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

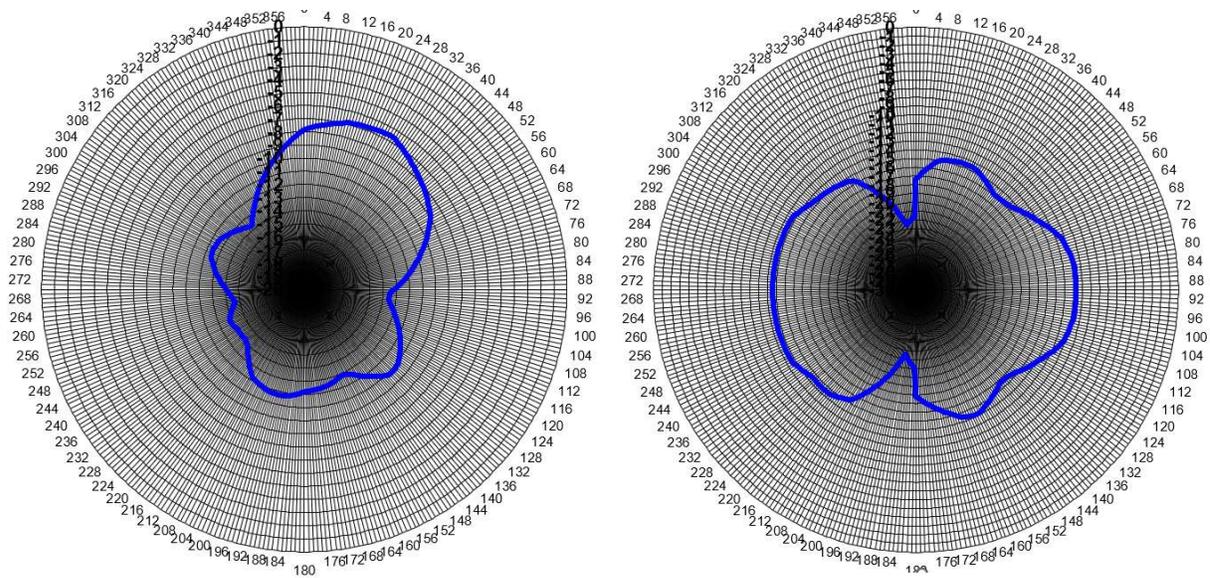


Fig. 16. Patrón de elevación y azimut estación móvil usuario

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

3.5 Procesamiento y Análisis de Datos

a) Simulación de la señal móvil recibida

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

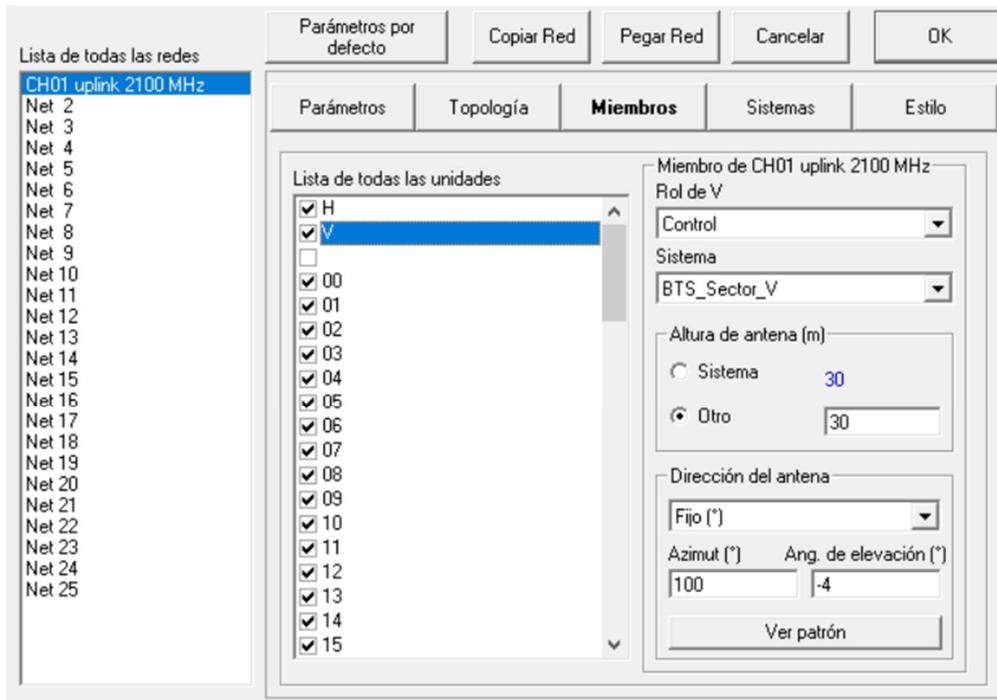
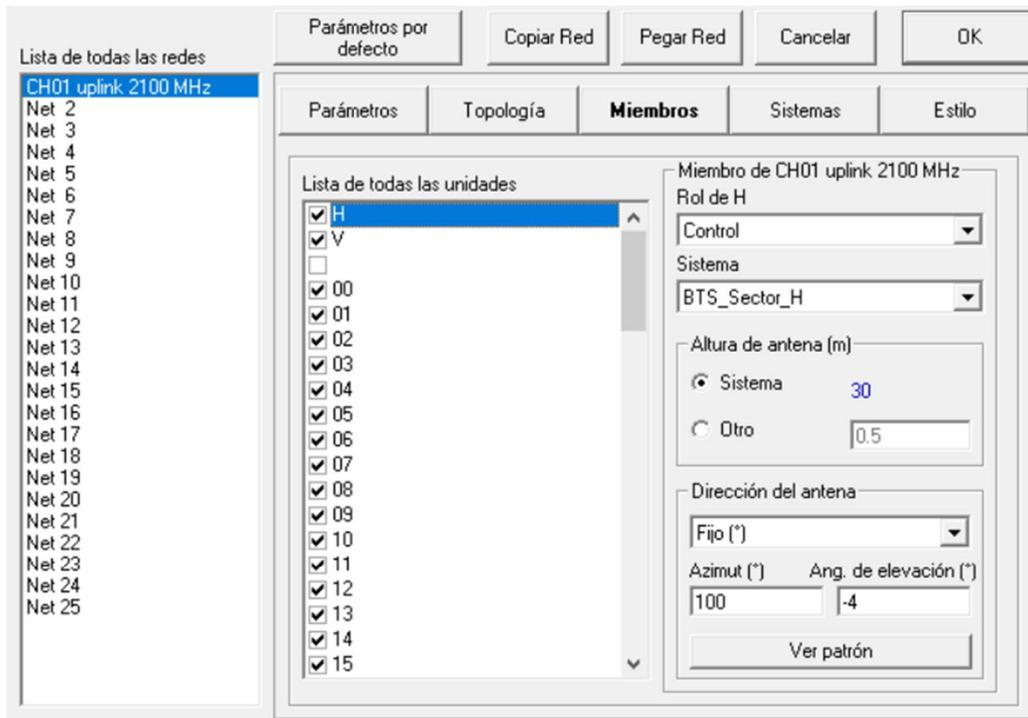


Fig. 17. Configuraciones de Herramienta Simulación

En la figura 18, se muestran todos los puntos outdoor, presentes en la localidad de Huacapongo. Así mismo, se puede apreciar una mayor cantidad de enlaces que ayudaran, para poder lograr una mayor comparativa de desempeño de las polarizaciones.

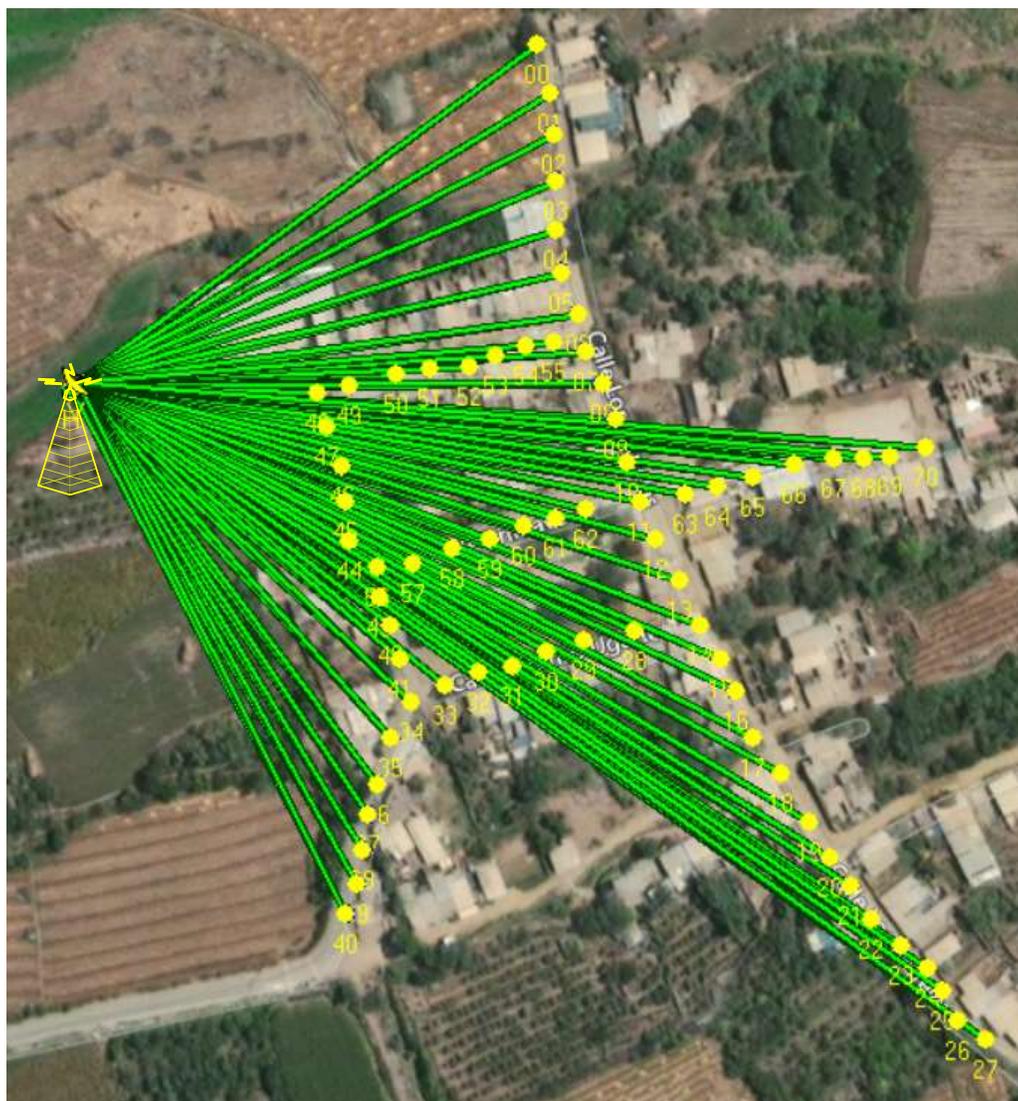


Figura 18 Trayectorias de las propagaciones de los enlaces resultantes.

b) Reporte obtenido del proceso de simulación en la recepción desde un emplazamiento móvil.

El proceso de simulación se realizó con 71 puntos en la banda 2100MHz uplink, para un emplazamiento EBC con las antenas SD 226015H y SD 226015V, y para los diferentes grados de downtilt. Se presenta la Tabla 11, donde se identificó, los niveles de recepción obtenidos en enlace uplink para polarización vertical y horizontal.

Tabla 11: Reporte de señal para diferentes grados de downtilt.

PUNTO Rx	0° Downtilt		1° Downtilt		2° Downtilt		3° Downtilt		4° Downtilt		5° Downtilt		6° Downtilt		7° Downtilt		8° Downtilt		9° Downtilt		10° Downtilt	
	NRx (H)	NRx(V)	NRx (H)	NRx(V)																		
0	-90.5	-90.9	-89.9	-90.5	-89.4	-90.0	-88.9	-89.7	-88.5	-89.5	-88.4	-89.3	-88.4	-89.2	-88.4	-89.1	-88.7	-89.1	-88.6	-89.1	-88.4	-88.9
1	-89.6	-89.9	-89.0	-89.3	-88.5	-88.8	-87.9	-88.4	-87.5	-88.2	-87.3	-88.0	-87.3	-87.8	-87.4	-87.8	-87.6	-87.8	-87.4	-87.6	-87.4	-87.4
2	-88.4	-89.0	-87.7	-88.2	-87.2	-87.7	-86.6	-87.3	-86.1	-87.0	-86.0	-86.8	-86.0	-86.6	-86.1	-86.5	-86.2	-86.5	-85.9	-86.3	-86.1	-86.2
3	-89.4	-90.2	-88.8	-89.3	-88.2	-88.7	-87.6	-88.2	-87.1	-87.9	-86.9	-87.6	-86.9	-87.4	-87.0	-87.3	-87.0	-87.3	-86.8	-87.1	-87.1	-87.0
4	-86.0	-87.2	-85.2	-86.1	-84.6	-85.4	-83.9	-84.8	-83.4	-84.4	-83.2	-84.2	-83.2	-83.9	-83.2	-83.8	-83.2	-83.7	-83.2	-83.6	-83.5	-83.5
5	-85.9	-87.7	-85.1	-86.5	-84.4	-85.7	-83.8	-85.2	-83.3	-84.8	-83.1	-84.4	-83.0	-84.2	-83.1	-84.1	-83.0	-84.0	-83.1	-83.9	-83.6	-83.9
6	-86.4	-87.3	-85.6	-86.3	-85.0	-85.5	-84.4	-84.9	-83.9	-84.5	-83.7	-84.2	-83.7	-84.0	-83.7	-83.9	-83.6	-83.7	-84.0	-83.7	-84.7	-83.8
7	-86.2	-87.3	-85.5	-86.2	-84.9	-85.4	-84.2	-84.8	-83.8	-84.4	-83.6	-84.1	-83.5	-83.9	-83.5	-83.8	-83.5	-83.7	-84.0	-83.6	-84.9	-83.9
8	-85.7	-86.1	-85.0	-85.2	-84.4	-84.5	-83.8	-84.0	-83.6	-83.6	-83.4	-83.3	-83.4	-83.2	-83.3	-83.0	-83.7	-83.0	-84.4	-83.2	-85.6	-83.6
9	-85.4	-86.5	-84.7	-85.8	-84.1	-85.1	-83.7	-84.7	-83.5	-84.3	-83.4	-84.1	-83.3	-84.0	-83.5	-83.9	-84.1	-84.0	-85.5	-84.3	-86.6	-84.9
10	-85.9	-86.2	-85.3	-85.5	-84.8	-84.9	-84.5	-84.5	-84.3	-84.2	-84.2	-84.0	-83.2	-83.9	-84.6	-83.9	-85.5	-84.1	-86.9	-84.6	-88.4	-85.3
11	-84.0	-84.4	-83.4	-83.7	-82.9	-83.1	-82.6	-82.7	-82.4	-82.4	-82.3	-82.3	-82.3	-82.2	-82.9	-82.2	-83.8	-82.5	-85.2	-83.0	-86.8	-83.7
12	-87.1	-87.4	-86.5	-86.7	-86.0	-86.2	-85.8	-85.9	-85.6	-85.6	-85.6	-85.5	-85.6	-85.4	-86.2	-85.4	-87.2	-85.7	-88.6	-86.3	-90.1	-87.0
13	-84.5	-84.8	-84.0	-84.3	-83.6	-83.9	-83.5	-83.6	-83.4	-83.4	-83.3	-83.3	-83.6	-82.2	-84.4	-83.3	-85.6	-83.7	-87.0	-84.3	-88.4	-85.3
14	-86.0	-86.6	-85.4	-86.1	-85.0	-85.7	-84.9	-85.4	-84.8	-85.2	-84.8	-85.1	-85.0	-85.0	-85.7	-85.1	-86.8	-85.5	-88.2	-86.0	-89.5	-86.9
15	-87.2	-87.4	-86.7	-86.9	-86.4	-86.5	-86.3	-86.3	-86.3	-86.1	-86.2	-86.0	-86.5	-86.0	-87.3	-86.1	-88.3	-86.5	-89.6	-87.0	-91.0	-87.9
16	-87.5	-87.9	-87.0	-87.4	-86.7	-87.0	-86.6	-86.8	-86.6	-86.6	-86.5	-86.7	-86.5	-86.7	-86.4	-87.3	-86.5	-88.3	-86.9	-89.7	-87.4	-90.9
17	-87.7	-88.3	-87.2	-87.8	-87.0	-87.5	-86.9	-87.2	-87.0	-87.1	-86.9	-87.0	-87.1	-86.9	-87.8	-87.0	-88.8	-87.4	-90.0	-87.9	-91.2	-88.7
18	-85.7	-86.2	-85.2	-85.8	-85.1	-85.5	-85.0	-85.3	-85.1	-85.2	-84.9	-85.1	-85.3	-85.0	-85.9	-85.1	-87.0	-85.5	-88.2	-86.0	-89.4	-86.9
19	-85.6	-86.0	-85.2	-85.7	-85.1	-85.4	-85.0	-85.2	-85.1	-85.2	-85.0	-85.0	-85.3	-84.9	-86.0	-85.1	-87.1	-85.4	-88.2	-86.0	-89.4	-86.9
20	-86.3	-86.9	-85.9	-86.5	-85.8	-86.3	-85.8	-86.1	-85.8	-86.0	-85.8	-85.9	-86.1	-85.8	-86.8	-86.0	-87.9	-86.4	-89.0	-86.8	-90.2	-87.9
21	-87.5	-88.2	-87.2	-87.8	-87.1	-87.6	-87.2	-87.5	-87.2	-87.4	-87.1	-87.3	-87.5	-87.2	-88.2	-87.4	-89.2	-87.8	-90.5	-88.2	-91.7	-89.2
22	-89.6	-90.2	-89.4	-89.9	-89.4	-89.7	-89.4	-89.6	-89.4	-89.5	-89.4	-89.4	-89.8	-89.3	-90.5	-89.5	-91.5	-89.9	-92.7	-90.4	-93.9	-91.4
23	-92.7	-93.2	-92.5	-92.9	-92.5	-92.7	-92.5	-92.6	-92.5	-92.5	-92.6	-92.4	-93.0	-92.4	-93.8	-92.6	-94.8	-93.0	-95.9	-93.5	-97.1	-94.6
24	-89.9	-90.5	-89.7	-90.2	-89.6	-90.0	-89.7	-89.9	-89.3	-89.8	-89.7	-89.6	-90.1	-89.6	-90.8	-89.8	-91.9	-90.2	-93.0	-90.7	-94.2	-91.7
25	-90.9	-91.6	-90.7	-91.3	-90.7	-91.1	-90.8	-91.0	-90.7	-90.9	-90.8	-90.8	-91.2	-90.8	-91.9	-91.0	-92.9	-91.4	-94.0	-91.9	-95.3	-92.9
26	-98.9	-99.5	-98.7	-99.3	-98.7	-99.1	-98.8	-99.0	-98.7	-98.9	-98.8	-98.8	-99.2	-98.8	-99.9	-99.0	-100.9	-99.4	-102.0	-99.9	-103.2	-100.9
27	-91.7	-92.5	-91.5	-92.2	-91.5	-92.0	-91.6	-91.9	-91.5	-91.8	-91.6	-91.7	-92.0	-91.7	-92.7	-91.9	-93.7	-92.3	-94.8	-92.7	-96.0	-93.7
28	-85.5	-85.9	-84.9	-85.3	-84.4	-84.8	-84.1	-84.4	-84.0	-84.1	-83.9	-84.0	-83.9	-83.9	-84.1	-83.8	-84.8	-83.9	-85.9	-84.0	-87.1	-84.8
29	-85.3	-85.6	-84.7	-84.8	-84.0	-84.2	-83.5	-83.8	-83.3	-83.5	-83.2	-83.2	-83.2	-83.1	-83.1	-83.0	-83.4	-82.9	-84.1	-83.0	-85.1	-83.4
30	-84.6	-85.5	-83.9	-84.5	-83.2	-83.8	-82.7	-83.2	-82.3	-82.9	-82.1	-82.6	-82.1	-82.4	-82.1	-82.3	-82.0	-82.2	-82.4	-82.1	-83.1	-82.2
31	-86.4	-87.3	-85.6	-86.3	-85.0	-85.5	-84.3	-85.0	-83.8	-84.6	-83.7	-84.3	-83.6	-84.1	-83.6	-84.0	-83.5	-83.9	-83.6	-83.7	-84.1	-83.8
32	-92.2	-93.5	-91.3	-92.4	-90.6	-91.4	-89.9	-90.8	-89.3	-90.3	-88.8	-89.9	-88.7	-89.6	-88.7	-89.5	-88.8	-89.4	-88.6	-89.3	-88.8	-89.1
33	-86.5	-87.1	-85.4	-86.1	-84.6	-85.0	-84.0	-84.3	-83.4	-83.7	-82.9	-83.3	-82.5	-83.0	-82.5	-82.8	-82.5	-82.6	-82.6	-82.6	-82.4	-82.4
34	-90.0	-90.6	-89.1	-89.7	-88.1	-88.7	-87.4	-87.7	-86.9	-87.1	-86.2	-86.6	-85.8	-86.3	-85.5	-86.0	-85.5	-85.9	-85.6	-85.7	-85.7	-85.7

35	-90.1	-90.6	-89.2	-89.6	-88.2	-88.7	-87.5	-87.8	-86.9	-87.1	-86.3	-86.6	-85.8	-86.3	-85.4	-86.0	-85.3	-85.8	-85.3	-85.7	-85.8	-85.6
36	-102.9	-90.0	-102.0	-89.2	-101.2	-82.2	-100.6	-87.5	-100.0	-86.9	-99.5	-86.5	-99.0	-86.2	-98.7	-86.0	-98.6	-85.8	-98.6	-85.7	-98.8	-85.7
37	-97.5	-98.4	-96.6	-97.6	-95.9	-96.8	-95.2	-96.0	-94.7	-95.5	-94.2	-95.1	-93.7	-94.8	-93.3	-94.6	-93.3	-94.4	-93.3	-94.3	-93.4	-94.3
38	-105.5	-105.0	-104.7	-104.2	-104.1	-103.5	-103.6	-102.9	-103.0	-102.4	-102.6	-102.1	-102.1	-101.8	-101.8	-101.7	-101.8	-101.5	-101.8	-101.5	-101.9	-101.4
39	-99.7	-92.0	-99.0	-91.2	-98.4	-90.5	-97.9	-90.0	-97.4	-89.5	-96.9	-89.3	-96.5	-89.1	-96.3	-88.9	-96.2	-88.8	-96.3	-88.7	-96.4	-88.7
40	-92.0	-91.8	-91.4	-91.1	-90.9	-90.4	-90.4	-90.0	-90.0	-89.7	-89.5	-89.4	-89.2	-89.3	-88.9	-89.1	-88.9	-89.0	-89.0	-89.0	-89.1	-88.9
41	-87.4	-88.2	-86.5	-87.1	-85.4	-86.1	-84.5	-85.1	-83.9	-84.2	-83.2	-83.5	-82.6	-83.1	-82.2	-82.8	-82.1	-82.5	-82.1	-82.4	-82.2	-82.3
42	-89.9	-91.3	-88.9	-90.2	-88.0	-89.1	-86.9	-88.0	-86.1	-86.9	-85.4	-86.3	-84.8	-85.7	-84.3	-85.3	-84.0	-84.9	-83.9	-84.7	-83.9	-84.6
43	-90.7	-92.5	-89.7	-91.2	-88.8	-90.1	-87.7	-89.0	-86.8	-87.9	-86.0	-86.9	-85.4	-86.3	-84.8	-85.7	-84.3	-85.4	-84.2	-85.1	-84.2	-84.9
44	-88.4	-92.4	-87.4	-90.5	-86.5	-88.5	-85.4	-87.0	-84.5	-85.9	-83.4	-84.7	-82.5	-83.5	-81.8	-82.5	-81.2	-81.9	-80.5	-81.4	-80.2	-81.0
45	-88.0	-93.8	-86.8	-91.7	-85.9	-89.7	-85.0	-87.6	-83.9	-86.2	-82.9	-85.1	-81.9	-83.9	-81.0	-82.6	-80.3	-81.7	-79.7	-81.1	-79.1	-80.6
46	-86.0	-91.0	-84.8	-88.8	-83.7	-86.7	-82.8	-84.6	-81.9	-82.7	-80.9	-81.4	-79.9	-80.1	-78.9	-78.4	-78.1	-77.8	-77.5	-77.0	-76.9	-76.4
47	-88.5	-93.8	-87.2	-93.3	-86.0	-91.1	-84.8	-89.0	-83.8	-86.9	-82.9	-84.7	-81.9	-83.0	-80.9	-81.8	-79.1	-80.5	-79.0	-79.3	-78.3	-78.2
48	-89.2	-93.4	-88.3	-94.5	-86.9	-93.3	-85.7	-91.1	-84.6	-89.0	-83.3	-87.1	-82.7	-84.9	-81.6	-83.3	-80.6	-82.0	-79.5	-80.8	-78.6	-79.5
49	-86.4	-92.3	-85.1	-90.2	-84.0	-88.0	-83.1	-85.9	-82.2	-83.7	-81.1	-82.4	-80.1	-81.1	-79.0	-79.9	-78.2	-78.8	-77.6	-77.9	-77.0	-77.2
50	-86.8	-91.2	-85.8	-89.1	-85.0	-86.9	-83.8	-85.8	-82.9	-84.5	-81.7	-83.3	-81.0	-82.0	-80.3	-81.1	-79.6	-80.5	-79.1	-80.0	-78.9	-79.6
51	-89.3	-92.3	-88.3	-90.5	-87.3	-89.3	-86.2	-88.1	-85.3	-86.9	-84.5	-85.7	-83.8	-84.9	-83.2	-84.4	-82.9	-83.9	-82.7	-83.6	-82.6	-83.4
52	-86.3	-88.2	-85.3	-87.0	-84.2	-85.8	-83.3	-84.6	-82.6	-83.6	-81.9	-82.8	-81.3	-82.3	-81.0	-81.9	-80.9	-81.6	-80.8	-81.4	-80.8	-81.3
53	-85.3	-86.8	-84.2	-85.5	-83.3	-84.4	-82.5	-83.3	-81.8	-82.5	-81.2	-81.9	-80.8	-81.5	-80.6	-81.2	-80.6	-80.9	-80.5	-80.8	-80.6	-80.7
54	-87.2	-87.9	-86.1	-86.7	-85.3	-85.5	-84.7	-84.8	-84.0	-84.1	-83.5	-83.7	-83.3	-83.3	-83.2	-83.1	-83.2	-83.0	-83.1	-82.8	-83.5	-82.8
55	-85.2	-86.1	-84.3	-85.0	-83.6	-84.0	-82.9	-83.3	-82.4	-82.8	-82.1	-82.4	-81.9	-82.1	-81.9	-81.9	-81.8	-81.8	-82.0	-81.7	-82.6	-81.8
56	-90.5	-92.7	-89.5	-91.0	-88.5	-89.9	-87.6	-88.6	-86.4	-87.5	-85.7	-86.4	-85.0	-85.6	-84.4	-85.1	-83.9	-84.7	-83.7	-84.3	-83.7	-84.1
57	-87.5	-88.9	-86.4	-87.8	-85.5	-86.5	-84.4	-85.5	-83.7	-84.3	-83.1	-83.6	-82.5	-83.0	-82.0	-82.6	-81.8	-82.2	-81.7	-82.0	-81.8	-82.0
58	-87.5	-89.0	-86.4	-87.9	-85.4	-86.7	-84.6	-85.6	-84.0	-84.8	-83.4	-84.3	-83.0	-83.8	-82.8	-83.5	-82.7	-83.3	-82.7	-83.2	-82.7	-83.1
59	-86.7	-87.6	-85.5	-86.6	-84.7	-85.3	-84.0	-84.4	-83.4	-83.7	-82.9	-83.3	-82.7	-82.9	-82.6	-82.6	-82.5	-82.5	-82.5	-82.4	-82.9	-82.3
60	-87.1	-88.4	-86.2	-87.1	-85.6	-86.3	-84.9	-85.6	-84.4	-85.1	-84.1	-84.7	-84.0	-84.4	-83.9	-84.2	-83.8	-84.1	-84.3	-84.0	-85.0	-84.2
61	-86.2	-87.0	-85.5	-85.9	-84.8	-85.2	-84.3	-84.6	-83.9	-84.2	-83.7	-83.8	-83.6	-83.6	-83.6	-83.5	-83.8	-83.5	-84.6	-83.6	-85.7	-84.0
62	-86.4	-86.9	-85.9	-86.1	-85.3	-85.5	-84.8	-85.0	-84.6	-84.6	-84.4	-84.3	-84.3	-84.2	-84.4	-84.1	-85.0	-84.2	-86.0	-84.5	-87.5	-85.1
63	-85.2	-85.7	-84.6	-85.1	-84.2	-84.6	-84.0	-84.2	-83.9	-83.9	-83.8	-83.8	-84.0	-83.8	-84.7	-83.8	-85.8	-84.2	-87.4	-84.8	-88.9	-85.6
64	-86.7	-86.8	-86.1	-86.2	-85.8	-85.7	-85.6	-85.4	-85.4	-85.2	-85.4	-85.1	-85.7	-85.0	-86.4	-85.2	-87.4	-85.6	-89.2	-86.3	-90.7	-87.3
65	-86.7	-87.0	-86.2	-86.4	-86.0	-86.0	-85.8	-85.7	-85.7	-85.6	-85.7	-85.5	-86.2	-85.5	-87.2	-85.7	-88.6	-86.3	-90.1	-87.0	-91.5	-88.2
66	-86.1	-86.4	-85.6	-86.0	-85.4	-85.6	-85.3	-85.3	-85.2	-85.2	-85.3	-85.1	-86.0	-85.1	-87.0	-85.4	-88.5	-86.0	-90.0	-86.8	-91.1	-88.1
67	-85.7	-86.1	-85.4	-85.6	-85.2	-85.3	-85.1	-85.1	-85.1	-85.0	-85.4	-84.9	-86.1	-85.1	-87.3	-85.5	-88.8	-86.1	-90.2	-87.1	-91.5	-88.5
68	-86.3	-86.5	-86.0	-86.0	-85.8	-85.7	-85.7	-85.6	-85.7	-85.5	-86.0	-85.4	-86.1	-85.6	-88.1	-86.1	-89.6	-86.7	-91.0	-87.7	-92.3	-89.2
69	-87.4	-87.6	-87.2	-87.2	-87.0	-87.0	-87.0	-86.9	-86.9	-86.7	-87.5	-86.7	-88.4	-87.0	-89.8	-87.5	-91.4	-88.2	-92.6	-89.4	-93.8	-90.9
70	-87.7	-87.9	-87.5	-87.5	-87.3	-87.2	-87.3	-87.1	-87.3	-87.0	-87.9	-87.0	-88.9	-87.4	-90.3	-87.9	-91.8	-88.7	-93.1	-89.8	-94.3	-91.4

c) Curvas de recepción con diferentes ángulos de downtilt

En la Figura 19, Figura 20 y Figura 21 se presenta un resumen de curvas de señal recibida en una señal uplink variando los ángulos downtilt.

Se puede notar que las curvas en color amarillo corresponden al nivel de señal Uplink obtenido por simulación para la antena SD 226015H (en polarización horizontal) y en color azul para el nivel de señal Uplink obtenido por simulación en la antena SD 226015V (en polarización vertical). Las curvas antes descritas se han estimado para la variación de ángulos downtilt en la EBC Huacapongo.

Las curvas obtenidas en color rojo corresponden al mejor nivel de señal seleccionado entre las dos polarizaciones, es decir corresponde al nivel de señal que debería ser recibida en el enlace Uplink hacia la EBC Huacapongo con diversidad de polarización.

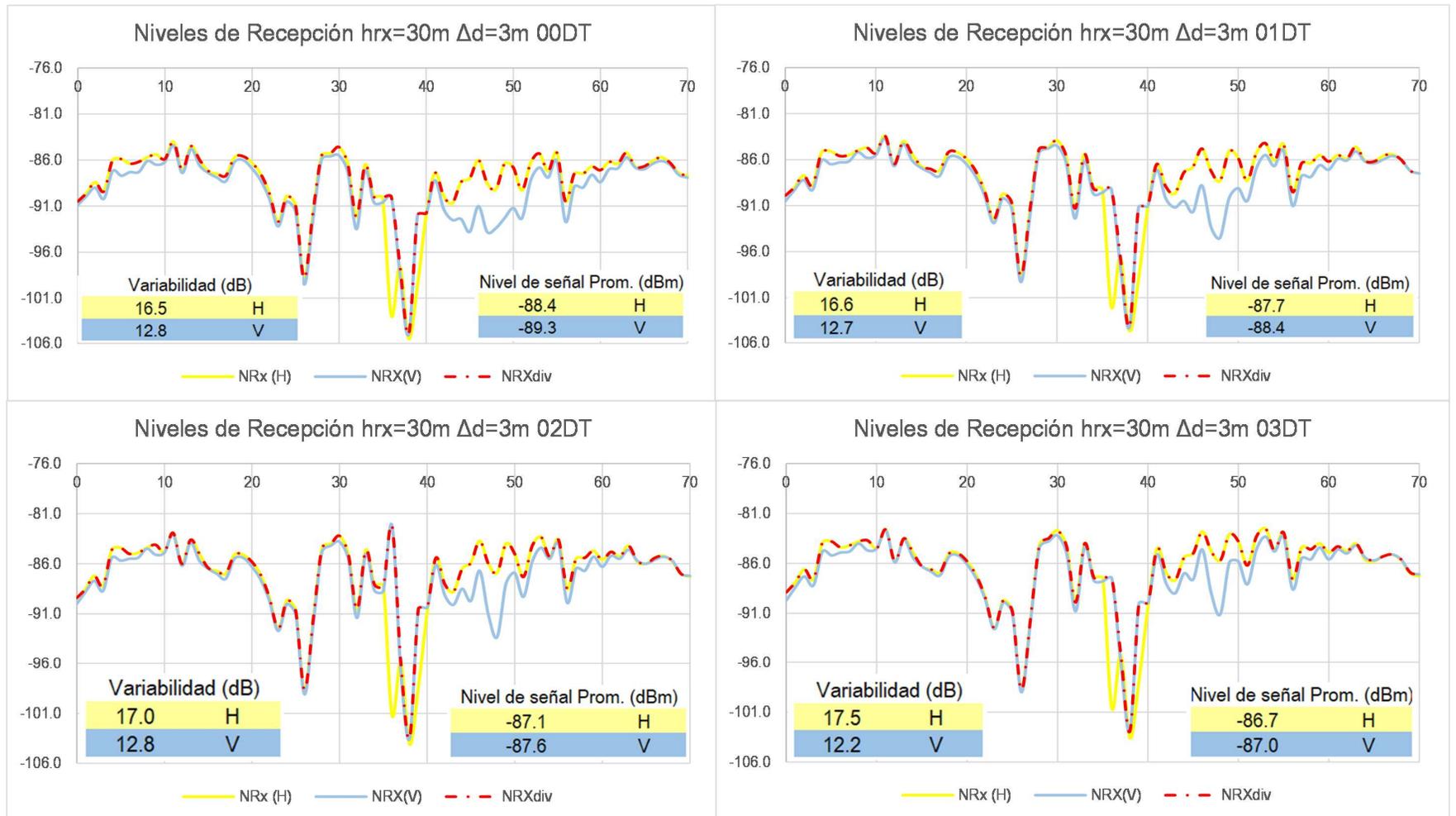


Figura 6: Análisis de los ángulos downtilt de 0° a 3°

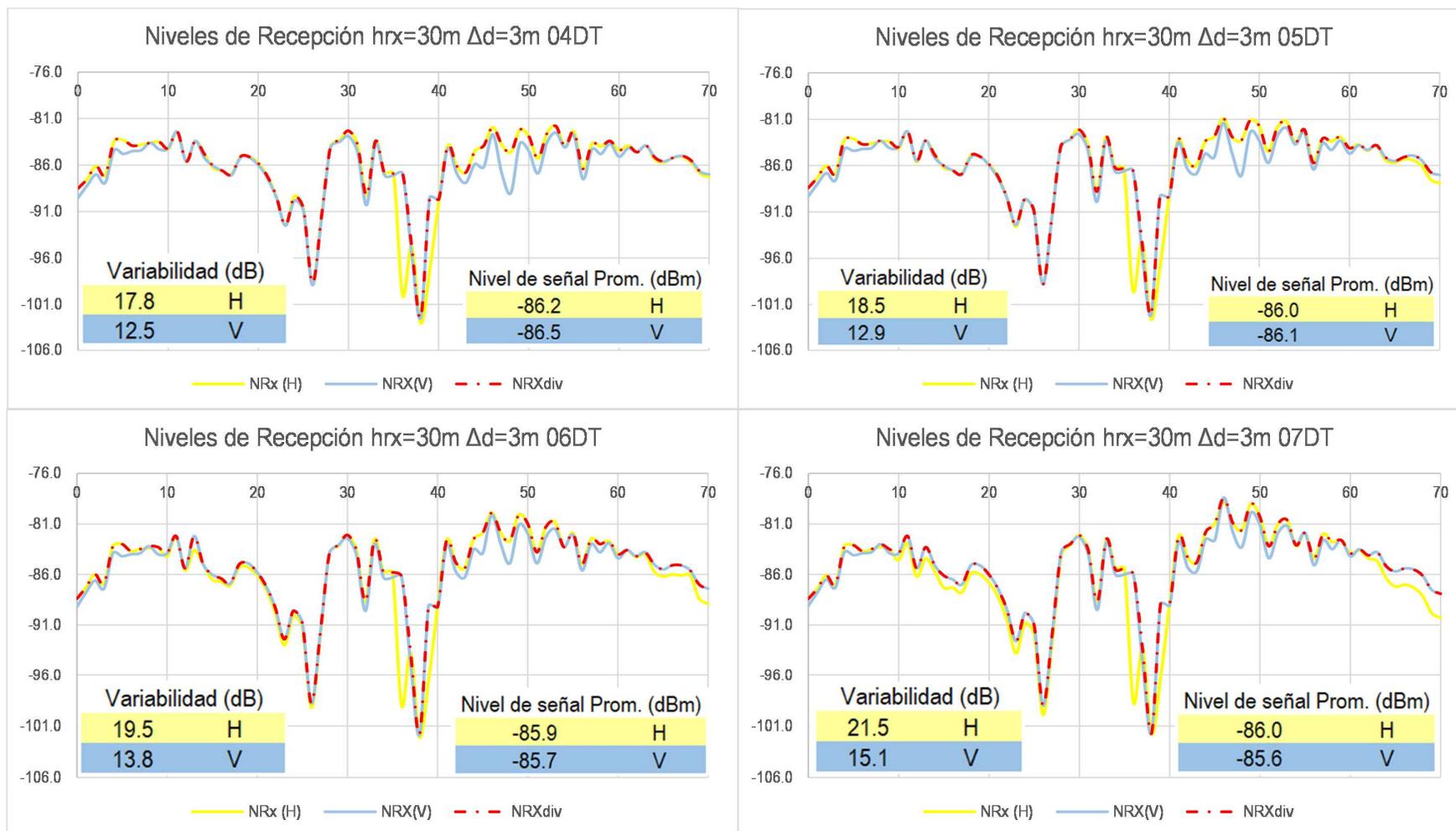


Figura 20: Análisis de los ángulos downtilt de 4° a 7°

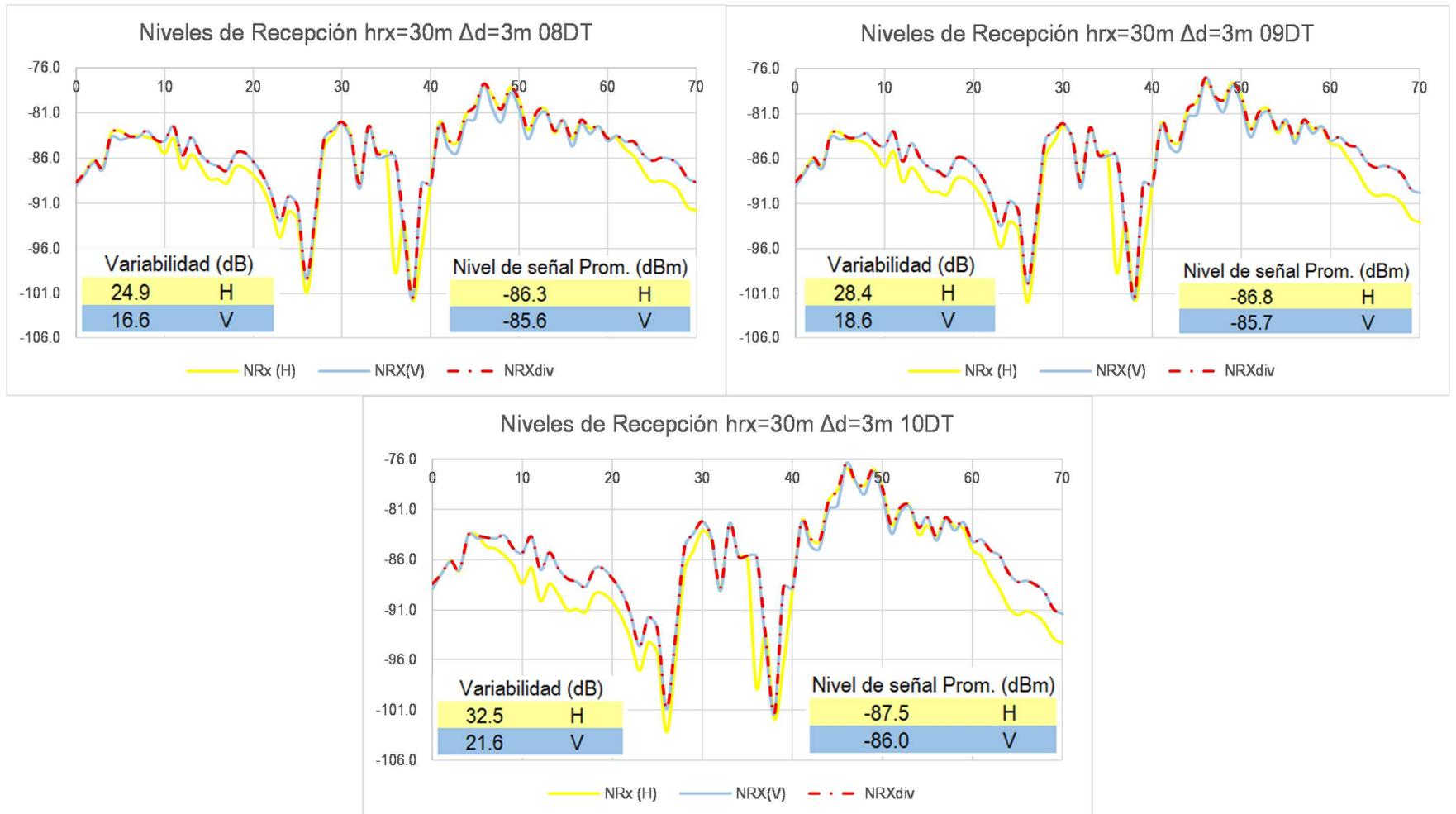


Figura 21: Análisis de los ángulos downtilt de 8° a 10°

De las gráficas anteriores, se presenta en la Tabla 12, un resumen de la variabilidad y el nivel promedio de la señal uplink recibida en polarización horizontal, polarización vertical, y diversidad de polarización, en el emplazamiento propuesto para la EBC Huacapongo, al estimar las señales provenientes de 71 emplazamientos de usuarios móviles.

Tabla 12: Resumen de variabilidad y nivel promedio Horizontal, Vertical, Diversidad

DT (°)	var_Hpol (dB)	var_Vpol (dB)	var DIVpol (dB)	Nrxpr_Hpol (dBm)	Nrxpr_Vpol (dBm)	Nrxpr DIVpol (dBm)
0	16.5	12.8	11.5	-88.4	-89.3	-88.1
1	16.6	12.7	11.7	-87.7	-88.4	-87.4
2	17.0	12.8	12.4	-87.1	-87.6	-86.8
3	17.5	12.2	12.6	-86.7	-87.0	-86.3
4	17.8	12.5	13.0	-86.2	-86.5	-85.9
5	18.5	12.9	13.9	-86.0	-86.1	-85.6
6	19.5	13.8	14.7	-85.9	-85.7	-85.4
7	21.5	15.1	15.9	-86.0	-85.6	-85.3
8	24.9	16.6	17.6	-86.3	-85.6	-85.3
9	28.4	18.6	19.4	-86.8	-85.7	-85.5
10	32.5	21.6	22.4	-87.5	-86.0	-85.9

d) Desvanecimiento y margen de mejora por emplazamiento

Conforme a la Recomendación ITU-R P.530-18, se indica que una fluctuación de señal a partir de 3 dB por debajo del nivel promedio, es considerada como un desvanecimiento. De esta forma en la Tabla 13 se puede apreciar por cada emplazamiento de usuario, la identificación de desvanecimientos superiores a 3dB resaltados en color rojo. Del mismo modo se han identificado los márgenes de aumento de señal superiores a 3dB introducidos por la diversidad de polarización, los cuales han sido resaltados en color verde. Por motivos de simplificación para presentación de la tabla, se han omitido las cifras decimales.

Tabla 13: Desvanecimientos y márgenes de mejora por diversidad

Pto	0° Downtilt				1° Downtilt				2° Downtilt				3° Downtilt				4° Downtilt				5° Downtilt				6° Downtilt				7° Downtilt				8° Downtilt				9° Downtilt				10° Downtilt											
	Dh	Dv	Ddiv	Md	Dh	Dv	Ddiv	Md	Dh	Dv	Ddiv	Md																																								
0	-2	-2	-2	0	-2	-2	-2	0	-2	-3	-2	1	-2	-3	-2	1	-2	-3	-2	1	-2	-3	-2	1	-3	-3	-3	1	-2	-3	-2	1	-2	-3	-2	0	-2	-2	-2	1	-1	-1	-1	1								
1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0								
2	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
3	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
4	2	1	2	1	2	1	2	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	3	3	1	4	3	4	0	4	4	0	4	4	0	0					
5	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	4	3	4	1	4	4	0	4	4	0				
6	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	0	2	2	0	3	3	3	0	3	3	0	3	4	4	1		
7	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	0	2	2	0	3	3	3	0	3	3	0	3	4	4	1		
8	3	2	3	0	3	2	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	4	4	1	2	4	4	2			
9	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	3	0	2	2	0	2	2	0	1	3	3	1	1	3	3	2		
10	3	2	3	0	3	2	3	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	1	2	2	1	2	2	1	0	2	2	2	-1	2	2	3		
11	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	0	4	4	4	1	3	4	4	1	2	4	4	2	4	4	4	1				
12	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	-1	1	1	2	-2	1	1	2	-3	0	0	3	0	0	3		
13	4	4	4	0	4	4	4	0	4	3	4	0	3	3	4	0	3	3	4	0	3	3	4	0	3	3	4	0	2	4	4	0	2	3	3	1	1	3	3	2	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3	
14	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	2	-2	1	1	3	
15	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	3
16	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	0		
18	3	2	3	1	3	2	3	1	2	2	0	2	1	2	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	-1	1	1	2	-1	1	1	2	-2	1	1	3		
19	3	2	3	0	3	2	3	0	2	2	0	2	2	0	2	1	2	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	-1	1	1	2	-1	1	1	2	-2	1	1	3			
20	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
21	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
22	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-2	-3	-2	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	
23	-4	-5	-4	1	-4	-5	-4	1	-5	-6	-5	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	0	-6	-6	-6	
24	-1	-2	-1	1	-1	-2	-1	1	-2	-3	-2	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	0	-3	-3	-3	
25	-2	-3	-2	1	-2	-3	-2	1	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	0	-4	-4	-4	
26	-10	-11	-10	1	-10	-11	-10	1	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	0	-12	-12	-12	
27	-3	-4	-3	1	-3	-4	-3	1	-4	-5	-4	1	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	0	-5	-5	-5	
28	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	
29	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	
30	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	4	
31	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2
32	-4	-5	-4	1	-4	-5	-4	1	-3	-4	-3	1	-3	-4	-3	1	-3	-4	-3	1	-3	-4	-3	1	-3	-4	-3	1	-3	-4	-3	1	-3	-4	-3	1	-2	-3	-2	1	-2	-2	1	-1	-2	-1	0	-1	-2	0		
33	2	1	2	1	2	1	2	1	3	2	3	0	3	2	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	
34	-2	-2	-2	1	-2	-2	-2	1	-1	-2	-1	1	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	-2	-2	-2	1	-2	-2	-2	1	-1	-2	-1	1	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	-14	-2	-2	13	-14	-2	-2	13	-14	5	5	19	-14	-1	-1	13	-14	-1	-1	13	-14	-1	-1	13	-14	-1	-1	13	-13	0	0	13	-13	0	0	13	-12	1	1	13	-12	1	1	13	-11	2	2	13	-11	2	2	
37	-9	-10	-9	1	-9	-10	-9	1	-9	-10	-9	1	-9	-9	-9	1	-8	-9	-8	1	-8	-9	-8	1	-8	-9	-8	1	-7	-9	-7	1	-7	-8	-7	1	-6	-7	-6	1	-6	-7	-6	1	-6	-						

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

Los resultados se presentarán considerando los objetivos planteados en el presente trabajo.

- a. Respecto de los puntos de mayor desvanecimiento de señal, de acuerdo a la variación del ángulo de declinación (downtilt). En la Tabla 14 se muestra una selección de los puntos con los desvanecimientos más notables (menores a -3 dB) obtenidos con la aplicación de diversidad de polarización y tomando en cuenta la recomendación ITU-R P.530-18. Los desvanecimientos se presentan resaltados en color rojo, y en la penúltima columna se muestran los promedios de dichos desvanecimientos (D_{prom}) obtenidos con la variación de los diferentes ángulos de downtilt ($0^\circ - 10^\circ$).

Tabla 14: Selección de desvanecimientos y márgenes de mejora

PTO	0° Dw		1° Dw		2° Dw		3° Dw		4° Dw		5° Dw		6° Dw		7° Dw		8° Dw		9° Dw		10° Dw		Dprom	Mdprom	
	Ddiv	Md	Ddiv	Md																					
10	3	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	1	2	1	2	2	2	3	2	1	
11	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	1	4	1	4	2	4	3	4	1	
12	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	2	0	3	1	1	
13	4	0	4	0	4	0	3	0	3	0	3	0	4	1	3	1	3	2	3	3	2	3	3	1	
15	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	3	0	3	0	1	
22	-1	1	-1	1	-2	0	-3	0	-3	0	-3	0	-3	1	-4	1	-4	2	-4	2	-4	3	-3	1	
23	-4	1	-4	1	-5	0	-6	0	-6	0	-6	0	-7	1	-7	1	-7	2	-7	2	-7	3	-6	1	
24	-1	1	-1	1	-2	0	-3	0	-3	1	-4	0	-4	1	-4	1	-4	2	-4	2	-4	3	-3	1	
25	-2	1	-2	1	-4	0	-4	0	-4	0	-5	0	-5	0	-5	1	-5	2	-5	2	-5	2	-4	1	
26	-10	1	-10	1	-12	0	-12	0	-12	0	-13	0	-13	0	-13	1	-13	2	-13	2	-13	2	-12	1	
27	-3	1	-3	1	-4	1	-5	0	-5	0	-6	0	-6	0	-6	1	-6	1	-6	2	-6	2	-5	1	
32	-4	1	-4	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-2	1	-2	1	-1	0	-3	1	
36	-2	13	-2	13	5	19	-1	13	-1	13	-1	13	0	13	0	13	1	13	1	13	2	13	0	13	
37	-9	1	-9	1	-9	1	-9	1	-8	1	-8	1	-8	1	-7	1	-7	1	-6	1	-6	1	-8	1	
38	-17	1	-17	1	-16	1	-16	1	-16	1	-16	1	-16	0	-16	0	-15	0	-15	0	-14	1	-16	0	
39	-4	8	-4	8	-3	8	-3	8	-3	8	-3	8	-3	7	-3	7	-2	7	-2	8	-1	8	-3	8	
40	-3	0	-3	0	-3	1	-3	0	-3	0	-3	0	-3	0	-3	0	-3	0	-2	0	-1	0	-3	0	
44	0	4	0	4	1	2	1	2	2	1	3	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	3	2	
45	0	6	0	6	1	4	2	3	2	2	3	2	4	2	5	2	6	1	7	1	8	2	4	3	
46	2	5	2	5	3	3	4	2	4	1	5	1	6	0	8	1	9	0	10	1	11	1	6	2	
47	0	5	0	5	1	5	2	4	2	3	3	2	4	1	5	1	7	1	8	0	9	0	4	3	
48	-1	4	-1	4	0	6	1	5	2	4	3	4	3	4	2	6	1	7	1	9	1	3	3		
49	2	6	2	6	3	4	4	3	4	2	5	1	6	1	7	1	8	1	9	0	10	0	5	2	
50	2	4	2	4	2	3	2	3	2	3	2	4	2	5	1	6	1	7	1	8	1	9	1	4	2
63	3	1	3	1	3	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	1	2	2	2	3	2	3	2	1	
64	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	2	1	3	0	3	1	1	
65	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	2	0	3	-1	3	1	1	
66	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	2	0	3	0	3	-1	3	1	1	
67	3	0	3	0	2	0	2	0	1	0	1	1	1	1	0	2	0	3	0	3	-1	3	1	1	
68	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	2	0	3	-1	3	-2	3	0	1	
69	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	1	-2	2	-2	3	-3	3	-3	3	-1	1	
70	1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	1	-2	2	-2	2	-2	3	-3	3	-4	3	-1	1	

En este mismo orden de ideas, en la Tabla 14 se presentan resaltados en color verde, los emplazamientos de usuario que obtuvieron un incremento notable entre del nivel de señal con la diversidad de polarización, respecto del nivel de señal obtenido en polarización ortogonal simple (H/V). Con esta información, en la Figura 22 se representan los emplazamientos con desvanecimiento y mejora de señal.



Figura 22: Emplazamientos con desvanecimientos y márgenes de mejora notables, señal en diversidad de polarización

En la Figura 22, se puede notar claramente que los desvanecimientos más notables se encuentran en las zonas límites de cobertura, tales como la zona sur este y sur oeste del Centro Poblado. Respecto de los puntos con márgenes de mejora en la señal, éstos se presentan en zonas cercanas a la estación base, así como en la zona sur oeste del centro poblado.

Partiendo de los resultados anteriores, en la Figura 23, se representa el comportamiento neutral o limitado, favorable o desfavorable de la señal uplink en diversidad de polarización obtenida desde los emplazamientos de usuario evaluados.

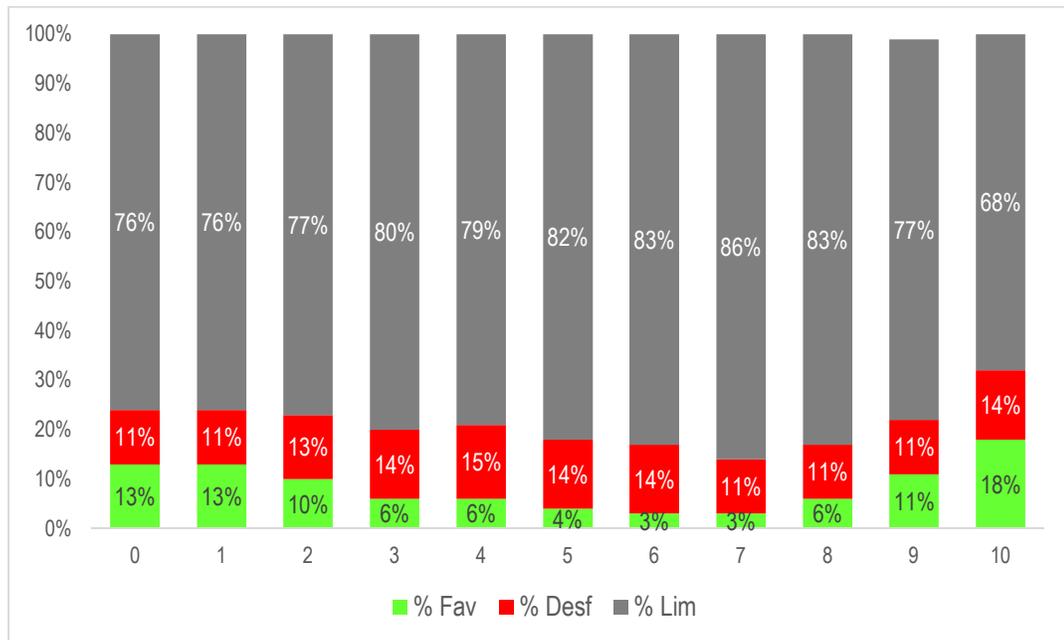


Figura 23: Porcentajes de emplazamientos con resultados favorables, neutrales y desfavorables en señal uplink con diversidad de polarización

En la Figura 23, se puede observar que los ángulos de downtilt entre los límites inferiores 0° a 2°, así como límites superiores 9 a 10° obtuvieron el mayor porcentaje (13% a 18%), de emplazamientos con incremento de señal uplink por diversidad de polarización cuyo nivel es igual o superior a 3 dB sobre el nivel promedio. Estos porcentajes se han resaltado en color verde y se consideran como desempeño favorable de la diversidad de polarización.

De la misma forma se representan en color gris los porcentajes de puntos de usuario con un desempeño neutral, es decir en estos puntos, los incrementos por diversidad de polarización logran alcanzar niveles de señal uplink se encuentran en rangos menores a ± 3 dB del promedio.

De igual manera, se han representado en color rojo los porcentajes de puntos de usuario con un desempeño deficiente, es decir en estos puntos, a pesar de los incrementos por diversidad de polarización, los niveles de señal uplink alcanzan niveles que se encuentran 3 dB o más por debajo del promedio.

- b. Respecto de la evaluación de la señal uplink recibida en diversidad de polarización. En el anexo 06 se han incluido los datos del análisis de normalidad de los datos recopilados por reporte de simulación para la señal uplink en polarización horizontal, polarización vertical y diversidad de polarización, para una variación de ángulos downtilt entre 0° a 10°. Del mismo modo la aplicación de la prueba ANOVA – Kruskal Wallis para la señal uplink en polarización horizontal, polarización vertical y diversidad de polarización obtiene como resultados la existencia de diferencias significativas entre los reportes de simulación obtenidos. La Figura 24 muestra un resumen del análisis ANOVA llevado a cabo para la señal uplink.

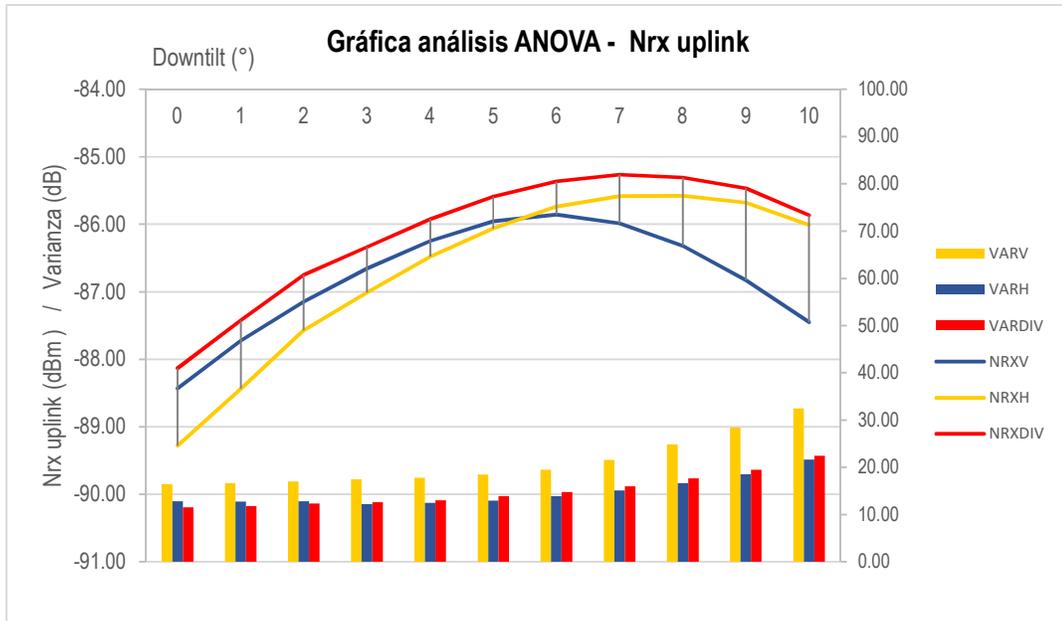


Figura 24: Gráfica análisis ANOVA, Nrx uplink promedio H/V/Div y varianza versus ángulo downtilt

Conforme lo mostrado en la Figura 24, se puede apreciar que el promedio de señal de la señal uplink en diversidad (N_{RXDIV}) siempre es superior al de las polarizaciones simples (N_{RXH} , N_{RXV}). Asimismo, presenta una tendencia a aumentar su valor conforme se incrementa el downtilt, hasta un ángulo límite de 6° a 7° en donde los niveles promedio de recepción uplink empiezan a disminuir. En este mismo sentido, la desviación de señal uplink se hace mayor con el aumento del ángulo downtilt.

- c. Respecto de los ángulos downtilt, el desempeño de diversidad de polarización, y fluctuación de señal, en la Figura 25 se representa la dispersión de la señal uplink, a partir de la cuantificación de la desviación estándar para la señal uplink recibida en polarizaciones H/V y diversidad polarización.

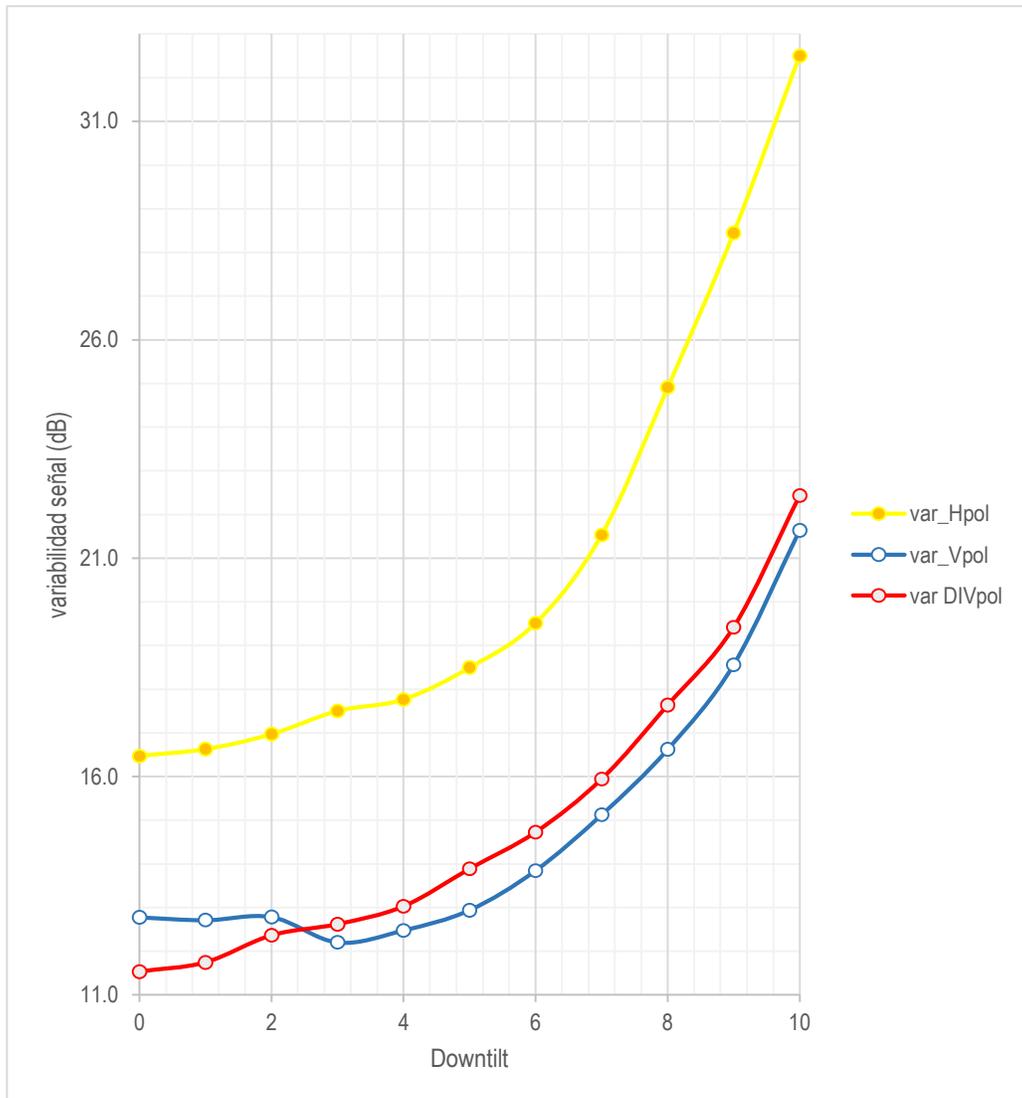


Figura 25. Variabilidad señal uplink, polarizaciones H/V y diversidad polarización

En la Figura 25 se puede apreciar que hasta un límite de 2° de downtilt, la diversidad de polarización posee la menor variabilidad de señal uplink respecto de su promedio, en tanto que a partir de 3° de downtilt, la señal uplink en polarización vertical es la que reporta la menor variabilidad, superando ligeramente las prestaciones de la diversidad de polarización.

La polarización horizontal en este sentido es la que reporta menores prestaciones puesto que su dispersión respecto del valor medio es la mayor de todas, superando entre 5 a 10 dB a la de las otras dos técnicas.

Se puede apreciar asimismo para todas las técnicas, la tendencia de incrementar la dispersión de señal uplink con el aumento del ángulo downtilt.

Respecto del criterio de nivel de recepción uplink, el desempeño esperado es el mayor nivel de recepción en la BTS. En este sentido en la Figura 26 se puede apreciar que la diversidad de polarización siempre reporta el mayor nivel promedio de señal uplink superando a las polarizaciones ortogonales H/V. Sin embargo, se debe destacar la tendencia de todas las técnicas, de incrementar el nivel de recepción hasta un ángulo downtilt límite a partir del cual el nivel de recepción promedio empieza a decaer notablemente. Es así que, se aprecia que la polarización horizontal inicia una curva descendente a partir de los 6° de downtilt, en tanto que la polarización vertical y diversidad de polarización inician una curva descendente a partir de 7° de ángulo downtilt.

En la Figura 27 se presenta una comparativa de los puntos más notables de incremento de señal uplink, por sus promedios evaluados entre los rangos de variación del ángulo downtilt 0°-5° y 6°-10°. Como se puede apreciar, al evaluarse en el rango entre 0° a 5° downtilt, es más notorio el promedio de mejora o incremento de la señal uplink introducida por la diversidad de polarización. En este mismo sentido al evaluar el rango de 6° a 10° de variación del ángulo downtilt, se aprecia un menor promedio para el incremento de señal uplink introducida por la diversidad de polarización. Esto es más notorio en la zona central de cobertura cercana a la ubicación de la Estación Base Celular.

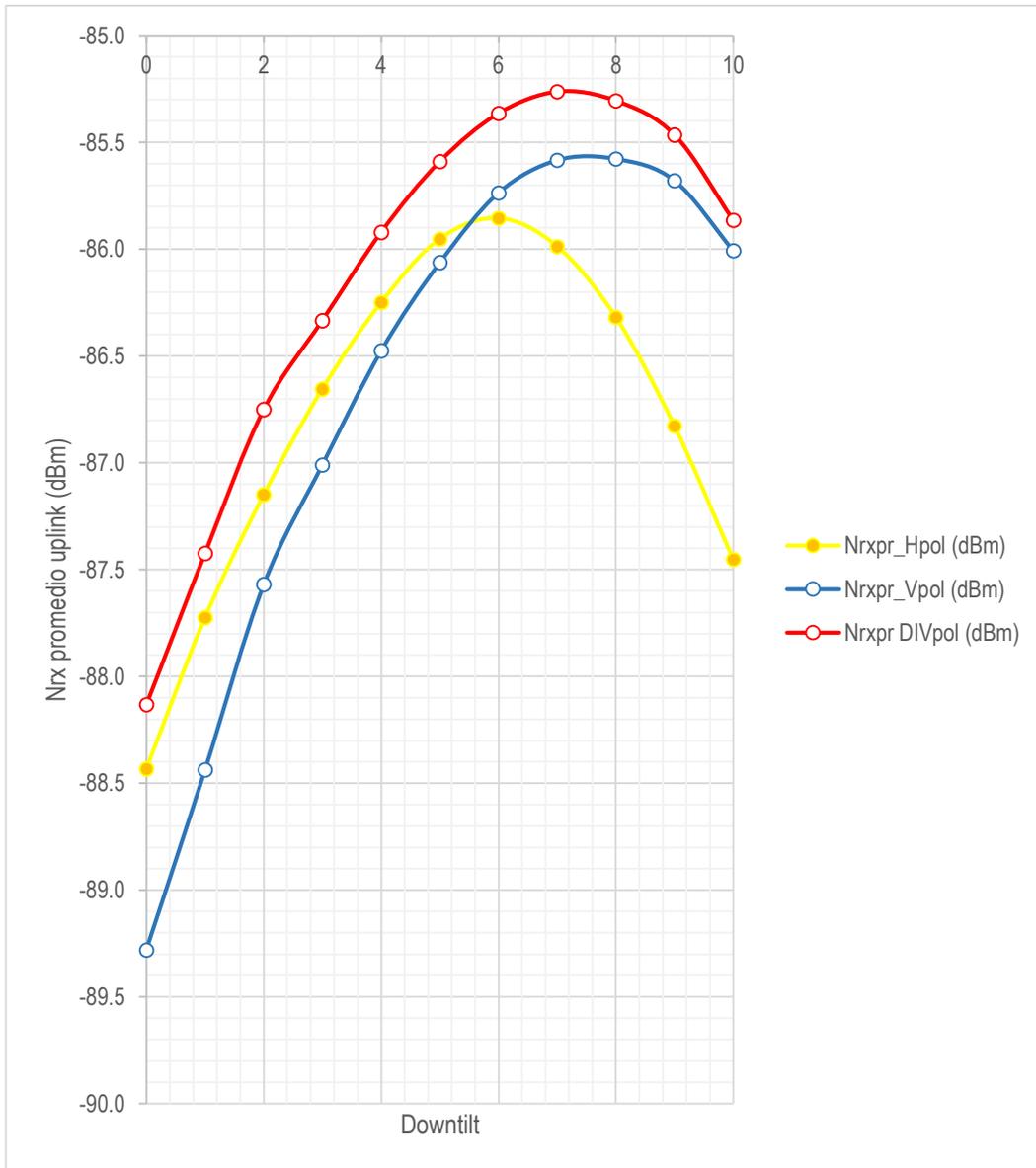


Figura 7. Nrx promedio uplink, polarización H/V y diversidad de polarización

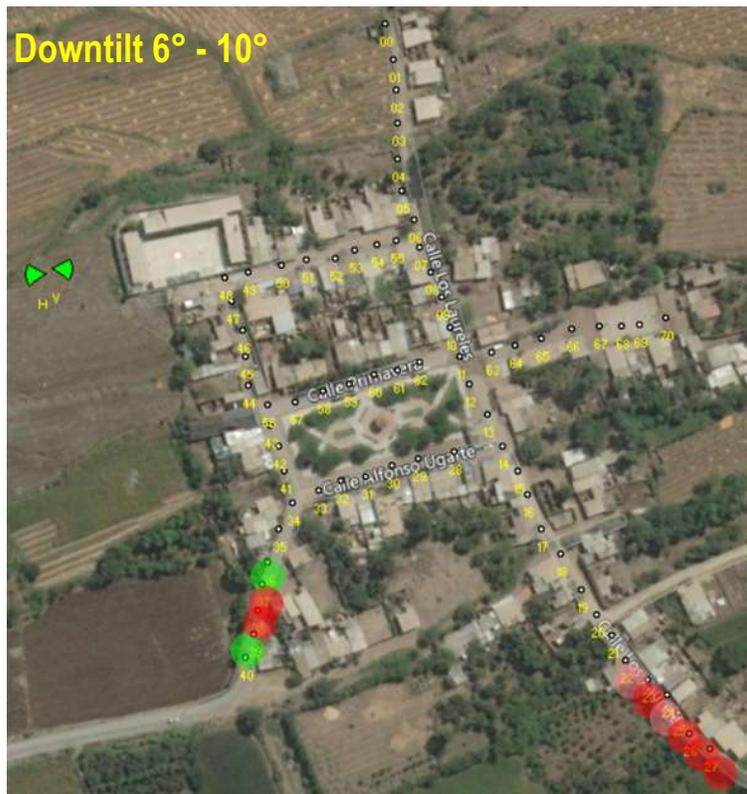
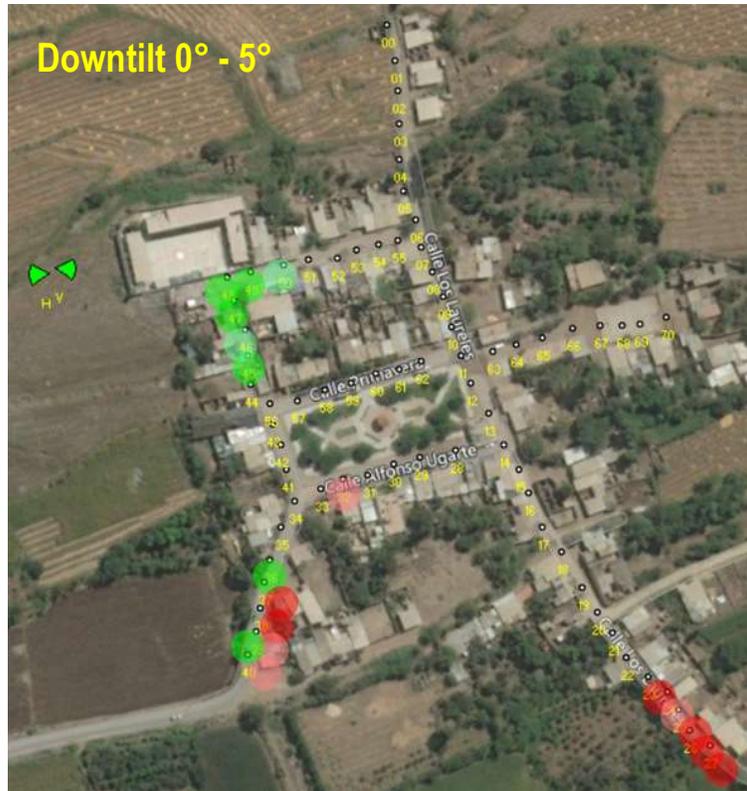


Figura 27: Emplazamientos notables en diferentes rangos downtilt

4.2. Docimasia de hipótesis

Conforme los resultados presentados y descritos en el apartado anterior, el desempeño de la técnica de diversidad de polarización en la recepción de señal uplink es mayor en los límites inferiores y superiores de los ángulos de downtilt evaluados (límites inferiores entre 0° a 2° , y límites superiores entre 9° a 10°). Asimismo, respecto del nivel promedio de señal uplink recibido con diversidad de polarización, las pruebas ANOVA Kruskal Wallis, reportaron una variación significativa, con un incremento de señal con el aumento de ángulo de downtilt, hasta un límite de 7° en donde la señal empieza a decaer. En este sentido los autores sostienen que la hipótesis planteada ha sido válida habiéndose demostrado mediante los resultados obtenidos.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Respecto de los puntos de mayor desvanecimiento existe coincidencia con el estudio realizado por Angulo D. y Barrena L. (2022), siendo que los puntos 39 y 26 son los que han reportado mayor desvanecimiento de señal por efecto de la geografía del terreno evaluado, y por encontrarse en los límites sur oeste y sur este respectivamente, de cobertura o alcance conforme el patrón de radiación empleado.
- Respecto de los puntos de mayor incremento de señal uplink por empleo de diversidad de polarización, éstos aparecen con mayor impacto en la zona central cercana a la ubicación del emplazamiento de estación base, y asimismo en la zona sur oeste en donde se presentan también las fluctuaciones más críticas. Cabe destacar que el incremento 3dB por encima del promedio del nivel de señal uplink introducidas por la diversidad de polarización son más notorias en los límites inferiores entre 0° a 2°, y límites superiores entre 9 a 10° del ángulo downtilt.
- Respecto del comportamiento de la señal uplink en diversidad de polarización, las pruebas ANOVA Kruskal Wallis, reportaron una variación significativa respecto de las señales en polarización horizontal y vertical. Los rangos de desviación encuentran coincidencia con Angulo D. y Barrena L. (2022) dado que las fluctuaciones que afectan a las polarizaciones ortogonales se acentúan en los puntos límites del patrón de radiación (límites nor oeste, sur este y sur oeste de Huacapongo). Del mismo modo se resalta la coincidencia con Fehima T. et al. (2021), en el sentido que la mayor parte de la cobertura uplink posee menor dispersión respecto del valor promedio tanto en diversidad de polarización como en polarizaciones ortogonales H/V.

- Respecto del nivel promedio de señal uplink reportada por el estudio, se encuentra similitud en el ángulo límite a partir del cual el nivel promedio de señal uplink empieza a decaer. Conforme los resultados obtenidos, los valores entre 6° a 7° de ángulo downtilt, se pueden considerar como los ángulos límites recomendados para aumentar el nivel de recepción con cualquiera de las técnicas empleadas. En este sentido se resalta la coincidencia con el estudio de Junnan Y., Ming D., Guoqiang M y Tom H. (2018), dado que se llega a encontrar este rango como el más óptimo para aumentar el nivel de señal y por consiguiente una variabilidad de señal límite de alrededor de 16 dB. Se debe destacar sin embargo que, el presente trabajo se han evaluado ángulos de downtilt de hasta 10 grados, lo cual difiere en cierto punto con los trabajos Junnan Y., Ming D., Guoqiang M y Tom H., en los cuales se evaluaron ángulos superiores a 10 grados, tal es el caso de Yejun He., Wei T.Y Long Z, donde se evalúan ángulos hasta 14 grados de downtilt. La característica técnica de downtilt para estos ángulos no es comercialmente disponible para las configuraciones usadas típicamente en los operadores peruanos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI. CONCLUSIONES

- Los puntos de mayor desvanecimiento corresponden a las zonas sur este y sur oeste, del Centro Poblado Huacapongo, que son las zonas límites en donde por la concentración central y lateral del haz de radiación. A su vez, los puntos de mayor incremento de señal uplink por aplicación de diversidad de polarización corresponden a las zonas de cobertura central cercana a la estación base celular, y la zona límite lateral de cobertura correspondiente al sur oeste, del Centro Poblado Huacapongo. Estos puntos favorables tienen mayor aparición en los límites inferiores entre 0° a 2° , y límites superiores entre 9 a 10° del ángulo downtilt.
- Respecto al nivel de señal y la variabilidad de señal uplink, los resultados de las pruebas estadísticas señalan una diferencia significativa que favorece a la técnica de diversidad de polarización sobre las polarizaciones ortogonales Horizontal y Vertical, existe sin embargo un punto de degradación de ambos parámetros que es más notable a partir de los 6° downtilt.
- Conforme los resultados obtenidos, se considera como recomendación de diseño en el centro poblado Huacapongo, mantener un ángulo límite de downtilt de 7° , el cual permitiría una variabilidad máxima de 16 dB en la recepción de señal uplink con diversidad de polarización.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el presente análisis a diversas bandas de frecuencias a fin de que se pueda observar si los resultados obtenidos se mantienen o poseen diferencias notables en función a la variación de frecuencia.
- Asimismo, se recomienda ampliar la investigación a una zona de mayor extensión y de mayor área poblada en lo que se requiera mayor densidad de estaciones celulares de manera de que el ángulo de downtilt pueda servir también como referencia para poder evaluar la recepción o incremento de interferencias cocanal.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrew Commscope Corporation (2022) Base Station Antennas, Single-/Dual-Polarized Sector, Illinois, United States.
- Atsuya A., Akira K.y Shuji K. (2018) A Study of Radio Zone Length of Dual-Polarized Omnidirectional Antennas Mounted on Rooftop for Personal Handy-Phone System.
- Carl B. y Warren (2000) Smart antennas in wireless communications: Base-Station diversity and handset Beamforming , IEEE Antennas and propagation Magazine , Vol 42. Virginia, USA.
- Dante Angulo Collantes y Luis Barrena Ugaz (2022) Identificación de Puntos De Desvanecimiento En Frecuencia, Mediante Simulaciones Realizadas Para Un Centro Poblado Rural En Diferentes Bandas De Acceso, La Libertad, 2020.
- Fehima T., Moontasir R., Asif Ishrak., Abdullah B. y Mariea Sh, (2021) Impact of Receiver Antenna Polarization and Resource Scheduler on the Downlink Performance of High Velocity Users in 5G Millimeter Wave Small Cell Technology.
- Junnan Y., Ming D.,Guoqiang M y Tom H.(2018) Optimal Base Station Antenna Downtilt in Downlink Cellular Networks.
- Kathrein Mobile Communication (2021) Kathrein Mobile Communication is Ericsson Antenna Technology, Germany.
- Leonhard Korowajczuk (2011). Lte, wimax and wlan network design, optimization and performance análisis. 1er edición, John Wiley & Sons, Reino Unido.
- Manning, Trevor (2009).Microwave Radio Transmission Design Guide. (2°.ed.).EEUU: Artech House.S.L.
- Wayne Tomasi. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4ta edición, Pearson Educación, México.
- Yejun He., Wei T.Y Long Z. (2017) A Novel Dual-broadband Dual-polarized Electrical Downtilt Base Station Antenna For 2G/3G Applications.

ANEXOS

ANEXO 01: Hojas Técnicas de Antenas SD 22 6015 V/H



Stella Doradus Ireland Ltd.

2.2GHz Base Station antenna
Part No.: 22 6015



*The 22 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	80° x 15°
Bandwidth	2.1-2.3GHz
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	78cm
Width	24.5cm
Depth	2.5cm
Weight	2.7kg
Windage(at 215kmph)	55kg
Mechanical Tilt	0-25 degrees
Mounting Pipe	9 cm pipe

Materials

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



Stella Doradus Ireland Ltd.

2.2GHz Base Station antenna
Part No.: 22 6015H



*The 22 6015H 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	2.1-2.3GHz
VSWR	1.8 : 1
Front to Back Ratio	44dB
Polarization	Horizontal
Power Rating	50W
Impedance	50 ohms
Termination	N-female
Cross Pol. Discrimination	22dB
Surge Protection	Built in

Mechanical Specifications

Length	40cm
Width	17cm
Depth	9 cm
Weight	1.4Kg
Windage(at 215kmph)	24kg
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

ANEXO 02: Cuadros de identificación de desvanecimientos e incrementos de señal superiores a 3dB (ITU-R P.530-18)

Emplz.	00 DT				01 DT				02 DT				03 DT				04 DT				05 DT				06 DT				08 DT				09 DT				10 DT								
	DRx(H)	DRx(V)	DRxdiv	Difer.																																									
0	-21	-25	-21	04	-21	-25	-21	04	-23	-23	-23	06	-22	-20	-22	08	-23	-23	-23	10	-21	-20	-13	07	-14	-19	-14	05	-14	-18	-14	04	-24	-24	-24	04	-18	-23	-18	05	-09	-14	-09	05	
1	-12	-15	-12	03	-12	-15	-12	03	-14	-17	-14	03	-12	-17	-12	05	-13	-20	-13	07	-13	-20	-13	07	-14	-19	-14	05	-14	-18	-14	04	-13	-15	-13	02	-06	-08	-06	02	01	01	01	00	
2	00	-06	00	06	00	-06	00	06	-01	-06	-01	05	01	-06	01	07	01	-08	01	09	00	-08	00	08	-01	-07	-01	06	-01	-05	-01	04	01	-02	01	03	09	05	09	04	14	13	14	01	
3	-10	-18	-10	08	-10	-18	-10	08	-11	-18	-11	05	-09	-15	-09	06	-09	-17	-09	08	-09	-16	-09	07	-10	-15	-10	05	-10	-13	-10	03	-07	-10	-07	03	00	-03	00	03	04	05	05	01	
4	24	12	24	12	24	12	24	12	25	17	25	08	28	19	28	09	28	18	28	10	28	18	28	10	27	20	27	07	28	22	28	06	31	26	31	05	36	32	36	04	40	40	40	00	
5	25	07	25	18	25	07	25	18	27	14	27	13	29	14	29	15	29	16	29	15	29	16	29	15	29	17	29	12	29	17	29	10	33	23	33	10	37	29	37	08	39	36	39	03	
6	20	11	20	09	20	11	20	09	21	16	21	05	23	18	23	05	23	17	23	05	23	17	23	05	22	19	22	03	23	21	23	02	27	26	27	01	28	31	31	03	28	37	37	09	
7	22	11	22	11	22	11	22	11	22	17	22	05	25	19	25	06	24	18	24	06	24	19	24	05	24	20	24	04	25	22	25	03	28	26	28	02	28	32	32	04	26	36	36	10	
8	27	23	27	04	27	23	27	04	27	26	27	01	29	27	29	02	26	26	26	00	26	27	27	01	25	27	27	02	27	30	30	03	26	33	33	07	24	36	36	12	19	39	39	20	
9	30	19	30	11	30	19	30	11	30	20	30	10	30	20	30	10	27	19	27	08	26	19	26	07	26	19	26	07	25	21	25	04	22	23	23	01	13	25	25	12	09	26	26	17	
10	25	22	25	03	25	22	25	03	23	22	23	01	22	22	22	00	19	20	20	02	18	20	20	02	17	20	20	03	14	21	21	07	08	22	22	14	-01	22	22	23	-09	22	22	31	
11	44	40	44	04	44	40	44	04	42	40	42	02	41	40	41	01	38	38	38	00	37	37	37	00	36	37	37	01	31	38	38	07	25	38	38	13	16	38	38	22	07	38	38	31	
12	13	10	13	03	13	10	13	03	11	09	11	03	11	09	11	03	06	06	06	00	04	05	05	01	03	05	05	02	-02	06	06	08	-09	06	06	15	-18	05	05	23	-26	05	05	31	
13	39	36	39	03	39	36	39	03	35	32	35	03	32	31	32	01	28	28	28	00	27	27	27	00	23	27	27	14	16	27	27	11	07	26	26	19	-02	25	25	27	-09	22	22	31	
14	24	18	24	06	24	18	24	06	21	14	21	07	18	13	18	05	14	10	14	04	12	09	12	03	09	09	09	00	-03	09	09	06	-05	08	08	13	-14	08	08	22	-20	06	06	26	
15	12	10	12	02	12	10	12	02	07	06	07	01	04	04	04	00	-01	01	01	02	-02	00	00	02	-06	-01	-01	05	-13	-01	-01	12	-20	-02	-02	18	-28	-02	26	-35	-04	-04	31		
16	09	05	09	04	09	05	09	04	04	01	04	03	01	-01	01	02	-04	-04	-04	00	-05	-05	-05	00	-08	-05	-05	03	-13	-05	-05	08	-20	-06	-06	14	-29	-06	-06	23	-34	-07	-07	27	
17	07	01	07	06	07	01	07	06	01	-04	01	05	-02	-05	-02	03	-08	-09	-08	01	-09	-10	-09	01	-12	-10	-10	02	-18	-10	-10	08	-25	-11	-11	14	-32	-11	-11	21	-37	-12	-12	25	
18	27	22	27	05	27	22	27	05	20	16	20	04	17	14	17	03	11	10	11	01	11	09	11	02	06	09	09	03	01	09	09	08	-07	08	08	15	-14	08	08	22	-19	06	06	25	
19	28	24	28	04	28	24	28	04	20	17	20	03	17	15	17	02	11	10	11	01	10	10	10	00	06	10	10	04	00	09	09	08	-08	09	09	17	-14	08	08	22	-19	06	06	25	
20	21	15	21	06	21	15	21	06	13	08	13	05	09	06	09	03	04	02	04	02	02	01	02	01	-02	01	01	03	-08	00	00	08	-16	-01	-01	15	-22	00	00	22	-27	-04	-04	23	
21	09	02	09	07	09	02	09	07	00	-05	00	05	-05	-08	-05	03	-05	-12	-10	02	-11	-13	-11	02	-16	-13	-13	03	-22	-14	-14	08	-29	-15	-15	14	-37	-14	-14	23	-42	-17	-17	25	
22	-12	-18	-12	06	-12	-18	-12	06	-23	-26	-23	03	-27	-29	-27	02	-32	-33	-32	01	-34	-34	-34	00	-39	-34	-34	05	-45	-36	-36	16	-59	-36	-36	16	-59	-36	-36	16	-59	-36	-36	16	
23	-43	-48	-43	05	-43	-48	-43	05	-54	-56	-54	02	-58	-59	-58	01	-63	-63	-63	00	-66	-64	-64	02	-71	-65	-65	06	-78	-66	-66	12	-85	-67	-67	18	-91	-67	-67	24	-96	-71	-71	25	
24	-15	-21	-15	06	-15	-21	-15	06	-25	-29	-25	04	-30	-32	-30	02	-31	-36	-31	05	-37	-36	-36	01	-42	-37	-37	05	-48	-38	-38	10	-56	-39	-39	17	-62	-39	-39	23	-67	-42	-42	25	
25	-25	-32	-25	07	-25	-32	-25	07	-35	-37	-35	04	-41	-43	-41	02	-45	-47	-45	02	-48	-48	-48	00	-53	-49	-49	04	-59	-50	-50	09	-66	-51	-51	15	-72	-51	-51	21	-78	-54	-54	24	
26	-105	-111	-105	06	-105	-111	-105	06	-116	-120	-116	04	-121	-123	-121	02	-125	-127	-125	02	-128	-128	-128	00	-133	-128	-128	04	-139	-130	-130	09	-146	-131	-131	15	-152	-131	-131	21	-167	-134	-134	23	
27	-33	-41	-33	08	-33	-41	-33	08	-44	-49	-44	05	-49	-52	-49	03	-56	-57	-56	03	-62	-58	-58	03	-67	-59	-59	08	-74	-60	-60	14	-80	-60	-60	20	-87	-62	-62	23					
28	29	25	29	04	29	25	29	04	27	23	27	04	26	23	26	03	22	21	22	01	21	20	21	01	20	20	20	00	19	22	22	03	15	24	24	09	09	28	28	19	04	27	27	23	
29	31	28	31	03	31	28	31	03	31	29	31	02	32	29	32	03	29	27	29	02	28	28	28	00	27	28	28	01	29	30	30	01	29	34	34	05	27	38	38	11	24	41	41	17	
30	38	29	38	09	38	29	38	09	39	33	39	06	40	35	40	05	39	33	39	06	39	34	39	05	38	35	38	03	39	37	39	02	43	41	43	02	44	47	47	03	44	53	53	09	
31	20	11	20	09	20	11	20	09	21	15	21	05	24	17	24	07	24	16	24	08	23	17	23	06	23	18	23	05	24	20	24	04	28	24	28	04	32	31	32	01	34	37	37	03	
32	-38	-51	-38	13	-38	-51	-38	13	-45	-49	-45	08	-52	-54	-52	09	-53	-54	-53	10	-58	-56	-56	11	-62	-52	-52	09	-72	-52	-52	08	-85	-53	-53	11	-98	-54	-54	13	-113	-56	-56	13	
33	19	13	19	06	19	13	19	06	25	21	25	04	27	24	27	03	28	25	28	03	31	27	31	04	34	29	34	05	35	32	35	03	38	37	38	01	42	42	42	00	51	51	51	00	
34	-16	-22	-16	06	-16	-22	-16	06	-07	-10	-07	03	-07	-09	-07	02	-02	-06	-02	04	01	-04	01	05	05	03	05	05	05	05	08	04	08	04	12	11	12	01	18	18	18	00			
35	-17	-22	-17	05	-17	-22	-17	05	-11	-16	-11	05	-08	-11	-08	03	-07	-09	-07	02	-03	-06	-03	03	01	-04	01	05	-05	00	06	06	10	05	10	05	10	15	11	15	04	17	19	19	02
36	-145	-146	-145	129	-145	-146	-145	129	-143	-149	-143	190	-139	-148	-139	131	-138	-147	-138	111	-135	-145	-135	150	-131	-143	-131	128	-127	00	00	127	-												

ANEXO 03: Desvanecimientos e incrementos de señal uplink superiores a 3dB (ITU-R P.530-18) para downtilt 0°-10°

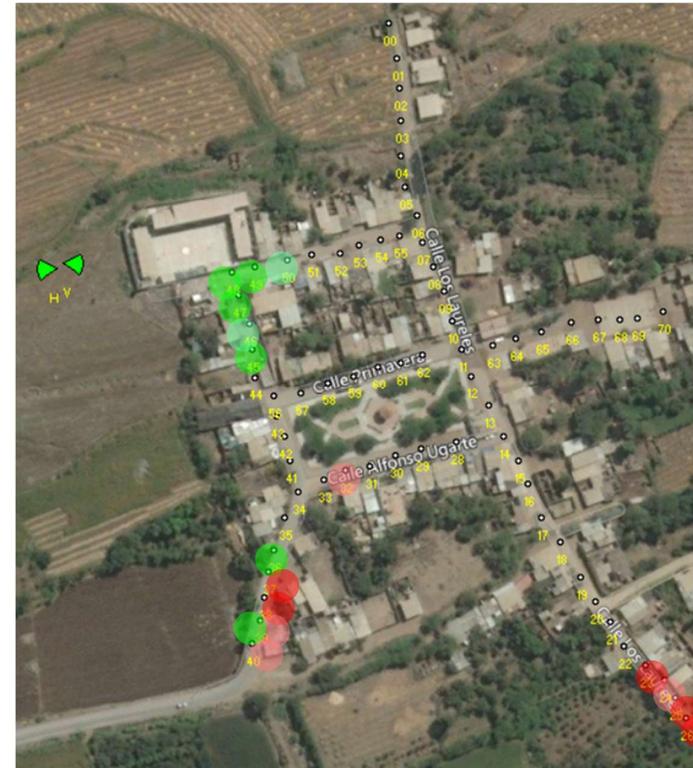
PTO	0° Dw		1° Dw		2° Dw		3° Dw		4° Dw		5° Dw		6° Dw		7° Dw		8° Dw		9° Dw		10° Dw		Dprom	Mdprom	
	Ddiv	Md	Ddiv	Md																					
10	3	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	1	2	1	2	2	2	3	2	1	
11	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	1	4	1	4	2	4	3	4	1	
12	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	2	0	3	1	1	
13	4	0	4	0	4	0	3	0	3	0	3	0	4	1	3	1	3	2	3	3	2	3	3	1	
15	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	3	0	3	0	1	
22	-1	1	-1	1	-2	0	-3	0	-3	0	-3	0	-3	1	-4	1	-4	2	-4	2	-4	3	-3	1	
23	-4	1	-4	1	-5	0	-6	0	-6	0	-6	0	-7	1	-7	1	-7	2	-7	2	-7	3	-6	1	
24	-1	1	-1	1	-2	0	-3	0	-3	1	-4	0	-4	1	-4	1	-4	2	-4	2	-4	3	-3	1	
25	-2	1	-2	1	-4	0	-4	0	-4	0	-5	0	-5	0	-5	1	-5	2	-5	2	-5	2	-4	1	
26	-10	1	-10	1	-12	0	-12	0	-12	0	-13	0	-13	0	-13	1	-13	2	-13	2	-13	2	-12	1	
27	-3	1	-3	1	-4	1	-5	0	-5	0	-6	0	-6	0	-6	1	-6	1	-6	2	-6	2	-5	1	
32	-4	1	-4	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-2	1	-2	1	-1	0	-3	1	
36	-2	13	-2	13	5	19	-1	13	-1	13	-1	13	0	13	0	13	1	13	1	13	2	13	0	13	
37	-9	1	-9	1	-9	1	-8	1	-8	1	-8	1	-8	1	-7	1	-7	1	-6	1	-6	1	-8	1	
38	-17	1	-17	1	-16	1	-16	1	-16	1	-16	1	-16	0	-16	0	-15	0	-15	0	-14	1	-16	0	
39	-4	8	-4	8	-3	8	-3	8	-3	8	-3	8	-3	7	-3	7	-2	7	-2	8	-1	8	-3	8	
40	-3	0	-3	0	-3	1	-3	0	-3	0	-3	0	-3	0	-3	0	-3	0	-2	0	-1	0	-3	0	
44	0	4	0	4	1	2	1	2	2	1	3	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	3	2	
45	0	6	0	6	1	4	2	3	2	2	3	2	4	2	5	2	6	1	7	1	8	2	4	3	
46	2	5	2	5	3	3	4	2	4	1	5	1	6	0	8	1	9	0	10	1	11	1	6	2	
47	0	5	0	5	1	5	2	4	2	3	3	2	4	1	5	1	7	1	8	0	9	0	4	3	
48	-1	4	-1	4	0	6	1	5	2	4	3	4	2	5	1	6	1	7	1	7	1	9	1	3	3
49	2	6	2	6	3	4	4	3	4	2	5	1	6	1	7	1	8	1	9	0	10	0	5	2	
50	2	4	2	4	2	2	3	2	3	2	4	2	5	1	6	1	7	1	8	1	9	1	4	2	
63	3	1	3	1	3	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	1	2	2	2	3	2	3	2	1	
64	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	2	1	3	0	3	1	1	
65	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	2	0	3	-1	3	1	1	
66	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	2	0	3	0	3	-1	3	1	1	
67	3	0	3	0	2	0	2	0	1	0	1	1	1	1	0	2	0	3	0	3	-1	3	1	1	
68	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	2	0	3	-1	3	-2	3	0	1	
69	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	1	-2	2	-2	3	-3	3	-3	3	-1	1	
70	1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	1	-2	2	-2	2	-2	3	-3	3	-4	3	-1	1	



ANEXO 04: Desvanecimientos e incrementos de señal uplink superiores a 3dB (ITU-R P.530-18) para downtilt 0° - 5°

PTO	0° Dw		1° Dw		2° Dw		3° Dw		4° Dw		5° Dw	
	Ddiv	Md										
10	3	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0
11	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0
12	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
13	4	0	4	0	4	0	3	0	3	0	3	0
15	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
22	-1	1	-1	1	-2	0	-3	0	-3	0	-3	0
23	-4	1	-4	1	-5	0	-6	0	-6	0	-6	0
24	-1	1	-1	1	-2	0	-3	0	-3	1	-4	0
25	-2	1	-2	1	-4	0	-4	0	-4	0	-5	0
26	-10	1	-10	1	-12	0	-12	0	-12	0	-13	0
27	-3	1	-3	1	-4	1	-5	0	-5	0	-6	0
32	-4	1	-4	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1
36	-2	13	-2	13	5	19	-1	13	-1	13	-1	13
37	-9	1	-9	1	-9	1	-9	1	-8	1	-8	1
38	-17	1	-17	1	-16	1	-16	1	-16	1	-16	1
39	-4	8	-4	8	-3	8	-3	8	-3	8	-3	8
40	-3	0	-3	0	-3	1	-3	0	-3	0	-3	0
44	0	4	0	4	1	2	1	2	2	1	3	1
45	0	6	0	6	1	4	2	3	2	2	3	2
46	2	5	2	5	3	3	4	2	4	1	5	1
47	0	5	0	5	1	5	2	4	2	3	3	2
48	-1	4	-1	4	0	6	1	5	2	4	3	4
49	2	6	2	6	3	4	4	3	4	2	5	1
50	2	4	2	4	2	2	3	2	3	2	4	2
63	3	1	3	1	3	0	3	0	2	0	2	0
64	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0
65	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0
66	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0
67	3	0	3	0	2	0	2	0	1	0	1	1
68	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	1
69	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
70	1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	1

Dprom	Mdprom
2	0
4	0
1	0
3	0
1	0
-2	0
-5	0
-3	0
-4	0
-4	0
-12	0
-4	0
-3	1
0	14
-9	1
-16	1
-3	8
-3	0
1	2
2	4
4	3
1	4
1	5
3	4
3	3
3	0
1	0
1	0
2	0
2	0
1	0
1	0
0	0
0	0



ANEXO 05: Desvanecimientos e incrementos de señal uplink superiores a 3dB (ITU-R P.530-18) para downtilt 6°- 10°

PTO	6° Dw		7° Dw		8° Dw		9° Dw		10° Dw		Dprom	Mdprom
	Ddiv	Md	Ddiv	Md	Ddiv	Md	Ddiv	Md	Ddiv	Md		
10	2	0	2	1	2	1	2	2	2	3	2	1
11	4	0	4	1	4	1	4	2	4	3	3	1
12	0	0	1	1	1	2	1	2	0	3	0	1
13	4	1	3	1	3	2	3	3	2	3	2	2
15	0	1	0	1	0	2	0	3	0	3	0	2
22	-3	1	-4	1	-4	2	-4	2	-4	3	-3	1
23	-7	1	-7	1	-7	2	-7	2	-7	3	-6	1
24	-4	1	-4	1	-4	2	-4	2	-4	3	-3	1
25	-5	0	-5	1	-5	2	-5	2	-5	2	-4	1
26	-13	0	-13	1	-13	2	-13	2	-13	2	-11	1
27	-6	0	-6	1	-6	1	-6	2	-6	2	-5	1
32	-3	1	-3	1	-2	1	-2	1	-1	0	-2	1
36	0	13	0	13	1	13	1	13	2	13	1	11
37	-8	1	-7	1	-7	1	-6	1	-6	1	-6	1
38	-16	0	-16	0	-15	0	-15	0	-14	1	-13	0
39	-3	7	-3	7	-2	7	-2	8	-1	8	-2	6
40	-3	0	-3	0	-3	0	-2	0	-1	0	-2	0
44	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	4	1
45	4	2	5	2	6	1	7	1	8	2	5	1
46	6	0	8	1	9	0	10	1	11	1	7	0
47	4	1	5	1	7	1	8	0	9	0	6	1
48	3	2	4	2	6	1	7	1	9	1	5	1
49	6	1	7	1	8	1	9	0	10	0	7	1
50	5	1	6	1	7	1	8	1	9	1	6	1
63	2	0	2	1	2	2	2	3	2	3	2	1
64	1	1	1	1	1	2	1	3	0	3	1	2
65	0	1	0	2	0	2	0	3	-1	3	0	2
66	1	1	1	2	0	3	0	3	-1	3	0	2
67	1	1	0	2	0	3	0	3	-1	3	0	2
68	0	1	0	2	0	3	-1	3	-2	3	0	2
69	-1	1	-2	2	-2	3	-3	3	-3	3	-2	2
70	-2	2	-2	2	-2	3	-3	3	-4	3	-2	2



ANEXO 06: Prueba de normalidad y prueba estadística ANOVA Kruskal Wallis para señal uplink recibida en polarización horizontal, vertical y diversidad de polarización, para ángulos de downtilt entre 0° y 10°

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
1	0	-90.5	-90.9	-90.5
2	0	-89.6	-89.9	-89.6
3	0	-88.4	-89.0	-88.4
4	0	-89.4	-90.2	-89.4
5	0	-86.0	-87.2	-86.0
6	0	-85.9	-87.7	-85.9
7	0	-86.4	-87.3	-86.4
8	0	-86.2	-87.3	-86.2
9	0	-85.7	-86.1	-85.7
10	0	-85.4	-86.5	-85.4
11	0	-85.9	-86.2	-85.9
12	0	-84.0	-84.4	-84.0
13	0	-87.1	-87.4	-87.1
14	0	-84.5	-84.8	-84.5
15	0	-86.0	-86.6	-86.0
16	0	-87.2	-87.4	-87.2
17	0	-87.5	-87.9	-87.5
18	0	-87.7	-88.3	-87.7
19	0	-85.7	-86.2	-85.7
20	0	-85.6	-86.0	-85.6
21	0	-86.3	-86.9	-86.3
22	0	-87.5	-88.2	-87.5
23	0	-89.6	-90.2	-89.6
24	0	-92.7	-93.2	-92.7
25	0	-89.9	-90.5	-89.9
26	0	-90.9	-91.6	-90.9
27	0	-98.9	-99.5	-98.9
28	0	-91.7	-92.5	-91.7
29	0	-85.5	-85.9	-85.5
30	0	-85.3	-85.6	-85.3
31	0	-84.6	-85.5	-84.6
32	0	-86.4	-87.3	-86.4
33	0	-92.2	-93.5	-92.2
34	0	-86.5	-87.1	-86.5
35	0	-90.0	-90.6	-90.0
36	0	-90.1	-90.6	-90.1
37	0	-102.9	-90.0	-90.0
38	0	-97.5	-98.4	-97.5
39	0	-105.5	-105.0	-105.0
40	0	-99.7	-92.0	-92.0
41	0	-92.0	-91.8	-91.8
42	0	-87.4	-88.2	-87.4
43	0	-89.9	-91.3	-89.9
44	0	-90.7	-92.5	-90.7
45	0	-88.4	-92.4	-88.4
46	0	-88.0	-93.8	-88.0
47	0	-86.0	-91.0	-86.0
48	0	-88.5	-93.8	-88.5
49	0	-89.2	-93.4	-89.2
50	0	-86.4	-92.3	-86.4
51	0	-86.8	-91.2	-86.8
52	0	-89.3	-92.3	-89.3
53	0	-86.3	-88.2	-86.3
54	0	-85.3	-86.8	-85.3
55	0	-87.2	-87.9	-87.2
56	0	-85.2	-86.1	-85.2
57	0	-90.5	-92.7	-90.5
58	0	-87.5	-88.9	-87.5
59	0	-87.5	-89.0	-87.5
60	0	-86.7	-87.6	-86.7
61	0	-87.1	-88.4	-87.1
62	0	-86.2	-87.0	-86.2
63	0	-86.4	-86.9	-86.4
64	0	-85.2	-85.7	-85.2
65	0	-86.7	-86.8	-86.7
66	0	-86.7	-87.0	-86.7
67	0	-86.1	-86.4	-86.1
68	0	-85.7	-86.1	-85.7
69	0	-86.3	-86.5	-86.3
70	0	-87.4	-87.6	-87.4
71	0	-87.7	-87.9	-87.7

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-88.43239437	Media	-89.28028169	Media	-88.13239437
Error típico	0.481667019	Error típico	0.424238552	Error típico	0.403050614
Mediana	-87.2	Mediana	-88.2	Mediana	-87.2
Moda	-86.4	Moda	-87.3	Moda	-86.4
Desviación estándar	4.058598444	Desviación estándar	3.574697578	Desviación estándar	3.396164839
Varianza de la muestra	16.47222133	Varianza de la muestra	12.77846278	Varianza de la muestra	11.53393561
Curbsis	6.423358585	Curbsis	4.892591182	Curbsis	9.15290681
Coefficiente de asimetría	-2.39965634	Coefficiente de asimetría	-1.782597835	Coefficiente de asimetría	-2.552258686
Rango	21.5	Rango	20.6	Rango	21
Mínimo	-105.5	Mínimo	-105	Mínimo	-105
Máximo	-84	Máximo	-84.4	Máximo	-84
Suma	-6278.7	Suma	-6338.9	Suma	-6257.4
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	0.960654578	Nivel de confianza(95.0%)	0.846117112	Nivel de confianza(95.0%)	0.803859102

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀ : N_{RXH} = N_{RXV} = N_{RXDIV}
H₁ : Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

H_{STAT} > H_{TIES} : Acepta H₀
H_{TIES} > H_{STAT} : Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-87.2	-88.2	-87.2	
rank sum	8194	6324.5	8272.5	
count	71	71	71	213
r ² /n	945656.8451	563370.4261	963862.7641	2472890.035
H-stat				9.01751618
H-ties				9.021627706
df				2
p-value				0.010989513
alpha				0.05

N°	DT (°)	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)
72	1	-89.9	-90.5	-89.9
73	1	-89.0	-89.3	-89.0
74	1	-87.7	-88.2	-87.7
75	1	-88.8	-89.3	-88.8
76	1	-85.2	-86.1	-85.2
77	1	-85.1	-86.5	-85.1
78	1	-85.6	-86.3	-85.6
79	1	-85.5	-86.2	-85.5
80	1	-85.0	-85.2	-85.0
81	1	-84.7	-85.8	-84.7
82	1	-85.3	-85.5	-85.3
83	1	-83.4	-83.7	-83.4
84	1	-86.5	-86.7	-86.5
85	1	-84.0	-84.3	-84.0
86	1	-85.4	-86.1	-85.4
87	1	-86.7	-86.9	-86.7
88	1	-87.0	-87.4	-87.0
89	1	-87.2	-87.8	-87.2
90	1	-85.2	-85.8	-85.2
91	1	-85.2	-85.7	-85.2
92	1	-85.9	-86.5	-85.9
93	1	-87.2	-87.8	-87.2
94	1	-89.4	-89.9	-89.4
95	1	-92.5	-92.9	-92.5
96	1	-89.7	-90.2	-89.7
97	1	-90.7	-91.3	-90.7
98	1	-98.7	-99.3	-98.7
99	1	-91.5	-92.2	-91.5
100	1	-84.9	-85.3	-84.9
101	1	-84.7	-84.8	-84.7
102	1	-83.9	-84.5	-83.9
103	1	-85.6	-86.3	-85.6
104	1	-91.3	-92.4	-91.3
105	1	-85.4	-86.1	-85.4
106	1	-89.1	-89.7	-89.1
107	1	-89.2	-89.6	-89.2
108	1	-102.0	-89.2	-89.2
109	1	-96.6	-97.6	-96.6
110	1	-104.7	-104.2	-104.2
111	1	-99.0	-91.2	-91.2
112	1	-91.4	-91.1	-91.1
113	1	-86.5	-87.1	-86.5
114	1	-88.9	-90.2	-88.9
115	1	-89.7	-91.2	-89.7
116	1	-87.4	-90.5	-87.4
117	1	-86.8	-91.7	-86.8
118	1	-84.8	-88.8	-84.8
119	1	-87.2	-93.3	-87.2
120	1	-88.3	-94.5	-88.3
121	1	-85.1	-90.2	-85.1
122	1	-85.8	-89.1	-85.8
123	1	-88.3	-90.5	-88.3
124	1	-85.3	-87.0	-85.3
125	1	-84.2	-85.5	-84.2
126	1	-86.1	-86.7	-86.1
127	1	-84.3	-85.0	-84.3
128	1	-89.5	-91.0	-89.5
129	1	-86.4	-87.8	-86.4
130	1	-86.4	-87.9	-86.4
131	1	-85.5	-86.6	-85.5
132	1	-86.2	-87.1	-86.2
133	1	-85.5	-85.9	-85.5
134	1	-85.9	-86.1	-85.9
135	1	-84.6	-85.1	-84.6
136	1	-86.1	-86.2	-86.1
137	1	-86.2	-86.4	-86.2
138	1	-85.6	-86.0	-85.6
139	1	-85.4	-85.6	-85.4
140	1	-86.0	-86.0	-86.0
141	1	-87.2	-87.2	-87.2
142	1	-87.5	-87.5	-87.5

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-87.72535211	Media	-88.43802817	Media	-87.42394366
Error típico	0.483946379	Error típico	0.4231451	Error típico	0.40670173
Mediana	-86.4	Mediana	-87.2	Mediana	-86.4
Moda	-87.2	Moda	-86.1	Moda	-87.2
Desviación estándar	4.077804672	Desviación estándar	3.565483986	Desviación estándar	3.426929687
Varianza de la muestra	16.62849095	Varianza de la muestra	12.71267606	Varianza de la muestra	11.74384708
Curstosis	6.140160655	Curstosis	5.380106458	Curstosis	8.793924725
Coefficiente de asimetría	-2.361833602	Coefficiente de asimetría	-1.926901454	Coefficiente de asimetría	-2.524825732
Rango	21.3	Rango	20.5	Rango	20.8
Mínimo	-104.7	Mínimo	-104.2	Mínimo	-104.2
Máximo	-83.4	Máximo	-83.7	Máximo	-83.4
Suma	-6228.5	Suma	-6279.1	Suma	-6207.1
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	0.965200619	Nivel de confianza(95.0%)	0.843936291	Nivel de confianza(95.0%)	0.811141023

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀: NRXH = NRXV = NRXDIV
H₁: Diferencia significativa entre NRXH, NRXV, NRXDIV

H_{STAT} > H_{NIES}: Acepta H₀
H_{NIES} > H_{STAT}: Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-86.4	-87.2	-86.4	
rank sum	8141.5	6425.5	8224	
count	71	71	71	213
r ² /n	933577.7782	581507.75	952594.0282	2467679.556
H-stat				7.645796061
H-bes				7.649324917
df				2
p-value				0.021825801
alpha				0.05

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
143	2	-89.4	-90.0	-89.4
144	2	-88.5	-88.8	-88.5
145	2	-87.2	-87.7	-87.2
146	2	-88.2	-88.7	-88.2
147	2	-84.6	-85.4	-84.6
148	2	-84.4	-85.7	-84.4
149	2	-85.0	-85.5	-85.0
150	2	-84.9	-85.4	-84.9
151	2	-84.4	-84.5	-84.4
152	2	-84.1	-85.1	-84.1
153	2	-84.8	-84.9	-84.8
154	2	-82.9	-83.1	-82.9
155	2	-86.0	-86.2	-86.0
156	2	-83.6	-83.9	-83.6
157	2	-85.0	-85.7	-85.0
158	2	-86.4	-86.5	-86.4
159	2	-86.7	-87.0	-86.7
160	2	-87.0	-87.5	-87.0
161	2	-85.1	-85.5	-85.1
162	2	-85.1	-85.4	-85.1
163	2	-85.8	-86.3	-85.8
164	2	-87.1	-87.6	-87.1
165	2	-89.4	-89.7	-89.4
166	2	-92.5	-92.7	-92.5
167	2	-89.6	-90.0	-89.6
168	2	-90.7	-91.1	-90.7
169	2	-98.7	-99.1	-98.7
170	2	-91.5	-92.0	-91.5
171	2	-84.4	-84.8	-84.4
172	2	-84.0	-84.2	-84.0
173	2	-83.2	-83.8	-83.2
174	2	-85.0	-85.5	-85.0
175	2	-90.6	-91.4	-90.6
176	2	-84.6	-85.0	-84.6
177	2	-88.1	-88.7	-88.1
178	2	-88.2	-88.7	-88.2
179	2	-101.2	-82.2	-82.2
180	2	-95.9	-96.8	-95.9
181	2	-104.1	-103.5	-103.5
182	2	-98.4	-90.5	-90.5
183	2	-90.9	-90.4	-90.4
184	2	-85.4	-86.1	-85.4
185	2	-88.0	-89.1	-88.0
186	2	-88.8	-90.1	-88.8
187	2	-86.5	-88.5	-86.5
188	2	-85.9	-89.7	-85.9
189	2	-83.7	-86.7	-83.7
190	2	-86.0	-91.1	-86.0
191	2	-86.9	-93.3	-86.9
192	2	-84.0	-88.0	-84.0
193	2	-85.0	-86.9	-85.0
194	2	-87.3	-89.3	-87.3
195	2	-84.2	-85.8	-84.2
196	2	-83.3	-84.4	-83.3
197	2	-85.3	-85.5	-85.3
198	2	-83.6	-84.0	-83.6
199	2	-88.5	-89.9	-88.5
200	2	-85.5	-86.5	-85.5
201	2	-85.4	-86.7	-85.4
202	2	-84.7	-85.3	-84.7
203	2	-85.6	-86.3	-85.6
204	2	-84.8	-85.2	-84.8
205	2	-85.3	-85.5	-85.3
206	2	-84.2	-84.6	-84.2
207	2	-85.8	-85.7	-85.7
208	2	-86.0	-86.0	-86.0
209	2	-85.4	-85.6	-85.4
210	2	-85.2	-85.3	-85.2
211	2	-85.8	-85.7	-85.7
212	2	-87.0	-87.0	-87.0
213	2	-87.3	-87.2	-87.2

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-87.14929577	Media	-87.57042254	Media	-86.75070423
Error típico	0.488873683	Error típico	0.424351295	Error típico	0.417262677
Mediana	-85.8	Mediana	-86.5	Mediana	-85.7
Moda	-85	Moda	-85.5	Moda	-85
Desviación estándar	4.119322872	Desviación estándar	3.575647568	Desviación estándar	3.515917813
Varianza de la muestra	16.96882093	Varianza de la muestra	12.78525553	Varianza de la muestra	12.36167807
Curstosis	5.801061142	Curstosis	5.916876739	Curstosis	8.123174191
Coefficiente de asimetría	-2.307616223	Coefficiente de asimetría	-2.024375574	Coefficiente de asimetría	-2.439222705
Rango	21.2	Rango	21.3	Rango	21.3
Mínimo	-104.1	Mínimo	-103.5	Mínimo	-103.5
Máximo	-82.9	Máximo	-82.2	Máximo	-82.2
Suma	-6187.6	Suma	-6217.5	Suma	-6159.3
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	0.975027816	Nivel de confianza(95.0%)	0.846341971	Nivel de confianza(95.0%)	0.832204169

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀ : N_{RXH} = N_{RXV} = N_{RXDIV}
H₁ : Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

H_{STAT} > H_{TES} : Acepta H₀
H_{TES} > H_{STAT} : Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-85.8	-86.5	-85.7	
rank sum	7939	6661.5	8190.5	
count	71	71	71	213
r ² /n	887714.3803	625008.2007	944849.1585	2457571.739
H-stat				4.984793849
H-ties				4.987178186
df				2
p-value				0.082612928
alpha				0.05

N°	DT (°)	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)
214	3	-88.9	-89.7	-88.9
215	3	-87.9	-88.4	-87.9
216	3	-86.6	-87.3	-86.6
217	3	-87.6	-88.2	-87.6
218	3	-83.9	-84.8	-83.9
219	3	-83.8	-85.2	-83.8
220	3	-84.4	-84.9	-84.4
221	3	-84.2	-84.8	-84.2
222	3	-83.8	-84.0	-83.8
223	3	-83.7	-84.7	-83.7
224	3	-84.5	-84.5	-84.5
225	3	-82.6	-82.7	-82.6
226	3	-85.8	-85.9	-85.8
227	3	-83.5	-83.6	-83.5
228	3	-84.9	-85.4	-84.9
229	3	-86.3	-86.3	-86.3
230	3	-86.6	-86.8	-86.6
231	3	-86.9	-87.2	-86.9
232	3	-85.0	-85.3	-85.0
233	3	-85.0	-85.2	-85.0
234	3	-85.8	-86.1	-85.8
235	3	-87.2	-87.5	-87.2
236	3	-89.4	-89.6	-89.4
237	3	-92.5	-92.6	-92.5
238	3	-89.7	-89.9	-89.7
239	3	-90.8	-91.0	-90.8
240	3	-98.8	-99.0	-98.8
241	3	-91.6	-91.9	-91.6
242	3	-84.1	-84.4	-84.1
243	3	-83.5	-83.8	-83.5
244	3	-82.7	-83.2	-82.7
245	3	-84.3	-85.0	-84.3
246	3	-89.9	-90.8	-89.9
247	3	-84.0	-84.3	-84.0
248	3	-87.4	-87.7	-87.4
249	3	-87.5	-87.8	-87.5
250	3	-100.6	-87.5	-87.5
251	3	-95.2	-96.0	-95.2
252	3	-103.6	-102.9	-102.9
253	3	-97.9	-90.0	-90.0
254	3	-90.4	-90.0	-90.0
255	3	-84.5	-85.1	-84.5
256	3	-86.9	-88.0	-86.9
257	3	-87.7	-89.0	-87.7
258	3	-85.4	-87.0	-85.4
259	3	-85.0	-87.6	-85.0
260	3	-82.8	-84.6	-82.8
261	3	-84.8	-89.0	-84.8
262	3	-85.7	-91.1	-85.7
263	3	-83.1	-85.9	-83.1
264	3	-83.8	-85.8	-83.8
265	3	-86.2	-88.1	-86.2
266	3	-83.3	-84.6	-83.3
267	3	-82.5	-83.3	-82.5
268	3	-84.7	-84.8	-84.7
269	3	-82.9	-83.3	-82.9
270	3	-87.6	-88.6	-87.6
271	3	-84.4	-85.5	-84.4
272	3	-84.6	-85.6	-84.6
273	3	-84.0	-84.4	-84.0
274	3	-84.9	-85.6	-84.9
275	3	-84.3	-84.6	-84.3
276	3	-84.8	-85.0	-84.8
277	3	-84.0	-84.2	-84.0
278	3	-85.6	-85.4	-85.4
279	3	-85.8	-85.7	-85.7
280	3	-85.3	-85.3	-85.3
281	3	-85.1	-85.1	-85.1
282	3	-85.7	-85.6	-85.6
283	3	-87.0	-86.9	-86.9
284	3	-87.3	-87.1	-87.1

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-86.65492958	Media	-87.00985915	Media	-86.33380282
Error típico	0.496497952	Error típico	0.41460342	Error típico	0.421580545
Mediana	-85.3	Mediana	-85.8	Mediana	-85.3
Moda	-83.8	Moda	-84.8	Moda	-83.8
Desviación estándar	4.183566105	Desviación estándar	3.493510512	Desviación estándar	3.55230081
Varianza de la muestra	17.50222535	Varianza de la muestra	12.20461569	Varianza de la muestra	12.61884105
Curtois	5.425076245	Curtois	6.844162347	Curtois	7.691706206
Coefficiente de asimetría	-2.241272658	Coefficiente de asimetría	-2.232598958	Coefficiente de asimetría	-2.402613197
Rango	21.1	Rango	20.2	Rango	20.4
Mínimo	-103.6	Mínimo	-102.9	Mínimo	-102.9
Máximo	-82.5	Máximo	-82.7	Máximo	-82.5
Suma	-6152.5	Suma	-6177.7	Suma	-6129.7
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	0.990233941	Nivel de confianza(95.0%)	0.826900447	Nivel de confianza(95.0%)	0.840815884

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀ : NRXH = NRXV = NRXDIV
H₁ : Diferencia significativa entre NRXH, NRXV, NRXDIV

H_{STAT} > H_{TIES} : Acepta H₀
H_{TIES} > H_{STAT} : Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-85.3	-85.8	-85.3	
rank sum	7993	6703	8095	
count	71	71	71	213
r ² /n	899831.6761	632819.8451	922944.0141	2455595.535
H-stat				4.46453474
H-ties				4.466356709
df				2
p-value				0.107187209
alpha				0.05

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
285	4	-88.5	-89.5	-88.5
286	4	-87.5	-88.2	-87.5
287	4	-86.1	-87.0	-86.1
288	4	-87.1	-87.9	-87.1
289	4	-83.4	-84.4	-83.4
290	4	-83.3	-84.8	-83.3
291	4	-83.9	-84.5	-83.9
292	4	-83.8	-84.4	-83.8
293	4	-83.6	-83.6	-83.6
294	4	-83.5	-84.3	-83.5
295	4	-84.3	-84.2	-84.2
296	4	-82.4	-82.4	-82.4
297	4	-85.6	-85.6	-85.6
298	4	-83.4	-83.4	-83.4
299	4	-84.8	-85.2	-84.8
300	4	-86.3	-86.1	-86.1
301	4	-86.6	-86.6	-86.6
302	4	-87.0	-87.1	-87.0
303	4	-85.1	-85.2	-85.1
304	4	-85.1	-85.2	-85.1
305	4	-85.8	-86.0	-85.8
306	4	-87.2	-87.4	-87.2
307	4	-89.4	-89.5	-89.4
308	4	-92.5	-92.5	-92.5
309	4	-89.3	-89.8	-89.3
310	4	-90.7	-90.9	-90.7
311	4	-98.7	-98.9	-98.7
312	4	-91.5	-91.8	-91.5
313	4	-84.0	-84.1	-84.0
314	4	-83.3	-83.5	-83.3
315	4	-82.3	-82.9	-82.3
316	4	-83.8	-84.6	-83.8
317	4	-89.3	-90.3	-89.3
318	4	-83.4	-83.7	-83.4
319	4	-86.9	-87.1	-86.9
320	4	-86.9	-87.1	-86.9
321	4	-100.0	-86.9	-86.9
322	4	-94.7	-95.5	-94.7
323	4	-103.0	-102.4	-102.4
324	4	-97.4	-89.5	-89.5
325	4	-90.0	-89.7	-89.7
326	4	-83.9	-84.2	-83.9
327	4	-86.1	-86.9	-86.1
328	4	-86.8	-87.9	-86.8
329	4	-84.5	-85.9	-84.5
330	4	-83.9	-86.2	-83.9
331	4	-81.9	-82.7	-81.9
332	4	-83.8	-86.9	-83.8
333	4	-84.6	-89.0	-84.6
334	4	-82.2	-83.7	-82.2
335	4	-82.9	-84.5	-82.9
336	4	-85.3	-86.9	-85.3
337	4	-82.6	-83.6	-82.6
338	4	-81.8	-82.5	-81.8
339	4	-84.0	-84.1	-84.0
340	4	-82.4	-82.8	-82.4
341	4	-86.4	-87.5	-86.4
342	4	-83.7	-84.3	-83.7
343	4	-84.0	-84.8	-84.0
344	4	-83.4	-83.7	-83.4
345	4	-84.4	-85.1	-84.4
346	4	-83.9	-84.2	-83.9
347	4	-84.6	-84.6	-84.6
348	4	-83.9	-83.9	-83.9
349	4	-85.4	-85.2	-85.2
350	4	-85.7	-85.6	-85.6
351	4	-85.2	-85.2	-85.2
352	4	-85.1	-85.0	-85.0
353	4	-85.7	-85.5	-85.5
354	4	-86.9	-86.7	-86.7
355	4	-87.3	-87.0	-87.0

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-86.24929577	Media	-86.47605634	Media	-85.92112676
Error típico	0.500204679	Error típico	0.41918991	Error típico	0.428416745
Mediana	-85.1	Mediana	-85.5	Mediana	-85.1
Moda	-83.9	Moda	-85.2	Moda	-83.9
Desviación estándar	4.214799546	Desviación estándar	3.532156961	Desviación estándar	3.609903659
Varianza de la muestra	17.76453521	Varianza de la muestra	12.4761328	Varianza de la muestra	13.03140443
Curtosis	5.015721721	Curtosis	6.860124019	Curtosis	7.180937069
Coefficiente de asimetría	-2.154715228	Coefficiente de asimetría	-2.256284248	Coefficiente de asimetría	-2.319094634
Rango	21.2	Rango	20	Rango	20.6
Mínimo	-103	Mínimo	-102.4	Mínimo	-102.4
Máximo	-81.8	Máximo	-82.4	Máximo	-81.8
Suma	-6123.7	Suma	-6139.8	Suma	-6100.4
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	0.997626776	Nivel de confianza(95.0%)	0.836047912	Nivel de confianza(95.0%)	0.854450256

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀: N_{RXH}=N_{RXV}=N_{RXDIV}
H₁: Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

H_{STAT} > H_{TIES}: Acepta H₀
H_{TIES} > H_{STAT}: Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-85.1	-85.5	-85.1	
rank sum	7899.5	6862	8029.5	
count	71	71	71	213
r ² /h	878902.8204	663197.8028	908068.5951	2450169.218
H-stat				3.03599271
H-ties				3.037863832
df				2
p-value				0.218945614
alpha				0.05

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
356	5	-88.4	-89.3	-88.4
357	5	-87.3	-88.0	-87.3
358	5	-86.0	-86.8	-86.0
359	5	-86.9	-87.6	-86.9
360	5	-83.2	-84.2	-83.2
361	5	-83.1	-84.4	-83.1
362	5	-83.7	-84.2	-83.7
363	5	-83.6	-84.1	-83.6
364	5	-83.4	-83.3	-83.3
365	5	-83.4	-84.1	-83.4
366	5	-84.2	-84.0	-84.0
367	5	-82.3	-82.3	-82.3
368	5	-85.6	-85.5	-85.5
369	5	-83.3	-83.3	-83.3
370	5	-84.8	-85.1	-84.8
371	5	-86.2	-86.0	-86.0
372	5	-86.5	-86.5	-86.5
373	5	-86.9	-87.0	-86.9
374	5	-84.9	-85.1	-84.9
375	5	-85.0	-85.0	-85.0
376	5	-85.8	-85.9	-85.8
377	5	-87.1	-87.3	-87.1
378	5	-89.4	-89.4	-89.4
379	5	-92.6	-92.4	-92.4
380	5	-89.7	-89.6	-89.6
381	5	-90.8	-90.8	-90.8
382	5	-98.8	-98.8	-98.8
383	5	-91.6	-91.7	-91.6
384	5	-83.9	-84.0	-83.9
385	5	-83.2	-83.2	-83.2
386	5	-82.1	-82.6	-82.1
387	5	-83.7	-84.3	-83.7
388	5	-88.8	-89.9	-88.8
389	5	-82.9	-83.3	-82.9
390	5	-86.2	-86.6	-86.2
391	5	-86.3	-86.6	-86.3
392	5	-99.5	-86.5	-86.5
393	5	-94.2	-95.1	-94.2
394	5	-102.6	-102.1	-102.1
395	5	-96.9	-89.3	-89.3
396	5	-89.5	-89.4	-89.4
397	5	-83.2	-83.5	-83.2
398	5	-85.4	-86.3	-85.4
399	5	-86.0	-86.9	-86.0
400	5	-83.4	-84.7	-83.4
401	5	-82.9	-85.1	-82.9
402	5	-80.9	-81.4	-80.9
403	5	-82.9	-84.7	-82.9
404	5	-83.3	-87.1	-83.3
405	5	-81.1	-82.4	-81.1
406	5	-81.7	-83.3	-81.7
407	5	-84.5	-85.7	-84.5
408	5	-81.9	-82.8	-81.9
409	5	-81.2	-81.9	-81.2
410	5	-83.5	-83.7	-83.5
411	5	-82.1	-82.4	-82.1
412	5	-85.7	-86.4	-85.7
413	5	-83.1	-83.6	-83.1
414	5	-83.4	-84.3	-83.4
415	5	-82.9	-83.3	-82.9
416	5	-84.1	-84.7	-84.1
417	5	-83.7	-83.8	-83.7
418	5	-84.4	-84.3	-84.3
419	5	-83.8	-83.8	-83.8
420	5	-85.4	-85.1	-85.1
421	5	-85.7	-85.5	-85.5
422	5	-85.3	-85.1	-85.1
423	5	-85.4	-84.9	-84.9
424	5	-86.0	-85.4	-85.4
425	5	-87.5	-86.7	-86.7
426	5	-87.9	-87.0	-87.0

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-85.95211268	Media	-86.06197183	Media	-85.59014085
Error típico	0.510386523	Error típico	0.426932186	Error típico	0.442246665
Mediana	-84.9	Mediana	-85.1	Mediana	-84.9
Moda	-83.4	Moda	-83.3	Moda	-82.9
Desviación estándar	4.300593286	Desviación estándar	3.597394541	Desviación estándar	3.726436633
Varianza de la muestra	18.49510262	Varianza de la muestra	12.94124748	Varianza de la muestra	13.88632998
Curtosis	4.372912902	Curtosis	6.663571553	Curtosis	6.410363176
Coefficiente de asimetría	-1.993852352	Coefficiente de asimetría	-2.226398652	Coefficiente de asimetría	-2.168351456
Rango	21.7	Rango	20.7	Rango	21.2
Mínimo	-102.6	Mínimo	-102.1	Mínimo	-102.1
Máximo	-80.9	Máximo	-81.4	Máximo	-80.9
Suma	-6102.6	Suma	-6110.4	Suma	-6076.9
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	1.017933823	Nivel de confianza(95.0%)	0.851489396	Nivel de confianza(95.0%)	0.882033161

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀ : N_{RXH} = N_{RXV} = N_{RXDIV}
H₁ : Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

H_{STAT} > H_{TIES} : Acepta H₀
H_{TIES} > H_{STAT} : Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-84.9	-85.1	-84.9	
rank sum	7791.5	7014	7985.5	
count	71	71	71	213
r ² /n	855034.8204	692904.169	898143.8063	2446082.796
H-stat				1.960193701
H-ties				1.961152016
df				2
p-value				0.375094979
alpha				0.05

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
427	6	-88.4	-89.2	-88.4
428	6	-87.3	-87.8	-87.3
429	6	-86.0	-86.6	-86.0
430	6	-86.9	-87.4	-86.9
431	6	-83.2	-83.9	-83.2
432	6	-83.0	-84.2	-83.0
433	6	-83.7	-84.0	-83.7
434	6	-83.5	-83.9	-83.5
435	6	-83.4	-83.2	-83.2
436	6	-83.3	-84.0	-83.3
437	6	-84.2	-83.9	-83.9
438	6	-82.3	-82.2	-82.2
439	6	-85.6	-85.4	-85.4
440	6	-83.6	-82.2	-82.2
441	6	-85.0	-85.0	-85.0
442	6	-86.5	-86.0	-86.0
443	6	-86.7	-86.4	-86.4
444	6	-87.1	-86.9	-86.9
445	6	-85.3	-85.0	-85.0
446	6	-85.3	-84.9	-84.9
447	6	-86.1	-85.8	-85.8
448	6	-87.5	-87.2	-87.2
449	6	-89.8	-89.3	-89.3
450	6	-93.0	-92.4	-92.4
451	6	-90.1	-89.6	-89.6
452	6	-91.2	-90.8	-90.8
453	6	-99.2	-98.8	-98.8
454	6	-92.0	-91.7	-91.7
455	6	-83.9	-83.9	-83.9
456	6	-83.2	-83.1	-83.1
457	6	-82.1	-82.4	-82.1
458	6	-83.6	-84.1	-83.6
459	6	-88.7	-89.6	-88.7
460	6	-82.5	-83.0	-82.5
461	6	-85.8	-86.3	-85.8
462	6	-85.8	-86.3	-85.8
463	6	-99.0	-86.2	-86.2
464	6	-93.7	-94.8	-93.7
465	6	-102.1	-101.8	-101.8
466	6	-96.5	-89.1	-89.1
467	6	-89.2	-89.3	-89.2
468	6	-82.6	-83.1	-82.6
469	6	-84.8	-85.7	-84.8
470	6	-85.4	-86.3	-85.4
471	6	-82.5	-83.5	-82.5
472	6	-81.9	-83.9	-81.9
473	6	-79.9	-80.1	-79.9
474	6	-81.9	-83.0	-81.9
475	6	-82.7	-84.9	-82.7
476	6	-80.1	-81.1	-80.1
477	6	-81.0	-82.0	-81.0
478	6	-83.8	-84.9	-83.8
479	6	-81.3	-82.3	-81.3
480	6	-80.8	-81.5	-80.8
481	6	-83.3	-83.3	-83.3
482	6	-81.9	-82.1	-81.9
483	6	-85.0	-85.6	-85.0
484	6	-82.5	-83.0	-82.5
485	6	-83.0	-83.8	-83.0
486	6	-82.7	-82.9	-82.7
487	6	-84.0	-84.4	-84.0
488	6	-83.6	-83.6	-83.6
489	6	-84.3	-84.2	-84.2
490	6	-84.0	-83.8	-83.8
491	6	-85.7	-85.0	-85.0
492	6	-86.2	-85.5	-85.5
493	6	-86.0	-85.1	-85.1
494	6	-86.1	-85.1	-85.1
495	6	-86.1	-85.6	-85.6
496	6	-88.4	-87.0	-87.0
497	6	-88.9	-87.4	-87.4

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-85.85492958	Media	-85.73661972	Media	-85.36478873
Error típico	0.524244359	Error típico	0.441632418	Error típico	0.455465793
Mediana	-85	Mediana	-85	Mediana	-84.9
Moda	-83.6	Moda	-83.9	Moda	-85
Desviación estándar	4.417361486	Desviación estándar	3.721260901	Desviación estándar	3.837822991
Varianza de la muestra	19.51308249	Varianza de la muestra	13.8477827	Varianza de la muestra	14.72888531
Curtosis	3.406195445	Curtosis	5.855879925	Curtosis	5.521108593
Coefficiente de asimetría	-1.736295909	Coefficiente de asimetría	-2.054048516	Coefficiente de asimetría	-1.958018619
Rango	22.2	Rango	21.7	Rango	21.9
Mínimo	-102.1	Mínimo	-101.8	Mínimo	-101.8
Máximo	-79.9	Máximo	-80.1	Máximo	-79.9
Suma	-6095.7	Suma	-6087.3	Suma	-6060.9
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	1.045572405	Nivel de confianza(95.0%)	0.880808085	Nivel de confianza(95.0%)	0.908397881

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀ : N_{RXH} = N_{RXV} = N_{RXDIV}
H₁ : Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

H_{STAT} > H_{TIES} : Acepta H₀
H_{TIES} > H_{STAT} : Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-85.0	-85.0	-84.9	
rank sum	7566	7266	7959	
count	71	71	71	213
r ² /n	806258.5352	743588.1127	892192.6901	2442039.338
H-stat				0.895705681
H-ties				0.896067877
df				2
p-value				0.638883001
alpha				0.05

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
498	7	-88.4	-89.1	-88.4
499	7	-87.4	-87.8	-87.4
500	7	-86.1	-86.5	-86.1
501	7	-87.0	-87.3	-87.0
502	7	-83.2	-83.8	-83.2
503	7	-83.1	-84.1	-83.1
504	7	-83.7	-83.9	-83.7
505	7	-83.5	-83.8	-83.5
506	7	-83.3	-83.0	-83.0
507	7	-83.5	-83.9	-83.5
508	7	-84.6	-83.9	-83.9
509	7	-82.9	-82.2	-82.2
510	7	-86.2	-85.4	-85.4
511	7	-84.4	-83.3	-83.3
512	7	-85.7	-85.1	-85.1
513	7	-87.3	-86.1	-86.1
514	7	-87.3	-86.5	-86.5
515	7	-87.8	-87.0	-87.0
516	7	-85.9	-85.1	-85.1
517	7	-86.0	-85.1	-85.1
518	7	-86.8	-86.0	-86.0
519	7	-88.2	-87.4	-87.4
520	7	-90.5	-89.5	-89.5
521	7	-93.8	-92.6	-92.6
522	7	-90.8	-89.8	-89.8
523	7	-91.9	-91.0	-91.0
524	7	-99.9	-99.0	-99.0
525	7	-92.7	-91.9	-91.9
526	7	-84.1	-83.8	-83.8
527	7	-83.1	-83.0	-83.0
528	7	-82.1	-82.3	-82.1
529	7	-83.6	-84.0	-83.6
530	7	-88.7	-89.5	-88.7
531	7	-82.5	-82.8	-82.5
532	7	-85.5	-86.0	-85.5
533	7	-85.4	-86.0	-85.4
534	7	-98.7	-86.0	-86.0
535	7	-93.3	-94.6	-93.3
536	7	-101.8	-101.7	-101.7
537	7	-96.3	-88.9	-88.9
538	7	-88.9	-89.1	-88.9
539	7	-82.2	-82.8	-82.2
540	7	-84.3	-85.3	-84.3
541	7	-84.8	-85.7	-84.8
542	7	-81.8	-82.5	-81.8
543	7	-81.0	-82.6	-81.0
544	7	-78.9	-78.4	-78.4
545	7	-80.9	-81.8	-80.9
546	7	-81.6	-83.3	-81.6
547	7	-79.0	-79.9	-79.0
548	7	-80.3	-81.1	-80.3
549	7	-83.2	-84.4	-83.2
550	7	-81.0	-81.9	-81.0
551	7	-80.6	-81.2	-80.6
552	7	-83.2	-83.1	-83.1
553	7	-81.9	-81.9	-81.9
554	7	-84.4	-85.1	-84.4
555	7	-82.0	-82.6	-82.0
556	7	-82.8	-83.5	-82.8
557	7	-82.6	-82.6	-82.6
558	7	-83.9	-84.2	-83.9
559	7	-83.6	-83.5	-83.5
560	7	-84.4	-84.1	-84.1
561	7	-84.7	-83.8	-83.8
562	7	-86.4	-85.2	-85.2
563	7	-87.2	-85.7	-85.7
564	7	-87.0	-85.4	-85.4
565	7	-87.3	-85.5	-85.5
566	7	-88.1	-86.1	-86.1
567	7	-89.8	-87.5	-87.5
568	7	-90.3	-87.9	-87.9

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-85.98732394	Media	-85.58309859	Media	-85.26338028
Error típico	0.55066424	Error típico	0.461551865	Error típico	0.473852482
Mediana	-84.7	Mediana	-85.1	Mediana	-84.4
Moda	-83.2	Moda	-83.8	Moda	-86.1
Desviación estándar	4.639979359	Desviación estándar	3.889105146	Desviación estándar	3.992751985
Varianza de la muestra	21.52940845	Varianza de la muestra	15.12513883	Varianza de la muestra	15.94206841
Curtosis	2.253888023	Curtosis	4.944369497	Curtosis	4.6576659
Coefficiente de asimetría	-1.384449387	Coefficiente de asimetría	-1.800170656	Coefficiente de asimetría	-1.704865166
Rango	22.9	Rango	23.3	Rango	23.3
Mínimo	-101.8	Mínimo	-101.7	Mínimo	-101.7
Máximo	-78.9	Máximo	-78.4	Máximo	-78.4
Suma	-6105.1	Suma	-6076.4	Suma	-6053.7
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	1.098265196	Nivel de confianza(95.0%)	0.920536169	Nivel de confianza(95.0%)	0.945068976

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀ : N_{RXH} = N_{RXV} = N_{RXDIV}
H₁ : Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

H_{STAT} > H_{TIES} : Acepta H₀
H_{TIES} > H_{STAT} : Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-84.7	-85.1	-84.4	
rank sum	7346.5	7483.5	7961	
count	71	71	71	213
r ² /n	760155.8063	788771.4401	892641.1408	2441568.387
H-stat				0.771722344
H-ties				0.771999879
df				2
p-value				0.679770567
alpha				0.05

N°	DT (°)	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)
569	8	-88.7	-89.1	-88.7
570	8	-87.6	-87.8	-87.6
571	8	-86.2	-86.5	-86.2
572	8	-87.0	-87.3	-87.0
573	8	-83.2	-83.7	-83.2
574	8	-83.0	-84.0	-83.0
575	8	-83.6	-83.7	-83.6
576	8	-83.5	-83.7	-83.5
577	8	-83.7	-83.0	-83.0
578	8	-84.1	-84.0	-84.0
579	8	-85.5	-84.1	-84.1
580	8	-83.8	-82.5	-82.5
581	8	-87.2	-85.7	-85.7
582	8	-85.6	-83.7	-83.7
583	8	-86.8	-85.5	-85.5
584	8	-88.3	-86.5	-86.5
585	8	-88.3	-86.9	-86.9
586	8	-88.8	-87.4	-87.4
587	8	-87.0	-85.5	-85.5
588	8	-87.1	-85.4	-85.4
589	8	-87.9	-86.4	-86.4
590	8	-89.2	-87.8	-87.8
591	8	-91.5	-89.9	-89.9
592	8	-94.8	-93.0	-93.0
593	8	-91.9	-90.2	-90.2
594	8	-92.9	-91.4	-91.4
595	8	-100.9	-99.4	-99.4
596	8	-93.7	-92.3	-92.3
597	8	-84.8	-83.9	-83.9
598	8	-83.4	-82.9	-82.9
599	8	-82.0	-82.2	-82.0
600	8	-83.5	-83.9	-83.5
601	8	-88.8	-89.4	-88.8
602	8	-82.5	-82.6	-82.5
603	8	-85.5	-85.9	-85.5
604	8	-85.3	-85.8	-85.3
605	8	-98.6	-85.8	-85.8
606	8	-93.3	-94.4	-93.3
607	8	-101.8	-101.5	-101.5
608	8	-96.2	-88.8	-88.8
609	8	-88.9	-89.0	-88.9
610	8	-82.1	-82.5	-82.1
611	8	-84.0	-84.9	-84.0
612	8	-84.3	-85.4	-84.3
613	8	-81.2	-81.9	-81.2
614	8	-80.3	-81.7	-80.3
615	8	-78.1	-77.8	-77.8
616	8	-79.1	-80.5	-79.1
617	8	-80.6	-82.0	-80.6
618	8	-78.2	-78.8	-78.2
619	8	-79.6	-80.5	-79.6
620	8	-82.9	-83.9	-82.9
621	8	-80.9	-81.6	-80.9
622	8	-80.6	-80.9	-80.6
623	8	-83.2	-83.0	-83.0
624	8	-81.8	-81.8	-81.8
625	8	-83.9	-84.7	-83.9
626	8	-81.8	-82.2	-81.8
627	8	-82.7	-83.3	-82.7
628	8	-82.5	-82.5	-82.5
629	8	-83.8	-84.1	-83.8
630	8	-83.8	-83.5	-83.5
631	8	-85.0	-84.2	-84.2
632	8	-85.8	-84.2	-84.2
633	8	-87.4	-85.6	-85.6
634	8	-88.6	-86.3	-86.3
635	8	-88.5	-86.0	-86.0
636	8	-88.8	-86.1	-86.1
637	8	-89.6	-86.7	-86.7
638	8	-91.4	-88.2	-88.2
639	8	-91.8	-88.7	-88.7

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-86.31971831	Media	-85.57746479	Media	-85.3056338
Error típico	0.592266117	Error típico	0.483844418	Error típico	0.498431695
Mediana	-85.5	Mediana	-84.9	Mediana	-84.2
Moda	-83.8	Moda	-83.7	Moda	-83
Desviación estándar	4.990523011	Desviación estándar	4.076945537	Desviación estándar	4.199860111
Varianza de la muestra	24.90531992	Varianza de la muestra	16.62148491	Varianza de la muestra	17.63882495
Curiosis	1.20195036	Curiosis	3.864234998	Curiosis	3.524010351
Coefficiente de asimetría	-1.011289344	Coefficiente de asimetría	-1.512515676	Coefficiente de asimetría	-1.395152593
Rango	23.7	Rango	23.7	Rango	23.7
Mínimo	-101.8	Mínimo	-101.5	Mínimo	-101.5
Máximo	-78.1	Máximo	-77.8	Máximo	-77.8
Suma	-6128.7	Suma	-6076	Suma	-6056.7
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	1.181237525	Nivel de confianza(95.0%)	0.964997264	Nivel de confianza(95.0%)	0.994090669

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀: NRXH = NRXV = NRXDIV
H₁: Diferencia significativa entre NRXH, NRXV, NRXDIV

H_{STAT} > H_{CRIT}: Acepta H₀
H_{CRIT} > H_{STAT}: Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-85.5	-84.9	-84.2	
rank sum	7150.5	7652.5	7988	
count	71	71	71	213
r ² /n	720135.919	824799.3838	898706.2535	2443641.556
H-stat				1.317508579
H-ties				1.317915271
df				2
p-value				0.517390363
alpha				0.05

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
640	9	-88.6	-89.1	-88.6
641	9	-87.4	-87.6	-87.4
642	9	-85.9	-86.3	-85.9
643	9	-86.8	-87.1	-86.8
644	9	-83.2	-83.6	-83.2
645	9	-83.1	-83.9	-83.1
646	9	-84.0	-83.7	-83.7
647	9	-84.0	-83.6	-83.6
648	9	-84.4	-83.2	-83.2
649	9	-85.5	-84.3	-84.3
650	9	-86.9	-84.6	-84.6
651	9	-85.2	-83.0	-83.0
652	9	-88.6	-86.3	-86.3
653	9	-87.0	-84.3	-84.3
654	9	-88.2	-86.0	-86.0
655	9	-89.6	-87.0	-87.0
656	9	-89.7	-87.4	-87.4
657	9	-90.0	-87.9	-87.9
658	9	-88.2	-86.0	-86.0
659	9	-88.2	-86.0	-86.0
660	9	-89.0	-86.8	-86.8
661	9	-90.5	-88.2	-88.2
662	9	-92.7	-90.4	-90.4
663	9	-95.9	-93.5	-93.5
664	9	-93.0	-90.7	-90.7
665	9	-94.0	-91.9	-91.9
666	9	-102.0	-99.9	-99.9
667	9	-94.8	-92.7	-92.7
668	9	-85.9	-84.0	-84.0
669	9	-84.1	-83.0	-83.0
670	9	-82.4	-82.1	-82.1
671	9	-83.6	-83.7	-83.6
672	9	-88.6	-89.3	-88.6
673	9	-82.6	-82.6	-82.6
674	9	-85.6	-85.7	-85.6
675	9	-85.3	-85.7	-85.3
676	9	-98.6	-85.7	-85.7
677	9	-93.3	-94.3	-93.3
678	9	-101.8	-101.5	-101.5
679	9	-96.3	-88.7	-88.7
680	9	-89.0	-89.0	-89.0
681	9	-82.1	-82.4	-82.1
682	9	-83.9	-84.7	-83.9
683	9	-84.2	-85.1	-84.2
684	9	-80.5	-81.4	-80.5
685	9	-79.7	-81.1	-79.7
686	9	-77.5	-77.0	-77.0
687	9	-79.0	-79.3	-79.0
688	9	-79.5	-80.8	-79.5
689	9	-77.6	-77.9	-77.6
690	9	-79.1	-80.0	-79.1
691	9	-82.7	-83.6	-82.7
692	9	-80.8	-81.4	-80.8
693	9	-80.5	-80.8	-80.5
694	9	-83.1	-82.8	-82.8
695	9	-82.0	-81.7	-81.7
696	9	-83.7	-84.3	-83.7
697	9	-81.7	-82.0	-81.7
698	9	-82.7	-83.2	-82.7
699	9	-82.5	-82.4	-82.4
700	9	-84.3	-84.0	-84.0
701	9	-84.6	-83.6	-83.6
702	9	-86.0	-84.5	-84.5
703	9	-87.4	-84.8	-84.8
704	9	-89.2	-86.3	-86.3
705	9	-90.1	-87.0	-87.0
706	9	-90.0	-86.8	-86.8
707	9	-90.2	-87.1	-87.1
708	9	-91.0	-87.7	-87.7
709	9	-92.6	-89.4	-89.4
710	9	-93.1	-89.8	-89.8

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-86.82816901	Media	-85.67887324	Media	-85.46478873
Error típico	0.632971286	Error típico	0.511276918	Error típico	0.523023629
Mediana	-85.9	Mediana	-84.8	Mediana	-84.6
Moda	-88.6	Moda	-83.6	Moda	-86.8
Desviación estándar	5.333510854	Desviación estándar	4.308095883	Desviación estándar	4.407075434
Varianza de la muestra	28.44633803	Varianza de la muestra	18.55969014	Varianza de la muestra	19.42231388
Curiosis	0.499731847	Curiosis	2.948194108	Curiosis	2.730998592
Coefficiente de asimetría	-0.709612613	Coefficiente de asimetría	-1.218264429	Coefficiente de asimetría	-1.137132363
Rango	24.5	Rango	24.5	Rango	24.5
Mínimo	-102	Mínimo	-101.5	Mínimo	-101.5
Máximo	-77.5	Máximo	-77	Máximo	-77
Suma	-6164.8	Suma	-6083.2	Suma	-6068
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	1.262421423	Nivel de confianza(95.0%)	1.019709659	Nivel de confianza(95.0%)	1.043137736

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀: N_{RXH}=N_{RXV}=N_{RXDIV}
H₁: Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

F_{TAB} > F_{CALC}: Acepta H₀
F_{CALC} > F_{TAB}: Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-85.9	-84.8	-84.6	
rank sum	6916.5	7818.5	8056	
count	71	71	71	
r ² /n	673774.257	860971.0176	914072.338	
H-stat				213
H-ties				2448817.613
df				2.680166559
p-value				2.681048832
alpha				2
				0.261708389
				0.05

N°	DT (°)	N _{RXH} (dBm)	N _{RXV} (dBm)	N _{RXDIV} (dBm)
711	10	-88.4	-88.9	-88.4
712	10	-87.4	-87.4	-87.4
713	10	-86.1	-86.2	-86.1
714	10	-87.1	-87.0	-87.0
715	10	-83.5	-83.5	-83.5
716	10	-83.6	-83.9	-83.6
717	10	-84.7	-83.8	-83.8
718	10	-84.9	-83.9	-83.9
719	10	-85.6	-83.6	-83.6
720	10	-86.6	-84.9	-84.9
721	10	-88.4	-85.3	-85.3
722	10	-86.8	-83.7	-83.7
723	10	-90.1	-87.0	-87.0
724	10	-88.4	-85.3	-85.3
725	10	-89.5	-86.9	-86.9
726	10	-91.0	-87.9	-87.9
727	10	-90.9	-88.2	-88.2
728	10	-91.2	-88.7	-88.7
729	10	-89.4	-86.9	-86.9
730	10	-89.4	-86.9	-86.9
731	10	-90.2	-87.9	-87.9
732	10	-91.7	-89.2	-89.2
733	10	-93.9	-91.4	-91.4
734	10	-97.1	-94.6	-94.6
735	10	-94.2	-91.7	-91.7
736	10	-95.3	-92.9	-92.9
737	10	-103.2	-100.9	-100.9
738	10	-96.0	-93.7	-93.7
739	10	-87.1	-84.8	-84.8
740	10	-85.1	-83.4	-83.4
741	10	-83.1	-82.2	-82.2
742	10	-84.1	-83.8	-83.8
743	10	-88.8	-89.1	-88.8
744	10	-82.4	-82.4	-82.4
745	10	-85.7	-85.7	-85.7
746	10	-85.8	-85.6	-85.6
747	10	-98.8	-85.7	-85.7
748	10	-93.4	-94.3	-93.4
749	10	-101.9	-101.4	-101.4
750	10	-96.4	-88.7	-88.7
751	10	-89.1	-88.9	-88.9
752	10	-82.2	-82.3	-82.2
753	10	-83.9	-84.6	-83.9
754	10	-84.2	-84.9	-84.2
755	10	-80.2	-81.0	-80.2
756	10	-79.1	-80.6	-79.1
757	10	-76.9	-76.4	-76.4
758	10	-78.3	-78.2	-78.2
759	10	-78.6	-79.5	-78.6
760	10	-77.0	-77.2	-77.0
761	10	-78.9	-79.6	-78.9
762	10	-82.6	-83.4	-82.6
763	10	-80.8	-81.3	-80.8
764	10	-80.6	-80.7	-80.6
765	10	-83.5	-82.8	-82.8
766	10	-82.6	-81.8	-81.8
767	10	-83.7	-84.1	-83.7
768	10	-81.8	-82.0	-81.8
769	10	-82.7	-83.1	-82.7
770	10	-82.9	-82.3	-82.3
771	10	-85.0	-84.2	-84.2
772	10	-85.7	-84.0	-84.0
773	10	-87.5	-85.1	-85.1
774	10	-88.9	-85.6	-85.6
775	10	-90.7	-87.3	-87.3
776	10	-91.5	-88.2	-88.2
777	10	-91.1	-88.1	-88.1
778	10	-91.5	-88.5	-88.5
779	10	-92.3	-89.2	-89.2
780	10	-93.8	-90.9	-90.9
781	10	-94.3	-91.4	-91.4

PRUEBA NORMALIDAD

NRXH (dBm)		NRXV (dBm)		NRXDIV (dBm)	
Media	-87.45211268	Media	-86.00704225	Media	-85.86478873
Error típico	0.676554352	Error típico	0.551975869	Error típico	0.562078274
Mediana	-87.1	Mediana	-85.3	Mediana	-85.3
Moda	-88.4	Moda	-86.9	Moda	-86.9
Desviación estándar	5.700748301	Desviación estándar	4.651031343	Desviación estándar	4.736155722
Varianza de la muestra	32.49853119	Varianza de la muestra	21.63209256	Varianza de la muestra	22.43117103
Curstosis	0.081076578	Curstosis	1.909756539	Curstosis	1.759766066
Coefficiente de asimetría	-0.452021026	Coefficiente de asimetría	-0.896292871	Coefficiente de asimetría	-0.828794954
Rango	26.3	Rango	25	Rango	25
Mínimo	-103.2	Mínimo	-101.4	Mínimo	-101.4
Máximo	-76.9	Máximo	-76.4	Máximo	-76.4
Suma	-6209.1	Suma	-6106.5	Suma	-6096.4
Cuenta	71	Cuenta	71	Cuenta	71
Nivel de confianza(95.0%)	1.349345108	Nivel de confianza(95.0%)	1.100881158	Nivel de confianza(95.0%)	1.12102977

ANOVA KRUSKAL WALLIS

H₀: N_{RXH}=N_{RXV}=N_{RXDIV}
H₁: Diferencia significativa entre N_{RXH}, N_{RXV}, N_{RXDIV}

F_{TAB} > F_{CALC}: Acepta H₀
F_{CALC} > F_{TAB}: Acepta H₁

Kruskal-Wallis Test

	NRXH (dBm)	NRXV (dBm)	NRXDIV (dBm)	
median	-87.1	-85.3	-85.3	
rank sum	6758	7955	8078	213
count	71	71	71	2453615.113
r ² /n	643247.3803	891296.1268	919071.6056	3.943165112
H-stat				3.94401241
df				2
p-value				0.139177358
alpha				0.05