

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES Y REDES



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES Y REDES

Estudio del desempeño de enlaces nodales microondas bajo efectos de interferencia co-
canal mediante simulaciones en la banda 15 GHz, Trujillo-2022

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

Sublínea de investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Trujillo Morán, Jhon Alexander

Segura Farfán, Giancarlo Segundo

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando

Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor : Cerna Sánchez Eduardo Elmer

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

Trujillo-Perú

2023

Fecha de Sustentación: 2023/09/18

Jurado de sustentación Oral



Azabache Fernández, Filiberto Melchor
N° CIP 97916
Presidente



Ramos Rojas Ovidio Hildebrando
N° CIP 92622
Secretario



Alvarado Rodríguez Luis Enrique
N° CIP 149200
Vocal

Entregado el:



Trujillo Moran, Jhon Alexander
DNI 46292324

Aprobado por:



Segura Farfán, Giancarlo Segundo
DNI 47464426



Cerna Sánchez, Eduardo Elmer
Asesor de Tesis

Estudio del desempeño de enlaces nodales microondas bajo efectos de interferencia co-canal mediante simulaciones en la banda 15 GHz, Trujillo-2022

por John Trujillo Giancarlo Segura

Fecha de entrega: 30-ago-2023 08:15p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2154607373

Nombre del archivo: Tesis_GSegura_JTrujillo_30.08.2023.docx (2.42M)

Total de palabras: 13868

Total de caracteres: 73057



Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Estudio del desempeño de enlaces nodales microondas bajo efectos de interferencia co-canal mediante simulaciones en la banda 15 GHz, Trujillo-2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

6%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

www.biblio.unah.edu.hn

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado


Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, Cerna Sánchez Eduardo Elmer, docente del Programa de Estudio de pregrado del Programa de Estudio de Ingeniería de telecomunicaciones y redes de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada “Estudio del desempeño de enlaces nodales microondas bajo efectos de interferencia co-canal mediante simulaciones en la banda 15 GHz, Trujillo-2022”, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 8 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 30 de agosto del 2023
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis / Trabajo de Suficiencia Profesional/proyecto de Investigación “Estudio del desempeño de enlaces nodales microondas bajo efectos de interferencia co-canal mediante simulaciones en la banda 15 GHz, Trujillo-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, 19 de septiembre del 2023



CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER

DNI: 18216463

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



SEGURA FARFAN GIANCARLO SEGUNDO

DNI: 47464426



TRUJILLO MORAN JHON ALEXANDER

DNI:46292324

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES Y REDES



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES Y
REDES

Estudio del desempeño de enlaces nodales microondas bajo efectos de interferencia co-
canal mediante simulaciones en la banda 15 GHz, Trujillo-2022

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

Sublínea de investigación: Plataformas de tecnologías de información y comunicación

Autores:

Trujillo Morán, Jhon Alexander
Segura Farfán, Giancarlo Segundo

Jurado evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : Ramos Rojas, Ovidio Hildebrando

Vocal : Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Asesor : Cerna Sánchez Eduardo Elmer

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

Trujillo-Perú
2023

Fecha de Sustentación: 2023/09/18

EDICATORIAS

A mis padres, Juan Trujillo y Nancy Moran, que me brindaron el amor y el apoyo incondicional para poder desarrollarme como profesional, también agradezco a mi esposa Rosa Saldarriaga y a mi pequeño hijo Ethan Trujillo Saldarriaga que son mi mayor fuerza para seguir luchando día a día y seguir capacitándome profesionalmente.

Jhon Trujillo.

A mis abuelas, Isabel Villanueva y Natalia Chero, que en vida anhelaron verme totalmente desarrollado en el ámbito académico y ahora que ya no están en este mundo terrenal sirvieron de inspiración para que pueda seguir creciendo, todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Giancarlo Segura.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de tesis realizado en la Universidad Privada Antenor Orrego refleja el crecimiento como profesional egresado de la Escuela de Ingeniería de telecomunicaciones y redes, el cual se espera pueda aportar como conocimiento para futuras investigaciones.

Nuestro agradecimiento al asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por guiarnos en nuestro proceso formativo en pregrado y ahora para con su confianza en este trabajo de investigación; Así como también el agradecimiento a todas las personas que nos brindaron parte de sus conocimientos para el desarrollo de nuestro trabajo de tesis.

También agradecer a nuestros familiares, amigos e íntimos que con palabras de aliento fueron parte de la motivación e inspiración del presente trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se enfocó en un estudio del desempeño de enlaces nodales microondas en la ciudad de Trujillo bajo efectos de interferencia co-canal utilizando simulaciones en la banda de 15 GHz con modulación adaptativa (AM). Para ello, se tomó un emplazamiento de referencia denominado EBC Larco, en donde junto a 4 estaciones base remotas se forman 8 enlaces, 04 enlaces de ida y 04 enlaces de vuelta.

Para la estimación de interferencia se incluyeron los patrones de radiación copolar y crosspolar. A partir de la estimación del nivel de señal, interferencia, Bitrate y SNR, se simuló un desvanecimiento de señal de 30 dB en cada enlace. Los resultados mostraron que los sitios co-ubicados (enlaces de vuelta) obtuvieron una interferencia por debajo del ruido de piso, con SNR y bitrate dentro del rango operativo esperado. Para los sitios remotos (enlaces de ida) los valores SNR se degradan por los bajos niveles de señal y altos valores de interferencia copolar y crosspolar. Se llegan a identificar dos enlaces críticos en los que se corta la transmisión de datos, en tanto los otros dos se degradan hasta operar a bajas velocidades.

Palabras clave: desempeño, señal, interferencia, copolar, crosspolar, bitrate

ABSTRACT

This research work was focused on a study of the performance of microwave nodal links in the city of Trujillo under the effects of co-channel interference using simulations in the 15 GHz band with adaptive modulation (AM). For this, a reference location called EBC Larco was taken, where together with 4 remote base stations, 8 links are formed, 04 forward links and 04 return links.

For the interference estimation, the co-polar and cross-polar radiation patterns were included. From the estimation of the signal level, interference, bitrate and SNR, a signal fading of 30 dB in each link was simulated. The results showed that the co-located sites (return links) obtained an interference below the noise floor, with SNR and bitrate within the expected operating range. For remote sites (forward links) the SNR values are degraded by low signal levels and high co-polar and cross-polar interference values. Two critical links are identified in which data transmission is cut off, while the other two links degrade until they operate at low speeds.

Keywords: performance, signal, interference, copolar, crosspolar, bitrate

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, el Reglamento Interno de la Facultad de Ingeniería, para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE ENLACES NODALES MICROONDAS BAJO EFECTOS DE INTERFERENCIA COCANAL MEDIANTE SIMULACIONES EN LA BANDA 15 GHZ, TRUJILLO-2022.”**

La aplicación de todos los conocimientos previos adquiridos en la universidad, en la etapa de pregrado dan como resultado el desarrollo del presente trabajo de investigación, excusándonos anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos durante el desarrollo.

Trujillo, septiembre del 2023

Br. Jhon Alexander Trujillo Morán
Br. Giancarlo Segundo Segura Farfán

INDICE

I. INTRODUCCIÓN:	16
1. EL PROBLEMA	16
1.1. Realidad problemática.....	16
1.2. Delimitación del problema	17
1.3. Formulación del problema	18
1.4. Justificación de la investigación	18
1.5. Aportes.....	18
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. MARCO DE REFERENCIA	20
3.1. Antecedentes de la Investigación.....	20
4. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	23
4.1. Efectos atmosféricos en la propagación	23
4.2. Espectro electromagnético	23
4.3. Banda de frecuencia de 15 GHz.....	24
4.4. Modulación de señales continuas	24
4.5. Interferencias	24
4.6. Efectos de las interferencias	24
4.7. Causas de las interferencias.....	25
4.8. Interferencia co-canal.....	25
4.9. Interferencias de canal adyacente.....	26
4.10. Planificación de canales de frecuencias.....	26
4.11. Polarización Alterna	27
4.12. Asignaciones de diversidad de frecuencia.....	27
4.13. Eficiencia espectral	28

4.14.	Reutilización de frecuencias.....	28
4.15.	Plan de dos frecuencias.....	29
4.16.	Sitios Nodales.....	29
4.17.	Overshoot	30
4.18.	Productos de Intermodulación	31
4.19.	Interrupciones de desvanecimiento de rutas múltiples.....	31
4.20.	Interrupción de desvanecimiento plano	31
4.21.	Interrupción de desvanecimiento selectivo.....	32
5.	MARCO CONCEPTUAL	33
5.1.	Índice de refracción	33
5.2.	Refractividad de radio:	33
5.3.	Banda frecuencias.....	33
5.4.	Señal Portadora	34
5.5.	Relación señal ruido (SNR):.....	34
5.6.	Ancho de banda de receptor:	34
5.7.	Throughput	34
5.8.	BER:.....	35
5.9.	Modulación adaptativa	35
5.10.	Umbral de recepción (Threshold).....	35
5.11.	Polarización	36
5.12.	Desempeño de enlace	36
6.	HIPÓTESIS.....	37
6.1.	General:	37
6.2.	Variables de estudio	37
6.3.	Operacionalización de las variables.....	38
7.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
7.1.	Metodología Empleada.....	39
7.2.	Población y muestra.....	39
7.3.	Diseño de investigación.....	39
7.4.	Procedimiento.....	40

7.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
7.6. Procesamiento de Datos e Información.....	49
7.6.3. Reportes de interferencia obtenidos en sites co-ubicados.....	53
8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	73
8.1. Análisis e interpretación de resultados	73
8.2. Docimasia de hipótesis	75
9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	76
10. CONCLUSIONES	78
11. RECOMENDACIONES.....	79
12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	80
13. PUBLICACIONES	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Electromagnético	23
Figura 2: Plan de frecuencia en la banda 15 GHz	24
Figura 3. Curva del umbral del receptor	26
Figura 4. Conexión de antena y plan polar dual típico	27
Figura 5. Mejora de la diversidad de frecuencia contra el desvanecimiento	28
Figura 6. Interferencia Nodal.....	29
Figura 7. Interferencia Overshoot.....	30
Figura 8: Ruta de interconexiones Nodales en la ciudad de Trujillo.....	42
Figura 9: Posibilidades de interconexión de emplazamiento nodal y emplazamientos remotos.....	43
Figura 10: Posibilidades de interferencia en estaciones lejanas (Far ends).....	45
Figura 11: Posibilidades de interferencia en estaciones co-ubicadas (near end	46
Figura 12: Representación enlaces co-ubicados emplazamiento Larco	47
Figura 13: Frecuencia y canalización en banda de 15 GHz.....	48
.....	50
Figura 14: Configuración de red para estimación de interferencias	50
Figura 15. Representación de trayectorias de interferencias resultantes en escenario de simulación.....	51
Figura 16: Se muestran los resultados de nivel de recepción de señal, nivel de threshold e interferencia de sitio remoto San Alejandro.....	58
Figura 17: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto San Alejandro	58
Figura 18: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio remoto Ov. La Marina	60
Figura 19: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto Ov. La Marina.....	60
Figura 20: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio remoto Av. Santa	62

Figura 21: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto Ov. La Marina.....	62
Figura 22: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio remoto Los Sauces.	64
Figura 23: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto Los Sauces.....	64
Figura 24: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 01	66
Figura 25: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 01.....	66
Figura 26: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 02	68
Figura 27: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 02.....	68
Figura 28: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 03	70
Figura 29: Se muestra el desempeño Data Rate vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 03.	70
Figura 30: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 04	72
Figura 31: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 04.....	72
Figura 32: comparativa entre sitios NEAR END Vs FARD END	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización de variables	38
Tabla 02: Resumen estaciones y enlaces de interconexión	47
Tabla 03: Resumen de características técnicas de los equipos de MW.....	49
Tabla 04: Tabla interferencias co-canal internas San Alejandro	52
Tabla 05: Tabla interferencias co-canal internas Larco 1	53
Tabla 06: Tabla cálculo del ruido (SRN).....	54
Tablas 07: Resultados de velocidades de datos o rate por cada modulación y el ruido SNR	55
Tabla 08: Resultado del cálculo del desempeño y el comportamiento del rate (R) y la señal ruido (SNR) en sitio remoto San Alejandro.	57
Tabla 09: Resultados del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en sitio remoto Ov. La Marina	59
Tabla 10: Resultado del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en sitio remoto Av. Santa	61
Tabla 11: Resultados del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en sitio remoto Av. Sauces.	63
Tabla 12: Resultados del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicada Larco 01	65
Tabla 13: Se muestra el cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicado Larco 02	67
Tabla 14: Resultados del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicada Larco 03	69
Tabla 15: Se muestra el cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicada Larco 04	71
Tabla 16: Comparativa de performance entre los 8 enlaces.....	73

INDICE DE ANEXOS

Tabla 01: Tabla interferencias co-canal internas San Alejandro.....	84
Tabla 02: Tabla interferencias co-canal internas Ov. La Marina.....	85
Tabla 03: Tabla interferencias co-canal internas Av. Santa.....	86
Tabla 04: Tabla interferencias co-canal internas Los Sauces.....	87
Tabla 05: Tabla interferencias co-canal internas Larco 01	88
Tabla 06: Tabla interferencias co-canal internas Larco 02	89
Tabla 07: Tabla interferencias co-canal internas Larco 03	90
Tabla 08: Tabla interferencias co-canal internas Larco 04	91

I. INTRODUCCIÓN:

1. EL PROBLEMA

1.1. Realidad problemática

Según Manning, T. (2009), en un mundo ideal, las redes de transmisión por fibra óptica son el medio perfecto para llevar conectividad a altas capacidades debido al ancho de banda virtualmente ilimitado que poseen; sin embargo, la realidad es que este medio aún no está muy extendido en el segmento de red que va hacia el usuario final (segmento de acceso). A pesar del incremento de proyectos para redes de nueva generación (NGA), el alto costo y la viabilidad para implementar nuevos cableados en zonas geográficamente inaccesibles, hace poco probable el despliegue de este tipo de medio.

El Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL, 2020), informa que hasta el cierre del año 2019 en el Perú se reportó un incremento en el número de enlaces microondas y de kilómetros instalados siendo la suma de 71,240 km de recorrido de enlaces microondas distribuidos a nivel nacional.

En los últimos años, las redes microondas estuvieron presentes en el despliegue de infraestructura de telefonía móvil tales como 3G UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y 4G LTE (Long-Term Evolution). Este despliegue vino acompañado con una mayor demanda de capacidad de infraestructura en arquitectura RAN - (Radio Access Network). Actualmente, la exigencia de capacidad de red microondas es mayor para atender las necesidades de comunicación que los usuarios finales requieren día a día.

Según Kangrui Ling (2021), en la actualidad las redes microondas a lo largo de todo el mundo son tan necesarias como cualquier otra infraestructura de red, más aún que durante el despliegue de la nueva tecnología 5G se está proyectando un incremento del 60% de todos los enlaces de interconexión backhaul de pequeñas y grandes celdas desde el año 2020 al 2026 para la industria de telecomunicaciones. Esto va a permitir a los operadores móviles cumplir con los objetivos previstos para el despliegue de futuras infraestructuras de red.

A pesar de la evolución de las tecnologías microondas en sus diferentes generaciones acompañando la evolución actual de las tecnologías móviles 4G y 5G, no dejan ser ondas de radiofrecuencias y como tales están sujetas a los problemas de propagación, efectos climáticos y también a las posibles interferencias que se pueden generar en el diseño y despliegue de la configuración de interconexión hacia las estaciones celulares. Por tal motivo se procura aprovechar al máximo los canales de radio frecuencia asignados, de manera que es muy requerido en el diseño el reuso del mismo canal de microondas en la mayoría de enlaces posibles, generando con esto la posibilidad de una interferencia co-canal.

Las técnicas de aislamiento de interferencias generalmente se dan por ángulos discriminación o por polarizaciones, buscando que la relación entre la señal y la interferencia sea lo más distante posible. Esto afecta de manera particular a las estaciones nodales donde se concentran enlaces que comparten infraestructura y frecuencias.

En la ciudad de Trujillo, Departamento de la Libertad, también se tiene estaciones nodales microondas como medio de interconexión de estaciones celulares dentro de la periferia urbana de la ciudad, que coinciden también en las técnicas de reuso de canales y ubicación de enlaces en estaciones nodales. Debido a la distancia en las que se tienen que realizar estas interconexiones se prefiere la banda de 15 GHz conforme a la recomendación ITU-R, sin embargo, el aprovechamiento al máximo de las capacidades en el reuso de canales de frecuencias podría dar lugar a un escenario de considerable interferencia.

1.2. Delimitación del problema

Según lo expuesto con antelación, se consideró una importante oportunidad de investigación, analizar el escenario en el que podría operar una red microondas en la ciudad de Trujillo con la característica de reutilización de canales, en enlaces nodales, dado que en ellos se acentúa la exposición a interferencias co-canal, pudiendo depender de diferentes factores de diseño.

Bajo estas premisas, el presente proyecto propuso realizar el estudio de las interferencias co-canal en la banda de 15 GHz en posibles enlaces nodales microondas ubicados dentro de la periferia urbana de la ciudad de Trujillo.

Para ello se propuso realizar el presente estudio de desempeño en base a simulaciones con software libre utilizando las recomendaciones ITU-R.483 (refractividad superficial), tomando como referencia emplazamientos típicos utilizados para redes de interconexión urbana en Trujillo.

1.3. Formulación del problema

¿Como se desempeñan los enlaces de una nodal microondas en la ciudad de Trujillo al someterse mediante simulación a interferencias co-canal en la banda de 15 GHz?

1.4. Justificación de la investigación

En el ámbito académico, el proyecto se justificó por aplicar los conocimientos adquiridos la formación de pregrado al análisis de un problema real dando como aporte una profundización del análisis requerido para el diseño de una estación nodal a través de simulaciones. Ampliando los criterios tradicionales de diseño de enlaces microondas con especial énfasis en el análisis de las interferencias co - canal que se pueden dar en zonas urbanas.

1.5. Aportes

Se considera como el principal aporte la metodología que se utilizó, el documento de investigación que quedara como referencia de consulta para poder estar a disposición de los profesionales o interesados que desean ampliar sus horizontes en el diseño de enlaces bajo criterios de ingeniería en el análisis de interferencias co-canal aplicable a las redes microondas en una ciudad con características similares a la ciudad de Trujillo, Departamento La Libertad, Perú.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Describir el desempeño de los enlaces de una nodal microondas en la ciudad de Trujillo, sometidos a efectos de interferencias co-canal mediante simulaciones en la banda de 15 GHz.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar parámetros técnicos que pueden ser empleados en la simulación de radio enlaces de una red de interconexión nodal, en emplazamientos de la zona urbana de la ciudad de Trujillo en la banda de 15 GHz, tomando en cuenta las principales características técnicas.
- Determinar ajustes y parámetros complementarios de simulación para poder reproducir el escenario de propagación de la zona urbana de Trujillo en la banda de 15 GHz.
- Evaluar parámetros de desempeño en una red nodal microondas sometida a interferencia co-canal, mediante simulación en una red de acceso en la zona urbana de Trujillo.
- Describir el impacto de las interferencias sobre los parámetros de desempeño de los diferentes enlaces que componen la red nodal microondas analizada.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Antecedentes de la Investigación

a. Urteaga, F. & Sánchez, R. (2020) en el trabajo de tesis titulado “Identificación de factores climáticos asociados al aumento de interferencia co-canal entre emplazamientos de interconexión microondas en la ciudad de Cajamarca, mediante simulaciones de radio propagación”, realizaron un estudio de interferencias co-canales para la ciudad de Cajamarca en la nodal Agopití. El estudio se realizó en la banda de frecuencia de 7 GHz, considerando enlaces de 56 MHz de ancho de banda entre las estaciones principales y secundarias alrededor de la estación Agopití. Los resultados de esta investigación lograron identificar condiciones climáticas específicas que afectaban el incremento de interferencias en los enlaces que forman parte de la configuración de la nodal principal Agopití. El principal aporte de esta tesis es la metodología utilizada bajo la cual se realizó el análisis de interferencias co-canal, los parámetros técnicos referentes de los equipos microondas y la técnica de variación de refractividad superficial para poder incluirlo en el análisis de interferencias co-canal que servirá como referencia para el presente proyecto.

b. Del Rosario Hidalgo, C. (2019) en la tesis de investigación titulada “Identificación de factores climáticos asociados a la degradación de señal recibida, en un segmento de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos, en base a la recomendación ITU-R.P.453”, realizó un estudio para la ciudad de Iquitos con el fin de identificar la degradación de una cadena de enlaces microondas que interconectan la ciudad de Yurimaguas a la ciudad de Iquitos, utilizando la recomendación ITU-R.P.453 que se basa en refractividad superficial.

Los resultados obtenidos mostraron de que las condiciones más críticas del enlace se generaban con el aumento de temperatura y con el aumento de humedad, que son las condiciones en las cuales se degradan más los enlaces microondas en la zona de selva.

El principal aporte de este trabajo de investigación considera la estimación o el sinceramiento de los valores de refractividad superficial para la zona de Iquitos en base a las condiciones temperatura, presión y humedad, lo cual también podrá ser aplicado en la ciudad de Trujillo para poder incluirlo dentro del análisis de interferencias co-canales, así mismo los parámetros utilizados para poder configurar el simulador y tener referencia de los parámetros de los equipos microondas.

- c. Volkan, Ozduran (2020) en el trabajo de investigación titulado “An Investigation of Co-channel Interference Effects on One-Way Half/Full-Duplex Relaying Network”, realizó un estudio en el cual se buscó mejorar el modelo del sistema, que permita un mejor rendimiento si el repetidor y el terminal de destino se ven afectados por un numero finito de interferencias co-canal. La investigación consideró 02 tipos de interferencias co-canal, en el primer caso consideró que solo el repetidor se ve afectado por un numero finito de interferencias, y en el segundo caso consideró que solo el terminal de destino se ve afectado por un numero finito de interferencias. Se considera que el aporte principal son los resultados analíticos, y de simulación que muestran una similar afectación a los parámetros de desempeño analizados en ambos, los cual servirá de referencia comparativa para el presente trabajo.
- d. Martínez Palomo, L. (2021) en el trabajo de investigación “Reconfiguración de un radioenlace por la liberación de la banda de 26 GHz para la tecnología 5G” describe el cambio de banda de un radioenlace por razón de liberar la banda de 26 GHz (24.25-27.5 GHz) con la finalidad de implementar futuros servicios 5G en nuevas frecuencias. Para dicho fue necesario revisar las características del diseño actual en 26 GHz y la condiciones para el intercambio (swap) propuestos en 38, 23 y 18 GHz en donde se realizó un análisis de degradación e interferencias tanto en polarización vertical como en polarización horizontal. Los aportes principales que se toman de este trabajo son los criterios de diseño al igual que la manera de analizar los datos a nivel de interferencias ya que

servirán como una referencia comparativa para el presente trabajo con la diferencia en el uso de la banda en 15GHz.

- e. Shazia Abbasi, Imdad Ali, I. & Fahim Yar K. (2015) en el paper “An Effective Channel Allocation Scheme to Reduce Co-Channel and Adjacent Channel Interference for WMN Backhaul” sostienen que las interferencias son la principal fuente de degradación del desempeño de una red microondas, proponiendo en su trabajo un nuevo esquema para abordar las interferencias en CCI (Co Channel Interference) como en ACI (Adjacent Channel Interference) en redes mesh, desde el punto de vista de la selección adecuada de canales para los nodos, en donde toman en consideración canales ortogonales y espaciados para los enlaces. A través de simulación el trabajo logró demostrar que con la asignación de canales propuesta se mejora el rendimiento y reduce el retraso de la red para las bandas de 2,4 y 5 GHz. Se considera como aporte principal el análisis de interferencias y los criterios para validar la mejora en el desempeño de una red lo cual servirá como referencia comparativa para el presente trabajo.

4. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Efectos atmosféricos en la propagación

Según Manning T 2009, el haz de un enlace radio es un frente de onda electromagnético indefinidamente ancho incluso con antenas microondas de ganancia alta. La densidad de la troposfera es una variable importante para el camino que recorre el frente de onda, la troposfera es la parte inferior de la atmósfera que encuentra. Dentro del vacío, la densidad del frente de onda que se encontraría sería uniforme.

La parte superior del frente de onda se propaga más rápido que la parte inferior que atraviesa el medio más denso. Debido a que la dirección de la propagación de un frente de onda electromagnético es siempre perpendicular al plano de fase constante, el haz se dobla hacia abajo a esto se le conoce como refracción.

4.2. Espectro electromagnético

Es un recurso natural que es administrado por el ente regulador de cada país y se utiliza por los operadores móviles, con el fin de brindar servicios inalámbricos por ejemplos la telefonía móvil y el servicio de internet inalámbrico. En la figura 4.1 se puede visualizar el rango dentro del espectro electromagnético de las longitudes de onda.

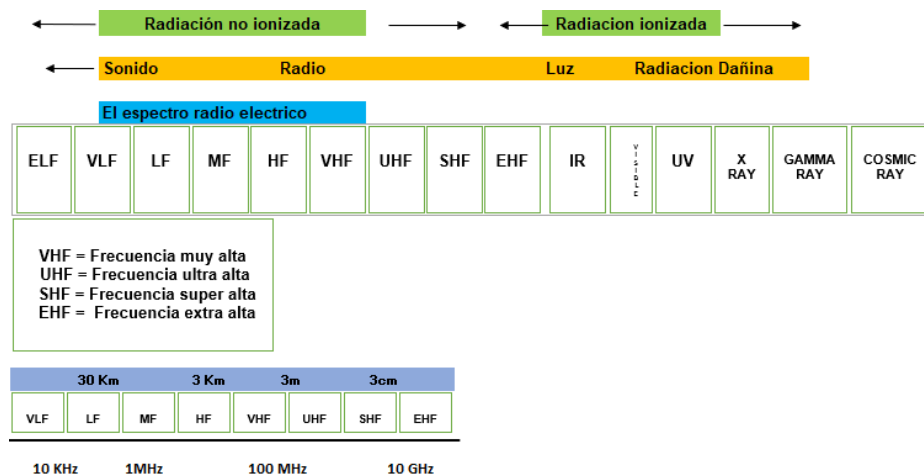


Figura 1. Espectro Electromagnético

Fuente: Manning, T. (2019)

4.3. Banda de frecuencia de 15 GHz

Es una banda utilizada para implementar enlaces de saltos cortos por debajo de los 30 Km, el principal efecto de desvanecimiento de la señal proviene de la atenuación por efectos climatológicos tales como las lluvias.

PLAN DE FRECUENCIAS EN BANDA DE 15 GHz															
CH 1	f_1	=	14417 MHz	CH 5	f_5	=	14529 MHz	CH 9	f_9	=	14641 MHz	CH 13	f_{13}	=	14753 MHz
			14907 MHz				15019 MHz				15131 MHz				15243 MHz
CH 2	f_2	=	14445 MHz	CH 6	f_6	=	14557 MHz	CH 10	f_{10}	=	14669 MHz	CH 14	f_{14}	=	14781 MHz
			14935 MHz				15047 MHz				15159 MHz				15271 MHz
CH 3	f_3	=	14473 MHz	CH 7	f_7	=	14585 MHz	CH 11	f_{11}	=	14697 MHz	CH 15	f_{15}	=	14809 MHz
			14963 MHz				15075 MHz				15187 MHz				15299 MHz
CH 4	f_4	=	14501 MHz	CH 8	f_8	=	14613 MHz	CH 12	f_{12}	=	14725 MHz	CH 16	f_{16}	=	14837 MHz
			14991 MHz				15103 MHz				15215 MHz				15327 MHz

Figura 2: Plan de frecuencia en la banda 15 GHz

Fuente: UIT-R F.636-5 (2019)

4.4. Modulación de señales continuas

Método por el cual el ángulo y la amplitud de la señal portadora cambia de forma rápida en proporción a una señal mensaje de baja frecuencia.

Existen dos tipos de modulación de señales continuas, esto va a depender de la señal mensaje y los parámetros de la señal modulada.

Modulación lineal (es la base de los sistemas DSB, AM, QAM, VSB y SSB,).

Modulación exponencial o angular (es la base de los sistemas PM y FM).

4.5. Interferencias

La ITU define la interferencia como la energía o señal no deseada que se presenta en el receptor de un radio enlace en el proceso de demodulación. Esta señal puede ser una copia retardada de la misma del radio enlace, una señal adyacente que viaja por el mismo enlace o por otro radio enlace o fuente RF.

4.6. Efectos de las interferencias

En los sistemas análogos las interferencias son diferentes que en los sistemas digitales. En un sistema análogo la interferencia incrementa el ruido inactivo y

de banda base lo cual tiene un impacto directo sobre el nivel de la señal a transmitir.

En un escenario sin desvanecimiento los mecanismos digitales son más resistentes a interferencias sin embargo a diferencia de los mecanismos analógicos el principal problema con la interferencia ocurre en un escenario en el cual ocurre el desvanecimiento donde el nivel de la señal se acerca al umbral del receptor, los niveles de señales que están por debajo del límite del umbral del receptor pueden provocar problemas en la etapa de demodulación.

4.7. Causas de las interferencias

Las interferencias pueden provenir de varias fuentes y estas pueden ser del propio equipo resultante a los osciladores locales de transmisión y recepción, así como también pueden provenir de la selectividad filtros de canales adyacente inadecuados.

Otra fuente de interferencias puede resultar de reflejos en un sistema de antena/ alimentador mal ajustado o que este dañado.

Una red de radio enlaces en la cual se reutilice frecuencias puede provocar interferencias estas pueden ser en un nodo o en saltos más debajo de la cadena enlaces.

La mala conductividad en las interfaces metálicas puede crear un efecto de diodo que hace que se generen productos de intermodulación (IMP).

4.8. Interferencia co-canal

De la figura 4.2 la interferencia de bajo nivel tiene poco a ningún efecto sobre el nivel de la señal en un escenario sin desvanecimiento.

Para pequeñas modificaciones alrededor del nivel de recepción nominal el efecto sobre el BER es insignificante.

Es solo cuando la interferencia se acerca al nivel del área del umbral que reciben variaciones de nivel se tienen cambios dramáticos en la calidad. En la Figura 3 se aprecia la curva del umbral del receptor tomando los ejes del BER (Bit Error Rate) vs Rx Level (nivel de señal de recepción).

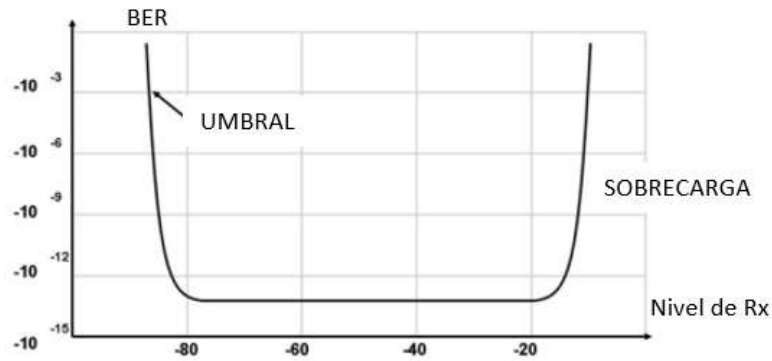


Figura 3. Curva del umbral del receptor

Fuente: Manning, T. (2019)

4.9. Interferencias de canal adyacente

Son interferencias producidas por energías extrañas de una señal de un canal adyacente, esto puede producirse a un inadecuado filtrado de una señal.

Simplificando el estudio, la discriminación del filtro conocido como filtro neto de discriminación (NFD) o factor de reducción de interferencia, se aplica para cambiar la interferencia de canal adyacente en un valor co - canal similar. Esta cifra es una función de selectividad del receptor y por eso se debe ser obtenido de la información del propio fabricante para cada tipo de radio.

$$C/I \text{ (co - canal)} = C/I \text{ (adyacente)} + \text{NFD} \quad (4.1)$$

4.10. Planificación de canales de frecuencias

La ITU-R es el sector de radiocomunicaciones que especifica las recomendaciones del canal de radio individual. En estas sugerencias se precisan la frecuencia central de la banda, la separación de transmisión y recepción, el canal adyacente espaciado (co-polar y cros polar) y el número de canales.

4.11. Polarización Alterna

En trayectos desarrollados se trabajan con polarizaciones alternas con una antena de doble polaridad. En la Figura 4 se muestra la configuración típica donde se detalla el plan de frecuencias y el diagrama de conexiones de la antena.

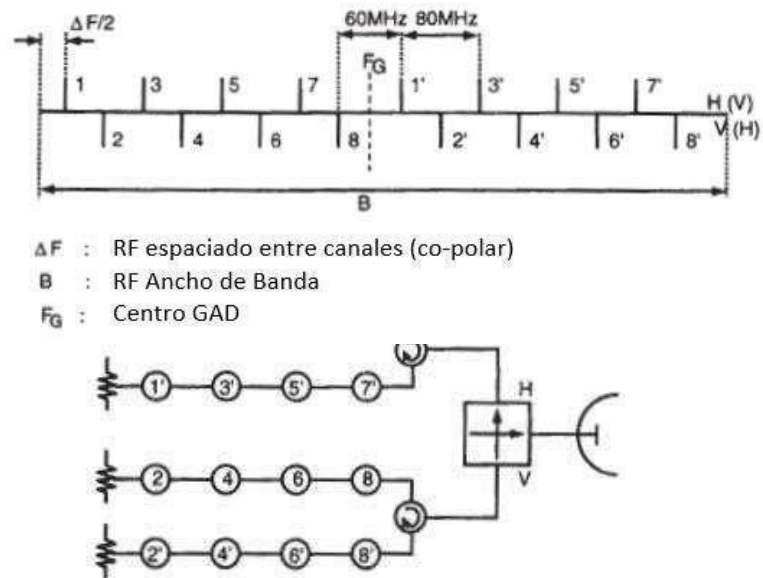


Figura 4. Conexión de antena y plan polar dual típico

Fuente: Manning, T. (2019)

4.12. Asignaciones de diversidad de frecuencia

Manning T (2009) indica que para cumplir con los objetivos de rendimiento en un enlace microondas en algunos casos se requiere de un canal de protección para que cuando ocurra un desvanecimiento sobre el salto, el efecto sobre una frecuencia es diferente de una frecuencia adyacente debido a la discrepancia de longitud del camino eléctrico entre los dos. Si durante el desvanecimiento el tráfico se conmuta al canal de espera se podrá evitar la pérdida del tráfico. Cuanto mayor sea la brecha entre dos frecuencias menor será la correlación y mayor será la mejora del rendimiento frente al desvanecimiento Rayleigh.

En la Figura 5 se muestra la falta de correlación parcial entre dos canales en modo de diversidad de frecuencia.

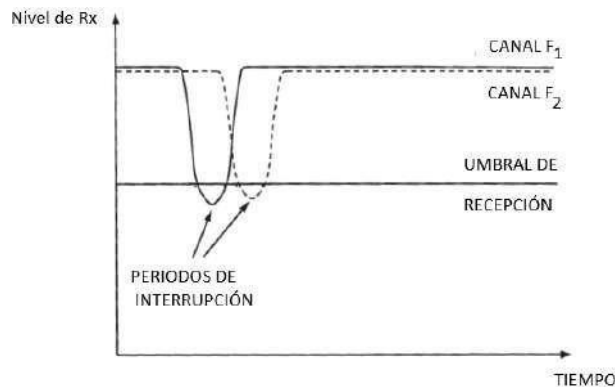


Figura 5. Mejora de la diversidad de frecuencia contra el desvanecimiento

Fuente: Manning, T. (2019)

4.13. Eficiencia espectral

Se toma en cuenta el plan de la ITU para la separación de canales en donde nuestro plan de frecuencias debe de ajustar su ancho de banda y el tipo de modulación del equipo (Los equipos deben cumplir con las especificaciones de eficiencia espectral requerida para cada plan)

La eficiencia espectral (E) es la relación entre la tasa de bits de información y el ancho de banda de RF.

En su fórmula se le describe como:

$$E = N^{\circ} \text{ de canales RF} \times \text{Velocidad de bits máxima/media banda de RF} \quad (4.2)$$

4.14. Reutilización de frecuencias.

Se presenta en la mayoría de los diseños en donde se reutiliza el mismo par de frecuencias en un enlace. Con la finalidad de tener una buena gestión del espectro. Manning T (2009) "Para realizar la planificación de frecuencias, se debe partir de la suposición de que una frecuencia puede ser reutilizada".

4.15. Plan de dos frecuencias.

Se describe como un buen plan de reutilización de frecuencias más eficiente a aquel en el que se utiliza un solo par de frecuencias (HF-LF), utilizado en un enlace.

Uno debe contemplar la interferencia desde dos perspectivas; en primera la interferencia en el site repetidor (nodal) y en segunda el problema en site´s frente a la ruta (overshoot).

4.16. Sitios Nodales.

Considere un caso donde en el site A tiene dos enlaces en la misma frecuencia donde transmite hacia X y hacia Y. Esto se muestra en la Figura 6.

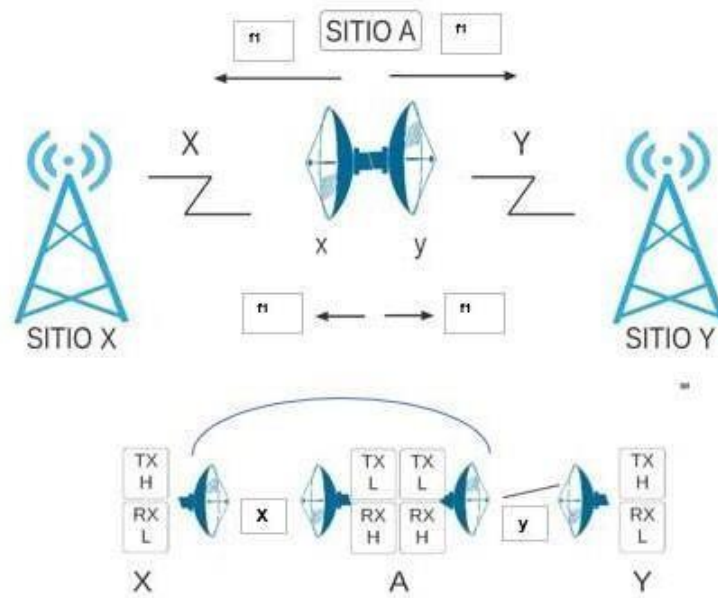


Figura 6. Interferencia Nodal

Fuente: Manning, T. (2019)

El site A está transmitiendo a una frecuencia f_1 de manera bidireccional. Por lo tanto, el site X está transmitiendo a una frecuencia f_1' . En el site A, la antena (X) panoramizada para el enlace "x" obtendrá la señal en la frecuencia f_1' . La antena (Y) panoramizada para enlace "y" también obtendrá esta señal de "x", sin embargo, esta se recibirá atenuada por la relación front to back de la antena Y.

A fin de reutilizar la misma frecuencia f_1 en el enlace “y”, la relación mínima de la portadora (señal f_1 del enlace “y”) a interferencia (señal f_1' del enlace “x”) atenuada por la relación F/B de “Y”) debe mantenerse en el receptor “Y”. Si la señal de interferencia es demasiado alta, será necesario aumentar la relación front to back (F/B) de la antena Y. Modificar la polarización del enlace “y” no favorecerá porque la diferenciación de polarización en torno de la parte posterior de la antena es insignificante. Incrementar la señal deseada en “y” desde el enlace “y” puede ayudar, pero también puede provocar problemas para el enlace “x”. El escenario ideal de interferencia es tener los dos niveles de señal en el sitio A de manera equitativa, si los cálculos de rendimiento lo permiten. En conclusión, la única forma real de lograr la reutilización de frecuencias es utilizar antenas de alto rendimiento con una buena relación de ganancia front to back F/B.

4.17. Overshoot.

Se describe como sobrepasarse por encima del Site de recepción proyectado y caer en otro sitio dentro de la misma red en otro Site más. tal cual como en el diagrama que se muestra en la Figura 7.

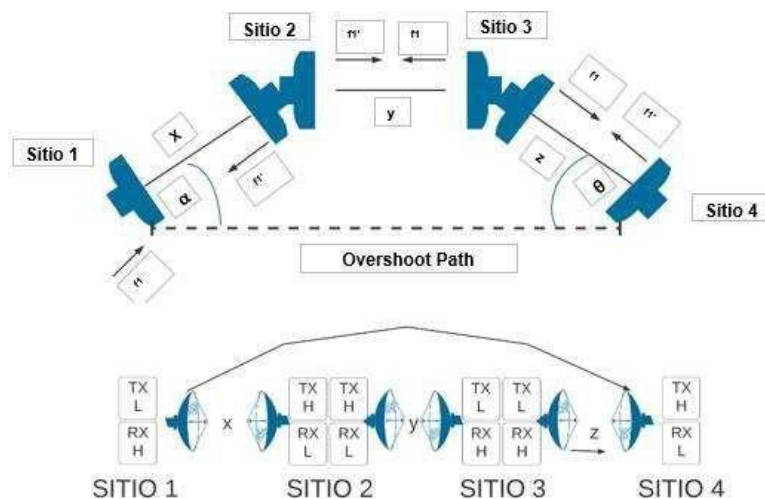


Figura 7. Interferencia Overshoot

Fuente: Manning, T. (2019)

4.18. Productos de Intermodulación

Dentro de los problemas en interferencias significativas en frecuencias de UHF y VHF es el ser causado por un producto de intermodulación o IMP que consta de dos frecuencias que pueden mezclarse (batir) en un dispositivo no lineal, se creará un conjunto adicional de frecuencias llamado IMP's. Si estos productos caen dentro del ancho de banda del receptor, hay un problema de IMP. Hay causas internas para los equipos de transmisión y recepción, así como causas externas como la oxidación de torres o cercas de hierro. Si mezclamos (modulamos) una frecuencia (A) con otra frecuencia (B), obtenemos bandas laterales inferior y superior: $nA + mB$ y $nA - mB$.

Ejemplo: $A + B$, $A - B$, $2A + B$, $2A - B$.

El orden de estos productos está determinado por $n + m$. Entonces, si $n + m = 2$, son de segundo orden, y si $n + m = 3$, son de tercer orden.

4.19. Interrupciones de desvanecimiento de rutas múltiples

Dependen de parámetros como la longitud del salto, la frecuencia, el terreno y la aspereza, las condiciones climáticas y la visibilidad de la ruta. Varios modelos semi-empíricos desarrollados para predecir fallas utilizan estos parámetros hasta cierto punto.

4.20. Interrupción de desvanecimiento plano

En los enlaces de microondas, el desvanecimiento plano es provocado por el entorno multitrayecto en el que los efectos de la distorsión de la señal son insignificantes. Esto es típico para sistemas por debajo de 8 Mbps, siempre que la longitud del salto sea corta (menos de 50 km). El efecto de la atenuación uniforme se puede observar fácilmente representando la atenuación en función al BER.

A lo largo de los años, las comunicaciones por radio han demostrado que la curva de distribución de probabilidad sigue una distribución de "Raleigh" para el

desvanecimiento profundo. Esto significa que, por cada 10 dB de atenuación, la probabilidad de que ocurra se reduce diez veces. Por lo tanto, una atenuación de 10 dB es diez veces una atenuación de 20 dB. Esta realidad significa que se puede conocer la naturaleza de la descomposición de cada "pico" o "salto" y se debe determinar el nivel absoluto de "fading".

4.21. Interrupción de desvanecimiento selectivo

Este efecto es evidente en enlaces de capacidad media a alta (por ejemplo, de 34 a 155 Mb/s), donde la fuente principal se debe a las distorsiones de la señal que causa varios tipos de interferencia entre Ínter Símbolos (ISI). ($BER > 10^{-3}$).

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. Índice de refracción

Es la relación entre la velocidad de una onda electromagnética que se propaga en el vacío o también llamado (espacio libre), en relación con la velocidad que se propagaría en un medio finito y se expresa mediante la siguiente formula.

$$n = c_0 / c \quad (5.1)$$

Donde C_0 es la velocidad de luz en el vacío y c es la velocidad de onda (en este caso la señal de microondas).

5.2. Refractividad de radio

En la atmosfera no ionizada en la que se propaga la radio de microondas, es siempre mayor a la unidad. Es una función de la densidad del aire (temperatura, presión y humedad).

Por ejemplo 1.000315 (índice de refracción terrestre promedio). La radio refractividad (N) ha sido definida por los planificadores de radio para producir valores convenientes, donde N se define como:

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (5.2)$$

Sustituyendo el valor del índice de refracción del suelo ($n = 1.000315$) en (5.1) se obtiene un valor para N de 315 unidades N.

Propagación de microondas 131 la refractividad para enlaces de radio por debajo de los 100 GHz.

5.3. Banda frecuencias

Dentro del espectro electromagnético son intervalos de frecuencia asignados para diferentes usos por radiocomunicaciones. Las bandas de frecuencia están reguladas por Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y puede variar según el lugar. Son utilizadas en diversos sectores de telecomunicaciones, en donde se utilizan canales con el fin de evitar interferencias y permitir un uso eficiente del espectro.

5.4. Señal Portadora

Es una señal de transmisión inalámbrica que contiene protocolos, frames y bits. Una señal del tipo portadora es capaz de distinguir entre 0 y 1, esta señal debe ser modificada para cumplir con dicho objetivo cuya modificación nos permitirá distinguir entre bits. Tres propiedades de una onda inalámbrica pueden ser modificadas para realizar dicha alteración:

- Amplitud
- Frecuencia
- Fase

5.5. Relación señal ruido (SNR)

La relación señal-ruido, S/R o del inglés SNR (Signal to Noise Ratio) se define como la relación entre la potencia de salida de la señal transmitida y la cantidad de ruido que la corrompe (así que solo estamos hablando del hecho que proviene del dispositivo que emite el sonido y no del dispositivo que recibe el sonido). Su medida es en decibelios.

5.6. Ancho de banda de receptor

Su unidad medida son los hercios (Hz), en ella se concentra la mayor parte de la potencia de la señal, esta se puede calcular mediante el análisis de Fourier. Las frecuencias que se encuentran en los límites se les conoce como frecuencias efectivas.

5.7. Throughput

Se le conoce a la tasa promedio de éxito que va sobre un canal de comunicación en la entrega de un mensaje. Estos datos pueden ser entregados en diversos medios físicos o lógicos, a través de una o muchos nodos de la red. Se mide en bits por segundo (bit/s o bps), y a veces en paquete de datos por segundo o paquetes de datos por franja de tiempo.

5.8. BER

Conocido también como la tasa de error de bits, BER se utiliza para cuantificar los datos del canal midiendo la tasa de error en todo el flujo de datos. BER es un parámetro clave para evaluar sistemas que transmiten datos digitales de un lugar a otro.

$$BER = \frac{\text{Numero de errores}}{\text{Total de numero de bits enviados}} \quad (5.3)$$

5.9. Modulación adaptativa

Es aquella modulación en la cual el enlace se adapta según el esquema de modulación y codificación en donde cuyo objetivo sea permitir mantener la tasa de errores de bits controlada; la codificación y modulación adaptativas o adaptación de enlace es un término que se utiliza en comunicaciones inalámbricas para indicar coincidencias en la modulación, la codificación y otros parámetros de señal y protocolo con las condiciones del radio enlace (la pérdida en ruta, la interferencia, la sensibilidad del receptor, el margen de potencia disponible del transmisor, etc.).

5.10. Umbral de recepción (Threshold)

Es la señal mínima requerida para que el demodulador funciones con una tasa de error específica.

Normalmente se definen 02 umbrales uno con un BER de 10^{-6} y otro con un BER de 10^{-3} , esto se debió a que originalmente las aplicaciones de audio se utilizaban un BER 10^{-3} , mientras que para los datos se requería al menos un BER 10^{-6} para una tasa de rendimiento aceptable.

El umbral del receptor depende de la señal / Ruido mínima requerida en la entrada del receptor, la cifra de ruido del front-end del receptor y el ruido térmico de fondo (P_n)

El umbral de recepción o técnicamente llamado Threshold se define con la siguiente formula.

$$P_n = kTB \quad (5.4)$$

donde k es la constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$), T es la temperatura en Kelvin y B es el ancho de banda del receptor.

5.11. Polarización

A la variación en el tiempo del vector campo eléctrico (E) se le denomina polarización.

La polarización de la señal está determinada por el hornfeed una pequeña antena de bocina que se utiliza para transmitir ondas de radio entre el transmisor y el receptor. Los enlaces de radio deben configurarse para transmitir y recibir en la misma polarización. La discriminación de polarización cruzada (XPD), es la cantidad de señal atenuada debido a la polarización cruzada.

5.12. Desempeño de enlace

En las redes de radio enlaces es importante tener monitorizado siempre las variables de desempeño que por lo general estas se miden en periodos de 15 minutos para microondas, de esta manera estas puedan ser consolidadas y resumidas en valores diarios.

Las variables de desempeño que podemos ver son:

- Niveles de potencia (RSL)
- Variabilidad de señal recibida
- Velocidad de transmisión
- Disponibilidad

6. HIPÓTESIS:

6.1. General

Una estación nodal en la banda de 15 GHz, en la ciudad de Trujillo degrada el desempeño en más del 20% de sus enlaces al evaluarse mediante simulación de efectos de interferencia co-canal.

6.2. Variables de estudio

6.2.1. Variable 01

Interferencia co-canal

Definición Conceptual

Es aquella señal no deseada que se recibe en uno o más receptores en la misma frecuencia o canal, y que genera degradación de la separación señal - ruido. Esta degradación genera una reducción de los parámetros de transmisión tales como el Throughput o la velocidad de datos del enlace.

6.2.2. Variable 02

Desempeño de enlaces nodales en la banda de 15 GHz en la ciudad de Trujillo

Definición Conceptual

Se refiere a los valores de los parámetros encontrados en los niveles de potencia, interferencias, desvanecimiento y velocidad de transmisión en enlaces pertenecientes a una nodal microondas 15 GHz en la ciudad de Trujillo.

6.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
V.1: Interferencias co-canal	Las interferencias co-canales aparecen en los receptores por el reusó de radiocanal en diferentes enlaces. Pueden ser discriminadas, por distancia de enlaces, atenuación por obstáculos, ángulos de des apuntamiento, o polarizaciones ortogonales, en la banda microondas de 15 GHz.	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de señal interferente co-canal. Discriminación por Ángulo. Discriminación por distancia. Discriminación por Polarización. Variabilidad de la interferencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Reportes de simulación 	<ul style="list-style-type: none"> dBm, dB
V.2: Desempeño de enlaces nodales en la banda de 15 GHz en la ciudad de Trujillo	El desempeño de la nodal se cuantifica en base al desempeño de sus enlaces nodales. En cada enlace es posible de cuantificar la separación señal ruido, Throughput, margen de desvanecimiento y disponibilidad, e identificar los enlaces que son afectados por interferencia co-canal.	<ul style="list-style-type: none"> Número de enlaces con afectación de SNR. Número de enlaces con afectación de Throughput. 	<ul style="list-style-type: none"> Guía Observación. 	<ul style="list-style-type: none"> Adimensional

Nota: Operacionalización de variables en estudio.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Metodología Empleada

Tipo y Nivel de investigación

El estudio realizado fue de nivel descriptivo, con el objeto de realizar un análisis del desempeño de una nodal microondas en la ciudad de Trujillo. Habiéndose encontrado hallazgos descriptivos sobre el comportamiento de las interferencias co-canal y el impacto en los parámetros de desempeño de cada enlace.

7.2. Población y muestra

Está constituida por todas las simulaciones de enlaces co-canal backhaul de 15 GHz que se puedan hacer en una nodal de la ciudad de Trujillo. Por tratarse de una condición no determinística, no existe un número finito de enlaces y simulaciones que puedan definir para la población. Por lo cual, de acuerdo con la disponibilidad de información en la banda de 15 GHz para la ciudad de Trujillo, se eligió un emplazamiento nodal y 04 emplazamientos remotos que generaron 8 enlaces microondas en la referida banda, lo cual fue la muestra empleada.

Para cada enlace se realizó la variación de 11 valores de refractividad superficial, con 8 estimaciones de interferencia co-polar y 8 estimaciones de interferencia cros polar. Dando un total de 7,744 estimaciones como fuente de datos para el análisis. Con ello los autores consideraron justificada la participación de 02 investigadores con el fin de evaluar y procesar toda la información requerida.

7.3. Diseño de investigación

No experimental, descriptiva simple porque no se manipuló ninguna variable en situación real, todo el trabajo se realizó en base a la observación de los 8 radio enlaces sometidos a la variación de refractividad y a las

variaciones de radiaciones co-polares y Cross polares de cada antena para evaluar sus interferencias.

El diseño empleado en la presente investigación es de tipo descriptivo, consistiendo en observar por simulación la muestra para recabar la información deseada.

Esquema Gráfico del diseño de investigación:

M → O

Dónde:

- M : Muestras de señal recibida obtenidas por simulación de 8 enlaces pertenecientes a una estación nodal microondas en banda 15 GHz, en la ciudad de Trujillo.

- O : Observación del desempeño de los parámetros de desempeño de los enlaces pertenecientes a una estación nodal microondas en banda 15 GHz, en la ciudad de Trujillo.

7.4. Procedimiento

- Recopilación de información referente a parámetros técnicos característicos de equipos microondas, de antenas y sus patrones de radiación, así mismo, recopilación de los valores de clima típicos de la ciudad de Trujillo.
- Estimación de los valores típicos refractividad superficial en base a las condiciones climáticas de temperatura, presión y humedad de la ciudad de Trujillo.
- Identificación de las características técnicas de los equipos.

- Caracterización de patrones de radiación co-polar y Cross polar de las antenas a emplear, así como de parámetros complementarios para ajustar la simulación de propagación de la señal en la zona urbana de la ciudad de Trujillo.
- Elaboración de las curvas de comportamiento de las interferencias para cada una de las estaciones en los 8 enlaces de ida y vuelta (low / high).
- Identificación de las interferencias más significativas y cálculo del impacto en los parámetros de desempeño de cada enlace.

7.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- La técnica es la observación el comportamiento de los parámetros por simulación de desempeño de cada enlace microondas de la red nodal.
- Los instrumentos serán tablas y curvas de observación en donde se registra el comportamiento de la señal e interferencias en función de la refractividad superficial y en función de las posibles variaciones de los parámetros de interferencia co-canal, co-polar y cross polar generadas por sus patrones de antenas.

7.5.1. Recolección de información de una Nodal en la ciudad de Trujillo

A partir de los primeros sistemas de telecomunicaciones (redes microondas) se fueron implementando en la ciudad de Trujillo diversos emplazamientos en distintos puntos geográficos y estratégicos dentro de la ciudad cubriendo el crecimiento exponencial de la demanda de abonados, para ello se tenía que contar con redes de transportes lo suficientemente robustas para soportar dicha necesidad. Todo ello conllevó al diseño e implementación de redes nodales microondas con el objetivo de contar con una red backhaul que permita tener un buen desempeño de las redes nodales microondas. Dichos enlaces en la banda de 15GHz son el principal objeto de estudio tales como en la central EN-EBC Larco hacia los enlaces nodales EBC San Alejandro, EBC Santa, EBC Ovalo La Marina y EBC Los Sauces que se encuentran dentro de la ciudad de Trujillo en el departamento de La Libertad. En la Figura 08 se muestra un diagrama de las interconexiones para la Nodal Larco en la ciudad de Trujillo.

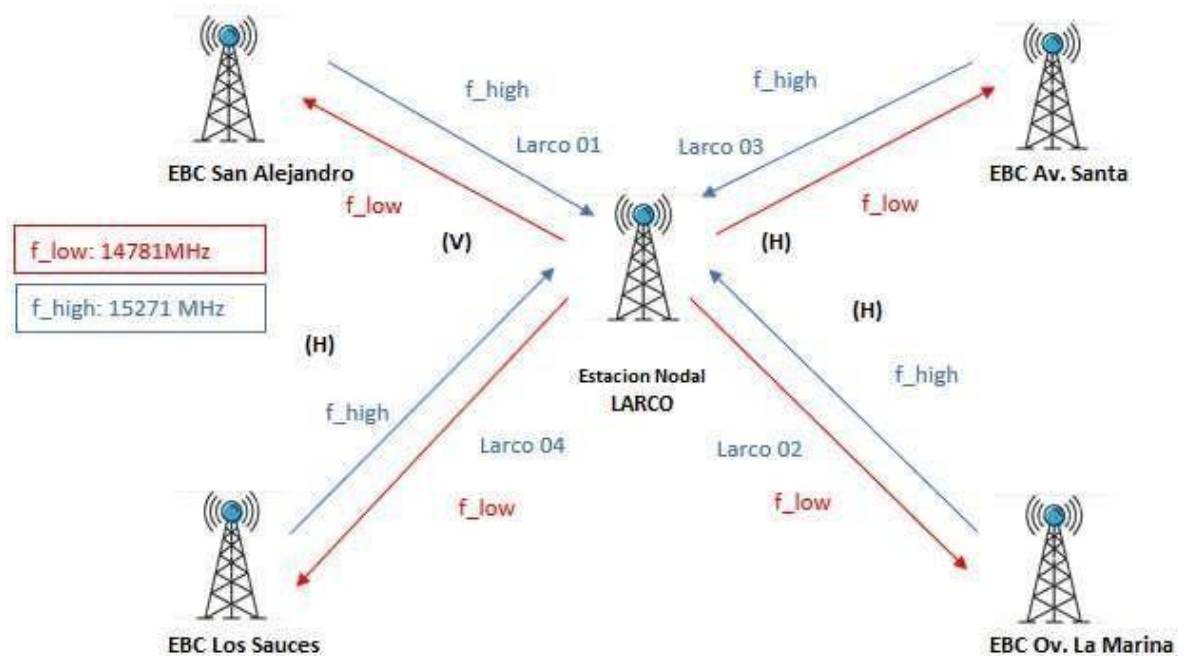


Figura 8: Ruta de interconexiones Nodales en la ciudad de Trujillo

7.5.2. Información del emplazamiento nodal y emplazamientos remotos

La estación nodal Larco, se define como el punto principal de interconexión hacia los demás puntos remotos. Dicho emplazamiento está ubicado en un área geográfica estratégica cuya torre de comunicación cuenta con línea de vista directa entre todos los emplazamientos. La Figura 09 muestra un detalle de las posibilidades de interconexión que posee el emplazamiento Nodal frente a los emplazamientos remotos.

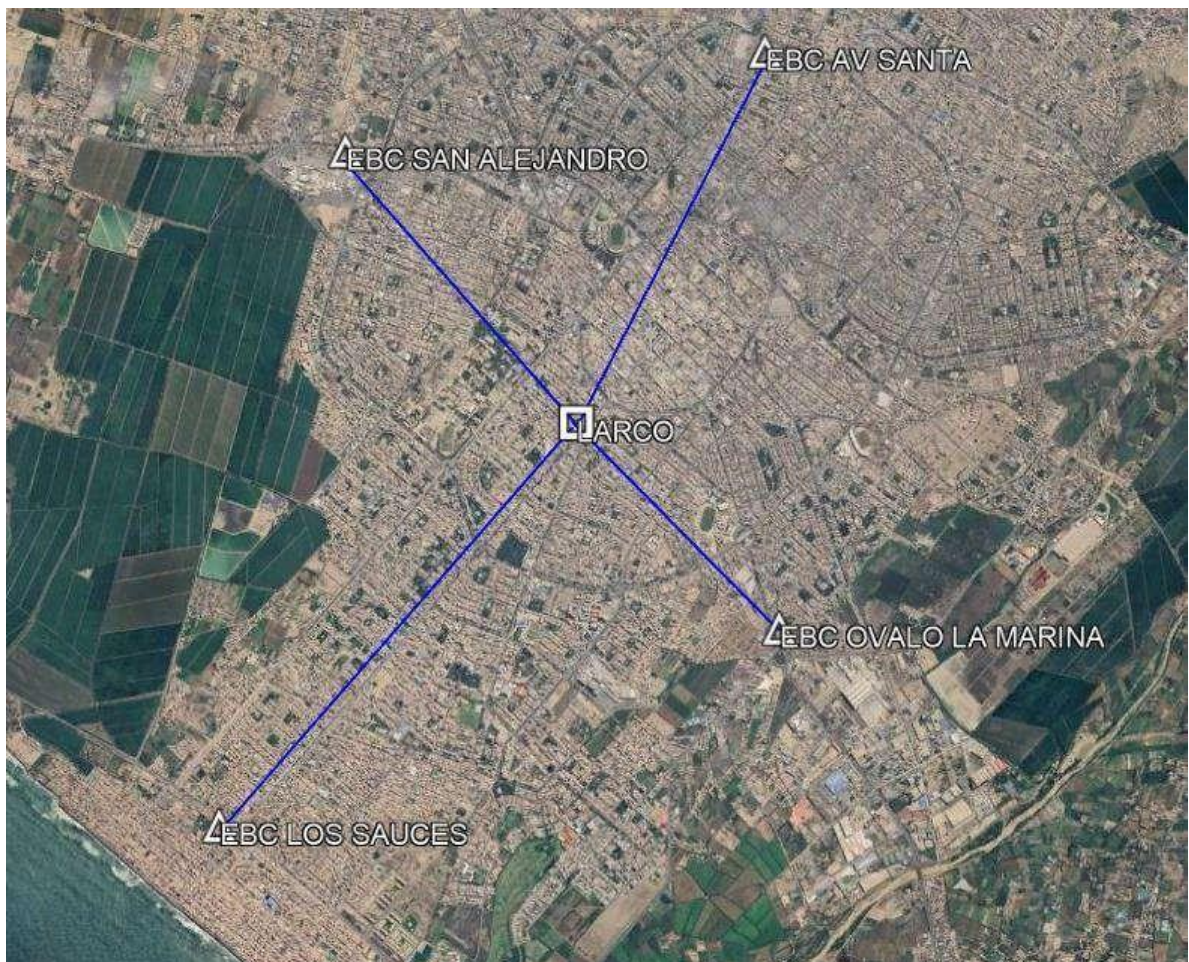


Figura 9: Posibilidades de interconexión de emplazamiento nodal y emplazamientos remotos

7.5.3. Posibilidades de interferencia co-polar y cross polar

Tal como se indicó en el apartado anterior la estación Larco posee una infraestructura de torre que tiene línea de vista directa hacia los demás emplazamientos remotos tales como EBC San Alejandro, EBC Santa, EBC Ovalo la Marina y EBC Los Sauces. Estos enlaces comparten el mismo canal de radio comunicación que es el canal 14 en la banda de 15 GHz, el cual posee unas frecuencias de ida o frecuencia Low de 14781 MHz, la cual va desde la nodal hacia los puntos remotos y con una frecuencia de vuelta o frecuencia high de 15271 MHz, desde los puntos remotos hacia la nodal.

El aislamiento de interferencia entre los 4 enlaces que comparten el mismo canal se realiza por variación de polarización. Este escenario genera múltiples posibilidades de interferencia dado que una antena direccional a pesar de estar polarizada en vertical puede recibir la señal co-polar en vertical como también la señal cross polar en horizontal, y de igual forma una antena direccional polarizada en horizontal puede recibir la señal co-polar en horizontal como también la señal cross polar en vertical, esta configuración en el escenario de 4 enlaces que son parte de este estudio genera múltiples posibilidades de análisis en respecto a las posibles interferencias que se puedan dar. Así mismo estas interferencias podrían fluctuar respecto de alguna variación climatológica propia de la ciudad de Trujillo.

La alta temperatura y humedad en la aparición de valores altos de refractividad superficial en la ciudad de Trujillo fue el análisis final del estudio en las condiciones climatológicas que permitió la identificación de emplazamientos con fluctuación de señal, mediante un análisis de la señal recibida en función de la refractividad superficial (N_s) (Salazar & Ulloa, 2021).

La Figura 10 y la Figura 11 se presentan el concepto antes mencionado.

En este orden de ideas, la Figura 10 presenta las posibilidades de interferencia desde la nodal Larco hacia las estaciones remotas (Far ends). Estas interferencias se producen por que las frecuencias de ida generadas en la nodal Larco son también recibidas en las estaciones lejanas. A pesar de la directividad de las antenas, existirían escenarios de interferencia co-canal, considerando

que las señales de ida poseen propagación de señal en direcciones secundarias que podrían llegar a ser considerables al recibirse en otras estaciones lejanas, con poco ángulo de discriminación.

De la misma forma la Figura 11 presenta las posibilidades de interferencia en estaciones cercanas (near ends). En este caso la frecuencia de vuelta emitida desde las estaciones lejanas se concentra en un solo punto nodal (Larco). Considerando que los ángulos de discriminación de las antenas receptoras son bastante cerrados por estar co-ubicadas en el mismo emplazamiento, se podrían generar importantes escenarios de interferencia co-canal, los cuales deben ser analizados adecuadamente.

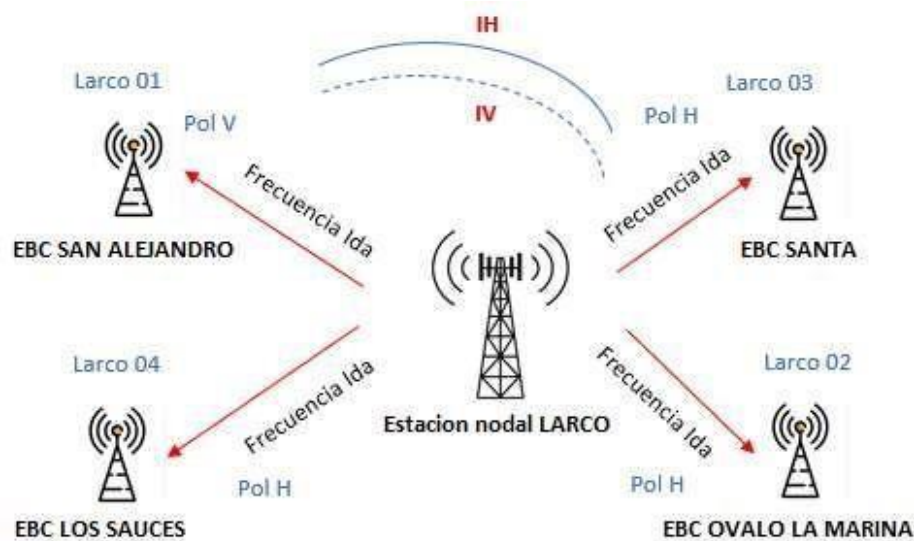


Figura 10: Posibilidades de interferencia en estaciones lejanas (Far ends)

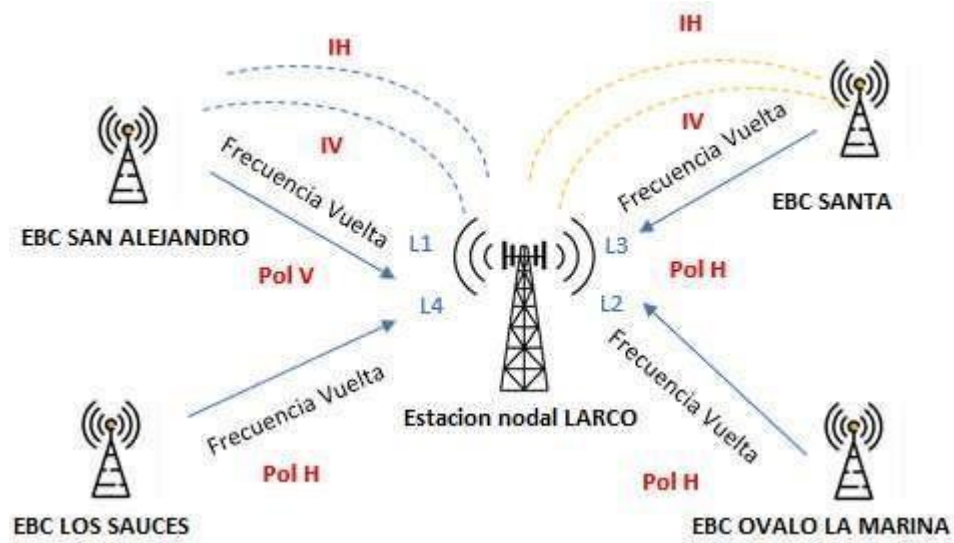


Figura 11: Posibilidades de interferencia en estaciones co-ubicadas (near end)

La Figura 12 muestra una representación de la vista superior de la nodal Larco, en donde se busca mostrar la posible distribución de antenas microondas co-ubicadas en la misma infraestructura de torre, expuestas por la naturaleza de su distribución a una mayor posibilidad de interferencia.

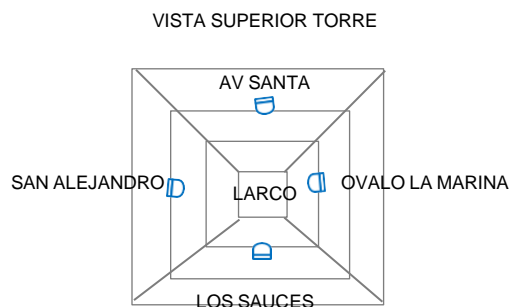


Figura 12: Representación enlaces co-ubicados emplazamiento Larco

7.5.4. Datos de emplazamientos y estaciones

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las ubicaciones, alturas de antenas, distancias de enlaces y capacidades nominales de 4 enlaces de interconexión en la ciudad de Trujillo.

Tabla 02: Resumen estaciones y enlaces de interconexión.

Near End(A)	Altura Near End (Mts)	Coordenadas Near End (A)	Far End (B)	Altura Far End (Mts)	Coordenadas Far End (B)	Distancia Enlace (Km)	Capacidad Nominal (Mbps)
Larco 01	47	-8.117056, -79.03303	SAN ALEJANDRO	9	-8.101223, -79.04659	2.5	500
Larco 02	49	-8.117056, -79.03303	OV. MARINA	21	-8.128972, -79.02114	1.85	500
Larco 03	65	-8.117056, -79.03303	AV. SANTA	15	-8.095444, -79.02197	2.7	500
Larco 04	49	-8.117056, -79.03303	SAUCES	18	-8.140361, -79.05381	3.5	500

7.5.5. Datos de canalización radiofrecuencia microondas

Considerando la Recomendación UIT-R F.636-5, se presenta la Figura 13, en la cual se detalla la disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda 14,4-15,35 GHz.

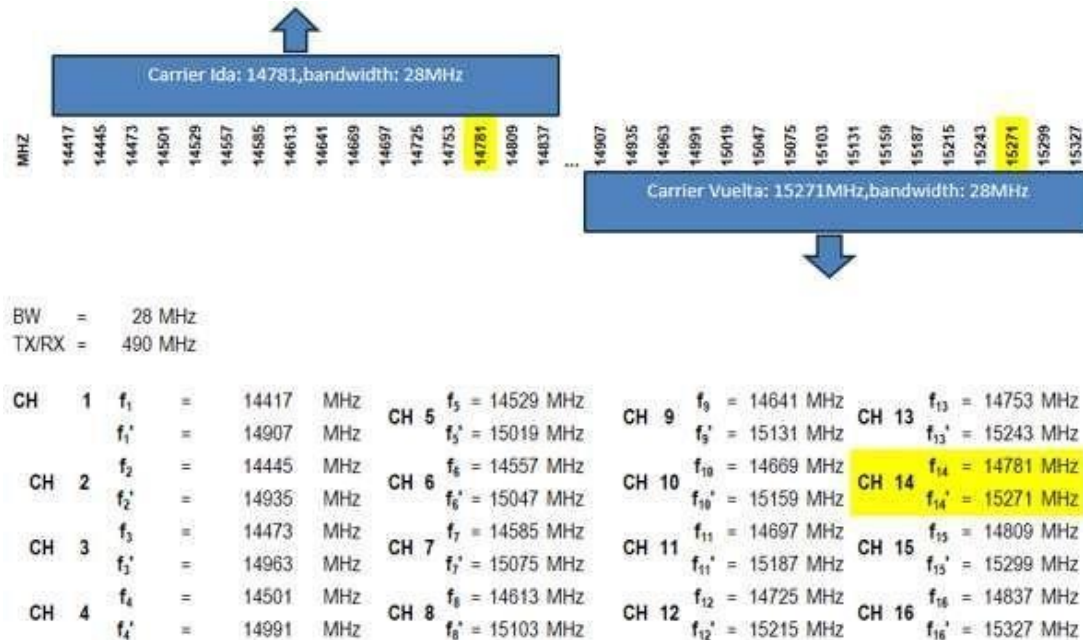


Figura 13: Frecuencia y canalización en banda de 15 GHz.

7.5.6. Datos de transceptores y antenas microondas

Cabe destacar que el análisis que se va a realizar en el presente trabajo está basado en la identificación de valores de interferencia que superan el valor promedio simulado bajo diferentes condiciones de refractividad, por lo cual, al tratarse únicamente de análisis de diferencias, no se requiere tener un valor exacto respecto de la potencia de transmisión, coeficiente de pérdidas por guía de onda, o ganancia de antena. En este sentido, se han considerado valores típicos tomando como base los trabajos realizados por Del Rosario C. (2019), Alvarado J. y Mendoza J. (2005).

La Tabla 03 muestra un resumen de características técnicas referenciales de transceptores y antenas usadas para las simulaciones del presente trabajo.

Tabla 03: Resumen de características técnicas de los equipos de MW.

NEAR END (A)	FARD END (B)	EQUIPAMIENTO ODU EQUIPO DE RADIO					ANTENA NEAR END (A)		ANTENA FARD END (B)	
		Ptx (dBm)	UMBRAL (dBm)	BER	BW (MHz)	MODULACION	MODELO	Ga (dBi)	MODELO	Ga(dBi)
LARCO1	SAN ALEJANDRO	10	-73	10-6	28	Adaptive Modulation	WTG06-144D	36.8	WTG06-144D	36.8
LARCO2	OV. MARINA	10	-73	10-6	28	Adaptive Modulation	WTG06-144D	36.8	WTG06-144D	36.8
LARCO3	AV. SANTA	10	-73	10-6	28	Adaptive Modulation	WTG06-144D	36.8	WTG06-144D	36.8
LARCO4	SAUCES	10	-73	10-6	28	Adaptive Modulation	WTG06-144D	36.8	WTG06-144D	36.8

7.6. Procesamiento de Datos e Información

7.6.1. Simulación

Con la información descrita en los apartados anteriores, se procedió a realizar una simulación en donde tomaremos los valores de refractividad superficial (Ns) superiores e iguales a 300 y menores o iguales a 400; en base a que a partir de dicho umbral tiene valores significativos en relación al desempeño de enlaces nodales microondas Del Rosario Hidalgo, C. (2019) y en el escenario en donde existe una red de un emplazamiento nodal y 04 emplazamientos remotos que generaron 8 enlaces microondas en la banda de 15 GHz que fueron susceptibles a interferencia co-canal. En ese sentido todas las estaciones fueron configuradas dentro de la misma red, contemplándose dos escenarios de simulación conforme el siguiente detalle:

a. Interferencia hacia estaciones lejanas (far ends)

Las estaciones del nodo Larco actúan como transmisoras, mientras que las estaciones distantes actúan como receptores y son susceptibles a la interferencia co-canal.

La frecuencia de vuelta o frecuencia high de 15271 MHz. Se considera un ancho de banda de 28 MHz, fijando los límites inferior y superior de refractividad superficial desde 300 a 400 (Ns).

b. Interferencia hacia estaciones cercanas (near ends):

Las estaciones remotas actúan como transmisores, mientras que las estaciones co-ubicadas actúan como receptoras en la estación nodal Larco, y son susceptibles de recibir interferencia co-canal.

La frecuencia Ida o frecuencia Low de 14781 MHz. Se considera un ancho de banda de 28 MHz, fijando los límites inferior y superior de refractividad superficial desde 300 a 400 (Ns).

La Figura 14 muestra en cuadros resaltados los principales parámetros de configuración de red que reflejan los valores de frecuencia antes descritos en el cálculo de interferencia hacia estaciones lejanas y cercanas.

The figure displays two side-by-side screenshots of a network configuration interface. Both screenshots show a 'Parameters' tab with various settings. The left screenshot is for a network named 'Int_Cop_Far_15271_MHz' and has a 'Surface refractivity (N-Units)' value of 300. The right screenshot is for a network named 'Int_Cop_Near_14781_MHz' and has a 'Surface refractivity (N-Units)' value of 400. Both screenshots show a 'Minimum frequency (MHz)' of 14400 and a 'Maximum frequency (MHz)' of 15350. Other parameters include 'Ground conductivity (S/m)' at 0.005, 'Relative ground permittivity' at 15, 'Polarization' set to 'Vertical', and 'Mode of variability' set to 'Spot' with a '% of time' of 50. The 'Climate' section is also visible, with 'Continental sub-tropical' selected.

Figura 14: Configuración de red para estimación de interferencias

En la figura 14 se muestra capturas del simulador en las cuales se indica el rango de inicio y fin de la refractividad superficial entre 300 y 400 N-Units, en la que se trabajara.

De igual forma se pueden ver los diferentes parámetros que permiten simular y otros relacionados, en donde resaltan el modo de propagación tipo spot o haz de propagación, y el porcentaje de situaciones 50% que

fue calibrado para acercar el entorno de simulación a los valores de señal reales observados en los reportes de implementación de enlaces microondas nodales en la ciudad de Trujillo.

Por otro lado, se obtiene la sección de clima de tipo sub tropical continental, que se define como una zona sub tropical con temperatura promedio en las regiones en las que la temperatura media supera los 18°C y varia en el mes más frío entre 6°C a 18°C.

La Figura 15 muestra un esquema inicial de posibles trayectorias de propagación e interferencia entre emplazamientos de la ciudad de Cajamarca

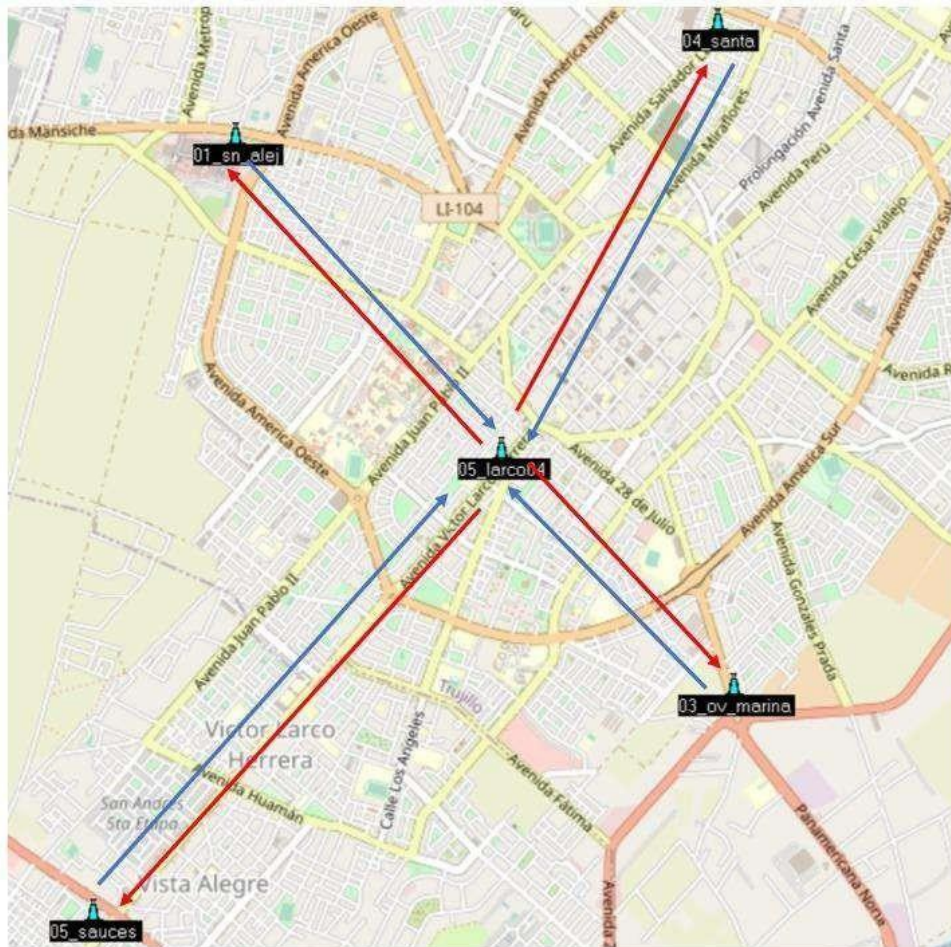


Figura 15. Representación de trayectorias de interferencias resultantes en escenario de simulación

7.6.2. Reportes de interferencia obtenidos en sites remotos

Durante la simulación de interferencia co-canal realizada para los sites remotos (far ends), se ha asumido que las 4 estaciones transmisoras co-ubicadas en Larco (Larco 1 hasta Larco 4) emiten en el mismo canal con la misma frecuencia portadora de 15271 MHz. De esta forma cada estación remota recibirá una señal deseada, y siete señales no deseadas (interferencias). Tanto la señal deseada como las interferencias han sido estimadas para variaciones de refractividad que van desde 300 N-Units hasta 400 N-Units conforme los límites permitidos por la herramienta de simulación.

La Tabla 04 muestra como ejemplo, un reporte consolidado de los niveles de señal deseada y no deseada obtenidos mediante simulación en uno de los sites remotos denominado San Alejandro. En este caso el nivel recibido en San Alejandro (Nrx) proviene desde la estación Larco 1.

Las señales emitidas desde las estaciones Larco 2, Larco 3 y Larco 4 a pesar de estar dirigidas a otras localidades, obtienen un nivel de recepción importante, lo cual convierten a estas señales no deseadas en potencial interferencia para el enlace Larco 1 – San Alejandro.

Tabla 04: Tabla interferencias co-canal internas San Alejandro.

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	EBC San Alejandro	larco_01 xpol	larco_02 cop	larco_02 xpol	larco_03 cop	larco_03 xpol	larco_04 cop	larco_04 xpol	Total
300	-49.9	-109.9	-145.0	-118.8	-129.9	-115.3	-80.3	-79.9	-77.1
310	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-129.9	-115.3	-80.3	-79.9	-77.1
320	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-129.9	-115.3	-80.3	-79.9	-77.1
330	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-130.0	-115.3	-80.4	-79.9	-77.1
340	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-130.0	-115.3	-80.4	-79.9	-77.1
350	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-130.0	-115.4	-80.4	-79.9	-77.1
360	-50.0	-110.0	-145.1	-118.9	-130.0	-115.4	-80.4	-80.0	-77.2
370	-50.0	-110.0	-145.1	-119.0	-130.0	-115.4	-80.4	-80.0	-77.2
380	-50.0	-110.0	-145.1	-119.0	-130.1	-115.4	-80.5	-80.0	-77.2
390	-50.0	-110.0	-145.1	-119.0	-130.1	-115.5	-80.5	-80.0	-77.2
400	-50.1	-110.1	-145.2	-119.0	-130.1	-115.5	-80.5	-80.1	-77.3
promedio (dBm)	-50.0	-110.0	-145.1	-118.9	-130.0	-115.4	-80.4	-80.0	-77.2

larco_01 (VV)	larco_01 (VH)	larco_02 (HH)	larco_02 (HV)	larco_03 (HH)	larco_03 (HV)	larco_04 (HH)	larco_04 (HV)
sn_alejn (VV)	sn_alejn (VH)	sn_alejn (VH)	sn_alejn (VV)	sn_alejn (VH)	sn_alejn (VV)	sn_alejn (VH)	sn_alejn (VV)

7.6.3. Reportes de interferencia obtenidos en sites co-ubicados

La simulación de interferencia co-canal realizada para los sites co-ubicados (near ends), asume que las 4 estaciones transmisoras ubicadas en emplazamientos remotos (San Alejandro, Ovalo La Marina, Av. Santa y Los sauces) emiten en el mismo canal con la misma frecuencia portadora de 14781 MHz. De esta manera cada estación co-ubicada (Larco 1 hasta Larco 4) recibirá una señal deseada, y siete señales no deseadas (interferencias) desde las estaciones remotas.

La Tabla 05 muestra como ejemplo, un reporte consolidado de los niveles de señal deseada y no deseada obtenidos mediante simulación en uno de los sites co-ubicados denominado Larco 1. En este caso el nivel recibido en Larco 1 (Nrx) proviene desde la estación San Alejandro.

Las señales emitidas desde las estaciones San Alejandro, Ovalo La Marina, Av. Santa y Los sauces están dirigidas hacia otras estaciones en el mismo emplazamiento, sin embargo, logran obtener un nivel de interferencia importante para el enlace San Alejandro- Larco 1.

Tabla 05: Tabla interferencias co-canal internas Larco 1.

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	larco 01	sn_alej_xpol	ov_mar_cop	ov_mar_xpol	av_snta_cop	av_snta_xpol	saucos_cop	saucos_xpol	Total
300	-51.4	-111.4	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-132.7	-159.0	-107.2
310	-51.5	-111.5	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-131.8	-158.1	-107.2
320	-51.5	-111.5	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-130.9	-157.3	-107.2
330	-51.5	-115.5	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-130.1	-156.5	-108.3
340	-51.6	-111.6	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-129.3	-155.7	-107.3
350	-51.6	-111.6	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-128.5	-154.9	-107.3
360	-51.7	-111.7	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-127.8	-154.2	-107.3
370	-51.7	-111.7	-112.7	-138.6	-112.3	-127.1	-127.1	-153.5	-107.3
380	-51.8	-111.8	-112.7	-138.7	-112.3	-127.1	-126.4	-152.8	-107.4
390	-51.8	-111.8	-112.7	-138.7	-112.3	-127.2	-125.7	-152.1	-107.4
400	-51.9	-111.9	-112.7	-138.7	-112.3	-127.2	-125.1	-151.4	-107.4
promedio (dBm)	-51.6	-112.0	-112.6	-138.6	-112.2	-127.1	-128.7	-155.0	-107.4

sn_alejandros (VV)	sn_alejandros (VH)	ov_marina (HH)	ov_marina (HV)	av_santa (HH)	av_santa (HV)	saucos (HH)	saucos (HV)
larco_01 (VV)	larco_01 (VH)	larco_01 (VH)	larco_01 (VV)	larco_01 (VH)	larco_01 (VV)	larco_01 (VH)	larco_01 (VV)

De la misma forma como la mostrada en las Tablas 04 y 05, se han obtenido los reportes de señal recibida e interferencia co-canal para cada una de las 4 estaciones que forman parte de las estaciones remotas y co-ubicadas de Trujillo.

7.6.4. Tablas de modulación

Para realizar el cálculo de la relación señal ruido (SNR) para cada modulación se utiliza la siguiente formula con los siguientes los datos, para el cálculo de ruido (N).

$$N = B \times T \times K \quad (5.5)$$

Donde B es el ancho de banda del receptor, T es la temperatura de ruido común representado en Kelvin y K es la constante de Boltzmann equivalente a $(1,38 \times 10^{-23})$. La Tabla 6 presenta el detalle de cálculo de ruido (N).

Tabla 06: Tabla cálculo del ruido (N).

B	56	MHz
T	290°	K
K	1,380649x10-23	JK-1
N	2.24112E-13	W
N	2.24112E-10	mW
N	-96.50	dBm

La siguiente fórmula es utilizada para realizar el cálculo de la velocidad de datos o rate (R).

$$B = \frac{R}{n} (1 + f_v)$$

$$R = B \cdot n (1 + f_v) \quad (5.6)$$

Donde B es el ancho de banda, n es el número de bits de la modulación (n) y f_v es el factor de filtrado del filtro de banda base.

Tablas 07: Resultados de velocidades de datos o rate por cada modulación y el ruido SNR.

Modulación	4096	QAM	Modulación	2048	QAM	Modulación	1024	QAM
n	12		n	11		n	10	
R _{teor}	537.6	Mbps	R _{teor}	492.8	Mbps	R _{teor}	448	Mbps
R _{real}	500	Mbps	R _{real}	450	Mbps	R _{real}	400	Mbps
E _s /N ₀	46	dB	E _s /N ₀	43	dB	E _s /N ₀	41	dB
E _b /N ₀	35.21	dB	E _b /N ₀	32.59	dB	E _b /N ₀	31.00	dB
S/N	45	dB	S/N	42	dB	S/N	40	dB
N _{TH4096}	-51	dBm	N _{TH2048}	-54	dBm	N _{TH1024}	-56	dBm
Modulación	512	QAM	Modulación	256	QAM	Modulación	128	QAM
n	9		n	8		n	7	
R _{teor}	403.2	Mbps	R _{teor}	358.4	Mbps	R _{teor}	313.6	Mbps
R _{real}	350	Mbps	R _{real}	300	Mbps	R _{real}	250	Mbps
E _s /N ₀	37	dB	E _s /N ₀	34	dB	E _s /N ₀	32.5	dB
E _b /N ₀	27.46	dB	E _b /N ₀	24.97	dB	E _b /N ₀	24.05	dB
S/N	36	dB	S/N	33	dB	S/N	32	dB
N _{TH512}	-60	dBm	N _{TH256}	-63	dBm	N _{TH128}	-65	dBm

Modulación	64	QAM
n	6	
R _{teor}	268.8	Mbps
R _{real}	230	Mbps
E _s /N ₀	30.5	dB
E _b /N ₀	22.72	dB
S/N	30	dB
N _{TH64}	-67	dBm

Modulación	32	QAM
n	5	
R _{teor}	224	Mbps
R _{real}	200	Mbps
E _s /N ₀	27	dB
E _b /N ₀	20.01	dB
S/N	26	dB
N _{TH32}	-70	dBm

Modulación	16	QAM
n	4	
R _{teor}	179.2	Mbps
R _{real}	150	Mbps
E _s /N ₀	24.5	dB
E _b /N ₀	18.48	dB
S/N	24	dB
N _{TH16}	-73	dBm

Modulación	8	QAM
n	3	n
R _{teor}	134.4	Mbps
R _{real}	100	Mbps
E _s /N ₀	21	dB
E _b /N ₀	16.23	dB
S/N	20	dB
N _{TH8}	-76	dBm

Modulación	4	QAM
n	n	n
R _{teor}	89.6	Mbps
R _{real}	50	Mbps
E _s /N ₀	17.5	dB
E _b /N ₀	14.5	dB
S/N	17	dB
N _{TH4}	-80	dBm

Modulación	2	PSK
n	1	
R _{teor}	44.8	Mbps
R _{real}	20	Mbps
E _s /N ₀	10.5	dB
E _b /N ₀	10.50	dB
S/N	10	dB
N _{TH2}	-87	dBm

7.6.5. Tablas de desempeño de estaciones remotas.

7.6.5.1. Datos de desempeño de estación San Alejandro

Los niveles de interferencia total llegan a -80.39 dBm, lo cual es un nivel mayor al nivel de piso ruido, con lo cual se puede degradar el desempeño del enlace. La Tabla 08, presenta parámetros al someter al enlace a un desvanecimiento mayor a 30 dB.

Tabla 08: Resultado del cálculo del desempeño y el comportamiento del rate (R) y la señal ruido (SNR) en sitio remoto San Alejandro.

San Alejandro			N°	Nrx	N _{TH}	L01_xpol	L02_cop	L02_xpo	L03_cop	L03_xpo	L04_cop	L04_xpo	It	N _{floor}	C/N	R
	Nrx from	L01	0	-50	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	30	230
			1	-50	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	30	230
	Nrx	-49.95 dBm	2	-52	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	28	200
	N _{TH}	-87.00 dBm	3	-52	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	28	200
	f _{high}	15271 MHz	4	-54	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	26	200
	Pol	V	5	-54	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	26	200
	BER	10 ⁻⁶	6	-56	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	24	150
	Bandwidth	56 MHz	7	-56	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	24	150
	Rate	500 Mbps	8	-58	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	22	100
	Adap. Modulation		9	-58	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	22	100
			10	-60	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	20	100
			11	-60	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	20	100
			12	-62	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	18	50
	Interferencia Recibida		13	-62	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	18	50
	L01_xpol	-110.0 dBm	14	-64	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	16	20
	L02_cop	-145.1 dBm	15	-64	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	16	20
	L02_xpol	-118.9 dBm	16	-66	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	14	20
	L03_cop	-130.0 dBm	17	-66	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	14	20
	L03_xpol	-115.4 dBm	18	-68	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	12	20
	L04_cop	-80.4 dBm	19	-68	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	12	20
	L04_xpol	-80.0 dBm	20	-70	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	10	20
			21	-70	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	10	20
			22	-72	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	8	0
	It	-80.39 dBm	23	-72	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	8	0
			24	-74	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	6	0
			25	-74	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	6	0
	K	1.38E-23 J/°K	26	-76	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	4	0
	T	290.00 °K	27	-76	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	4	0
	B	5.60E+07 Hz	28	-78	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	2	0
	N _{floor}	2.24E-13 W	29	-78	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	2	0
	N _{floor}	2.24E-10 mW	30	-80	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	0	0
	N _{floor}	-96.50 dBm	31	-80	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	0	0
			32	-82	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	-2	0
			33	-82	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	-2	0
			34	-84	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	-4	0
			35	-84	-87	-110	-145	-119	-130	-115	-80	-80	-80	-96	-4	0

En la gráfica se muestra que al generar una curva de desvanecimiento el nivel de interferencia es mayor al nivel al nivel de umbral y al nivel de piso ruido, por lo tanto, se espera que el enlace se degrade bastante.

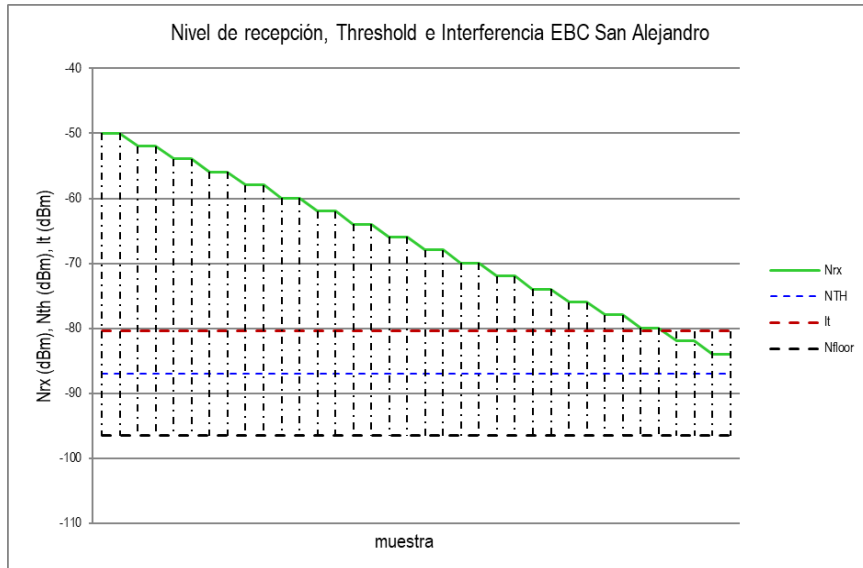


Figura 16: Se muestran los resultados de nivel de recepción de señal, nivel de threshold e interferencia de sitio remoto San Alejandro.

En la siguiente grafica se muestran el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

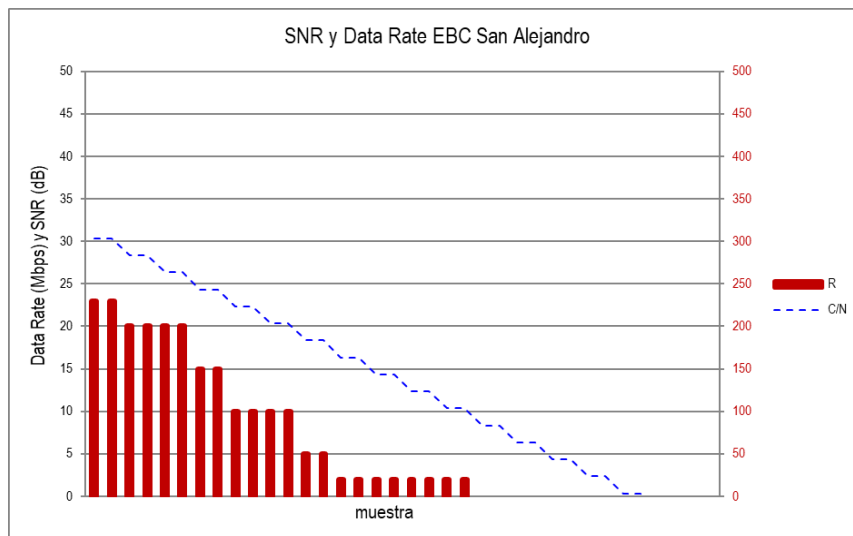


Figura 17: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto San Alejandro

En la gráfica 18 se muestra que al generar una curva de descenso el nivel de señal recibida es menor al nivel de ruido umbral, nivel de piso de ruido y al nivel de interferencia, por lo tanto, se espera que el enlace no se degrade mucho.

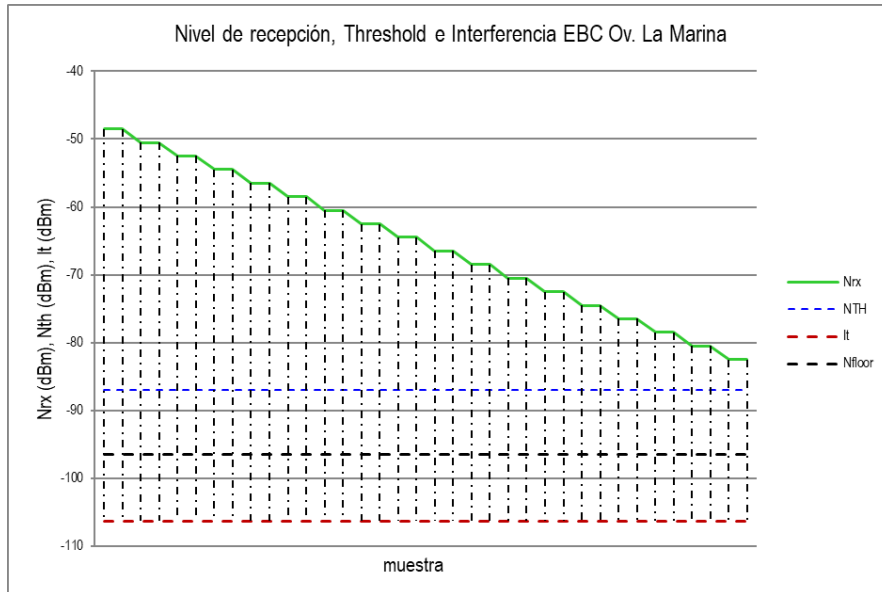


Figura 18: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio remoto Ov. La Marina.

En la siguiente grafica se muestra el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

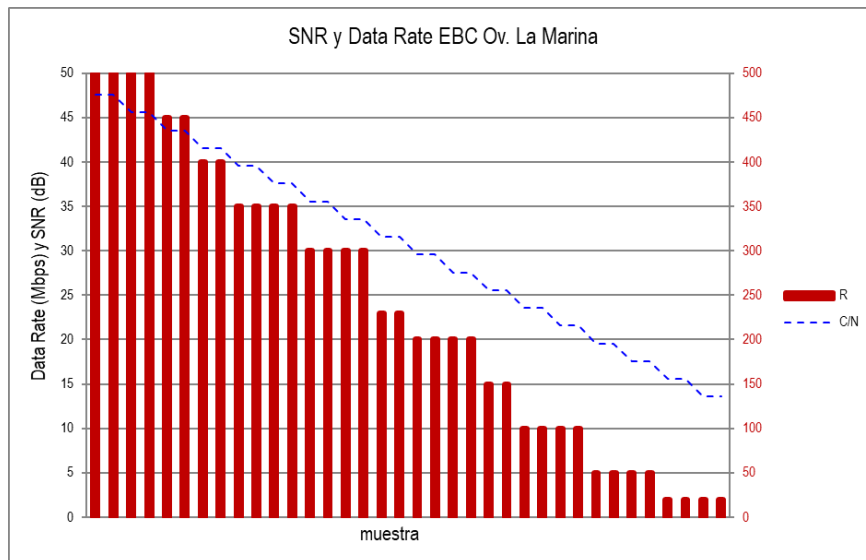


Figura 19: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto Ov. La Marina.

7.6.5.3. Datos de desempeño de estación Av. Santa.

Los niveles de interferencia total llegan a -100.5 dBm, menor al nivel de piso ruido, con los cual las condiciones de desempeño del enlace pueden darse de acuerdo a lo propuesto en la hoja técnica del fabricante.

Tabla 10: Resultado del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en sitio remoto Av. Santa.

Av. Santa			N°	Nrx	N _{TH}	L03_xpol	L01_cop	L01_xpol	L02_cop	L02_xpol	L04_cop	L04_xpol	It	N _{floor}	C/N	R
Nrx from		L ₀₃	0	-51	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	44	450
			1	-51	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	44	450
Nrx	-51.4	dBm	2	-53	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	42	400
N _{TH}	-87.0	dBm	3	-53	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	42	400
f _{high}	15271	MHz	4	-55	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	40	350
Pol	H		5	-55	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	40	350
BER	10 ⁻⁶		6	-57	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	38	350
Bandwidth	56	MHz	7	-57	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	38	350
Rate	500	Mbps	8	-59	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	36	300
Modulation	Adap. Modulation		9	-59	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	36	300
			10	-61	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	34	300
			11	-61	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	34	300
			12	-63	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	32	230
			13	-63	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	32	230
			14	-65	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	30	200
L _{03_xpol}	-111.4	dBm	15	-65	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	30	200
L _{01_cop}	-128.9	dBm	16	-67	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	28	200
L _{01_xpol}	-113.4	dBm	17	-67	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	28	200
L _{02_cop}	-116.9	dBm	18	-69	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	26	150
L _{02_xpol}	-150.2	dBm	19	-69	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	26	150
L _{04_cop}	-101.2	dBm	20	-71	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	24	100
L _{04_xpol}	-147.0	dBm	21	-71	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	24	100
			22	-73	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	22	100
It	-100.5	dBm	23	-73	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	22	100
			24	-75	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	20	50
			25	-75	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	20	50
K	1.38E-23	J/°K	26	-77	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	18	50
T	290.00	°K	27	-77	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	18	50
B	5.60E+07	Hz	28	-79	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	16	20
N _{floor}	2.24E-13	W	29	-79	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	16	20
N _{floor}	2.24E-10	mW	30	-81	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	14	20
N _{floor}	-96.5	dBm	31	-81	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	14	20
			32	-83	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	12	20
			33	-83	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	12	20
			34	-85	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	10	0
			35	-85	-87	-111	-129	-113	-117	-150	-101	-147	-100	-96	10	0

En la gráfica 20 se muestra que al generar una curva de descenso el nivel de señal recibida es menor al nivel de ruido umbral, nivel de piso de ruido y al nivel de interferencia, por lo tanto, se espera que el enlace no se degrade mucho.

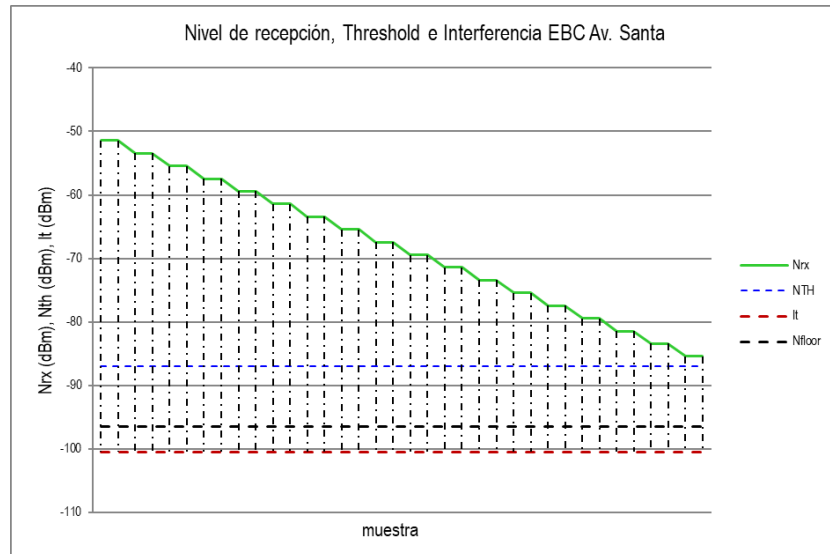


Figura 20: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio remoto Av. Santa.

En la siguiente grafica se muestra el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

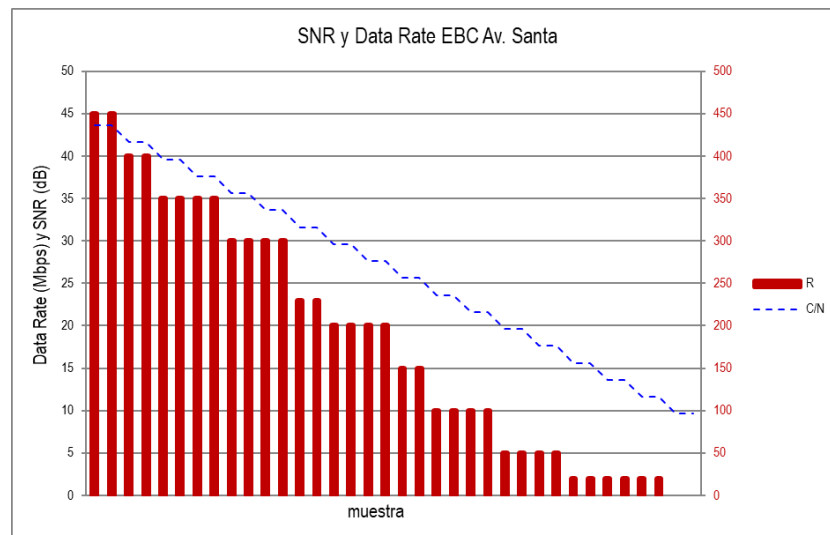


Figura 21: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto Ov. La Marina

7.6.5.4. Datos de desempeño de estación Av. Sauces.

Los niveles de interferencia total llegan a -77.1 dBm, lo cual es un nivel mayor al nivel de piso ruido, con los cual se espera la degradación del desempeño del enlace. La Tabla 11 muestra los parámetros al someter al enlace a un desvanecimiento superior a 30 dB.

Tabla 11: Resultados del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en sitio remoto Av. Sauces.

Av. Santa			N°	Nrx	N _{TH}	L04_xpo	L01_cop	L01_xpol	L02_cop	L02_xpo	L03_cop	L03_xpo	It	N _{floor}	C/N	R
Nrx from	L₀₄		0	-50	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	27	200
			1	-50	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	27	200
Nrx	-50.1	dBm	2	-52	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	25	150
N _{TH}	-87.0	dBm	3	-52	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	25	150
f _{high}	15271	MHz	4	-54	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	23	100
Pol	H		5	-56	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	21	100
BER	10 ⁻⁶		6	-58	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	19	50
Bandwidth	56	MHz	7	-58	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	19	50
Rate	500	Mbps	8	-60	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	17	50
Modulation	Adap. Modulation		9	-60	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	17	50
			10	-62	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	15	20
			11	-62	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	15	20
			12	-64	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	13	20
Interferencia Recibida			13	-64	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	13	20
L _{04_xpol}	-110.1	dBm	14	-66	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	11	20
L _{01_cop}	-80.2	dBm	15	-66	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	11	20
L _{01_xpol}	-80.1	dBm	16	-68	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	9	0
L _{02_cop}	-115.2	dBm	17	-68	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	9	0
L _{02_xpol}	-149.0	dBm	18	-70	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	7	0
L _{03_cop}	-112.0	dBm	19	-70	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	7	0
L _{03_xpol}	-145.5	dBm	20	-72	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	5	0
			21	-72	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	5	0
It	-77.1	dBm	22	-74	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	3	0
			23	-74	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	3	0
			24	-76	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	1	0
K	1.38E-23	J/°K	25	-76	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	1	0
T	290.00	°K	26	-78	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-1	0
B	5.60E+07	Hz	27	-78	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-1	0
N _{floor}	2.24E-13	W	28	-80	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-3	0
N _{floor}	2.24E-10	mW	29	-80	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-3	0
N _{floor}	-96.5	dBm	30	-82	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-5	0
			31	-82	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-5	0
			32	-84	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-7	0
			33	-84	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-7	0
			34	-86	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-9	0
			35	-86	-87	-110	-80	-80	-115	-149	-112	-146	-77	-96	-9	0

En la gráfica 22 se muestra que al generar una curva de desvanecimiento el nivel de interferencia es mayor al nivel al nivel de umbral y al nivel de piso ruido, por lo tanto, se espera que el enlace se degrade bastante.

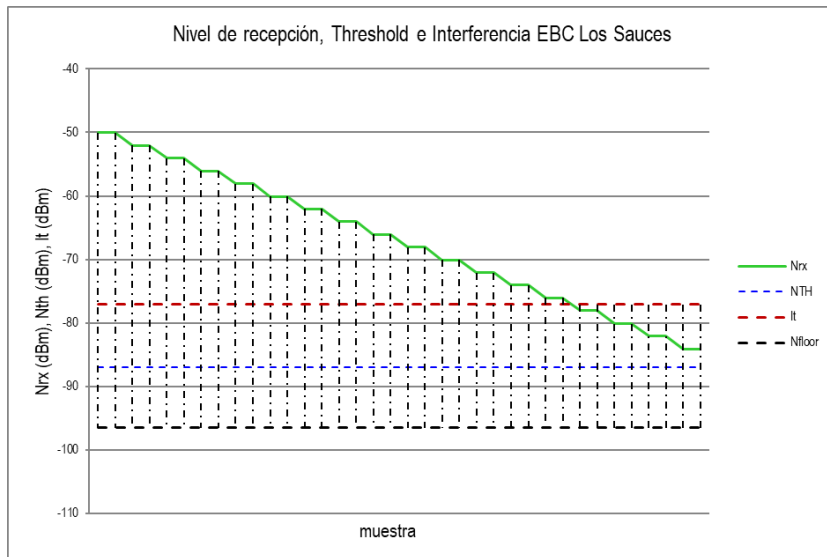


Figura 22: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio remoto Los Sauces.

En la siguiente grafica se muestran el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

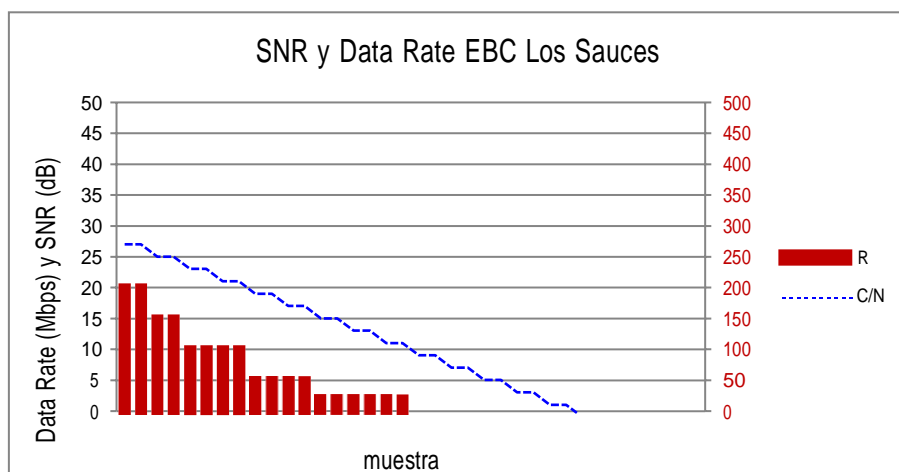


Figura 23: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio remoto Los Sauces.

7.6.6. Tablas de desempeño de estaciones cubicadas.

7.6.6.1. Datos de desempeño estación co-ubicada Larco 01

Los niveles de interferencia total llegan a -107.41 dBm, lo cual es un nivel mayor al nivel de piso ruido, con los cual las condiciones de desempeño del enlace se puede dar acorde a lo propuesto en la hoja técnica del fabricante.

Tabla 12: Resultados del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicada Larco 01.

Larco 01			N	Nrx	N _{TH} n	alej_xv_mar_cv_mar_x	_snta_c	_snta_xauces_cauces_x	It	N _{floor}	C/N	R				
Nrx from	Sn Alej		0	-52	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	45	450
Nrx	-51.64	dBm	1	-52	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	43	450
N _{TH}	-87.00	dBm	2	-54	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	43	450
f _{high}	14781	MHz	3	-54	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	41	400
Pol	V		4	-56	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	41	400
BER	10 ⁻⁶		5	-56	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	39	350
Bandwidth	56	MHz	6	-58	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	39	350
Rate	500	Mbps	7	-58	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	37	350
Adap. Modulation			8	-60	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	37	350
			9	-60	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	35	300
			10	-62	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	35	300
			11	-62	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	33	250
Interferencia Recibida			12	-64	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	33	250
I _{sn_alej_xpol}	-112.0	dBm	13	-64	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	31	230
I _{ov_mar_cop}	-112.6	dBm	14	-66	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	31	230
I _{ov_mar_xpol}	-138.6	dBm	15	-66	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	29	200
I _{av_snta_cop}	-112.2	dBm	16	-68	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	29	200
I _{av_snta_xpol}	-127.1	dBm	17	-68	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	27	200
I _{saucos_cop}	-128.7	dBm	18	-70	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	27	200
I _{saucos_xpol}	-155.0	dBm	19	-70	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	25	150
			20	-72	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	25	150
			21	-72	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	23	100
			22	-74	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	23	100
It	-107.43	dBm	23	-74	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	21	100
			24	-76	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	21	100
K	1.38E-23	J/°K	25	-76	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	19	50
T	290.00	°K	26	-78	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	19	50
B	5.60E+07	Hz	27	-78	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	17	20
N _{floor}	2.24E-13	W	28	-80	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	17	20
N _{floor}	2.24E-10	mW	29	-80	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	15	20
N _{floor}	-96.50	dBm	30	-82	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	15	20
			31	-82	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	13	20
			32	-84	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	13	20
			33	-84	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	11	20
			34	-86	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	11	20
			35	-86	-87	-112	-113	-139	-112	-127	-129	-155	-107	-96	11	20

En la gráfica 24 se muestra que al generar una curva de descenso el nivel de señal recibida es menor al nivel de ruido umbral, nivel de piso de ruido y al nivel de interferencia, por lo tanto, se espera que el enlace no se degrade mucho.

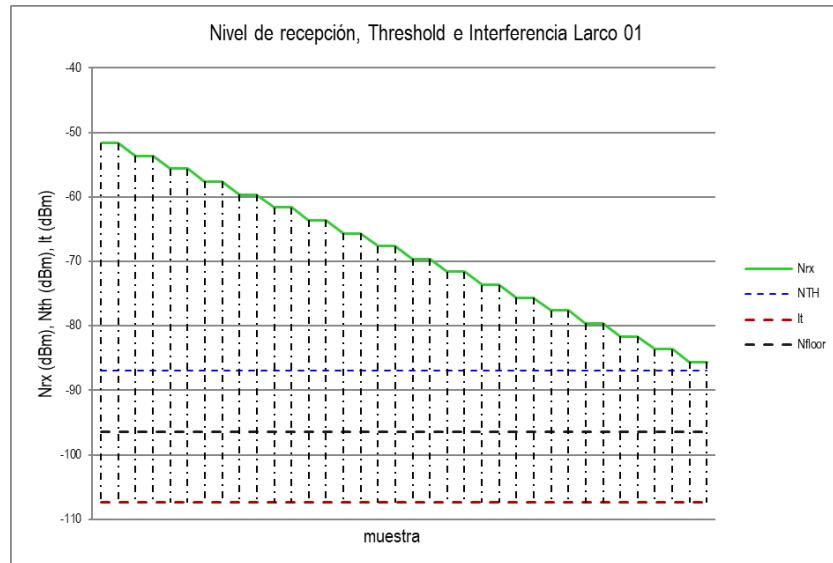


Figura 24: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 01.

En la siguiente grafica se muestran el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

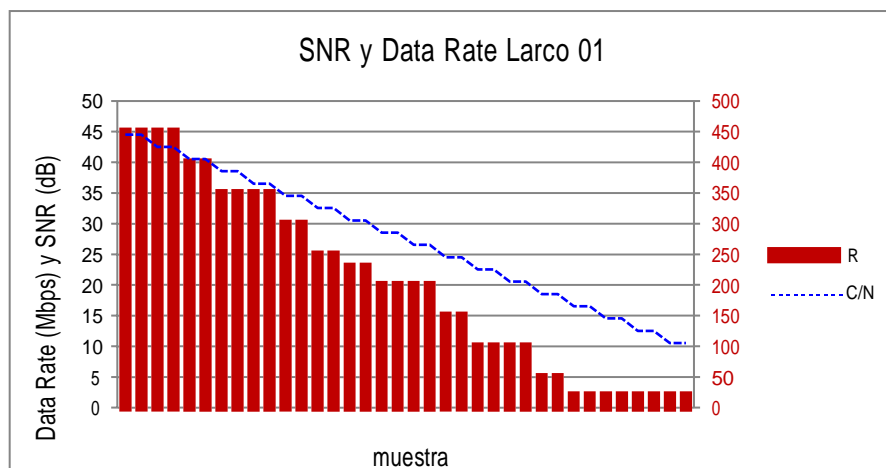


Figura 25: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 01.

7.6.6.2. Datos de desempeño estación co-ubicada Larco 02

Los niveles de interferencia total llegan a -103 dBm, lo cual es un nivel mayor al nivel de piso ruido, con los cual las condiciones de desempeño del enlace se dan de acuerdo a lo propuesto en la hoja técnica del fabricante.

Tabla 13: Se muestra el cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicado Larco 02.

Larco 02			Nº	Nrx	N _{ov}	V _{mar}	xn	alej	cn	alej	x	_snta_c	_snta_x	xaucos	cauces_x	It	N _{floor}	C/N	R
Nrx from		Ov. Marin	0	-44	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	52	500			
			1	-44	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	52	500			
Nrx	-43.54	dBm	2	-46	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	50	500			
N _{TH}	-87.00	dBm	3	-46	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	50	500			
f _{high}	14781	MHz	4	-48	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	48	500			
Pol	H		5	-48	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	48	500			
BER	10 ⁻⁶		6	-50	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	46	500			
Bandwidth	56	MHz	7	-50	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	46	500			
Rate	500	Mbps	8	-52	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	44	450			
	Adap. Modulation		9	-52	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	44	450			
			10	-54	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	42	450			
			11	-54	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	42	450			
Interferencia Recibida			12	-56	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	40	400			
I _{ov_mar_xpol}	-103.5	dBm	13	-56	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	40	400			
I _{sn_alej_cop}	-118.3	dBm	14	-58	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	38	350			
I _{sn_alej_xpol}	-145.6	dBm	15	-58	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	38	350			
I _{av_snta_cop}	-115.2	dBm	16	-60	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	36	350			
I _{av_snta_xpol}	-148.5	dBm	17	-60	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	36	350			
I _{saucos_cop}	-125.7	dBm	18	-62	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	34	300			
I _{saucos_xpol}	-165.2	dBm	19	-62	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	34	300			
			20	-64	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	32	250			
			21	-64	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	32	250			
			22	-66	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	30	230			
It	-103.09	dBm	23	-66	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	30	230			
			24	-68	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	28	200			
K	1.38E-23	J/°K	25	-68	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	28	200			
T	290.00	°K	26	-70	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	26	200			
B	5.60E+07	Hz	27	-70	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	26	200			
N _{floor}	2.24E-13	W	28	-72	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	24	150			
N _{floor}	2.24E-10	mW	29	-72	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	24	150			
N _{floor}	-96.50	dBm	30	-74	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	22	100			
			31	-74	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	22	100			
			32	-76	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	20	100			
			33	-76	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	20	100			
			34	-78	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	18	50			
			35	-78	-87	-104	-118	-146	-115	-149	-126	-165	-103	-96	18	50			

En la gráfica 26 se muestra que al generar una curva de descenso el nivel de señal recibida es menor al nivel de ruido umbral, nivel de piso de ruido y al nivel de interferencia, por lo tanto, se espera que la calidad del enlace no se degrade mucho.

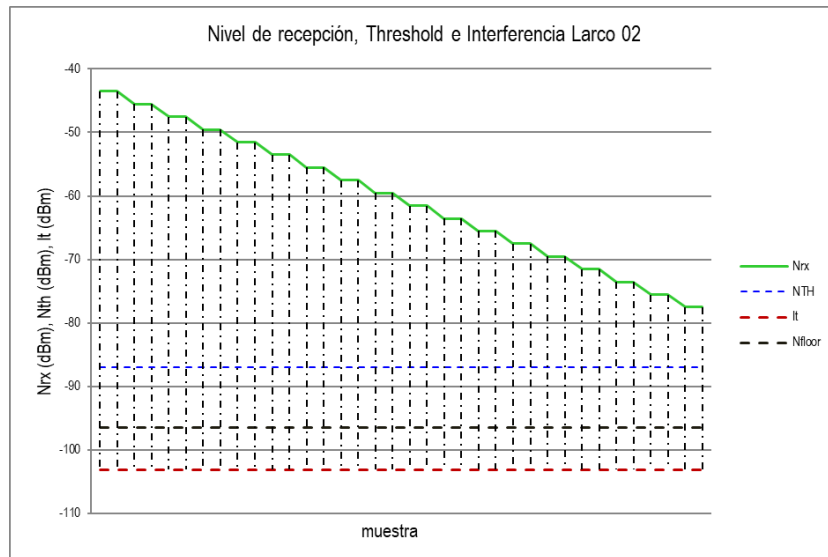


Figura 26: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 02.

En la siguiente grafica se muestran el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

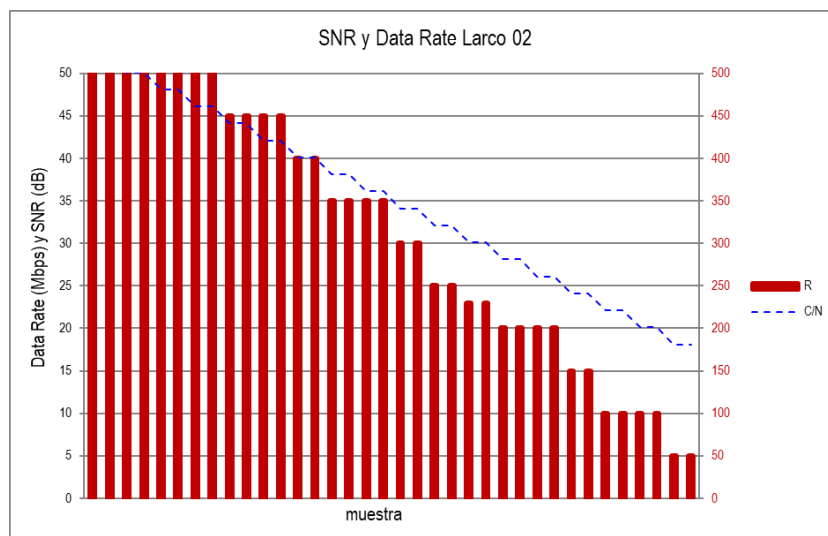


Figura 27: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 02.

7.6.6.3. Datos de desempeño estación co-ubicada Larco 03

Los niveles de interferencia total llegan a -107.87 dBm, lo cual es un nivel mayor al nivel de piso ruido, con los cual las condiciones de desempeño del enlace se dan de acuerdo a lo propuesto en la hoja técnica del fabricante.

Tabla 14: Resultados del cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicada Larco 03.

Larco 03			N°	Nrx	N _{rx}	v_snta_xn_alej_cn_alej_xv_mar_cv_mar_xauces_cauces_x	It	N _{floor}	C/N	R						
Nrx from		Av. Santa	0	-51	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	45	500
Nrx	-50.73	dBm	1	-51	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	45	500
N _{TH}	-87.00	dBm	2	-53	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	43	450
f _{high}	14781	MHz	3	-53	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	43	450
Pol	H		4	-55	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	41	400
BER	10 ⁻⁶		5	-55	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	41	400
Bandwidth	56	MHz	6	-57	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	39	350
Rate	500	Mbps	7	-57	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	39	350
Adap. Modulation			8	-59	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	37	350
			9	-59	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	37	350
			10	-61	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	35	300
			11	-61	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	35	300
Interferencia Recibida			12	-63	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	33	300
I _{av_snta_xpol}	-110.7	dBm	13	-63	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	33	300
I _{sn_alej_cop}	-116.4	dBm	14	-65	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	31	230
I _{sn_alej_xpol}	-130.6	dBm	15	-65	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	31	230
I _{ov_mar_cop}	-129.4	dBm	16	-67	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	29	200
I _{ov_mar_xpol}	-160.3	dBm	17	-67	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	29	200
I _{saucos_cop}	-112.7	dBm	18	-69	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	27	200
I _{saucos_xpol}	-146.0	dBm	19	-69	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	27	200
			20	-71	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	25	150
			21	-71	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	25	150
It	-107.87	dBm	22	-73	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	23	100
			23	-73	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	23	100
			24	-75	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	21	100
K	1.38E-23	J/°K	25	-75	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	21	100
T	290.00	°K	26	-77	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	19	50
B	5.60E+07	Hz	27	-77	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	19	50
N _{floor}	2.24E-13	W	28	-79	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	17	50
N _{floor}	2.24E-10	mW	29	-79	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	17	50
N _{floor}	-96.50	dBm	30	-81	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	15	20
			31	-81	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	15	20
			32	-83	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	13	20
			33	-83	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	13	20
			34	-85	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	11	20
			35	-85	-87	-111	-116	-131	-129	-160	-113	-146	-108	-96	11	20

En la gráfica 28 se muestra que al generar una curva de descenso el nivel de señal recibida es menor al nivel de ruido umbral, nivel de piso de ruido y al nivel de interferencia, por lo tanto, se espera que la calidad del enlace no se degrade mucho.

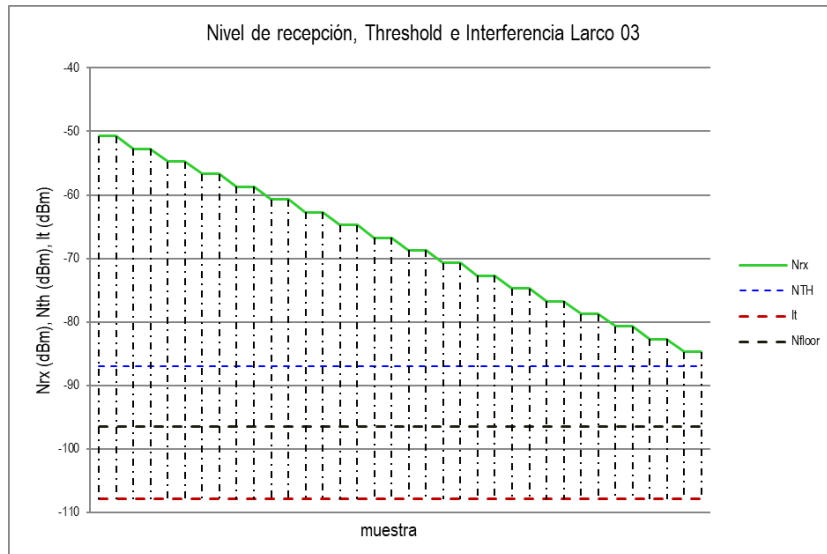


Figura 28: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 03.

En la siguiente grafica se muestran el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

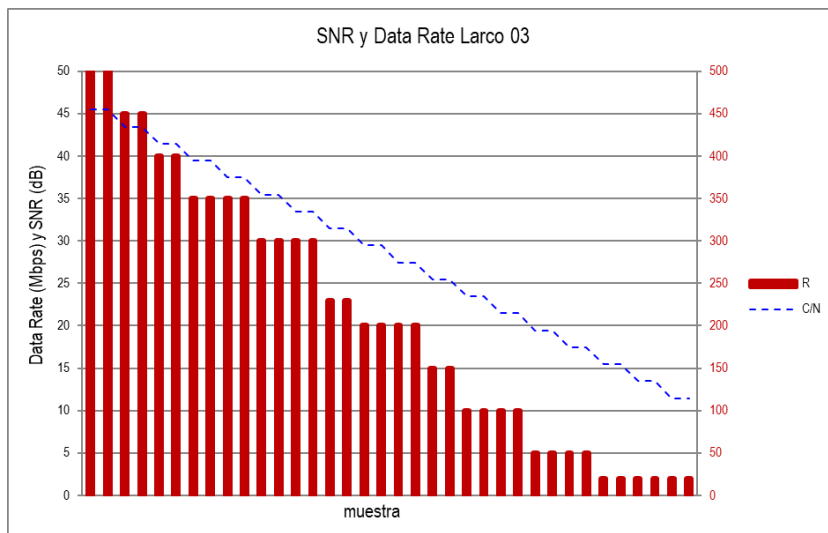


Figura 29: Se muestra el desempeño Data Rate vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 03.

7.6.6.4. Datos de desempeño estación co-ubicada Larco 04

Los niveles de interferencia total llegan a -102.75 dBm, lo cual es un nivel mayor al nivel de piso ruido, con los cual las condiciones de desempeño del enlace se dan de acuerdo a lo propuesto en la hoja técnica del fabricante.

Tabla 15: Se muestra el cálculo del desempeño y el comportamiento de las velocidades y el ruido SNR en estación co-ubicada Larco 04.

Larco 04			N°	Nrx	N _{ma}	sauc _{s_x}	n_alej_c	n_alej_x	v_mar_c	v_mar_x	_snta_c	_snta_x	It	N _{floor}	C/N	R
Nrx from	Los Sauc		0	-66	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	29	200
Nrx	-66.41	dBm	1	-66	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	29	200
N _{TH}	-87.00	dBm	2	-68	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	27	200
f _{high}	14781	MHz	3	-68	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	27	200
Pol	H		4	-70	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	25	150
BER	10 ⁶		5	-70	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	25	150
Bandwidth	56	MHz	6	-72	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	23	100
Rate	500	Mbps	7	-72	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	23	100
Adap. Modulation			8	-74	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	21	100
			9	-74	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	21	100
			10	-76	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	19	50
			11	-76	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	19	50
Interferencia Recibida			12	-78	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	17	50
I _{sauc_{s_x}pol}	-126.4	dBm	13	-78	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	17	50
I _{sn_alej_cop}	-119.5	dBm	14	-80	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	15	20
I _{sn_alej_xpol}	-145.8	dBm	15	-80	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	15	20
I _{ov_mar_cop}	-103.1	dBm	16	-82	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	13	20
I _{ov_mar_xpol}	-142.3	dBm	17	-82	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	13	20
I _{av_snta_cop}	-115.2	dBm	18	-84	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	11	20
I _{av_snta_xpol}	-148.6	dBm	19	-84	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	11	20
			20	-86	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	9	0
			21	-86	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	9	0
It	-102.75	dBm	22	-88	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	7	0
			23	-88	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	7	0
K	1.38E-23	J/°K	24	-90	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	5	0
T	290.00	°K	25	-90	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	5	0
B	5.60E+07	Hz	26	-92	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	3	0
N _{floor}	2.24E-13	W	27	-92	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	3	0
N _{floor}	2.24E-10	mW	28	-94	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	1	0
N _{floor}	-96.50	dBm	29	-94	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	1	0
			30	-96	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	-1	0
			31	-96	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	-1	0
			32	-98	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	-3	0
			33	-98	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	-3	0
			34	-100	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	-5	0
			35	-100	-87	-126	-120	-146	-103	-142	-115	-149	-103	-96	-5	0

En la gráfica 30 se muestra que, si a la señal recibida se le somete a una curva de descenso que simula un desvanecimiento, si la señal llega a decaer por debajo del nivel de piso ruido y del nivel de umbral, dado que el nivel de señal es un poco bajo, este enlace se degrada bastante.

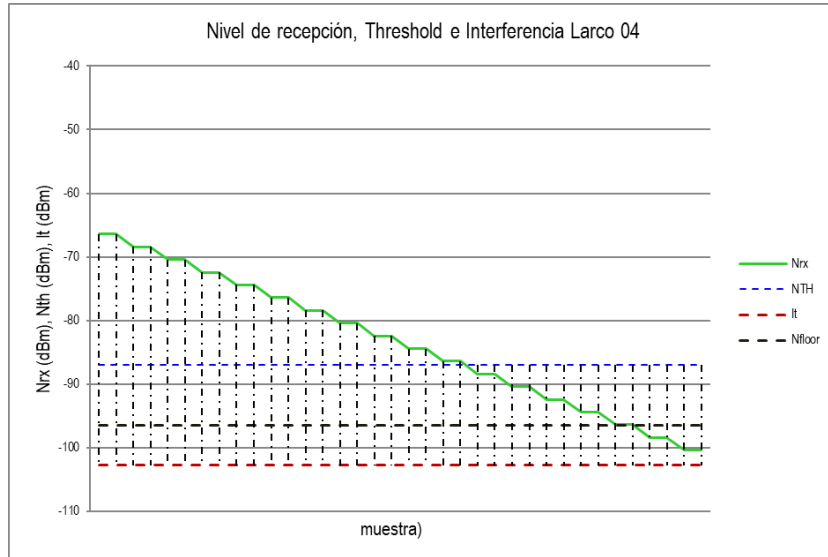


Figura 30: Se muestran los resultados de nivel de recepción, threshold e interferencia de sitio co-ubicado Larco 04.

En la siguiente grafica se muestran el nivel de desempeño de velocidades de datos obtenidas por el enlace respecto a la degradación del mismo.

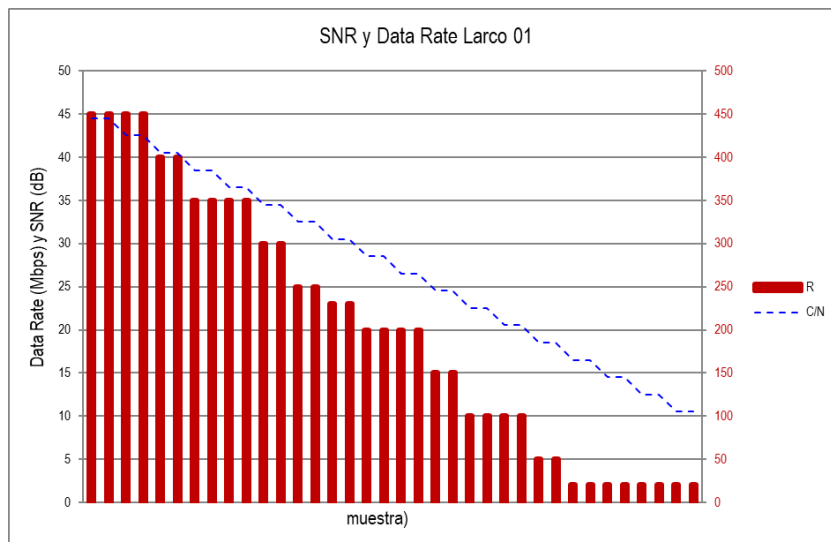


Figura 31: Se muestra el desempeño del Data Rate Vs el Ruido de sitio co-ubicado Larco 04.

8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

8.1. Análisis e interpretación de resultados.

En este apartado se presentan los resultados en base a la simulación de señales de prueba en donde se ve desvanecimiento progresivo o desvanecimiento lento degradando la señal recibida y la calidad señal ruido SNR.

En la tabla se puede visualizar los siguientes parámetros: recepción de señal mínimo y máximo, rate mínimo y máximo, la señal ruido mínimo y máximo y así como también la interferencia máxima de los 8 enlaces.

Tiendo como resultado final 3 enlaces degradados los cuales San Alejandro la cual presenta una interferencia de -80 dBm lo cual es mayor al nivel de piso de ruido (N_{floor}).

Como segundo enlace esta Los Sauces con un nivel de interferencia de -77 dBm lo cual es mayor al nivel piso de ruido (N_{floor}).

Finalmente tenemos al enlace Larco 04 con un nivel de interferencia de -103 dBm lo cual es menor al nivel de piso de ruido (N_{floor}), pero debido a que el enlace tiene un nivel de señal recibida muy bajo estando en los -66 dBm se degradaría considerablemente.

Cabe destacar que, para estos 3 enlaces, los niveles de velocidad de datos o rate (R) son menores al someterse a una curva de descenso de señal de 34 dB que simula un desvanecimiento progresivo.

Tabla 16: Comparativa de performance entre los 8 enlaces.

NEAR ENDS	FAR ENDS	Nrx max	Nrx min	Rate max	Rate min	SNR max	SNR min	Interferencia max
Larco 01	San Alejandro	-52.0	-86.0	450	20	30	11	-107.0
Larco 02	Ov. La Marina	-44.0	-78.0	500	50	52	18	-103.0
Larco 03	Av. Santa	-51.0	-85.0	500	20	45	11	-108.0
Larco 04	Los Sauces	-66.0	-100.0	200	0	29	-5	-103.0
San Alejandro	Larco 01	-50.0	-84.0	230	0	30	-4	-80.0
Ov. La Marina	Larco 02	-49.0	-83.0	500	20	48	14	-106.0
Av. Santa	Larco 03	-51.0	-85.0	450	0	44	10	-100.0
Los Sauces	Larco 04	-50.0	-84.0	200	0	27	-7	-77.0

En la Figura 32 se muestra los 3 enlaces más afectados y degradados con referencia al nivel de interferencia y el nivel de señal recibida. El color azul se ha asignado para los emplazamientos co-ubicados, y rojo para los remotos.

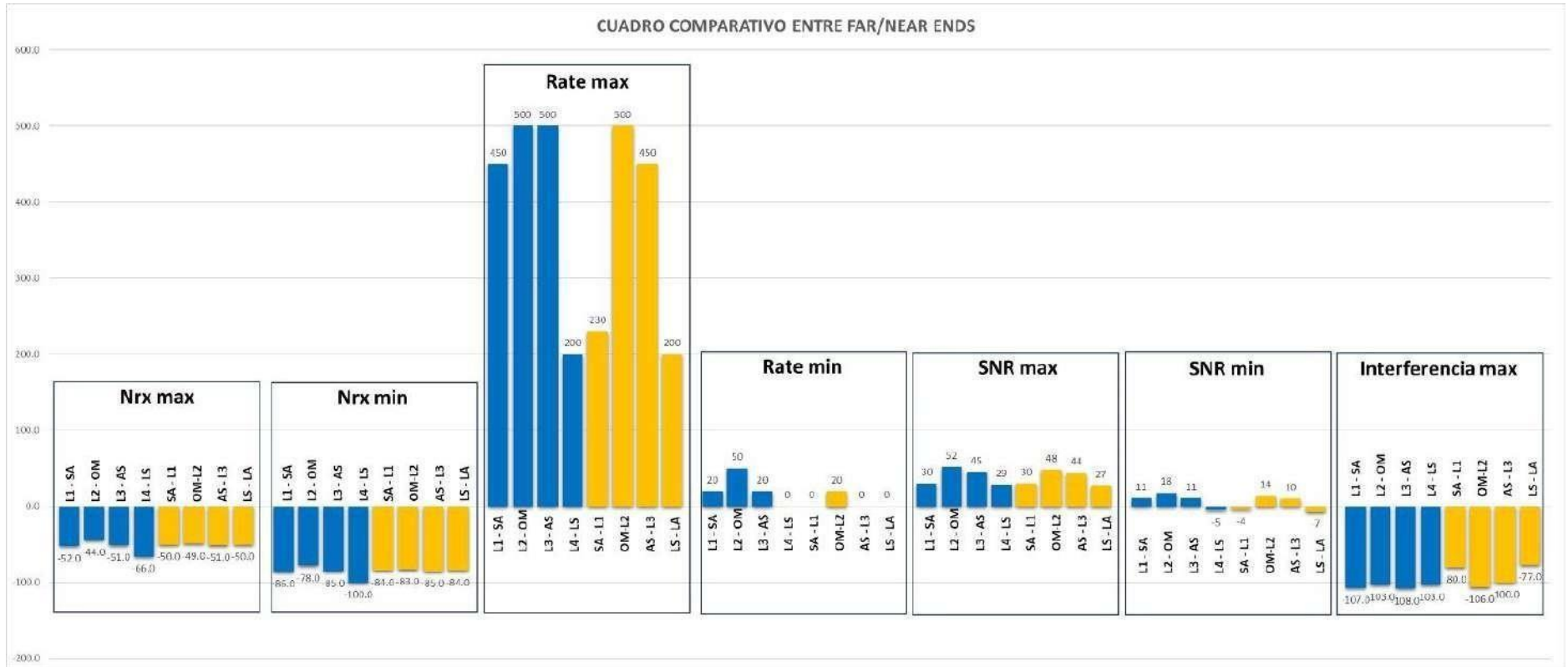


Figura 32: comparativa entre sitios NEAR END Vs FARD END

8.2. Docimasia de hipótesis

Conforme los resultados presentados, se tiene a las estaciones de San Alejandro y Los Sauces y la estación co-ubicada Larco 04 que presentan mayor degradación por interferencia, cuyos enlaces presentan el menor parámetro de calidad señal – ruido SNR.

Los enlaces que presentan una degradación notable al someterse a esta prueba de desvanecimiento, siendo identificada en 3 de los 8 enlaces que pertenecen a esta nodal.

Por lo cual el 37% de los enlaces han sufrido un desvanecimiento notable lo cual concuerda con la hipótesis en la cual se indica que del 20%; por lo cual los autores consideran la validez de la hipótesis planteada.

9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- Los parámetros técnicos empleados, han tomado como base un reporte de implementación que permite tener una referencia de las características técnicas de equipos comerciales utilizados por operadores locales en la banda de frecuencia de 15GHz. Los equipos utilizados son de modulación adaptativa (AM), dentro de lo cual, uno de los principales parámetros que hay que configurar adecuadamente corresponde a los niveles de umbral y los niveles de señal ruido en los que se cambia de orden de modulación para mantener una velocidad de transmisión de datos. Otro parámetro importante corresponde a la inclusión de los patrones de radiación y discriminación co-polar y Cross polar de las antenas directivas microondas, ya que esto permite estimar la interferencia co-canal interna producida por la misma de red de radioenlaces. En tal sentido existe coincidencia Urteaga y Sánchez (2021) respecto del uso de parámetros técnicos típicos de equipos usados en operadores.
- Respecto a los ajustes y parámetros complementarios se puede resaltar la calibración del algoritmo Longley Rice, para acercarse a los valores referenciales de un reporte de implementación. En tal sentido parámetros tales como como perdidas adicionales por propagación, pérdidas internas en los sistemas de radiofrecuencia, y reajuste de parámetros nativos de variabilidad de señal fueron considerados para acercar los valores simulados al reporte de implementación. Cabe destacar las limitaciones de la cartografía, lo cual originó que la propagación se calcule con la predominancia del terreno con enlaces de corta distancia y una baja resolución de cluttering. En tal sentido el cambio de refractividad superficial no generó variación notable de señal o interferencia; es así que se tienen resultados distintos a los obtenidos por Urteaga y Sánchez (2021), respecto de la variabilidad de señal con la refractividad.

- Los principales parámetros de desempeño que se han evaluado corresponden al nivel de señal, interferencia, Bitrate y SNR. Tanto en los sitios remotos como en los sitios co-ubicados se generan interferencias co-polares y cross-polares, evaluándose las interferencias totales. El aislamiento por polarización es una de las técnicas que se han empleado en esta red nodal para ser el aislamiento, pero mayormente hay 3 enlaces que comparten la misma polarización y que tienen discriminación por ángulo de des apuntamiento. En tal caso la mayor interferencia que se ha podido identificar corresponde a enlaces que difieren en polarización en el enlace de San Alejandro y Los Sauces.
- Para estimar el impacto de interferencia sobre los parámetros de desempeño, cada enlace fue sometido a un desvanecimiento lento y progresivo de aproximadamente 40 dB. Esto afectó al parámetro de data rate o velocidad de datos (R), y señal ruido (SNR) obtenida del enlace. Las estaciones San Alejandro y Los Sauces fueron las más afectadas dado que tienen un nivel de señal bajo y una interferencia bastante alta. En el caso de la estación Larco 04 se degrada debido al bajo nivel de señal y a la alta interferencia que recibe. En ese caso la recomendación para poder mejorar el diseño podría estar en el marco de poder incrementar el nivel de señal con antenas de mayor ganancia y directiva como también aumentar la potencia de transmisión o también buscar cambiar de polarización para mejorar el aislamiento entre los enlaces con mayor interferencia.

10. CONCLUSIONES

- Los parámetros técnicos empleados para simulación de interferencias, han tomado como referencias características de equipos que son de uso típico en los operadores locales, tomando como referencia hojas técnicas de reportes de implementaciones, con ello se pueden caracterizar de equipos que puedan ser cercanas a lo que se implementó en la realidad.
- Los ajustes y parámetros complementarios tienen que ver con los ajustes de modulación y refractividad superficial. Para el caso de modulación adaptativa se los umbrales generados a partir de las curvas de comportamiento para un BER 10^{-6} . A partir de los resultados de señal, ruido e interferencia, se puede proyectar la velocidad de datos y el umbral para el cambio de orden de modulación.
- Los parámetros de desempeño de la nodal están relacionados desempeño de los enlaces que componen dicha nodal, evaluados en base a los parámetros de señal recibida, relación señal ruido, velocidad de datos obtenida en diferentes esquemas de modulación. Las estaciones con mayor nivel de interferencia y el nivel más bajo de señal obtenidas son San Alejandro. Los Sauces y Larco 04.
- El impacto de las interferencias incide directamente sobre la calidad señal ruido degradando la velocidad efectiva de comunicación del enlace, en las pruebas de simulación los enlaces han sometidos a un esquema de desvanecimiento lento progresivo de 30 a 35 decibelios los enlaces de San Alejandro, Los Sauces y Larco 04 son los más afectados y serían los principales enlaces con requerimiento de un rediseño.

11. RECOMENDACIONES

- Como ampliación del presente trabajo, se podría recomendar evaluar otros esquemas de aislamientos de interferencias como podrían ser una nueva distribución de las polarizaciones en los diferentes enlaces, procurando aislar la interferencia por discriminación de polarización, para ello se requeriría que las antenas a emplear tengan un alto nivel de discriminación cross polar.
- Del mismo modo se recomienda evaluar diversos canales de frecuencias en toda la banda para poder determinar posibles desvanecimientos selectivos, lo cual podría ser otro reto técnico a resolver a parte de las interferencias.
- El cluttering es la data de edificios, vegetación y diferentes infraestructuras que forman parte del paisaje que recorre la señal en cada uno de los enlaces. Eso con el modelo de Longley Rice que utiliza Radio Mobile puede ser complementado de una mejor forma para tener una característica más realista de las posibilidades de cambio de señal con la refractividad superficial.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Manning T. (2009). Microwave Radio Transmission Design Guide (2a ed.). Canton Street Norwood Massachusetts, United States of America: Artech House.

Osiptel. (2020). Las redes de transporte de fibra óptica, microondas y satelital y su rol para promover la expansión de la cobertura de los servicios públicos de telecomunicaciones: Reporte y mapas de cobertura. Recuperado el 2020 de:
<https://repositorio.osiptel.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12630/745/49%20DT%20Reporte%20y%20Mapas%20de%20cobertura%20Redes%20de%20Tx%20Fibra%20%20MW%20y%20Satelital.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kangrui Lin. (2021). Microwave Backhaul Pivotal for 5G as Microwave Backhaul Links Grow to 9 Million by 2026. Recuperado el 13/04/2021 de:
<https://www.abiresearch.com/press/microwave-backhaul-pivotal-5g-microwave-backhaul-links-grow-9-million-2026/>

Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (2021). Recomendación UIT-R P.452-17 (09/2021). Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,1 GHz. Recuperado el 09/2021 de:
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.452-17-202109-I!!PDF-S.pdf

Urteaga, F. & Sánchez, R. (2020). Identificación de factores climáticos asociados al aumento de interferencia co-canal entre emplazamientos de interconexión microondas en la ciudad de Cajamarca, mediante simulaciones de radio propagación. Tesis Pregrado. Trujillo, Perú. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego.

Del Rosario, C. (2019) Identificación de factores climáticos asociados a la degradación de señal recibida, en un segmento de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos, en base a la recomendación ITU-R P.453. Tesis Pregrado. Trujillo, Perú. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego. En base a la recomendación ITU-R P.453. Tesis Pregrado. Trujillo, Perú. Escuela de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego.

Volkan, Ozduran (2020). An Investigation of Co-channel Interference Effects on One-Way Half/Full-Duplex Relaying Network. 2020 IEEE Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications (MTTW).

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9245056>

Martínez Palomo, L. (2021). Reconfiguración de un radioenlace por la liberación de la banda de 26 GHz para la tecnología 5G.

Investigación de Grado. Gandía, España. Universidad Politécnica de Valencia

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/172106/Martinez%20%20Reconfiguracion%20de%20un%20radioenlace%20por%20la%20liberacion%20de%20la%20banda%20de%2026%20GHz%20para%20la%20tecn... pdf?sequence=3>

Shazia Abbasi, Imdad Ali, I. & Fahim Yar K. (2015). An Effective Channel Allocation Scheme to Reduce Co-Channel and Adjacent Channel Interference for WMN Backhaul. Mehran University Research Journal of Engineering & Technology, Volume 35, No. 4.

<https://pdfs.semanticscholar.org/453f/5778e083915310c971b9f224bb51ef69442c.pdf>

Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (2017). Recomendación UIT-R P.453-13 (12/2017) Índice de refracción radioeléctrica: su fórmula y datos sobre la refractividad, Serie P, Propagación de las ondas radioeléctricas. Recuperado el 12/2018 de:

<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.453-13-201712-I/es>.

Recomendación UIT-R F.636-5 (11/2019) Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda 14,4-15,35 GHz.

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.636-5-201911-!!!PDF-S.pdf

Plan nacional de atribución de frecuencias PNAF.

https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf

ANEXOS

ANEXO I: TABLAS DE INTERFERENCIAS CO-CANAL SITE REMOTOS

Tabla 01: Tabla interferencias co-canal internas San Alejandro

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	EBC San Alejandro	larco_01 xpol	larco_02 cop	larco_02 xpol	larco_03 cop	larco_03 xpol	larco_04 cop	larco_04 xpol	
300	-49.9	-109.9	-145.0	-118.8	-129.9	-115.3	-80.3		
310	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-129.9	-115.3	-80.3		
320	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-129.9	-115.3			
330	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-130.0	-			
340	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9	-130.0				
350	-49.9	-109.9	-145.0	-118.9					
360	-50.0	-110.0	-145.1	-11					
370	-50.0	-110.0	-145.1						
380	-50.0	-110.0							
390	-50.0	-110.							
400	-50.1								
promedio (dBm)	-50.0								

Tabla 02: Tabla interferencias co-canal internas Ov. La Marina

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	EBC Ov. La Marina	larco_02 xpol	larco_01 cop	larco_01 xpol	larco_03 cop	larco_03 xpol	larco_04 cop	larco_04 xpol	Total
300	-48.0	-108.0	-143.1	-117.0	-114.6	-146.8	-113.1	-147.0	-105.8
310	-48.1	-108.1	-143.2	-117.0	-114.7	-146.9	-113.1	-147.0	-105.9
320	-48.2	-108.2	-143.2	-117.1	-114.7	-146.9	-113.2	-147.1	-106.0
330	-48.2	-108.2	-143.3	-117.2	-114.8	-147.0	-113.3	-147.2	-106.0
340	-48.3	-108.3	-143.4	-117.3	-114.9	-147.1	-113.4	-147.3	-106.1
350	-48.5	-108.5	-143.5	-117.4	-114.9	-147.2	-113.5	-147.4	-106.3
360	-48.6	-108.6	-143.7	-117.6	-115.0	-147.4	-113.7	-147.6	-106.4
370	-48.7	-108.7	-143.8	-117.7	-115.1	-147.5	-113.8	-147.7	-106.5
380	-48.8	-108.8	-143.9	-117.8	-115.2	-147.6	-113.9	-147.8	-106.6
390	-49.0	-109.0	-144.1	-118.0	-115.3	-147.8	-114.1	-148.0	-106.8
400	-49.1	-109.1	-144.2	-118.1	-115.4	-147.9	-114.2	-148.1	-106.9
promedio (dBm)	-48.5	-108.5	-143.6	-117.5	-115.0	-147.3	-113.6	-147.5	-106.3

<i>larco_02 (HH)</i>	<i>larco_02 (HV)</i>	<i>larco_01 (VV)</i>	<i>larco_01 (VH)</i>	<i>larco_03 (HH)</i>	<i>larco_03 (HV)</i>	<i>larco_04 (HH)</i>	<i>larco_04 (HV)</i>
<i>ov_marina (HH)</i>	<i>ov_marina (HV)</i>	<i>ov_marina (HV)</i>	<i>ov_marina (HH)</i>	<i>ov_marina (HH)</i>	<i>ov_marina (HV)</i>	<i>ov_marina (HH)</i>	<i>ov_marina (HV)</i>

Tabla 03: Tabla interferencias co-canal internas Av. Santa

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	SNR crit (dB)
	EBC Av. Santa	larco_03 xpol	larco_01 cop	larco_01 xpol	larco_02 cop	larco_02 xpol	larco_04 cop	larco_04 xpol	Total	
300	-51.3	-111.3	-128.8	-113.3	-116.8	-150.2	-101.1	-146.9	-100.4	13.4
310	-51.4	-111.4	-128.8	-113.3	-116.8	-150.2	-101.2	-146.9	-100.5	13.5
320	-51.4	-111.4	-128.8	-113.3	-116.9	-150.2	-101.2	-146.9	-100.5	13.5
330	-51.4	-111.4	-128.8	-113.3	-116.9	-150.2	-101.2	-146.9	-100.5	13.5
340	-51.4	-111.4	-128.9	-113.3	-116.9	-150.2	-101.2	-146.9	-100.5	13.5
350	-51.4	-111.4	-128.9	-113.4	-116.9	-150.2	-101.2	-147.0	-100.5	13.5
360	-51.4	-111.4	-128.9	-113.4	-116.9	-150.3	-101.2	-147.0	-100.5	13.5
370	-51.5	-111.5	-128.9	-113.4	-116.9	-150.3	-101.2	-147.0	-100.5	13.5
380	-51.5	-111.5	-128.9	-113.4	-117.0	-150.3	-101.3	-147.0	-100.6	13.6
390	-51.5	-111.5	-128.9	-113.4	-117.0	-150.3	-101.3	-147.0	-100.6	13.6
400	-51.5	-111.5	-129.0	-113.4	-117.0	-150.3	-101.3	-147.0	-100.6	13.6
promedio (dBm)	-51.4	-111.4	-128.9	-113.4	-116.9	-150.2	-101.2	-147.0	-100.5	13.5

<i>larco_03 (HH)</i>	<i>larco_03 (HV)</i>	<i>larco_01 (VV)</i>	<i>larco_01 (VH)</i>	<i>larco_02 (HH)</i>	<i>larco_02 (HV)</i>	<i>larco_04 (HH)</i>	<i>larco_04 (HV)</i>
<i>av_santa (HH)</i>	<i>av_santa (HV)</i>	<i>av_santa (HV)</i>	<i>av_santa (HH)</i>	<i>av_santa (HH)</i>	<i>av_santa (HV)</i>	<i>av_santa (HH)</i>	<i>av_santa (HV)</i>

Tabla 04: Tabla interferencias co-canal internas Los Sauces

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	EBC Los Sauces	larco_04 xpol	larco_01 cop	larco_01 xpol	larco_02 cop	larco_02 xpol	larco_03 cop	larco_03 xpol	Total
300	-50.8	-110.8	-80.9	-80.8	-115.9	-149.8	-112.2	-146.3	-77.8
310	-50.7	-110.7	-80.8	-80.7	-115.7	-149.6	-112.2	-146.1	-77.7
320	-50.5	-110.5	-80.7	-80.5	-115.6	-149.5	-112.1	-146.0	-77.6
330	-50.4	-110.4	-80.5	-80.4	-115.5	-149.4	-112.1	-145.9	-77.4
340	-50.2	-110.2	-80.4	-80.2	-115.3	-149.2	-112.1	-145.7	-77.3
350	-50.1	-110.1	-80.2	-80.1	-115.2	-149.1	-112.0	-145.6	-77.1
360	-49.9	-109.9	-80.1	-79.9	-115.0	-148.9	-112.0	-145.4	-77.0
370	-49.8	-109.8	-79.9	-79.8	-114.9	-148.8	-112.0	-145.2	-76.8
380	-49.6	-109.6	-79.8	-79.6	-114.7	-148.6	-112.0	-145.1	-76.7
390	-49.4	-109.4	-79.6	-79.4	-114.5	-148.4	-111.9	-144.9	-76.5
400	-49.3	-109.3	-79.4	-79.3	-114.4	-148.2	-111.9	-144.7	-76.3
promedio (dBm)	-50.1	-110.1	-80.2	-80.1	-115.2	-149.0	-112.0	-145.5	-77.1

<i>larco_04 (HH)</i>	<i>larco_04 (HV)</i>	<i>larco_01 (VV)</i>	<i>larco_01 (VH)</i>	<i>larco_02 (HH)</i>	<i>larco_02 (HV)</i>	<i>larco_03 (HH)</i>	<i>larco_03 (HV)</i>
<i>sauces (HH)</i>	<i>sauces (HV)</i>	<i>sauces (HV)</i>	<i>sauces (HH)</i>	<i>sauces (HH)</i>	<i>sauces (HV)</i>	<i>sauces (HH)</i>	<i>sauces (HV)</i>

ANEXO II: TABLAS DE INTERFERENCIAS CO-CANAL SITE CO-UBICADOS

Tabla 05: Tabla interferencias co-canal internas Larco 01

Tabla 06: Tabla interferencias co-canal internas Larco 02

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	larco 02	ov_mar_xpol	sn alej_cop	sn alej_xpol	av_snta_cop	av_snta_xpol	saucos_cop	saucos_xpol	Total
300	-43.5	-103.5	-119.5	-145.5	-115.2	-148.5	-136.7	-176.3	-103.1
310	-43.5	-103.5	-119.5	-145.5	-115.2	-148.5	-132.9	-172.5	-103.1
320	-43.5	-103.5	-119.5	-145.5	-115.2	-148.5	-130.2	-169.7	-103.1
330	-43.5	-103.5	-119.6	-145.6	-115.2	-148.5	-128.0	-167.5	-103.1
340	-43.5	-103.5	-119.6	-145.6	-115.2	-148.5	-126.1	-165.7	-103.1
350	-43.5	-103.5	-119.6	-145.6	-115.2	-148.5	-124.5	-164.1	-103.1
360	-43.5	-103.5	-119.7	-145.7	-115.2	-148.5	-123.1	-162.7	-103.1
370	-43.6	-103.6	-114.7	-145.7	-115.2	-148.5	-121.8	-161.4	-102.9
380	-43.6	-103.6	-114.8	-145.8	-115.2	-148.5	-120.7	-160.2	-102.9
390	-43.6	-103.6	-114.8	-145.8	-115.2	-148.5	-119.6	-159.1	-102.9
400	-43.6	-103.6	-119.9	-145.8	-115.2	-148.5	-118.6	-158.1	-103.1
promedio (dBm)	-43.5	-103.5	-118.3	-145.6	-115.2	-148.5	-125.7	-165.2	-103.1

<i>ov_marina (HH)</i>	<i>ov_marina (HV)</i>	<i>sn_alejand (VV)</i>	<i>sn_alejand (VH)</i>	<i>av_santa (HH)</i>	<i>av_santa (HV)</i>	<i>saucos (HH)</i>	<i>saucos (HV)</i>
<i>larco_02 (HH)</i>	<i>larco_02 (HV)</i>	<i>larco_02 (HV)</i>	<i>larco_02 (HH)</i>	<i>larco_02 (HH)</i>	<i>larco_02 (HV)</i>	<i>larco_02 (HH)</i>	<i>larco_02 (HV)</i>

Tabla 07: Tabla interferencias co-canal internas Larco 03

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	larco 03	av_santa_xpol	sn_alej_cop	sn_alej_xpol	ov_marina_cop	ov_marina_xpol	saucos_cop	saucos_xpol	Total
300	-50.6	-110.6	-116.5	-130.6	-130.1	-161.0	-113.0	-146.4	-107.9
310	-50.6	-110.6	-116.5	-130.6	-130.2	-161.2	-113.0	-146.3	-107.9
320	-50.7	-110.7	-116.5	-130.6	-130.3	-161.2	-112.9	-146.2	-107.9
330	-50.7	-110.7	-116.5	-130.6	-130.2	-161.2	-112.8	-146.1	-107.9
340	-50.7	-110.7	-116.4	-130.6	-130.1	-161.1	-112.8	-146.1	-107.9
350	-50.7	-110.7	-116.4	-130.6	-129.9	-160.8	-112.7	-146.0	-107.9
360	-50.7	-110.7	-116.4	-130.6	-129.5	-160.5	-112.6	-145.9	-107.8
370	-50.8	-110.8	-116.4	-130.6	-129.0	-160.0	-112.5	-145.9	-107.8
380	-50.8	-110.8	-116.4	-130.5	-128.5	-159.4	-112.5	-145.8	-107.8
390	-50.8	-110.8	-116.4	-130.5	-127.9	-158.8	-112.4	-145.7	-107.8
400	-50.9	-110.9	-116.3	-130.5	-127.2	-158.1	-112.4	-145.7	-107.8
promedio (dBm)	-50.7	-110.7	-116.4	-130.6	-129.4	-160.3	-112.7	-146.0	-107.9

<i>av_santa (HH)</i>	<i>av_santa (HV)</i>	<i>sn_alejand (VV)</i>	<i>sn_alejand (VH)</i>	<i>ov_marina (HH)</i>	<i>ov_marina (HV)</i>	<i>saucos (HH)</i>	<i>saucos (HV)</i>
<i>larco_03 (HH)</i>	<i>larco_03 (HV)</i>	<i>larco_03 (HV)</i>	<i>larco_03 (HH)</i>	<i>larco_03 (HH)</i>	<i>larco_03 (HV)</i>	<i>larco_03 (HH)</i>	<i>larco_03 (HV)</i>

Tabla 08: Tabla interferencias co-canal internas Larco 04

Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	larco 04	saucos_xpol	sn alej_cop	sn alej_xpol	ov_marina_cop	ov_marina_xpol	av_santa_cop	av_santa_xp	
300	-77.5	-137.5	-119.3	-145.6	-103.1	-142.2	-115.2		
310	-73.7	-133.7	-119.4	-145.7	-103.1	-142.2	-1		
320	-70.9	-130.9	-119.4	-145.7	-103.1	-142.2			
330	-68.7	-128.7	-119.4	-145.7	-103.1				
340	-66.9	-126.9	-119.5	-145.8	-103				
350	-65.3	-125.3	-119.5	-145.8					
360	-63.9	-123.9	-119.5	-					
370	-62.6	-122.6	-119.6						
380	-61.4	-121.4							
390	-60.3	-1							
400	-59.3								
promedio (dBm)	-								