

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS AL AUMENTO DE INTERFERENCIA COCANAL ENTRE EMPLAZAMIENTOS DE INTERCONEXIÓN MICROONDAS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA, MEDIANTE SIMULACIONES DE RADIOPROPAGACIÓN”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN

**AUTORES** : URTEAGA LEÓN, FLAVIO CÉSAR  
SÁNCHEZ ABANTO, VÍCTOR RAFAEL

**ASESOR** : CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER

TRUJILLO - PERÚ

2020

Fecha de Sustentación: 28/08/20

## ACREDITACIONES

### “IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS AL AUMENTO DE INTERFERENCIA COCANAL ENTRE EMPLAZAMIENTOS DE INTERCONEXIÓN MICROONDAS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA, MEDIANTE SIMULACIONES DE RADIOPROPAGACIÓN”

Elaborado por:



Br. Flavio César Urteaga León



Br. Víctor Rafael Sánchez Abanto

Aprobado por:



Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ  
PRESIDENTE  
CIP N° 97916



Ing. LUIS E. ALVARADO RODRÍGUEZ  
SECRETARIO  
CIP N° 149200



Ing. ALEJANDRO M. LEÓN CERNA  
VOCAL  
CIP N° 177967



Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ  
ASESOR  
CIP N° 80252

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS AL AUMENTO DE INTERFERENCIA COCANAL ENTRE EMPLAZAMIENTOS DE INTERCONEXIÓN MICROONDAS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA, MEDIANTE SIMULACIONES DE RADIOPROPAGACIÓN”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ANTENAS Y PROPAGACIÓN

**AUTORES** : URTEAGA LEÓN, FLAVIO CÉSAR  
SÁNCHEZ ABANTO, VÍCTOR RAFAEL

**ASESOR** : CERNA SÁNCHEZ EDUARDO ELMER

TRUJILLO - PERÚ

2020

**Fecha de Sustentación: 28/08/20**

## DEDICATORIA

*A mis padres Romeo Urteaga Espino y Jessica León Mendoza que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un buen profesional.*

*A mi hija Rafaela y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.*

*Flavio César.*

*A mis padres y hermanas por ser parte fundamental de todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo y cariño, todo lo que he logrado y lograre será siempre gracias a ellos.*

*Víctor Rafael.*

## **AGRADECIMIENTO**

Este trabajo de tesis realizado en la Universidad Privada Antenor Orrego refleja nuestro crecimiento como profesionales egresados de la Escuela de Ingeniería Electrónica, el cual se espera pueda aportar como conocimiento para futuras investigaciones.

Nuestra gratitud al asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por haber confiado en este trabajo, por su valiosa dirección en la culminación de esta tesis, y también por guiarnos como docente a lo largo de una exigente carrera universitaria.

También agradecer a todas las personas que, de alguna u otra manera, han sido claves en nuestra formación profesional, tales como los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende un estudio sobre identificación de incrementos de interferencias en valores específicos de refractividad superficial mediante simulaciones realizadas en emplazamientos de interconexión microondas de la ciudad de Cajamarca. Para ello se tomó como referencia uno de los emplazamientos principales de dicha región, denominado Agopití, en donde se generaron 8 enlaces de interconexión hacia 8 centros poblados. El análisis de radiopropagación e interferencias se realizó en un canal de la banda de 7 GHz para las 16 estaciones resultantes, considerando una canalización de ida y vuelta de 56 MHz de ancho de banda bajo la misma polarización. Los resultados mostraron un alto nivel de interferencia entre 03 estaciones coubicadas en Agopití y 03 estaciones ubicadas en emplazamientos remotos en la zona Nor Oeste de Cajamarca en todos los valores de refractividad. Al mismo tiempo se identificaron a las estaciones Matará y La Grama, como aquellas en donde la interferencia proveniente desde Agopití obtiene los mayores incrementos para valores específicos de refractividad superficial.

Para la selección de los valores mas representativos relacionados al incremento de interferencia en las estaciones Matará y La Grama, se empleó el criterio de Pareto. Se identificaron 03 valores de refractividad de los cuales el mayor número de reportes de incrementos de interferencia se dieron en  $N_s = 250$  Nunits. Considerando las recomendaciones ITU-R P.453, se identificaron los valores de temperatura entre 10°C y 20°C, con humedad relativa desde 90% a 50%, como las condiciones climáticas asociadas al incremento de interferencia en las estaciones Matará y La Grama.

## **ABSTRACT**

The present research focuses on the identification of interference increases in specific values of surface refractivity through simulations carried out in microwave interconnection sites in the city of Cajamarca. For this, one of the main sites called Agopití, was taken as a reference, where 8 interconnection links were generated from Agopiti to 8 far locations. Radiopropagation and interference analysis was performed on a 7 GHz band channel for the 16 resulting stations, considering a 56 MHz bandwidth round trip copolarized channeling. The results showed a high level of interference between 03 stations co-located in Agopití and 03 stations located in remote locations in the North West of Cajamarca in all refractivity values. At the same time, the Matara and La Grama stations were identified as those where the interference from Agopití obtained the highest increases for specific values of surface refractivity.

For the selection of the most representative values related to the increase in interference in the Matara and La Grama stations, the Pareto criterion was used. Three refractivity values were identified, of which the highest number of reports of interference increases occurred at  $N_s = 250$  Nunits. Considering the ITU-R P.453 recommendations, the temperature values between 10 °C and 20 °C were identified, with relative humidity from 90% to 50%, as the climatic conditions associated with the increase in interference at the Matara and La Grama stations.

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS ASOCIADOS AL AUMENTO DE INTERFERENCIA COCANAL ENTRE EMPLAZAMIENTOS DE INTERCONEXIÓN MICROONDAS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA, MEDIANTE SIMULACIONES DE RADIOPROPAGACIÓN”**.

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

Trujillo, agosto del 2020

Br. Flavio César Urteaga León

Br. Víctor Rafael Sánchez Abanto



## ÍNDICE

ACREDITACIONES.....	i
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	viii
PRESENTACIÓN.....	ix
INDICE.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de Investigación.....	1
a. Descripción de la realidad problemática.....	1
b. Descripción del problema.....	2
c. Formulación del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	3
a. General.....	3
b. Específicos.....	3
1.3. Justificación del estudio.....	4
a. Importancia de la investigación.....	4
b. Viabilidad de la investigación.....	4
c. Alcances y Limitaciones.....	4
II. MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1. Antecedentes del estudio.....	5
2.2. Marco Teórico.....	6
2.3. Marco Conceptual.....	17
2.4. Hipótesis.....	18
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	23
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	22

3.2. Población y muestra de estudio.....	22
3.3. Diseño de Investigación.....	23
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	24
3.5. Análisis y Procesamiento de datos.....	35
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	63
4.1. Análisis e interpretación de resultados.....	63
4.2. Docimasia de hipótesis.....	70
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	71
VI. CONCLUSIONES.....	75
VII. RECOMENDACIONES.....	76
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	77
ANEXO I.....	79
ANEXO II.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Aplicación de PDH y SDH microondas en red móvil celular .....	8
<b>Figura 2.2.</b> Funcionalidades de transmisión “packet microwave” .....	9
<b>Figura 2.3.</b> Bandas empleadas en el despliegue de redes microondas .....	10
<b>Figura 2.4.</b> Esquema de Plan de frecuencias según ITU-R.....	11
<b>Figura 2.5.</b> Esquema de Plan de frecuencias según ITU-R.....	13
<b>Figura 2.6.</b> Interferencias por Overshoot.....	14
<b>Figura 2.7.</b> Efecto de refractividad de radio microondas.....	15
<b>Figura 3.1.</b> Ruta de interconexión microondas hacia Cajamarca.....	25
<b>Figura 3.2.</b> Posibilidades de interconexión emplazamiento Agopití.....	26
<b>Figura 3.3.</b> Posibilidades de interferencia en estaciones lejanas (far ends)....	28
<b>Figura 3.4.</b> Posibilidades de interferencia en estaciones coubicadas (near ends).....	29
<b>Figura 3.5.</b> Representación enlaces coubicados emplazamiento Agopití.....	30
<b>Figura 3.6.</b> Representación de canalización propuesta para enlaces Cajamarca.....	31
<b>Figura 3.7.</b> Configuración de red para estimación de interferencias.....	36
<b>Figura 3.8.</b> Representación de trayectorias de interferencias resultantes en escenario de simulación.....	37
<b>Figura 3.9.</b> Señal e interferencia recibida en Santa Apolonia.....	40
<b>Figura 3.10</b> Señal e interferencia recibida en Yanacocha.....	41
<b>Figura 3.11.</b> Señal e interferencia recibida en Cajamarca.....	42
<b>Figura 3.12</b> Señal e interferencia recibida en Matará.....	43
<b>Figura 3.13.</b> Señal e interferencia recibida en San Marcos.....	43
<b>Figura 3.14.</b> Señal e interferencia recibida en La Grama.....	44
<b>Figura 3.15.</b> Señal e interferencia recibida en Cauday.....	45
<b>Figura 3.16.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 1.....	46
<b>Figura 3.17.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 2.....	46

<b>Figura 3.18.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 3.....	47
<b>Figura 3.19.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 4 .....	48
<b>Figura 3.20.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 5.....	49
<b>Figura 3.21.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 6.....	50
<b>Figura 3.22.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 7.....	50
<b>Figura 3.23.</b> Señal e interferencia recibida en Agopití 8.....	51
<b>Figura 3.24.</b> Selección valores refractividad – Pareto .....	56
<b>Figura 3.25.</b> Gráfico estadístico de temperatura Cajamarca.....	58
<b>Figura 4.1.</b> Valores críticos interferencia $N_s$ versus otros valores.....	61
<b>Figura 4.2.</b> Valores críticos interferencia $N_s$ versus otros valores.....	63
<b>Figura 4.3.</b> Distribución porcentual de tres valores críticos $N_s$ .....	64
<b>Figura 4.4.</b> Valores críticos $N_s$ y condiciones climáticas P,T,H.....	65
<b>Figura 4.5.</b> Condiciones y estaciones con mayor aumento de interferencia..	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Operacionalización de la Variable Independiente.....	20
<b>Tabla 2.2.</b> Operacionalización de la Variable Dependiente.....	21
<b>Tabla 3.1.</b> Técnicas de recolección de datos.....	24
<b>Tabla 3.2.</b> Resumen estaciones y enlaces de interconexión Cajamarca.....	30
<b>Tabla 3.3.</b> Resumen características técnicas referenciales.....	32
<b>Tabla 3.4.</b> Tabla interferencias cocanal internas Sta. Apolonia .....	37
<b>Tabla 3.5.</b> Tabla interferencias cocanal internas Agopití 1.....	38
<b>Tabla 3.6.</b> Propuesta de indicadores para análisis de resultados de simulación .....	52
<b>Tabla 3.7.</b> Resumen resultados simulación emplazamientos remotos.....	53
<b>Tabla 3.8.</b> Resumen resultados simulación estaciones coubicadas.....	54
<b>Tabla 3.9.</b> Incrementos de interferencia por valor de refractividad superficial.	55
<b>Tabla 3.10.</b> Presión atmosférica anual según departamento 2000 – 2015 (mbar).....	57
<b>Tabla 3.11.</b> Humedad relativa anual según departamento 2000 – 2015 (%)...	58
<b>Tabla 3.12.</b> Extracto de estimaciones de refractividad superficial (Ns) en función de P (mbar), t (°C) y H (%) – Cajamarca.....	59
<b>Tabla 3.13.</b> Extracto de estimaciones de refractividad superficial (Ns) en función de P (mbar), t (°C) y H (%) – Cajamarca.....	60
<b>Tabla 3.14.</b> Interferencias de alto nivel en emplazamientos Cajamarca.....	63
<b>Tabla 3.15.</b> Resumen Consolidado de Resultados.....	66

## **I. INTRODUCCIÓN:**

### **1.1 Problema de Investigación:**

#### **a. Descripción de la Realidad Problemática:**

Las redes dorsales de comunicaciones en el Perú, han experimentado una notable evolución desde la digitalización de sus redes de transmisiones hace más de 40 años, hasta la actualidad.

Durante los años 80s se dieron los primeros pasos en digitalización de redes dorsales implantándose en nuestro país, los sistemas microondas basados en jerarquías digitales plesiócronicas (PDH). Es así que el camino de evolución tuvo un punto de quiebre importante en los años 90s, con el advenimiento de internet, la implementación de fibra óptica submarina, enlaces subterráneos a lo largo de la costa peruana, y la evolución hacia jerarquías digitales síncronicas (SDH) tanto en fibra óptica como microondas.

Con la implantación del acceso móvil de banda ancha en sus diferentes generaciones, la gran capacidad de transporte de datos requerida llevó a las redes de fibra óptica a ser consideradas como el principal medio de interconexión a nivel nacional, quedando las redes microondas limitadas a funciones de respaldo o complemento, sobre todo en aquellas zonas del Perú con mayor dificultad de acceso geográfico. De esta manera es habitual encontrar estos escenarios en la sierra del Perú, tales como la ciudad de Cajamarca.

Manning, T. (2009) indica que una red de interconexión microondas está conformada por un conjunto de radioenlaces que suelen concentrarse en emplazamientos denominados sites nodales desde donde se distribuyen hacia repetidores y sites terminales. En este sentido una de las principales

consideraciones a tomar en cuenta es la limitación del ancho de banda disponible por cada canal de radiofrecuencia, lo cual conlleva a procurar reutilizar un mismo canal en varios enlaces, buscando el aislamiento de interferencia cocanal ya sea por polarización, por desajustamiento de antenas o por distancia entre enlaces, debiendo tenerse en consideración las condiciones climáticas asociadas a la aparición de interferencias.

**b. Descripción del problema:**

Puesto que el comportamiento de radiopropagación microondas está ligado a las condiciones climáticas bajo propagación troposférica, existirán condiciones que puedan afectar los radioenlaces con la aparición de interferencia cocanal a pesar de las técnicas de aislamiento mencionadas anteriormente. En este sentido los emplazamientos de interconexión microondas ubicados en la ciudad de Cajamarca generan un escenario de análisis que podría ser conducente a la identificación de factores climáticos que favorezcan la aparición de interferencia cocanal.

En este orden de ideas, el presente proyecto propone un estudio de ingeniería basado en simulaciones de radiopropagación a fin de a través de estas poder identificar los factores climáticos que afecten con la aparición de interferencia cocanal en emplazamientos de interconexión microondas ubicados en la ciudad de Cajamarca.

**c. Formulación del problema:**

¿Cuáles son los factores climáticos asociados al aumento de interferencia cocanal entre emplazamientos de interconexión dorsal en la ciudad de Cajamarca?

## **1.2 Objetivos de la investigación:**

### **a. General**

- Identificar factores climáticos asociados al aumento de interferencia cocanal en emplazamientos de interconexión microondas de la ciudad de Cajamarca.

### **b. Específicos**

- Estimar a partir de un proceso de simulación, parámetros que permitan clasificar a las estaciones receptoras de acuerdo al nivel máximo y variaciones de señal e interferencia.
- Identificar las estaciones que obtengan mayor nivel de interferencia cocanal en emplazamientos de interconexión dorsal microondas en la ciudad de Cajamarca.
- Identificar estaciones con incrementos notables de interferencia cocanal en valores específicos de refractividad superficial.
- Identificar los valores de refractividad superficial que generan la mayor incidencia de incrementos de interferencia obtenidos en simulación.
- Estimar condiciones climáticas de presión temperatura y humedad propias de la zona de Cajamarca, que puedan asociarse a los valores de refractividad críticos incidentes en el aumento de interferencia cocanal.



### **1.3 Justificación del estudio**

#### **a. Importancia de la investigación**

El trabajo de investigación se justifica académicamente, al buscar caracterizar una problemática existente, aplicando conocimientos adquiridos en la formación de pre grado para el diseño de enlaces microondas terrestres, aportando una metodología de análisis de interferencias cocanal que se desarrollará para emplazamientos de interconexión microondas en la ciudad de Cajamarca.

#### **b. Viabilidad de la investigación**

Se realizó un estudio en base de reportes de simulación. Contando con conocimiento de los principales emplazamientos de interconexión en la ciudad de Cajamarca, y los conocimientos requeridos para el desarrollo la tesis.

#### **c. Alcance y limitaciones**

La identificación de los factores climáticos asociados al aumento de interferencia cocanal entre emplazamientos de interconexión de la ciudad de Cajamarca fue obtenida a través de simulaciones de radiopropagación, y reportes de parámetros resultantes brindados por una herramienta de uso libre. No se han identificado parámetros climáticos que estén fuera del alcance de las recomendaciones ITU-R.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Antecedentes de la Investigación:

- a. Del Rosario, C. (2019) en el trabajo de tesis denominado “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”, se propuso identificar condiciones climáticas asociadas a degradación de señal en una ruta dorsal de 12 enlaces de interconexión microondas hacia la ciudad de Iquitos – Perú, logrando identificar en base a la variación del parámetro de refractividad en una herramienta de simulación, la presión atmosférica, temperatura y humedad propios de la región asociados a estas degradaciones. El aporte de este trabajo radica en la metodología empleada, la cual será tomada como base para la presente investigación
  
- b. Santiago, J. (2017) en la tesis de maestría denominada “Implementación de una metodología para la medición de la interferencia inalámbrica en la banda ISM en zonas exteriores urbanas para garantizar la comunicación de una red inalámbrica de sensores”, se propuso como objetivo implementar una metodología que aporte al despliegue de redes WSN (Wireless Sensor Networks) en la banda de 2.4 GHz en ambientes externos. Se realizaron mediciones en la ciudad de Lima para identificar el tipo, grado y distribución de las interferencias, indicándose hallazgos de alrededor de 40 fuentes interferentes por medición cuyos valores promedio superaban los -80 dBm, lo cual afectaba hasta el 30% de la transferencia de datos. Las conclusiones del trabajo brindan criterios sobre márgenes C/I (Carrier Interference), potencia de transmisión y distancias a considerar. Como principal aporte se considera la referencia con la que se podrán discutir los resultados que se obtendrán en la presente investigación.

- c. Salamon E., Hansen H. y Abbott D. (2014) en la investigación denominada “Surface Refractivity Gradient Data for Radio System Design”, indicaron la necesidad de contar con información confiable sobre la distribución acumulativa del gradiente de refractividad superficial para el diseño de altura de antenas en sistemas de radio, resaltando la influencia de los gradientes negativos o condiciones de super refracción sobre la generación de interferencias entre las estaciones terrestres, así como entre estaciones terrestres y satelitales. Los resultados obtenidos en esta investigación se orientar a caracterizar un valor de gradiente de refractividad sobre un trayecto radioeléctrico efectivo. Entre los principales aportes se rescata los valores de refractividad críticos obtenidos, los cuales servirán como referencia comparativa con los que se obtendrán en el presente trabajo de investigación.
- d. Jin-A P, Seung- Keun P, Dong Ho K, Pyun Do C, Kyoung Rok C. (2003) en la investigación denominada “Experiments on Radio Interference Between Wireless LAN and Other Radio Devices on a 2.4 GHz ISM Band”, realizaron un estudio sobre interferencias entre receptores WLAN y otros dispositivos que pueden interferir la banda de 2.4 GHz, tales como los artefactos de uso doméstico, sistemas de iluminación plasma (PLS), transmisores de video y telemandos robóticos. Las conclusiones del trabajo indicaron la dificultad de asignación de canales permanentes y la variación en la velocidad efectiva debido a las condiciones variantes de cada dispositivo y emplazamiento donde se realizaron las mediciones. Se considera que dicho trabajo aporta en cuanto a la caracterización de los diferentes tipos de interferencia proveniente de diversos dispositivos, y las recomendaciones a tomar en cuenta para reducir sus efectos en la implementación de sistemas WLAN, lo cual servirá como referencia de comparación en la presente investigación.

- e. Alvarado J. y Mendoza J. (2005) en su investigación “Elección y diseño de una red de comunicaciones para la región Loreto” enfocaron su trabajo en el diseño de una red de comunicaciones microondas para la región Loreto, a partir de la comparación con otras alternativas tecnológicas. El principal aporte de este trabajo es el gran detalle de ingeniería documentado, entre los cuales se encuentran características técnicas de equipamiento transceptor, sistema radiante y guía de onda, lo cual será empleado como referencia para algunos parámetros de simulación requeridos en el presente trabajo.

## **2.2 Marco Teórico:**

### **2.2.1 Evolución PDH y SDH en redes de radio microondas terrestres**

Según Tomasi, W. (2009), las redes de radio microondas terrestres fueron las primeras redes dorsales de comunicación empleadas para el traslado de comunicaciones telefónicas analógicas. Los primeros sistemas de transporte de comunicaciones terrestres microondas empleaban modulación analógica en frecuencia modulada (FM). De esta manera se establecieron los primeros emplazamientos de interconexión hacia las diversas ciudades del país, muchos de los cuales se mantienen hasta la actualidad. Sin embargo, el uso de tecnología de transporte analógica microondas tenía como inconvenientes la degradación en calidad conforme se aumentaba el requerimiento de transporte, consumo energético, costos de mantenimiento, y vulnerabilidad en cuanto a la seguridad de las comunicaciones.

Debido a los inconvenientes de las microondas analógicas antes mencionados, los primeros sistemas de transmisión digital microondas fueron introducidos en las décadas de los años 70s y 80s. Es así que

en Perú se implanta el estándar de transmisión digital basado en Jerarquías Digitales Plesiócronas (PDH). La principal característica de estos sistemas era la capacidad de transmisión de gran cantidad de comunicaciones telefónicas, en base a la digitalización base de conversaciones de voz a 64 kbps. Esto incluía la posibilidad de transmitir cualquier contenido digital de voz, video o redes de datos hasta una capacidad máxima de 140 Mbps (equivalente a 1920 canales telefónicos) por canal de radio microondas.

Como contraparte en las redes PDH se tenían limitaciones en cuanto a sincronía, multiplexación, mantenimiento, reconfiguración y ampliación de la red de transporte.

La década de los años 90s y el advenimiento de la era de Internet, trajo consigo nuevos retos para las redes dorsales, necesidad de balancear el transporte de tráfico de voz y el creciente tráfico de datos, junto con la implementación de compatibilidad con tecnología anterior tal como PDH y nueva tecnología de transmisión de datos (Ethernet y ATM por ejemplo). Es así que se introducen las redes de transporte basadas en Jerarquías Digitales Síncronas (SDH).

Entre las principales características de SDH se destaca su gran capacidad de transporte, en donde un canal de radio microondas puede llegar a transmitir hasta 155 Mbps (STM-1). Las jerarquías de transmisión mayores se implementan sobre enlaces de fibra óptica, llegando en la actualidad hasta los niveles STM-256 (40 Gbps) por enlace óptico. Estas capacidades pueden ser aun notablemente aumentadas con el empleo de técnicas de multiplexación óptica como WDM y DWDM, las cuales llegan actualmente a transmitir hasta 128 lambdas o canales ópticos por enlace de fibra óptica. La Figura 4.1 muestra un ejemplo de aplicación de redes microondas SDH y PDH, dentro de la topología de una red de comunicaciones móviles.

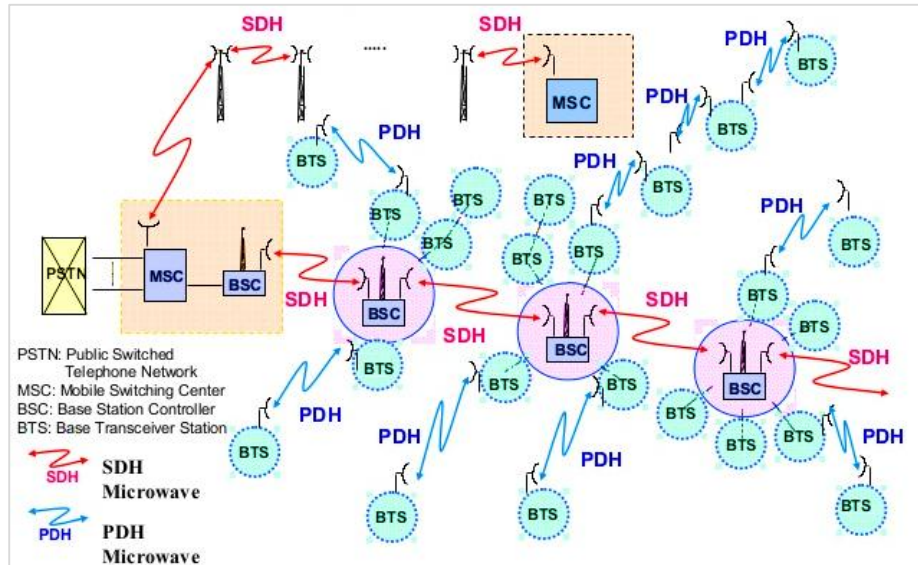


Figura 01: Aplicación de PDH y SDH microondas en red móvil celular

Fuente: NEC NEO Microwave Equipment Introduction (2009)

## 2.2.2 Packet Microwave

El incremento de requerimientos de transporte de datos y el auge de las comunicaciones móviles de tercera y cuarta generación, obligaron a la evolución de las redes microondas hacia una condición más compatible y nativa con redes de datos, tales como Ethernet. Es así que a partir del año 2003 se empieza a introducir las soluciones comerciales denominadas “packet microwave”.

Entre las principales características de “packet microwave” se rescata su escalabilidad de transporte (Ej. Hasta 1 Gbps), naturaleza compatible con comunicaciones IP / Ethernet, uso de grandes porciones de espectro de frecuencia para sus transmisiones, y empleo de modulaciones adaptativas que procuran asegurar calidad de transportes priorizando comunicaciones de voz (tráfico TDM) con capacidad de implementar grandes órdenes de modulación tales como 1024 QAM ó 2048 QAM cuando las condiciones de radiopropagación lo permitan. La Figura 02 muestra las posibilidades de configuración de un radio packet microwave, las cuales pueden ser implementadas desde

un sistema híbrido TDM y Ethernet, hasta un sistema totalmente nativo a transmisión de datos Ethernet, MPLS.

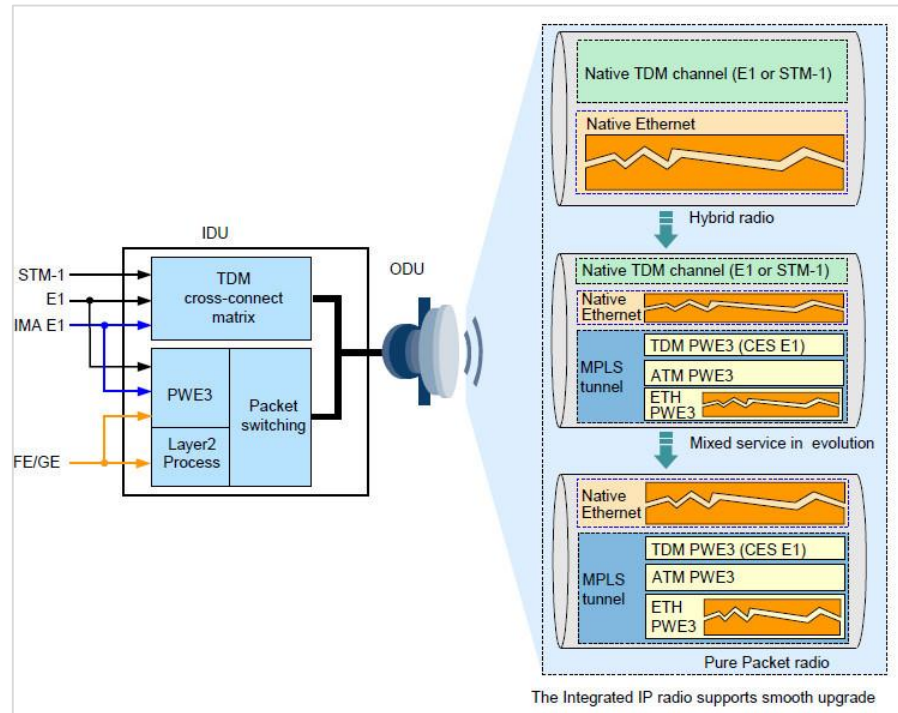


Figura 02: Funcionalidades de transmisión “packet microwave”

Fuente: OptiX RTN 980 Product Description (2019)

### 2.2.3 Regulación de Frecuencia

Manning, T. (2009) indica que la regulación de frecuencia de las redes microondas, es regida según la designación de la Unión internacional de Telecomunicaciones, Sección Radiocomunicaciones (ITU-R), siendo el espectro de RF uno de los recursos más valiosos en el diseño de redes inalámbricas, por ello se requiere una cuidadosa asignación y coordinación. En el contexto peruano el órgano responsable de política de regulación nacional es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) el cual designa la selección de normativa ITU-R de canalización sobre la cual se registrarán las diferentes bandas de radio frecuencia disponibles.

Sheng, Y. et. al (2012), indicaron que la demanda de datos móviles tendría un auge de crecimiento entre los años 2011 al 2016, hasta aumentar 18 veces su capacidad de datos. Estos desafíos técnicos van directamente ligados a la mejora de tecnología en las redes microondas que interconectan las estaciones base celulares (backhaul) jugando un rol muy importante en cuanto permitan un despliegue rápido con bajo gasto en capital de inversión y operación. En este sentido tanto la fibra óptica, como tecnología microondas se vuelven alternativas complementarias dentro de la red móvil.

La Figura 03 muestra un resumen de las bandas de frecuencia disponibles para soluciones inalámbricas de backhaul y/o longhaul empleadas para el transporte de datos en redes móviles. Se incluyen bandas licenciadas y no licenciadas.

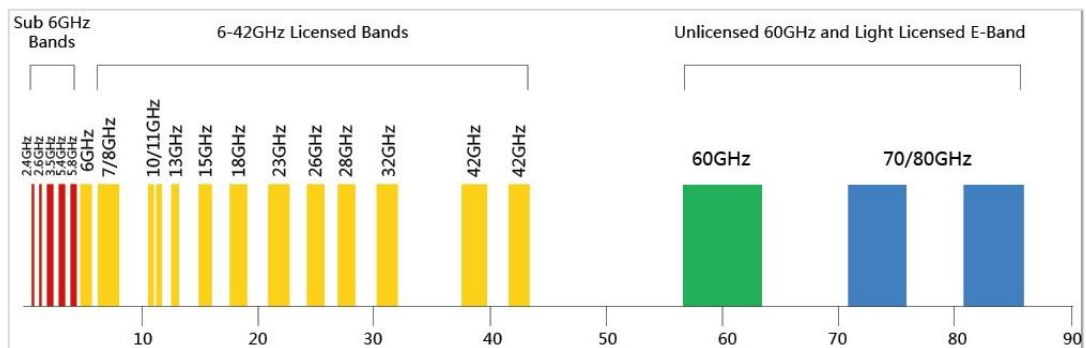


Figura 03: Bandas empleadas en el despliegue de redes microondas

Fuente: Ying Shen, Andrey Kochetkov y Thanh Nguyen (ZTE Technologies, 2012)

La Figura 04 muestra un esquema general de la organización de canales de radiofrecuencia bajo recomendaciones ITU-R. Se debe resaltar que la denominación de la banda de frecuencia suele hacerse en función de la frecuencia central ( $f_0$ ). Luego la banda de frecuencia es dividida en espacios de frecuencia para transmisión (Tx) y recepción (Rx). Cada espacio de transmisión o ida, tiene otro espacio idéntico de recepción o vuelta, esta configuración se denomina Duplexación Por



División De Frecuencia (FDD), se dice que es una configuración simétrica puesto que se tienen los mismos recursos (espacios de frecuencia) para transmisión y recepción.

En este orden de ideas, el radiocanal N° 1, tendría como frecuencias de ida y vuelta a  $f_1$  y  $f_1'$ , con sus correspondientes espacios en frecuencia (anchos de banda) simétricos para transmisión de información. Asimismo, cabe resaltar que las frecuencias de ida suelen estar agrupadas en la parte más baja de la banda, así como las frecuencias de vuelta suelen estar agrupadas en la parte más alta de la banda, guardando un espaciamiento entre las mismas frecuencias de transmisión, entre las agrupaciones de frecuencias de transmisión y recepción, y entre cada frecuencia de ida y vuelta ( $f_n, f_n'$ ).

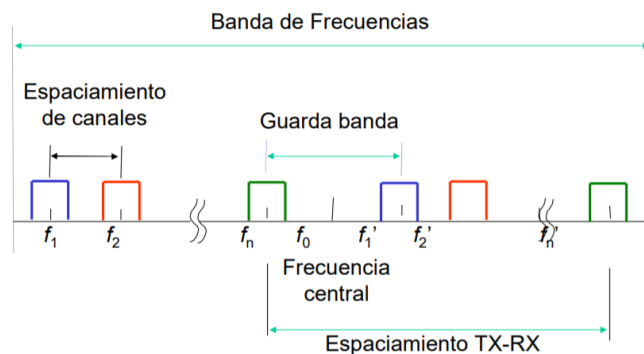


Figura 04: Esquema de Plan de frecuencias según ITU-R

Fuente: Material Curso Sistemas Comunicaciones Microondas (Lopez, M. 2010)

Las bandas de frecuencia mayormente empleadas en los tramos de alta capacidad y largo alcance (longhaul) son las de 6, 7 y 8 GHz. Para un mismo enlace, mientras más alta es la frecuencia, mayor será la atenuación a la que estará sometido, siendo ello la razón por las cuales las bandas de 10, 13, 15 y 18 GHz, son utilizadas para enlaces de longitud intermedia, y las bandas tales como 21, 23, 28 GHz y superiores son empleadas típicamente en enlaces de menor distancia dada su mayor vulnerabilidad a la atenuación y condiciones climáticas

como precipitaciones. Cabe destacar que si bien es cierto mientras mayor es la frecuencia aumenta su vulnerabilidad a condiciones climáticas y degradación en su propagación, el espacio en frecuencia (ancho de banda) disponible para sus radiocanales aumenta, abriendo con ello la posibilidad de mayor capacidad de transmisión de datos.

#### **2.2.4 Planificación de frecuencias en redes microondas**

Al margen de la banda de frecuencia, el crecimiento en cuanto a los requerimientos de transporte de datos por vía microondas, obliga a emplear los radiocanales de la manera más óptima posible. Es así que en la mayoría de diseños se tiende a reutilizar los canales disponibles en diversos enlaces o saltos, debiendo planificarse cuidadosamente el tema de interferencias. De esta manera, al reutilizar el mismo canal de frecuencia, típicamente se busca aislamiento de interferencias por distancia o por polarización.

#### **2.2.5 Reutilización de frecuencias en redes microondas**

Como se mencionó en el apartado anterior, el diseño de redes microondas busca la optimización en cuanto al uso de los radiocanales en diferentes tramos o vanos radioeléctricos, siendo el escenario ideal de optimización, aquel en el que se pueda reutilizar el mismo canal en todos los enlaces. En ese aspecto la planificación de interferencias cocanal puede enfocarse desde dos perspectivas: Interferencias cocanal en emplazamientos nodales, e Interferencias cocanal en emplazamientos remotos (sobre alcance u overshoot).

### 2.2.6 Interferencia en Site Nodal

Los sites nodales son aquellos donde se concentran dos o más enlaces de comunicaciones hacia sitios remotos. Cuando se reutiliza el mismo canal en un site nodal se podría generar interferencia por la transmisión de la misma frecuencia desde el site nodal hacia los sites remotos, o desde los sites remotos, hacia el site nodal. La Figura 05 muestra el concepto de interferencia cocanal en site nodal. En el caso mostrado, se tiene un site nodal denominado sitio A, el cual emplea el mismo canal 1 (frecuencias  $f_1$  y  $f_1'$ ) en sus enlaces hacia los sites remotos denominados Sitio X y Sitio Y.

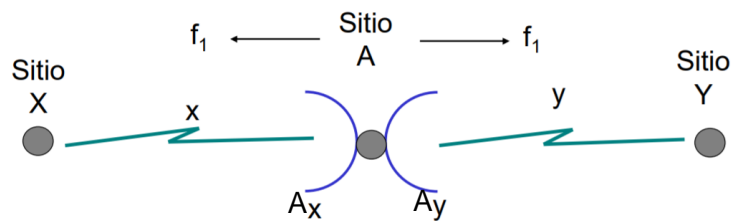


Figura 05: Esquema de Plan de frecuencias según ITU-R

Fuente: Microwave Transmission Design Guide (Manning, T. 2009)

El nodal Sitio A está conformado por la estación  $A_x$ , la cual se enlaza hacia el Sitio X, y la estación  $A_y$ , la cual se enlaza hacia el Sitio Y. Ambos enlaces emplean la frecuencia  $f_1$  para enviar información a los sites remotos, y la frecuencia  $f_1'$  para recibir información desde los sites remotos. Así las cosas, existe la posibilidad de que la frecuencia  $f_1$  dirigida hacia el Sitio X, pueda generar interferencia en el Sitio Y, tanto como que la frecuencia  $f_1$  dirigida hacia el Sitio Y pueda generar interferencia en el Sitio X. Asimismo existe la posibilidad de que la frecuencia  $f_1'$  proveniente del Sitio X y dirigida a la estación  $A_x$ , interfiera sobre la estación  $A_y$ , tal como que la frecuencia  $f_1'$  proveniente del Sitio Y y dirigida a la estación  $A_y$  interfiera sobre la estación  $A_x$ .

### 2.2.7 Interferencia por overshoot

La interferencia por overshoot o sobre alcance, es aquella que se da entre cadenas de enlaces, cuando la señal recibida planificada originalmente, puede alcanzar enlaces distantes debido, por ejemplo, a condiciones climáticas específicas que favorezcan una condición de super refracción. La Figura 06 muestra un esquema de múltiples enlaces empleando un esquema de reutilización de frecuencia. En este esquema puede observarse que los 04 enlaces emplean el mismo canal de radiocomunicación, con la búsqueda de aislamiento de interferencias por polarización. Sin embargo, en este sentido, aún puede existir la posibilidad de interferencia entre estaciones de enlaces lejanos, tal es el caso de la estación 01 que emite la frecuencia  $f_1$  en polarización horizontal, y la estación 04, que recibe la frecuencia  $f_1$  en polarización vertical. De igual forma la estación 02 podría interferir a la estación 05 en la frecuencia  $f_1'$  a pesar de estar aislados por distancia y polarización.

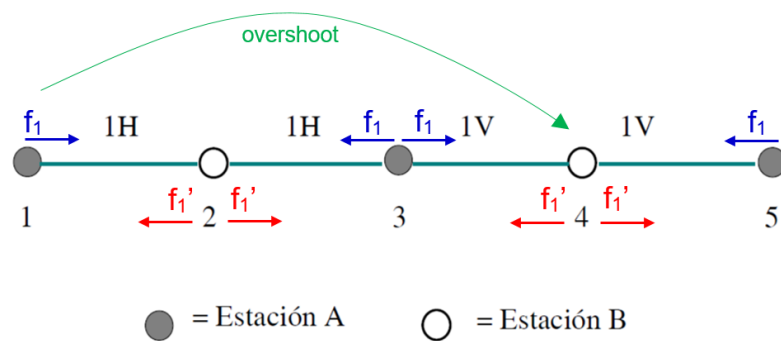


Figura 06: Interferencias por Overshoot

Fuente: Microwave Transmission Design Guide (Manning, T. 2009)

### 2.2.8 Propagación radio microondas y refractividad

La propagación de un enlace de radio microondas se modela en base al efecto de refractividad (N) conforme a la Recomendación ITU-R P.453 (2017). En la Figura 07, se representa un enlace microondas considerando la curvatura real de propagación que debe realizar para llegar al punto distante.

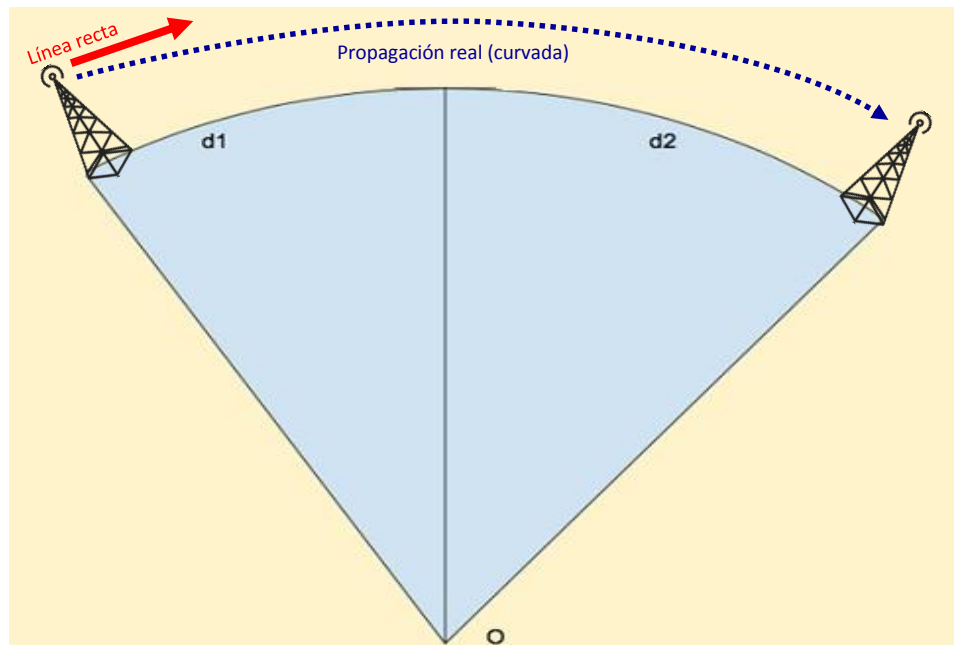


Figura 07: Efecto de refractividad de radio microondas

Fuente: Del Rosario, C. (2019)

La mayor o menor curvatura de la onda de radio microondas, dependerá del valor de refractividad, el cual, a su vez depende de parámetros climáticos tales como temperatura ambiental ( $T$ ), presión atmosférica ( $P$ ) y presión de vapor de agua ( $e$ ).

En este orden de ideas, la Recomendación UIT-R P.453 proporciona una expresión para la estimación de la refracción radioeléctrica (N), la cual puede ser expresada como:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} - 5,6 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (\text{unidades N}) \quad (1)$$

donde:

*P*: presión atmosférica total (hPa o mbar)

*e*: presión del vapor de agua (hPa o mbar)

*T*: temperatura absoluta (°K)

Cabe destacar, asimismo, que la misma recomendación ITU-R P.453 brinda referencias para la estimación de la presión de vapor de agua (*e*) a partir de la temperatura ambiental y la humedad relativa.

## 2.3 Marco conceptual

Se definen conceptualmente los principales términos que serán utilizados en la investigación: variables, dimensiones, indicadores, unidad de análisis.

- **Interferencia**

Es la señal de radio frecuencia no deseada presente en un enlace de radiocomunicación, la cual degrada los indicadores de performance RF de dicho enlace.

- **Emplazamientos de interconexión**

Se refiere a ubicaciones geográfica caracterizadas por tener facilidades de acceso y línea de vista efectiva hacia localidades de interés para interconexión a la red principal de radiocomunicaciones microondas.

- **Condiciones climáticas favorables a interferencias**

Se refiere a las condiciones climáticas de Presión, Temperatura, Humedad y/o Presión de Vapor de Agua, que generan condiciones de refractividad bajo las cuales se refuerza la recepción de señales remotas interferentes.

- **Simulaciones de radiopropagación**

Se refiere a la estimación mediante un algoritmo de cálculo, de los parámetros de performance RF de radioenlaces microondas. Dichas simulaciones deben ofrecer la posibilidad de poder variar las condiciones de radio refractividad en la zona a analizar.

## **2.4 Hipótesis:**

### **2.4.1 General:**

Los factores climáticos de temperatura ambiental y humedad generan la mayor aparición de interferencia cocanal entre emplazamientos de interconexión dorsal en la ciudad de Cajamarca.

### **2.4.2 Variables e indicadores**

#### **2.4.2.1 Variable Independiente**

- Factores climáticos de temperatura y humedad

##### **Definición Conceptual:**

Son los valores de temperatura ambiental absoluta y humedad relativa, identificados como aquellos que generan la mayor aparición de interferencia entre emplazamientos de interconexión en la ciudad de Cajamarca.

##### **Indicadores:**

- Temperatura ambiental absoluta
- Porcentaje de humedad relativa

#### **2.4.2.2 Variable Dependiente**

- Interferencia cocanal.

##### **Definición Conceptual:**

Se refiere a las señales no deseadas operando en el mismo canal de frecuencia, y provenientes de estaciones remotas,



cercanas o lejanas entre emplazamientos de interconexión de una misma red de interconexión microondas.

**Indicadores:**

- Interferencia cocanal en estaciones lejanas
- Interferencia cocanal en estaciones cercanas

### 2.4.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla 01: Operacionalización de la Variable Independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDADES MEDIDA
Factores climáticos de temperatura y humedad	Las condiciones particulares de temperatura ambiental y humedad relativa generan	Valores específicos de temperatura ambiental	Estimación analítica	°K, °C
	condiciones particulares de propagación para las interferencias	Valores específicos de humedad relativa	Estimación analítica	% H.R.

Tabla 02: Operacionalización de la Variable Dependiente

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>UNIDADES MEDIDA</b>
Interferencia cocanal	La interferencia cocanal experimenta incrementos en emplazamientos lejanos (far ends) y cercanos (near ends)	Interferencia total far ends	Reporte de simulación	dBm
		Interferencia total near ends	Reporte de simulación	dBm

### **III. METODOLOGÍA EMPLEADA**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

El tipo de la presente investigación es aplicada, puesto que se tiene una base de recomendaciones y teorías preliminares que se van aplicar en la identificación de condiciones que favorezcan la aparición de interferencia cocanal entre 36 enlaces generados entre emplazamientos dorsales en la ciudad de Cajamarca.

El nivel de investigación propuesto en el presente proyecto es de tipo explicativa. Se va a indagar respecto al aumento de interferencias cocanal y los factores climáticos asociados, a fin de poder identificar y explicar las condiciones que podrían afectar a emplazamientos de interconexión en la ciudad de Cajamarca.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Población**

La población está constituida por los posibles enlaces interferentes entre emplazamientos de interconexión microondas de la ciudad de Cajamarca.

##### **3.2.2. Muestra**

Dado que la población del proyecto es no determinística, es decir, no se tiene un número finito de muestra. Sin embargo, se tomará como base la simulación de 01 emplazamiento nodal y 08 emplazamientos remotos (9 emplazamientos en total), a partir de los cuales generarán 36 enlaces interferentes lo cual constituirá la muestra a emplear. Por cada uno de estos enlaces, mediante un proceso de simulación se realizarán estimaciones de 150 variaciones de refractividad, haciendo un total de 5400 estimaciones para el análisis de datos. Las variaciones se dan en todas las posibilidades que ofrece ITU-R mediante refractividad superficial, por lo que no aplica a una estación del año en específico.

### **3.2.3. Unidad de análisis**

Comportamiento del nivel de interferencia en función a la variación climática.

### **3.3. Diseño de investigación**

El diseño de investigación del presente trabajo es de tipo documental. Se va recolectar datos mediante reportes de simulación de niveles de potencia recibidos de 36 enlaces generados entre emplazamientos dorsales en la ciudad de Cajamarca, de manera que se puedan identificar condiciones que favorezcan la aparición de interferencia cocanal.

#### **3.3.1. Procedimiento:**

- Identificación y selección de emplazamientos de interconexión en la ciudad de Cajamarca.
- Identificación y selección de parámetros técnicos referenciales de equipamiento transceptor y sistema radiante microondas, en emplazamientos de interconexión de la ciudad de Cajamarca, a emplearse en el escenario de simulación.
- Configuración y calibración de parámetros de simulación, a fin de acercar el escenario de simulación al escenario real.
- Obtención de reportes de curvas de variación de la señal recibida en función de la refractividad superficial para cada enlace interferente.
- Identificación de escenarios de aumento de interferencia, e identificación de valores de refractividad asociados a dichos desvanecimientos, para cada enlace analizado.
- Estimación de valores de presión, temperatura y humedad asociada a la refractividad y aumento de interferencia para cada enlace interferente.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.4.1. Técnicas

La Tabla 03 muestra las técnicas de investigación empleadas en la presente investigación.

Tabla 03 Técnicas de recolección de datos

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Análisis de documentos	Individual para cada enlace interferente entre emplazamientos de interconexión de la ciudad de Cajamarca	Reportes del comportamiento de señal e interferencia recibida en cada enlace obtenidos a partir de un proceso de simulación.

#### 3.4.2. Instrumentos

Reportes de simulación del comportamiento de señal recibida e interferencia generada a partir de 36 enlaces entre emplazamientos de interconexión en la ciudad de Cajamarca, obtenidos bajo condiciones de refractividad superficial variante.

#### 3.4.3. Recolección de información de ruta interconexión dorsal Cajamarca

Desde la aparición de las primeras redes de transmisión microondas nacionales, se fueron definiendo emplazamientos para ubicación de repetidores, en la ruta de interconexión hacia la ciudad de Cajamarca. Particularmente esta ciudad debe integrarse a la red dorsal nacional a través de enlaces de interconexión hacia la ciudad de Trujillo. De esta manera se fueron definiendo emplazamientos de interconexión intermedia tales como Ragache en el Departamento de La Libertad y Agopití en el Departamento de Cajamarca. En la Figura 08 se muestra un esquema de la ruta de interconexión, Cajamarca – Trujillo.

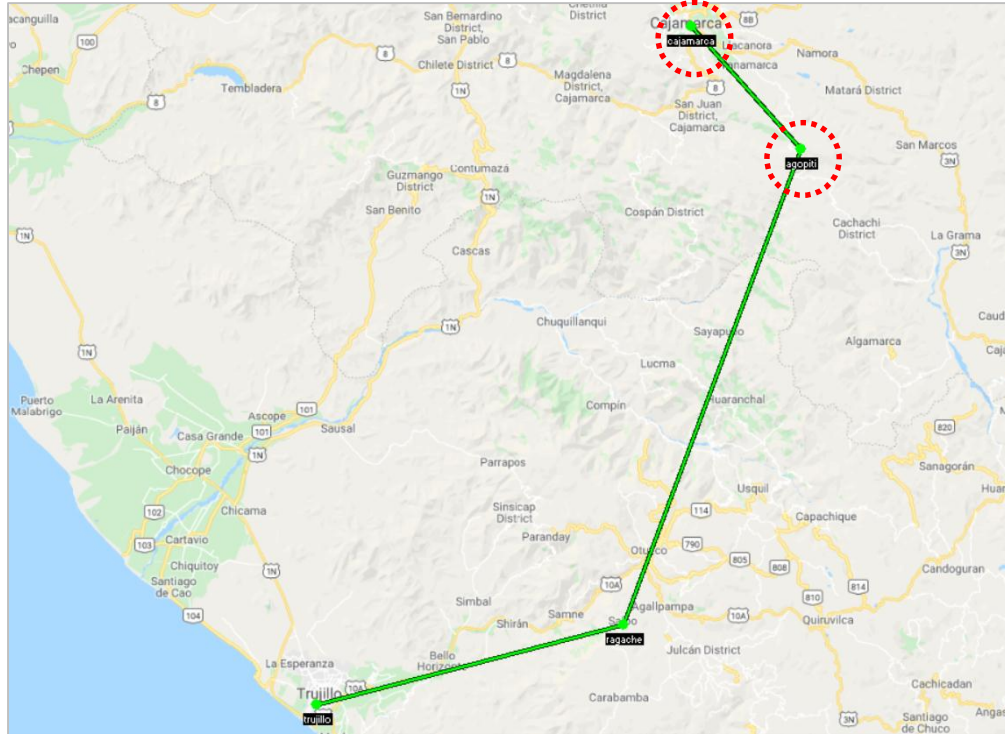


Figura 08: Ruta de interconexión microondas hacia Cajamarca

#### 3.4.4. Recolección de información del emplazamiento principal Agopití

De la misma manera se resalta el emplazamiento Agopití como el principal punto de interconexión en Cajamarca. Cabe destacar que el emplazamiento Agopití, posee una vista privilegiada hacia la ciudad de Cajamarca, así como hacia otros puntos de interconexión importantes tales como Santa Apolonia, Yanacocha, Palomapata, Matará, San Marcos, La Grama y Cauday. La Figura 09 muestra un detalle de las posibilidades de interconexión que posee el emplazamiento Agopití.

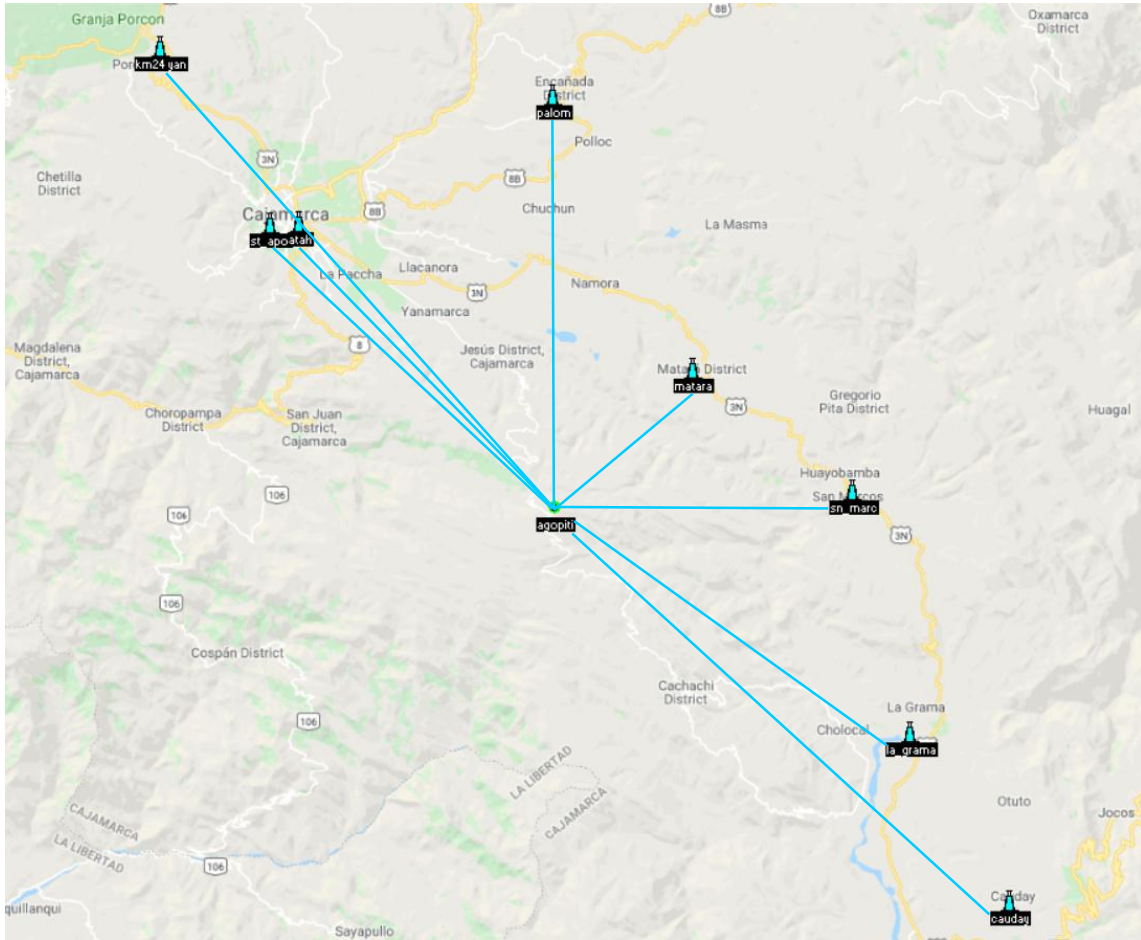


Figura 09: Posibilidades de interconexión emplazamiento Agopití

### 3.4.5. Posibilidades de interferencia entre estaciones de interconexión

De la misma manera se resalta el emplazamiento Agopití como el principal punto de interconexión en Cajamarca. Cabe destacar que el emplazamiento Agopití, posee una vista privilegiada hacia la ciudad de Cajamarca, así como hacia otros puntos de interconexión importantes tales como Santa Apolonia, Yanacocha, Palomay, Matará, San Marcos, La Grama y Cauday. La Figura 09 muestra un detalle de las posibilidades de interconexión que posee el emplazamiento Agopití.



Tal como se muestra en la Figura 09, el emplazamiento Agopití, posee una importancia central en la interconexión microondas en varias ciudades y centros poblados de Cajamarca. Asumiendo un canal de radiocomunicación, con duplexación por división de frecuencia (FDD), se dispondría en la estación nodal Agopití de dos frecuencias ( $f_{ida}$ ,  $f_{vuelta}$ ), para el envío y recepción de información hacia y desde las estaciones lejanas. La Figura 10 y la Figura 11 presentan el concepto antes mencionado.

En este orden de ideas, la Figura 10 presenta las posibilidades de interferencia hacia estaciones lejanas (far ends). Estas interferencias se producen por que la frecuencia de ida generadas en la nodal Agopití es también recibida en las estaciones lejanas. A pesar de la directividad de las antenas, existirían escenarios de interferencia cocanal, 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.

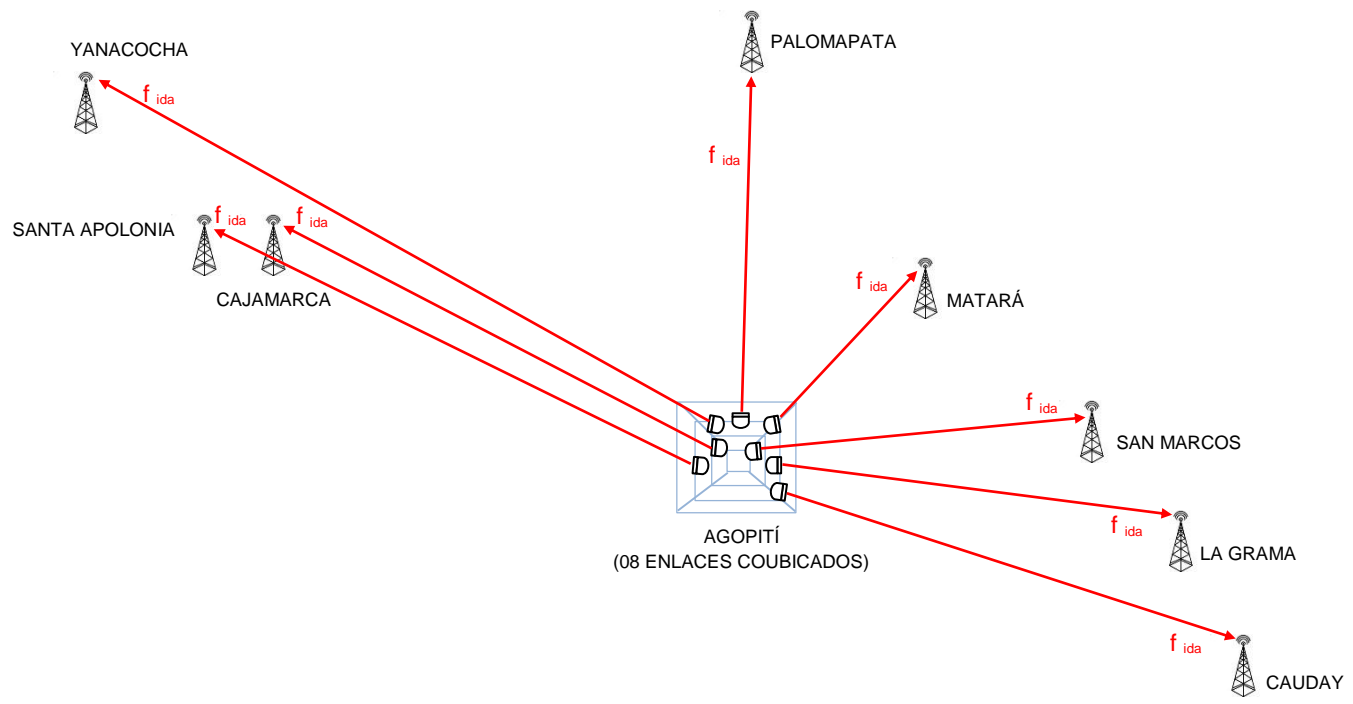


Figura 10: Posibilidades de interferencia en estaciones lejanas (far ends)

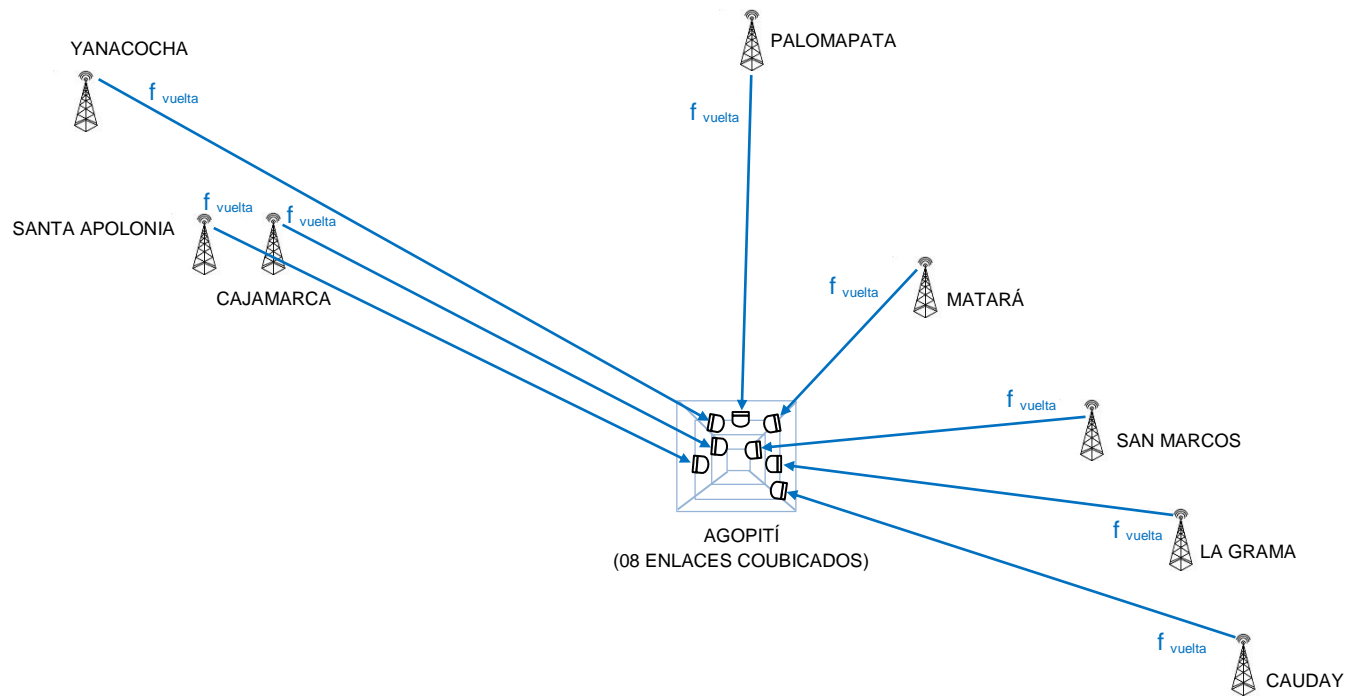


Figura 11: Posibilidades de interferencia en estaciones coubicadas (near ends)

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 (Agopití). Considerando que los ángulos de discriminación de las antenas receptoras son bastante cerrados por estar coubicados en el mismo emplazamiento, se podrían generar importantes escenarios de interferencia cocanal, los cuales deben ser analizados adecuadamente.

La Figura 12 muestra una representación de la vista superior del emplazamiento Agopití, en donde se busca mostrar la posible distribución de antenas microondas coubicadas en la misma infraestructura de torre, expuestas por la naturaleza de su distribución a una mayor posibilidad de interferencia.

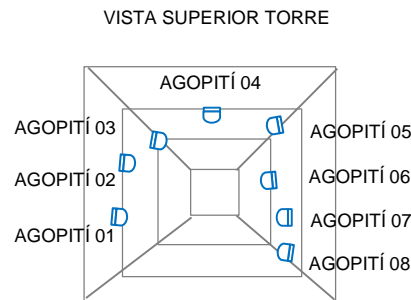


Figura 12: Representación enlaces coubicados emplazamiento Agopití

### 3.4.6. Datos de emplazamientos y estaciones

Llontop, J. y Sánchez P. (2016) realizaron una investigación en la que se analizó el efecto de interferencias por canal adyacente y separación Tx / Rx en el desempeño de enlaces de interconexión de la ciudad de Cajamarca. De la misma forma, Calvinapón P. y Revilla, C. (2017), brindaron una propuesta de canalización alternativa para reducción de interferencia adyacente entre puntos de interconexión en la ciudad de Cajamarca. Tomado como referencia los trabajos mencionados anteriormente, se presenta en la Tabla N° 04 un resumen de las ubicaciones, alturas de antenas, distancias de enlaces y capacidades nominales de ocho enlaces de interconexión en la ciudad de Cajamarca.

Tabla 04: Resumen estaciones y enlaces de interconexión Cajamarca

NEAR END (A)	ALTURA NEAR END (A)	COORDENADAS NEAR END (A)		FAR END (B)	ALTURA FAR END (B)	COORDENADAS FAR END (B)		DISTANCIA ENLACE (Km)	CAPACIDAD NOMINAL (Mbps)
		LATITUD (°)	LONGITUD (°)			LATITUD (°)	LONGITUD (°)		
AGOPITI1	33 m	-7.339521	-78.34901	SANTAAPOLONIA	35 m	-7.168222	-78.52158	26.908 Km	300 Mbps
AGOPITI2	23 m	-7.339511	-78.34899	YANACOCCHA	21 m	-7.061028	-78.5892	40.750 Km	300 Mbps
AGOPITI3	27 m	-7.339515	-78.34898	CAJAMARCA	32 m	-7.167139	-78.50408	25.670 Km	300 Mbps
AGOPITI4	15 m	-7.339499	-78.34898	PALOMAPATA	25 m	-7.09075	-78.34989	27.255 Km	300 Mbps
AGOPITI5	30 m	-7.339515	-78.34895	MATARÁ	30 m	-7.255278	-78.26475	13.19 Km	300 Mbps
AGOPITI6	26 m	-7.339538	-78.34894	SAN MARCOS	26 m	-7.329166	-78.16769	20.018 Km	300 Mbps
AGOPITI7	18 m	-7.33956	-78.34894	LAGRAMA	18 m	-7.475278	-78.13245	28.23 Km	300 Mbps
AGOPITI8	20 m	-7.339588	-78.34894	CAUDAY	9 m	-7.577472	-78.07156	40.42 Km	300 Mbps

Fuente: Calvanapón P. y Revilla, C. (2017)

### 3.4.7. Datos de canalización radiofrecuencia microondas

Considerando la información de los trabajos de investigación antecedentes mencionados anteriormente, la Figura 13 presenta un gráfico resumen de la canalización propuesta por Calvanapón P. y Revilla, C. (2017), para el primer canal de la banda de transporte microondas correspondiente a 7 GHz, el cual será utilizado como referencia para la estimación de interferencia cocanal correspondiente en el presente trabajo.

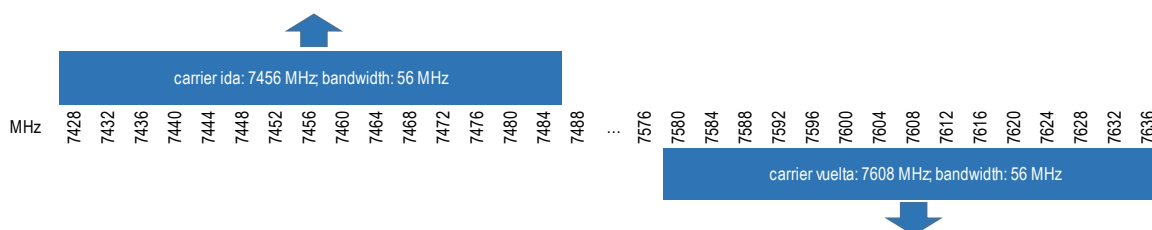


Figura 13: Representación de canalización propuesta para enlaces Cajamarca

Fuente: Calvanapón P. y Revilla, C. (2017)

Cabe destacar que el canal presentado en la Figura 13, posee una configuración simétrica duplexada por división de frecuencia (FDD), con un ancho de banda de 56 MHz por dirección de enlace. Esto le permite alcanzar velocidades de

transmisión de datos de 300 Mbps, tal como se puede demostrar en la ecuación de modulación multinivel:

$$R = n.B / (1+f_v)$$

Donde

R : Data Rate (Mbps)

n : Número de bits por símbolo modulación

B : Ancho de banda

$f_v$  : Factor de filtro de conformación de pulsos (0.25 valor típico)

De esta manera al reemplazar los valores

$n = 7$  ; (considerando 7 bits por símbolo para modulación 128 QAM)

$B = 56$  MHz

Se obtiene  $R = 313$  Mbps, lo cual es redondeado a una velocidad estándar de 300 Mbps para fines comerciales. Asimismo, se debe destacar que las modulaciones adaptativas permiten reducir el orden de la modulación en función de la separación señal a ruido SNR y el BER del radioenlace.

#### **3.4.8. 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 05 muestra un resumen de características técnicas referenciales de transceptores y antenas usadas para las simulaciones del presente trabajo.

Tabla 05 Resumen características técnicas referenciales

NEAR ENDS (A)	FAR ENDS (B)	EQUIPAMIENTO					ANTENA NEAR ENDS (A)		ANTENA FAR ENDS (A)	
		Ptx (dBm)	Line loss (dB)	Umbral (dBm)	BER	MODULACION	Ø (m)	Ga (dBi)	Ø (m)	Ga (dBi)
AGOPIT11	SANTA APOLONIA	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	3	44.6	3	44.6
AGOPIT12	YANACOCHA	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	2.4	43.3	2.4	43.3
AGOPIT13	CAJAMARCA	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	3	44.6	3	44.6
AGOPIT14	PALOMAPATA	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	2.4	43.3	2.4	43.3
AGOPIT15	MATARÁ	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	1.2	37.1	1.2	37.1
AGOPIT16	SAN MARCOS	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	1.8	40	1.8	40
AGOPIT17	LAGRAMA	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	1.8	40.8	1.8	40.8
AGOPIT18	CAUDAY	24	4.4	-61	$10^{-6}$	128 QAM	3	44.6	1.2	37.1

De la tabla antes presentada, se rescata la estimación del nivel de umbral de calidad para los enlaces, el cual se ha basado en un piso de ruido estimado en -96.50 dBm para un ancho de banda de 56 MHz. Considerando que la modulación 128 QAM debe mantener 35 dB de separación SNR para lograr una tasa de error de bit (BER) de  $10^{-6}$ , se deduce que el nivel mínimo de señal recibida debe de ser -61 dBm, lo cual es presentado como el umbral de calidad requerido.

### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

#### 3.5.1. Simulación de interferencias

Con la recolección de información descrita en el apartado anterior, se procedió a realizar el proceso de simulación correspondiente. Cabe destacar que a diferencia del trabajo de Del Rosario C. (2019), la simulación ahora contempla un escenario en donde todas las estaciones lejanas y cercanas puedan ser susceptibles de interferencia cocanal. 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 de la nodal Agopití actúan como transmisoras, siendo las estaciones lejanas las que actúan como receptoras, y susceptibles de recibir interferencia cocanal.

La frecuencia central de ida es 7456 MHz. Se considera un ancho de banda de 56 MHz, fijando los límites inferior y superior del canal en 7428 MHz y 7484 MHz respectivamente.

b. Interferencia hacia estaciones cercanas (near ends):

Las estaciones remotas actúan como transmisoras, siendo las estaciones coubicadas en la nodal Agopití las que actúan como receptoras, y susceptibles de recibir interferencia cocanal.

La frecuencia central de vuelta es 7508 MHz. Se considera un ancho de banda de 56 MHz, fijando los límites inferior y superior del canal en 7480 MHz y 7536 MHz respectivamente.

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.



Figura 14: Configuración de red para estimación de interferencias

Asimismo, en la Figura 14 se han resaltado los valores de refractividad superficial que serán variados entre 250 N units y 400 Nunits conforme a los límites permitidos por el simulador.

Entre otros parámetros relevantes se resaltan el modo de propagación tipo spot o haz de propagación, y el porcentaje de situaciones 45% que fue calibrado para acercar el entorno de simulación a los valores de señal reales observados en reportes de implementación de enlaces microondas en la ciudad de Cajamarca.

Por otro lado, también se rescata la sección del tipo de clima Continental Sub Tropical, definiéndose como subtropicales las regiones en las que la temperatura media supera los 18°C, variando 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.

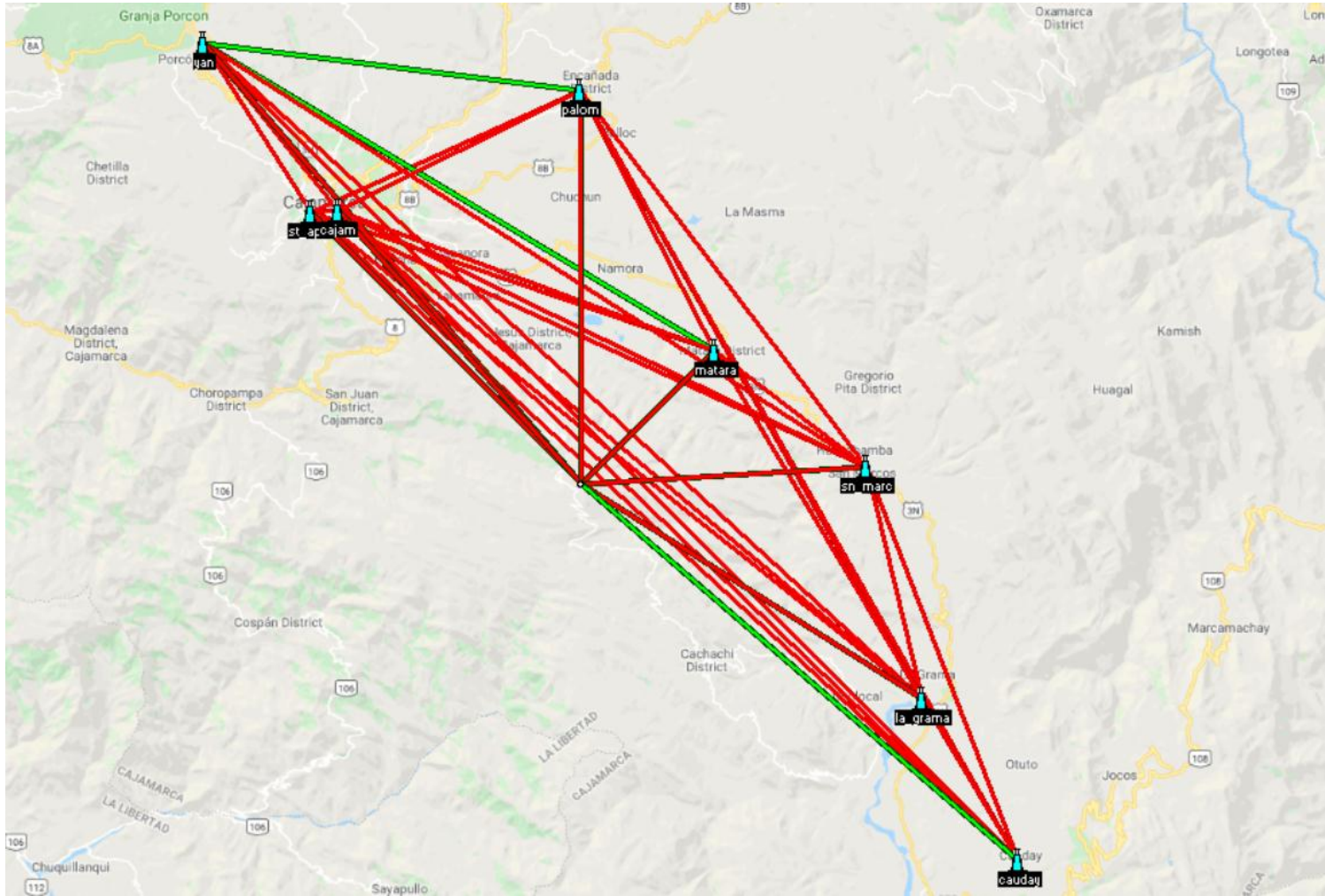


Figura 15 Representación de trayectorias de interferencias resultantes en escenario de simulación

### 3.5.2. Reportes de interferencia obtenidos en sites remotos

Cabe destacar que en la simulación de interferencia cocanal realizada para los sites remotos (far ends), se ha asumido que las 8 estaciones transmisoras coubicadas en Agopití (Agopití 1 hasta Agopití 8) emiten en el mismo canal con la misma frecuencia portadora de 7456 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 250 Nunits hasta 400 Nunits conforme los límites permitidos por la herramienta de simulación.

La Tabla 06 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 Santa Apolonia. En este caso el nivel recibido en Santa Apolonia (Nrx) proviene desde la estación Agopití 1.

Las señales emitidas desde las estaciones Agopití 2, Agopití 3, Agopití 4, Agopití 5, Agopití 6, Agopití 7 y Agopití 8 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 Agopití 1 – Santa Apolonia.

Tabla 06: Tabla interferencias cocanal internas Sta. Apolonia

Ns	STA APOL.	Ag.2	Ag.3	Ag.4	Ag.5	Ag.6	Ag.7	Ag.8	Total
Nunits	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
250	-38.4	-79.6	-58.3	-87.9	-107.2	-110.4	-112.2	-106.2	-58.26
260	-38.1	-80.1	-58.4	-88.1	-106.3	-115.5	-111.5	-106.2	-58.37
270	-38.4	-80.1	-58.5	-88.1	-106.3	-115.5	-111.5	-106.2	-58.47
280	-38.5	-80.1	-58.5	-88.2	-106.5	-115.6	-111.5	-106.2	-58.47
290	-38.1	-80	-58.6	-88.2	-106.9	-115.6	-111.6	-106.1	-58.56
300	-38	-79.4	-58.2	-87.9	-106.4	-110.3	-112.3	-106.3	-58.16
310	-37.6	-79.9	-58.7	-88.2	-106.9	-115.7	-111.6	-106.1	-58.66
320	-37.8	-79.9	-58.7	-88.2	-106.5	-115.8	-111.6	-106.1	-58.66
330	-38.2	-79.8	-58.8	-88.2	-106.3	-115.8	-111.6	-106.1	-58.76
340	-38.5	-79.7	-58.8	-88.2	-106.5	-115.8	-111.6	-106.1	-58.76
350	-38	-79.7	-58.9	-88.3	-107	-115.9	-111.7	-106	-58.86
360	-37.7	-79.6	-58.9	-88.3	-107.1	-115.8	-111.7	-106	-58.86
370	-37.8	-79.5	-58.9	-88.3	-106.5	-115.8	-111.7	-106	-58.86
380	-38.4	-79.5	-58.8	-88.3	-106.3	-115.8	-111.7	-106	-58.76
390	-38.3	-79.4	-58.8	-88.4	-106.7	-115.7	-111.8	-106	-58.76
400	-37.7	-79.4	-58.7	-88.4	-107.1	-115.6	-111.8	-106	-58.66

### 3.5.3. Reportes de interferencia obtenidos en sites coubicados

La simulación de interferencia cocanal realizada para los sites coubicados (near ends), asume que las 8 estaciones transmisoras ubicadas en emplazamientos remotos (Santa Apolonia, Yanacocha, Cajamarca, Palomapata, Matará, San Marcos, La Grama y Cauday) emiten en el mismo canal con la misma frecuencia portadora de 7608 MHz. De esta manera cada estación coubicada (Agopití 1 hasta Agopití 8) recibirá una señal deseada, y siete señales no deseadas (interferencias) desde las estaciones remotas.

La Tabla 07 muestra como ejemplo, un reporte consolidado de los niveles de señal deseada y no deseada obtenidos mediante simulación en uno de los sites coubicados denominado Agopití 1. En este caso el nivel recibido en Agopití 1 (Nrx) proviene desde la estación Santa Apolonia.

Las señales emitidas desde las estaciones Yanacocha, Cajamarca, Palomapata, Matará, San Marcos, La Grama y Cauday están dirigidas hacia otras estaciones en el mismo emplazamiento, sin embargo, logran obtener un nivel de interferencia importante para el enlace Santa Apolonia - Agopití 1.

Tabla 07: Tabla interferencias cocanal internas Agopití 1

Ns	AG.1	Yanac.	Cajam.	Palom.	Matará	Sn. Marcos	La Grama	Cauday	Total
Nunits	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
250	-38	-73.6	-58.9	-80.8	-114.8	-110.6	-114.4	-118	-58.73
260	-38.3	-73.6	-59	-80.7	-114.7	-110.5	-114.7	-118	-58.82
270	-38.7	-73.7	-59.2	-80.6	-114.7	-110.5	-115	-118	-59.02
280	-38.6	-73.6	-59.4	-80.4	-114.6	-110.6	-115	-118	-59.20
290	-38.2	-73.6	-59.6	-80.3	-114.5	-110.8	-114.7	-118	-59.39
300	-37.9	-73.4	-59.6	-80.1	-114.4	-111.1	-114.3	-118	-59.39
310	-37.8	-73.3	-59.5	-80	-114.4	-111.3	-114.2	-118	-59.29
320	-38	-73.2	-59.3	-79.9	-114.3	-111.4	-114.5	-118	-59.09
330	-38.5	-73	-59	-79.9	-114.3	-111.1	-115	-118	-58.80
340	-38.6	-72.9	-58.8	-79.9	-114.2	-110.7	-115	-118	-58.60
350	-38.1	-72.8	-58.8	-80	-114.2	-110.6	-114.4	-118	-58.60
360	-37.8	-72.8	-58.8	-80.2	-114.1	-110.5	-113.2	-118.1	-58.60
370	-38	-72.8	-59	-80.4	-114.1	-110.8	-113.1	-118.1	-58.79
380	-38.6	-72.8	-59.3	-80.7	-114	-111.2	-113	-118.1	-59.08
390	-38.3	-72.9	-59.6	-80.8	-114	-111.4	-113	-118.1	-59.37
400	-37.8	-73.1	-59.5	-80.6	-114	-110.9	-113	-118.1	-59.28

De la misma forma como la mostrada en las Tablas 03 y 04, se han obtenido los reportes de señal recibida e interferencia cocanal para cada una de las 16 estaciones que forman parte de las estaciones remotas y coubicadas de Cajamarca.

### 3.5.4. Gráficos de señal e interferencia obtenidos en emplazamientos remotos

En este apartado, se describirán los gráficos de señal e interferencia obtenidos en función de la refractividad superficial, para las estaciones remotas cuyas señales e interferencias provienen de estaciones coubicadas en el site Agopití.

#### a. Emplazamiento Santa Apolonia

La Figura 16 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Santa Apolonia, obtenidos en un escenario variación de refractividad superficial entre 250 y 400 Nunits. Se puede apreciar desvanecimientos de la señal deseada en rangos inferiores, medios y superiores de refractividad superficial, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación Agopití 3, presentándose una ligera elevación de interferencia hasta -58 dBm en valores  $N=300$  Nunits.

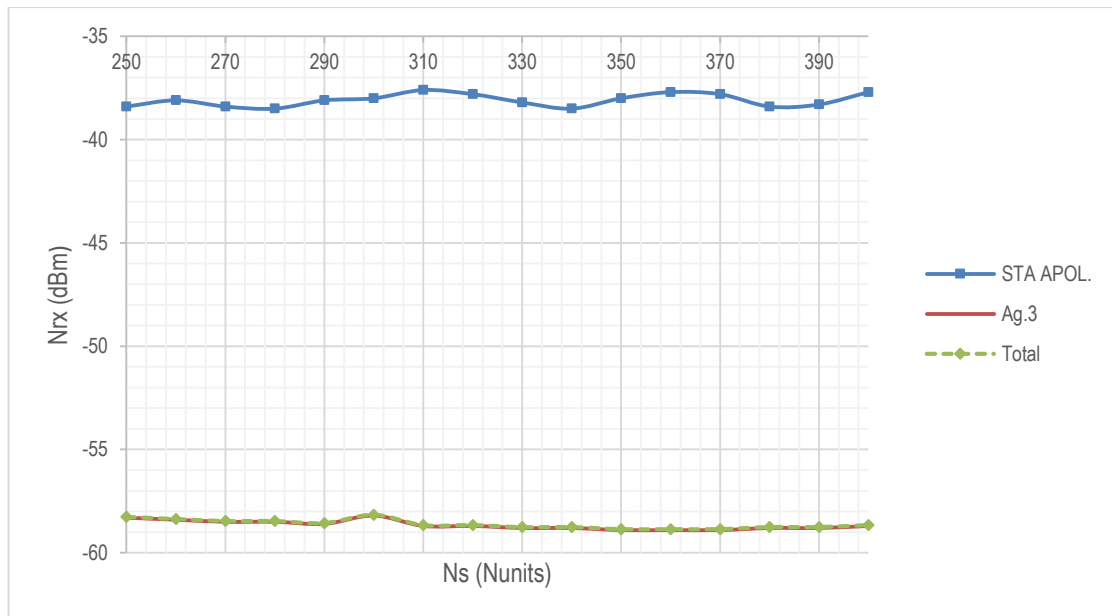


Figura 16 Señal e interferencia recibida en Santa Apolonia

### b. Emplazamiento Yanacocha

En la Figura 17 se muestran los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Yanacocha, obtenidos en un escenario variación de refractividad superficial entre 250 y 400 Nunits. Se puede apreciar ligero desvanecimiento de la señal deseada en rangos superiores de refractividad superficial, en tanto que la interferencia más alta proviene de la estación Agopití 3, la cual tiende a mantenerse constante en el rango evaluado con un valor promedio de -66 dBm.

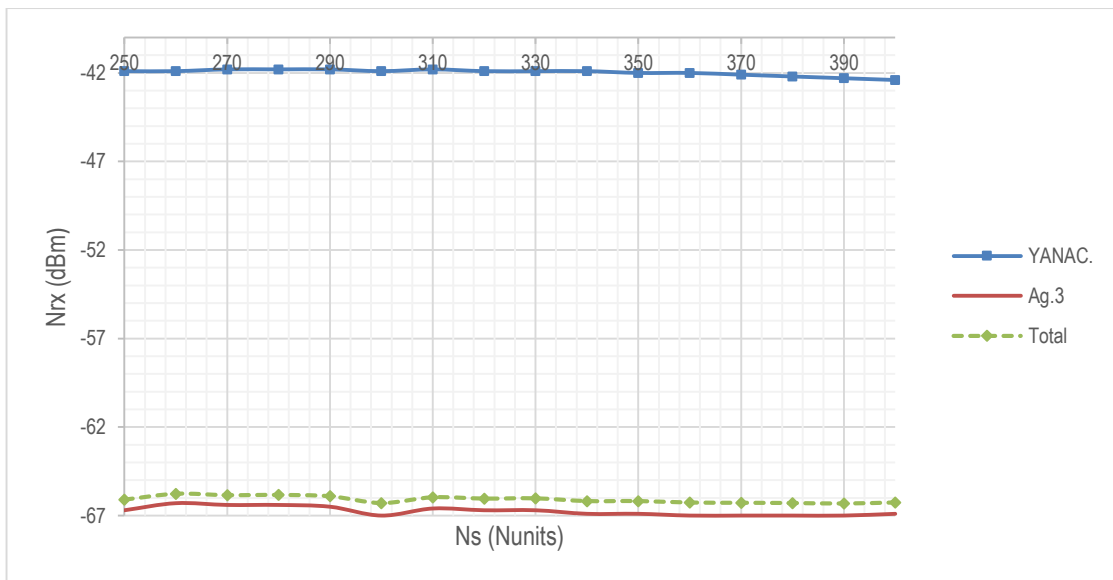


Figura 17 Señal e interferencia recibida en Yanacocha

### c. Emplazamiento Cajamarca

En la Figura 18 se muestran los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en el emplazamiento Cajamarca, obtenidos en un escenario variación de refractividad superficial entre 250 y 400 Nunits. Se puede observar que no existen desvanecimientos apreciables de la señal deseada, en tanto que la interferencia más alta proviene de la estación Agopití 1, la cual posee un alto valor de -60 dBm sin aumentos apreciables en valores específicos de refractividad superficial.

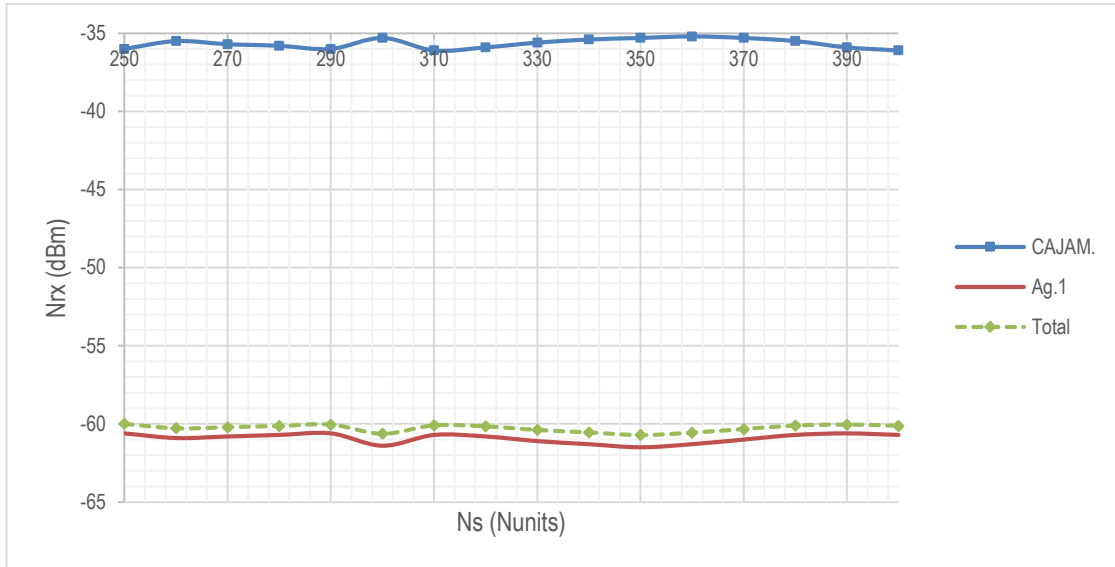


Figura 18 Señal e interferencia recibida en Cajamarca

#### d. Emplazamiento Palomapata

En la Figura 19 se muestran los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en el emplazamiento Palomapata. Se puede observar que no existen desvanecimientos apreciables de la señal deseada proveniente desde la estación coubicada Agopití 4, en tanto que las interferencias más altas provienen de las estaciones Agopití 1 y Agopití 3, las cuales, a pesar de alcanzar niveles de potencia apreciables de -79 dBm, no poseen incrementos significativos en valores específicos de refractividad superficial.

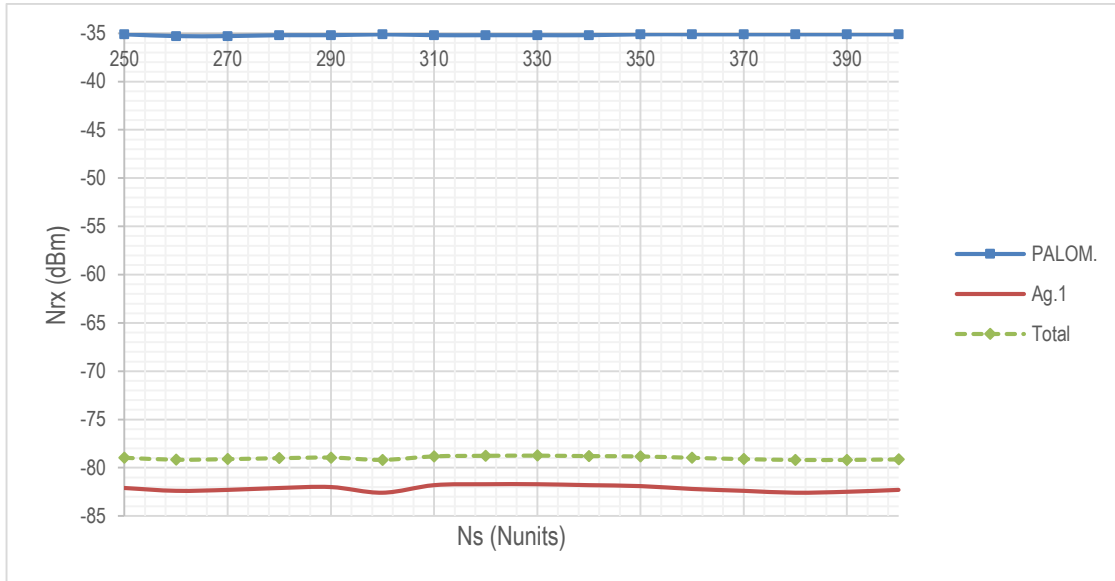


Figura 19 Señal e interferencia recibida en Palomapa

#### e. Emplazamiento Matará

En la Figura 20 se muestran los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en el emplazamiento Matará. Se puede observar que no existen desvanecimientos apreciables de la señal deseada proveniente desde la estación coubicada Agopití 5, en tanto que la interferencia más alta proviene de la estación Agopití 6, la cual presenta dos incrementos notorios en valores específicos de refractividad superficial correspondientes a  $N = 250$  Nunits y  $N = 300$  Nunits. Estos incrementos pasan de valores relativamente bajos (-98 dBm) a incrementos considerables que llegan a elevar la interferencia total hasta -85 dBm.



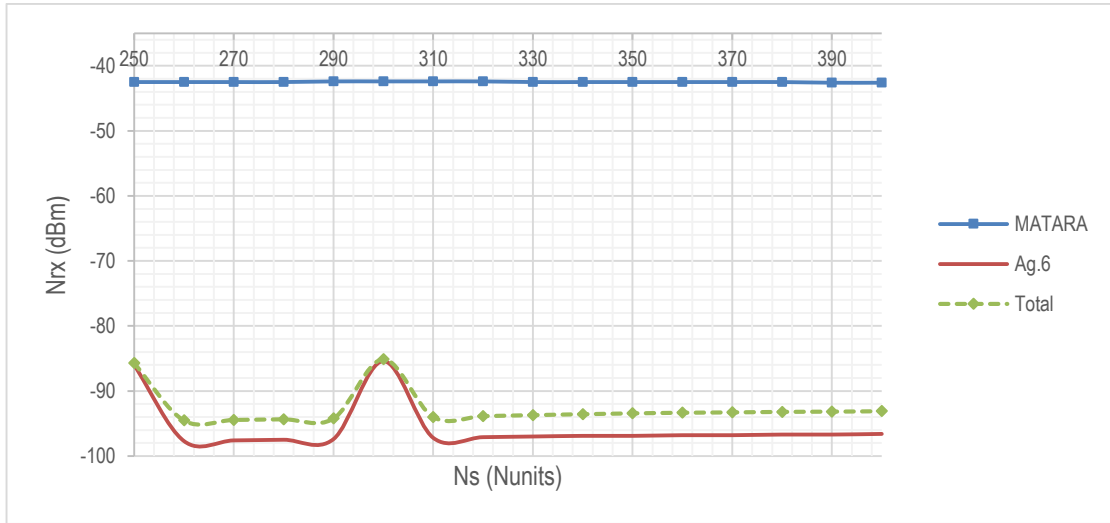


Figura 20 Señal e interferencia recibida en Matará

**f. Emplazamiento San Marcos**

En la Figura 21 se muestra el resultado del proceso de simulación en el emplazamiento San Marcos. Se puede observar que no existen desvanecimientos apreciables de la señal proveniente desde la estación Agopití 6, asimismo la interferencia tampoco presenta fluctuaciones notorias presentando valores relativamente bajos (-87 dBm) provenientes principalmente de la estación Agopití 7, las cuales tienen una tendencia a mantenerse estables.

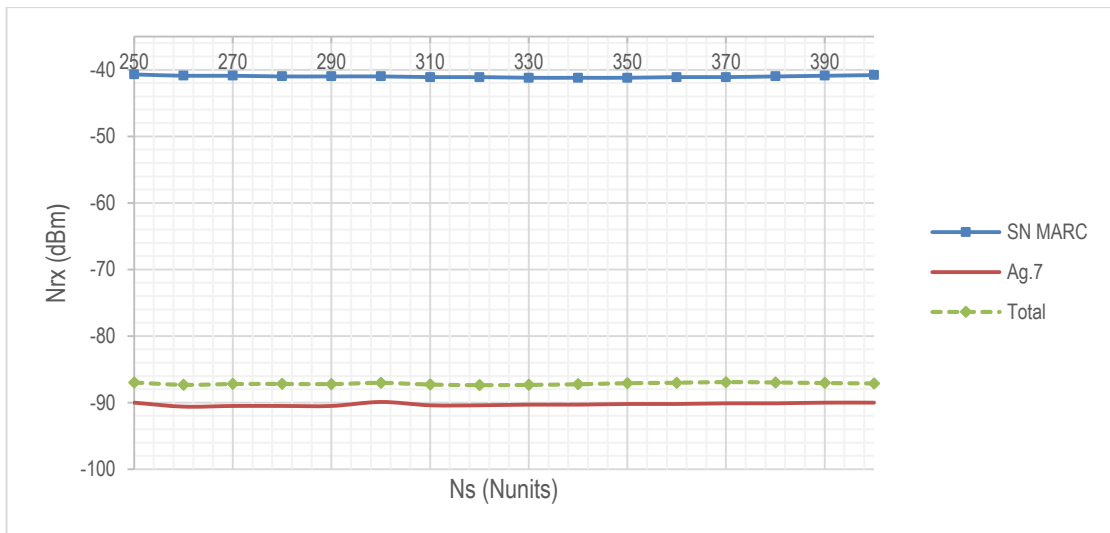


Figura 21 Señal e interferencia recibida en San Marcos

### g. Emplazamiento La Grama

En la Figura 22 se muestra el resultado del proceso de simulación en el emplazamiento La Grama. Se puede observar que no existen desvanecimientos apreciables de la señal proveniente desde la estación Agopití 7, asimismo la interferencia presenta valores relativamente bajos (-90 dBm) provenientes principalmente de la estación Agopití 8, las cuales tienen una tendencia a elevarse en valores específicos de refractividad superficial correspondientes a  $N = 250$  Nunits y  $N = 300$  Nunits.

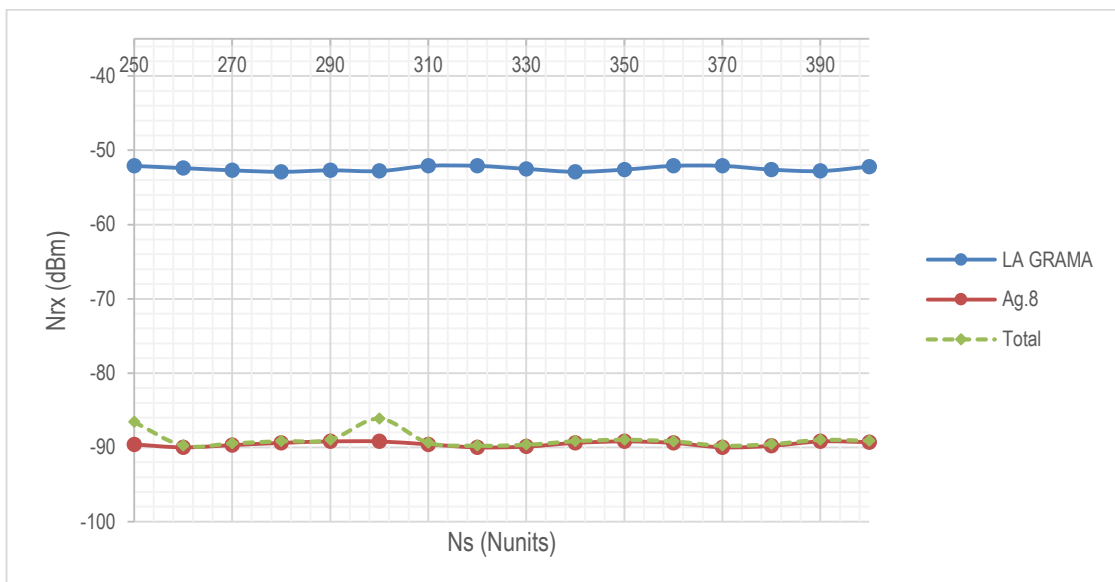


Figura 22 Señal e interferencia recibida en La Grama

### h. Emplazamiento Cauday

En la Figura 23 se muestra el resultado del proceso de simulación en el emplazamiento Cauday. Se puede observar que no existen desvanecimientos apreciables de la señal proveniente desde la estación Agopití 8, asimismo la interferencia tampoco presenta fluctuaciones notorias presentando valores relativamente bajos (-93 dBm) provenientes principalmente de la estación Agopití 7, las cuales tienen una tendencia a mantenerse constante.

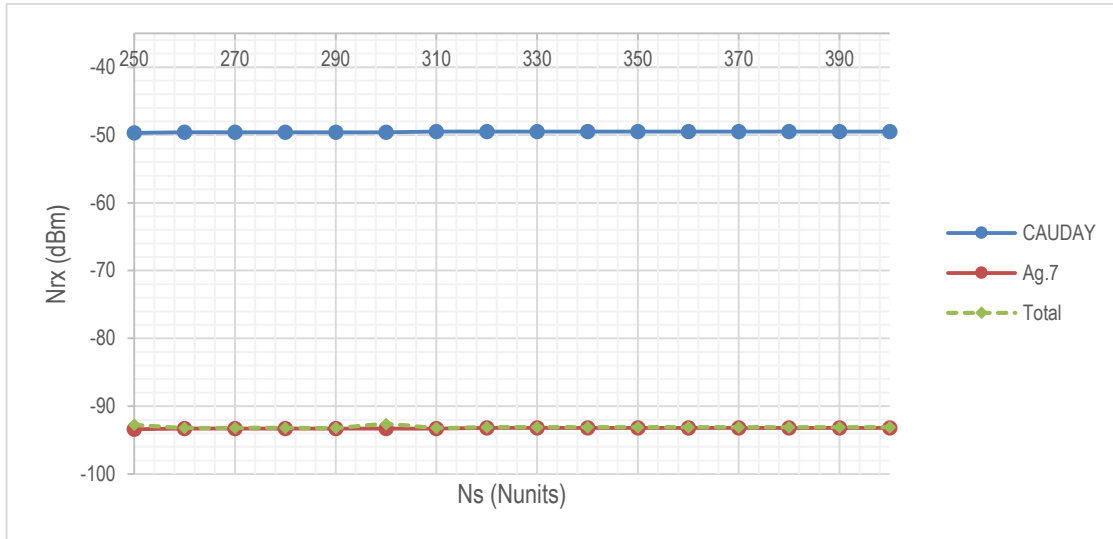


Figura 23 Señal e interferencia recibida en Cauday

### 3.5.5. Señal e interferencia obtenidas en estaciones coubicadas

En este apartado, se describirán los gráficos de señal e interferencia obtenidos en función de la refractividad superficial, para las estaciones remotas cuyas señales e interferencias provienen de estaciones coubicadas en el site Agopití.

#### a. Estación Agopití 1

La Figura 24 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 1. Se puede apreciar desvanecimientos ligeros de la señal deseada en rangos inferiores, medios y superiores de refractividad superficial, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación Cajamarca, presentándose una ligera elevación de interferencia hasta -58.6 dBm en valores  $N= 350$  Nunits.

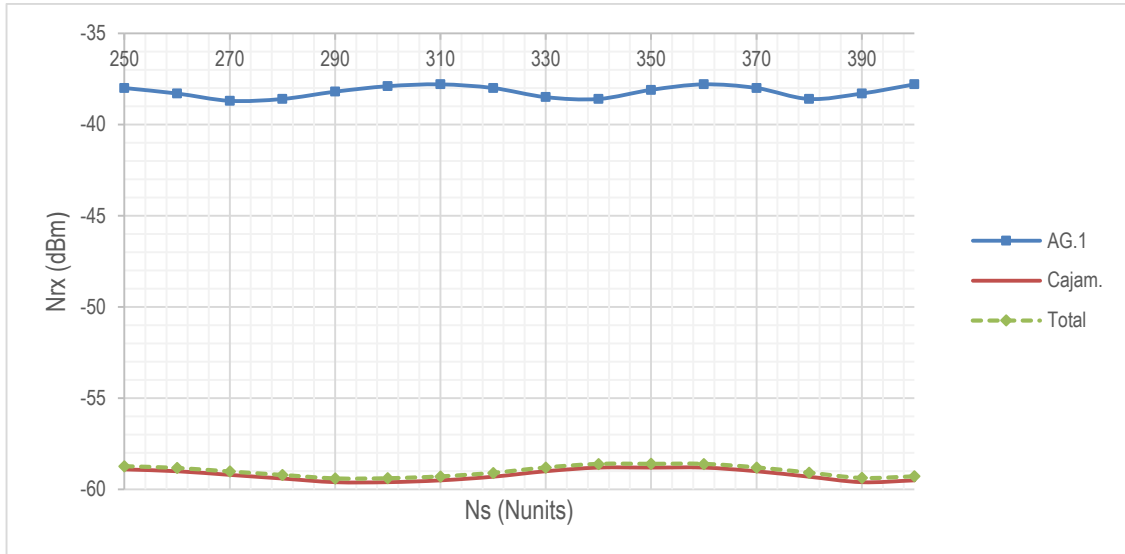


Figura 24 Señal e interferencia recibida en Agopití 1

### b. Estación Agopití 2

La Figura 25 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 2. Se puede apreciar un ligero incremento de la señal deseada en rangos superiores de refractividad superficial, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación Cajamarca, presentándose una ligera elevación de interferencia hasta -68.4 dBm en valores  $N = 300$  Nunits y  $N = 400$  Nunits.

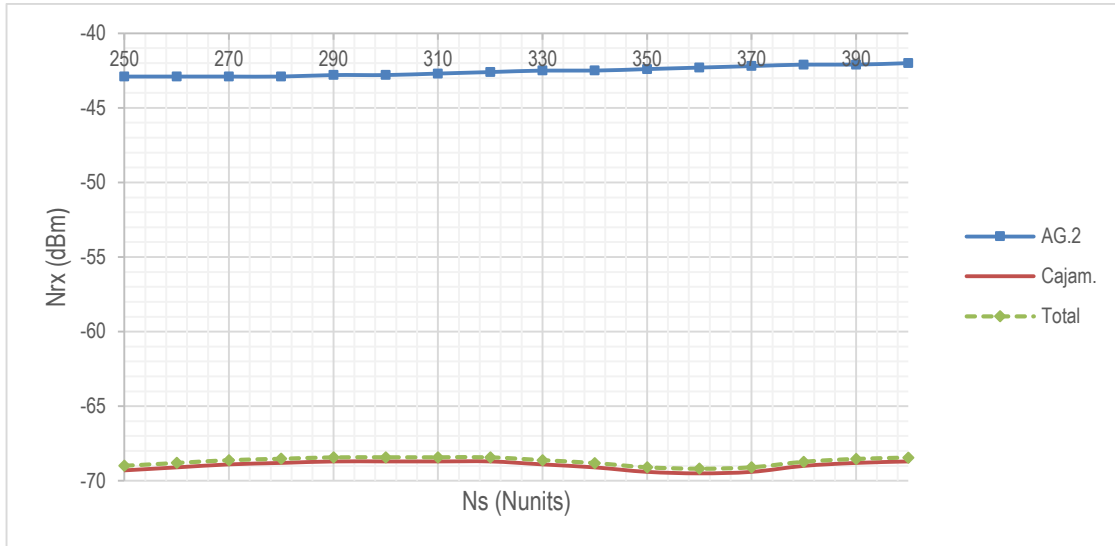


Figura 25 Señal e interferencia recibida en Agopití 2

### c. Estación Agopití 3

La Figura 26 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 3. Se puede apreciar un ligero desvanecimiento de la señal deseada en rangos superiores de refractividad superficial, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación Santa Apolonia, presentándose tendencia a mantener un valor promedio constante de -59 dBm.

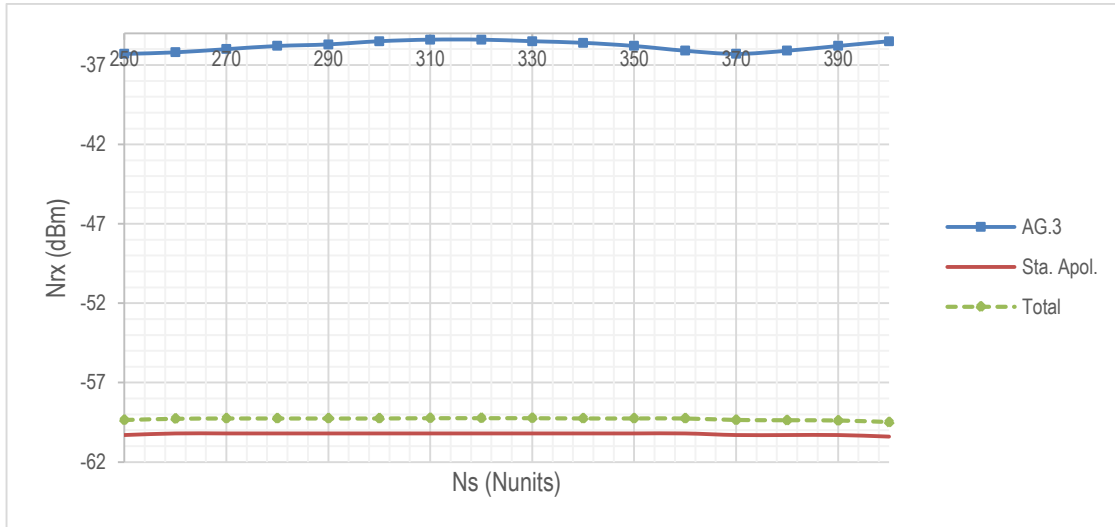


Figura 26 Señal e interferencia recibida en Agopití 3

#### d. Estación Agopití 4

La Figura 27 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 4. Se puede apreciar que la señal deseada tiende a mantenerse constante en todo el rango de refractividad superficial, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación Yanacocha, presentándose tendencia a mantener un valor promedio constante de -85 dBm.

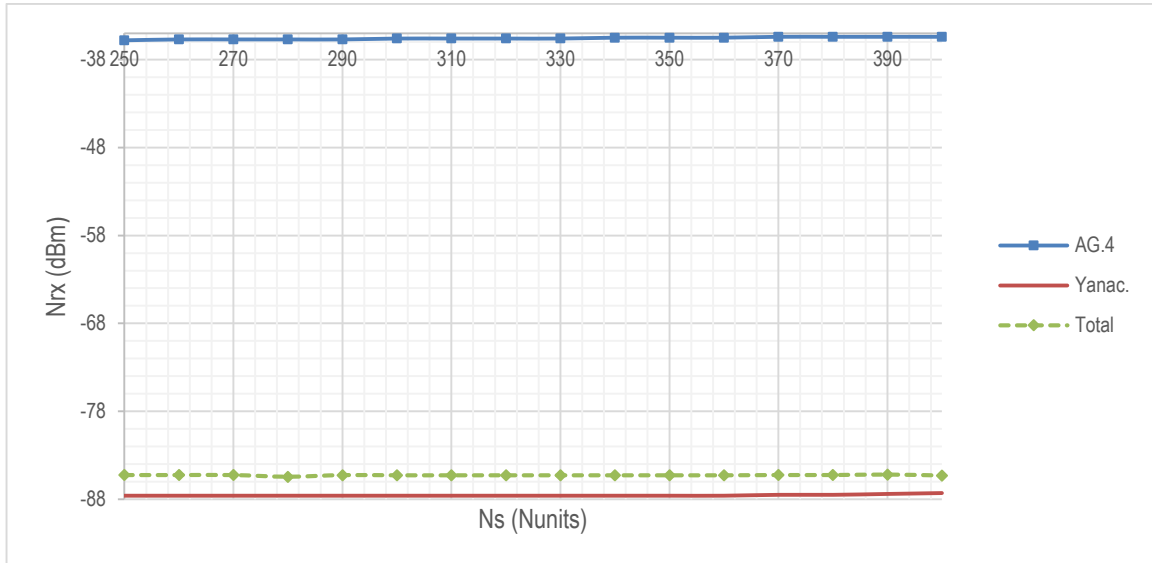


Figura 27 Señal e interferencia recibida en Agopití 4

**e. Estación Agopití 5**

La Figura 28 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 5. Se puede apreciar que la señal deseada tiende a presentar desvanecimiento en valores altos de refractividad superficial, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación San Marcos, presentándose tendencia a mantener un valor promedio constante de -86.5 dBm.

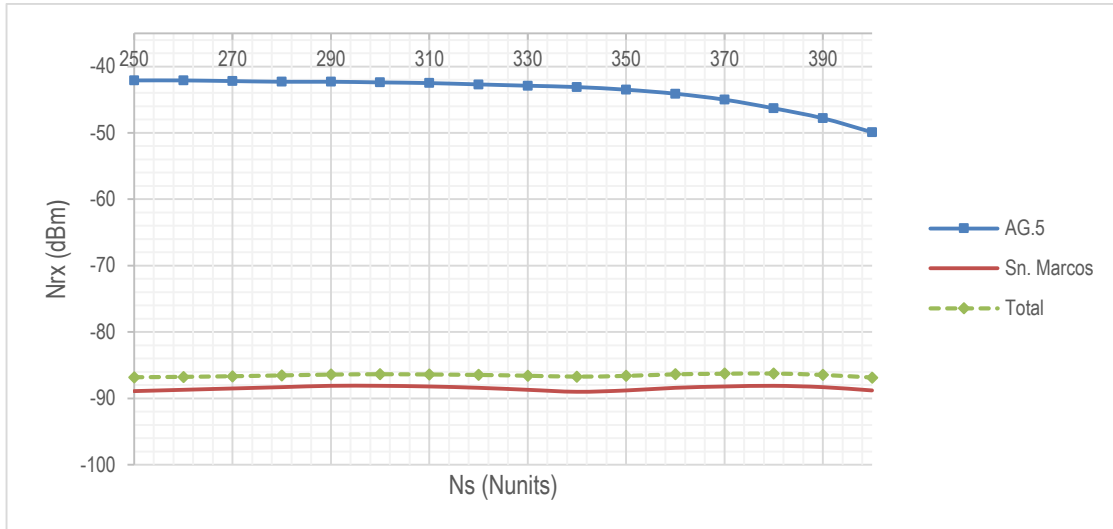


Figura 27 Señal e interferencia recibida en Agopití 5

#### f. Estación Agopití 6

La Figura 28 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 6. Se puede apreciar que la señal deseada proveniente de la estación San Marcos, tiende a presentar una tendencia constante, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación La Grama, decayendo de valores promedio de -86 dBm a -89.5 dBm en valores altos de refractividad superficial.



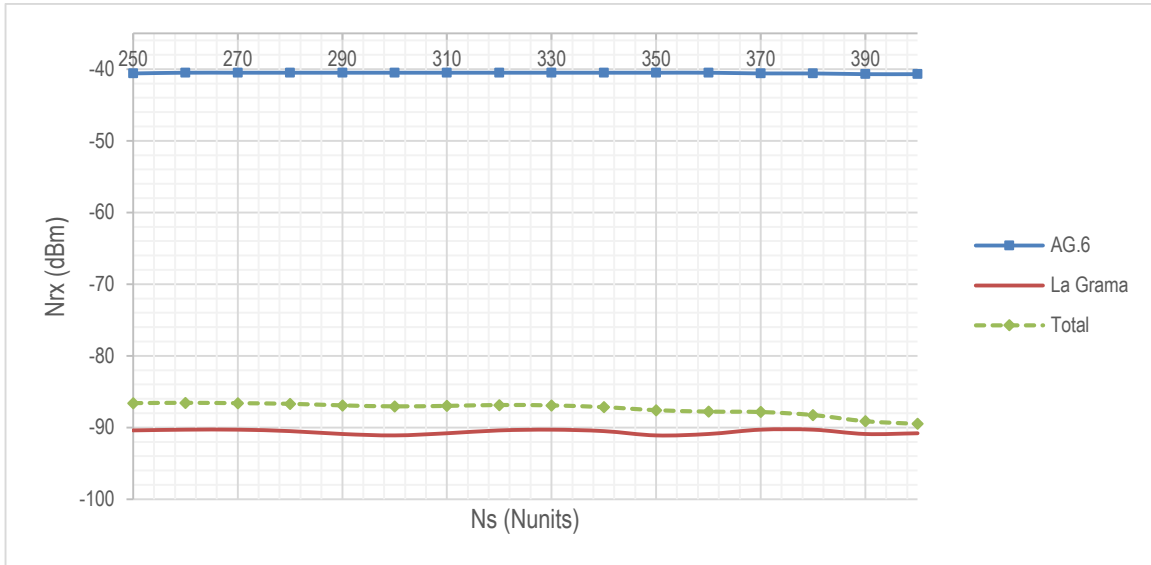


Figura 28 Señal e interferencia recibida en Agopití 6

### g. Estación Agopití 7

La Figura 29 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 7. Se puede apreciar que la señal deseada proveniente de la estación La Grama, tiende a presentar una tendencia constante, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación San Marcos, con una tendencia a mantenerse en un valor de -88 dBm en los rangos simulados de refractividad superficial.

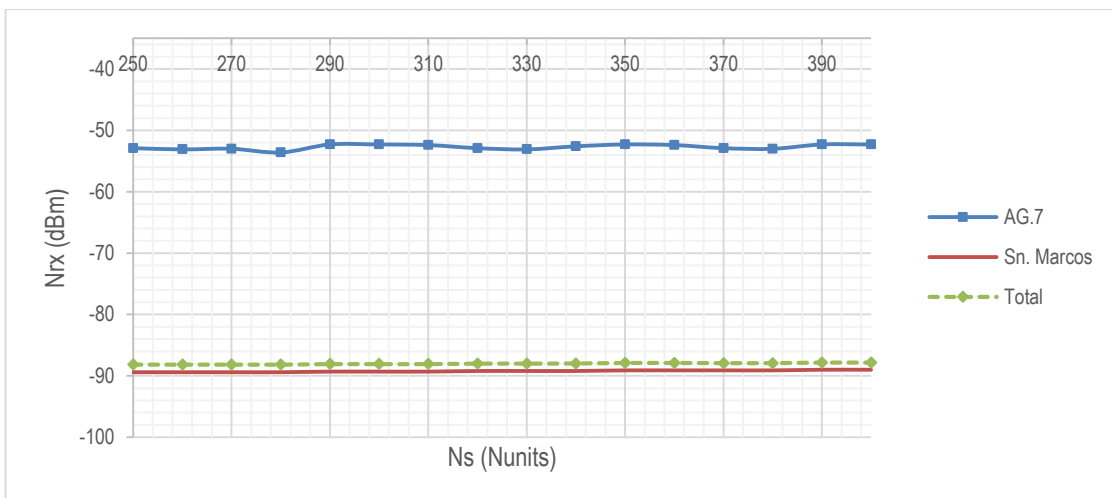


Figura 29 Señal e interferencia recibida en Agopití 7

### h. Estación Agopití 8

La Figura 30 muestra los resultados del proceso de simulación de señal e interferencia recibida en la estación Agopití 8. Se puede apreciar que la señal deseada proveniente de la estación Cauday, tiende a presentar una tendencia constante, en tanto que la interferencia más alta provendría de la estación La Grama, con una tendencia a mantenerse en un valor de -87 dBm en los rangos simulados de refractividad superficial

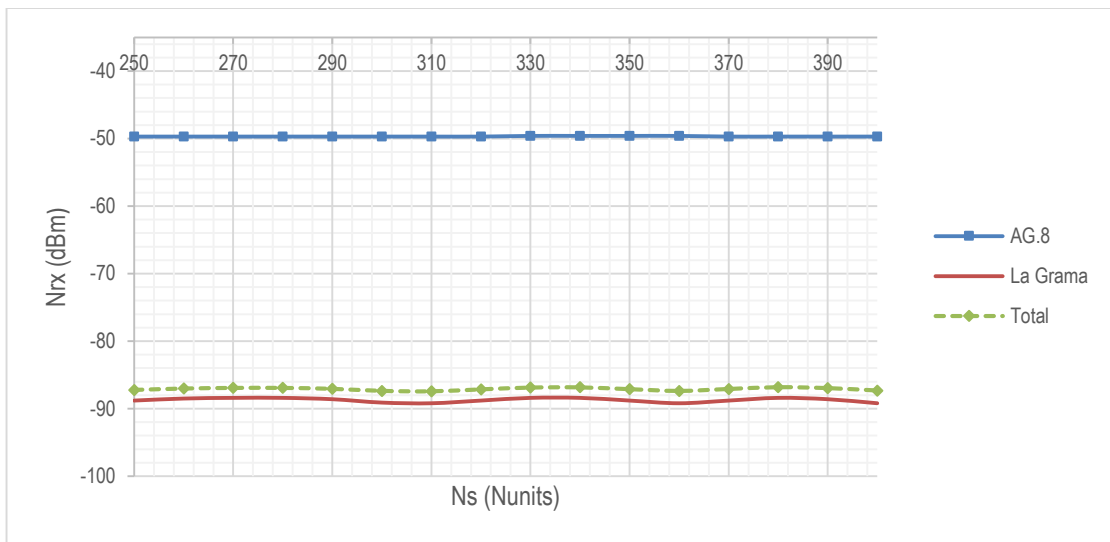


Figura 30 Señal e interferencia recibida en Agopití 8

### 3.5.6. Propuesta de indicadores de resultados de simulación

En este apartado, se describirán los indicadores propuestos para analizar los resultados de simulación y describir los principales hallazgos encontrados en cuanto al incremento de interferencias en dependencia de la refractividad superficial, tanto en los emplazamientos remotos, como en las estaciones cubicadas.

La Tabla 6, muestra la propuesta de indicadores para el análisis de los resultados del proceso de simulación. En ella se puede apreciar que se cuantifica el valor promedio de potencia recibida ( $N_{rx\ prom}$ ) y su desvanecimiento

más crítico ( $\Delta N_{rx \text{ crit}}$ ), a fin de identificar si la potencia recibida en las estaciones, es susceptible de decaer hasta niveles límites (umbral de recepción).

Tabla 08 Propuesta de indicadores para análisis de resultados de simulación

ITEM	DESCRIPCIÓN
$N_{rx \text{ prom}}$	Nivel de recepción promedio (dBm)
$\Delta N_{rx \text{ crit}}$	Desvanecimiento mas crítico de nivel de recepción (dB)
Est $N_{rx \text{ prom}}$	Estación desde donde proviene la señal deseada ( $N_{rx \text{ prom}}$ )
$I_{\text{max}}$	Nivel máximo de interferencia total identificado (dB)
$\Delta I_{\text{crit}}$	Incremento máximo de nivel de interferencia total (dB)
Est $I_{\text{max}}$	Estación desde donde proviene el máximo nivel de interferencia
$N_{\text{crit1}}$	Primer valor de refractividad superficial asociado al aumento máximo de interferencia (Nunits)
$N_{\text{crit2}}$	Segundo valor de refractividad superficial asociado al aumento máximo de interferencia (Nunits)

Del mismo modo en la Tabla 8, se proponen indicadores para evaluación de interferencia. De este modo se cuantifica el nivel de interferencia total máxima ( $I_{\text{max}}$ ), así como el máximo incremento identificado ( $\Delta I_{\text{crit}}$ ). En este mismo orden de ideas se proponen identificar los valores de refractividad superficial asociados a los incrementos de interferencia. Dado que en algunos casos se llegaron a observar dos incrementos de interferencia hasta niveles máximos, se proponen hasta dos valores de refractividad asociados al incremento máximo de interferencia ( $N_{\text{crit1}}$ ,  $N_{\text{crit2}}$ ).

De igual forma en la Tabla 06, entre los indicadores propuestos se identifica a la estación desde donde proviene la señal deseada (Est  $N_{rx \text{ prom}}$ ), y a la estación desde donde proviene la mayor contribución a la interferencia total (Est  $I_{\text{max}}$ ).

### 3.5.7. Resumen de resultados de simulación en emplazamientos remotos

Conforme los indicadores descritos en el apartado anterior, en la Tabla 07 se muestra un resumen de los principales resultados obtenidos en la simulación de la señal e interferencia recibida en los emplazamientos remotos, con la correspondiente variación de refractividad superficial.

Se puede observar que en las 08 estaciones remotas analizadas se obtuvieron valores estables de señal deseada ( $N_{rx\ prom}$ ), puesto que los desvanecimientos de esta señal ( $\Delta N_{rx\ crit}$ ) no llegan a superar los 0.9 dB.

Tabla 09 Resumen resultados simulación emplazamientos remotos

ITEM	Sta. Apolonia	Yanacocha	Cajamarca	Palomapata	Matará	San Marcos	La Grama	Cauday
$N_{rx\ prom}$ (dBm)	-38.09	-41.98	-35.66	-35.16	-42.49	-41.01	-52.10	-49.54
$\Delta N_{rx\ crit}$ (dB)	0.90	0.60	0.90	0.90	0.20	0.50	0.80	0.20
Est $N_{rx\ prom}$	Ag.01	Ag.02	Ag.03	Ag.04	Ag.05	Ag.06	Ag.07	Ag.08
$I_{max}$ (dBm)	-58.16	-65.76	-60.00	-78.74	-85.10	-86.91	-86.12	-92.64
$\Delta I_{crit}$ (dB)	0.70	0.56	0.71	0.44	<b>9.42</b>	0.45	<b>3.64</b>	0.54
Est. $I_{max}$	Ag.03	Ag.03	Ag.01	Ag. 01	Ag. 06	Ag. 07	Ag. 08	Ag. 07
$N_{crit1}$ (Nunits)	300.00	310.00	310.00	310.00	300.00	300.00	300.00	300.00
$N_{crit2}$ (Nunits)	-	-	-	-	250.00	-	250.00	250.00

Del mismo modo se puede apreciar que los niveles de interferencia cocanal obtenidos en las estaciones remotas Santa Apolonia, Yanacocha, Cajamarca y Palomapata, poseen valores muy altos, de manera que se acercan o superan incluso el nivel de umbral de recepción ( $N_{TH} = -61$  dBm). En el mismo orden de ideas las estaciones Matará, San Marcos, La Grama y Cauday obtuvieron niveles de interferencia total mucho menores, de manera que mantienen un margen aceptable entre el umbral de recepción y la interferencia máxima (márgenes superiores a 24 dB).

El comportamiento de la interferencia total en cada estación, se ha asociado a los valores de refractividad en los cuales se aprecia incremento ya sea en menor o mayor medida. Los incrementos más significativos de interferencia se han resaltado en negrita, y corresponden a las estaciones receptoras Matará (incremento de 9 dB de interferencia proveniente de Agopití 06), y estación receptora La Grama (incremento de 3.64 dB de interferencia proveniente de Agopití 08).

### 3.5.8. Resumen de resultados de simulación en estaciones coubicadas

En la Tabla 08 se muestra un resumen de los principales resultados obtenidos en la simulación de la señal e interferencia recibida en las estaciones coubicadas, con la correspondiente variación de refractividad superficial.

De las 08 estaciones coubicadas analizadas, 07 obtuvieron valores estables de señal deseada ( $N_{rx \text{ prom}}$ ), puesto que los desvanecimientos de estas señales ( $\Delta N_{rx \text{ crit}}$ ) no llegan a superar los 1.3 dB. La estación Agopití 05, la cual recibe señal desde la estación San Marcos, obtuvo un desvanecimiento máximo de 7.8 dB, en valores altos de refractividad superficial.

Tabla 10 Resumen resultados simulación estaciones coubicadas

ITEM	Agopití 01	Agopití 02	Agopití 03	Agopití 04	Agopití 05	Agopití 06	Agopití 07	Agopití 08
$N_{rx \text{ prom}}$ (dBm)	-38.20	-42.54	-35.81	-35.57	-43.83	-40.54	-52.71	-49.68
$\Delta N_{rx \text{ crit}}$ (dB)	0.90	0.90	0.90	0.40	7.80	0.20	1.30	0.10
Est $N_{rx \text{ prom}}$	Sta. Apolonia	Yanacocha	Cajamarca	Palomapata	Matará	San Marcos	La Grama	Cauday
$I_{\text{max}}$ (dBm)	-58.60	-68.42	-59.23	-85.20	-86.24	-86.57	-87.85	-86.81
$\Delta I_{\text{crit}}$ (dB)	0.80	0.76	0.26	0.26	0.63	<b>2.91</b>	0.30	0.63
Est. $I_{\text{max}}$	Cajamarca	Cajamarca	Sta. Apolonia	Yanacocha	San Marcos	La Grama	San Marcos	La Grama
$N_{\text{crit1}}$ (Nunits)	350.00	310.00	310.00	390.00	380.00	250.00	390.00	380.00
$N_{\text{crit2}}$ (Nunits)	250.00	-	-	-	300.00	-	-	-

En cuanto a la interferencia estimada en las estaciones Agopití 01, Agopití 02 y Agopití 03, sus niveles llegan a valores muy altos, superando incluso el nivel de umbral de recepción ( $N_{\text{TH}} = -61$  dBm). En cuanto a las estaciones Agopití 04, Agopití 05, Agopití 06, Agopití 07, y Agopití 08, obtuvieron niveles de interferencia mucho menores, con un margen señal (umbral de recepción) a ruido superior a 25.24 dB.

Se han identificado valores de refractividad superficial asociados a ligeros incrementos de la interferencia, siendo el mayor de ellos, el obtenido para la estación Agopití 06, cuya interferencia mayor proviene de la estación remota La Grama, con un valor de 2.91 dB de incremento de interferencia cocanal.

### 3.5.9. Selección de valores de refractividad

En este apartado, se describe el proceso de selección de los valores de refractividad que se encuentran asociados al mayor número de incrementos de interferencia cocanal total en cada estación analizada. De esta manera la Tabla 08, muestra el número de incrementos de interferencia cocanal total, que se han obtenido para cada valor de refractividad superficial. Se puede apreciar que el valor de  $N_s = 300$  es el que mayor cantidad de incrementos de interferencia ha generado (06 incrementos de interferencia identificados), seguido de los valores  $N_s = 250$  y  $N_s = 310$  (05 incrementos de interferencia identificados en ambos casos). En la misma tabla se presentan los porcentajes acumulados respecto del total de incrementos de interferencia identificados.

Tabla 11 Incrementos de interferencia por valor de refractividad superficial

Ns	N° Incr. Interf.	% acumulado
Ns=300	6	28.57%
Ns=250	5	52.38%
Ns=310	5	76.19%
Ns=380	2	85.71%
Ns=390	2	95.24%
Ns=350	1	100.00%

De la misma forma, la Figura 31, muestra los porcentajes acumulados de incrementos de interferencia identificados por valor de refractividad superficial, a través de un gráfico de Pareto, por medio del cual se permite identificar que los valores de  $N_s = 300$ ,  $N_s = 250$ , y  $N_s = 310$ , son los que generan el mayor porcentaje de incrementos de interferencia cocanal identificados en el proceso de simulación de las estaciones remotas y coubicadas.

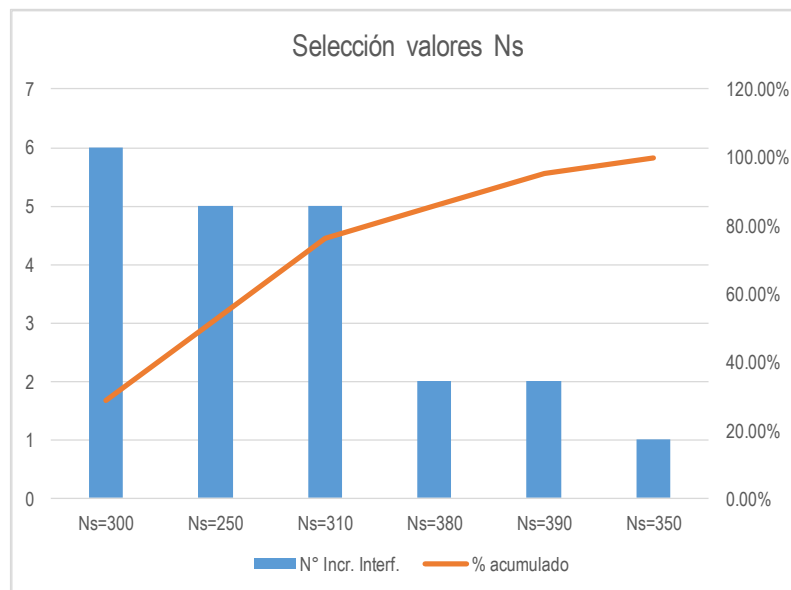


Figura 31 Selección valores refractividad – Pareto

### 3.5.10. Datos climáticos de Cajamarca

Conforme el modelo recomendado por ITU-R P.453, la refractividad superficial guarda dependencia con la Presión Atmosférica, Temperatura Ambiental, y Humedad. En tal sentido en el presente apartado se muestra la información recopilada acerca de data histórica relevante para referencia de rangos máximos, mínimos y promedio a ser considerados en el posterior procesamiento de información.

En la Tabla 12 se muestra un consolidado de valores promedio de presión atmosférica para diferentes departamentos del Perú. Entre ellos se puede apreciar que los valores de presión atmosférica para el Departamento de Cajamarca se encuentran en un promedio anual entre 740 mbar a 744 mbar. Cabe destacar que conforme al modelo ITU-R P.423, esta magnitud es la que menor variación suele presentar ante el cambio de condiciones climáticas de temperatura y humedad.

Tabla 12 Presión atmosférica anual según departamento 2000 – 2015 (mbar)

Departamento	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Arequipa	753.0	753.5	753.7	753.5	761.1	765.3	768.0	770.2	772.2	771.0	769.3	767.4	767.3	773.4	767.0	...
Cajamarca	740.4	741.0	741.4	741.3	742.3	741.8	742.3	742.5	741.5	742.0	742.4	742.0	742.4	...	744.0	740.6
Cusco	693.0	693.4	693.7	693.2	693.6	693.3	693.4	693.2	692.5	693.0	691.9	692.6	692.4	701.2	695.3	694.5
Huánuco	...	...	...	...	...	...	...	808.8	808.3	806.4	806.1	805.2	804.4	805.3	814.7	805.3
Ica	967.4	968.9	968.4	964.8	968.1	968.4	968.3	966.6	966.5	972.1	972.9	972.8	973.7	975.4	975.8	...
Junín	687.8	688.4	688.6	...	688.1	688.0	688.0	687.9	687.6	688.2	688.0	687.4	687.8	692.8	688.4	688.4
Lambayeque	1 010.5	1 010.1	1 009.5	1 008.9	1 009.5	1 016.5	1 015.7	1 010.5	...	...	...	...	...	...	...	...
Lima	999.8	996.8	998.3	998.4	998.6	998.8	998.3	998.7	998.9	998.2	998.8	998.8	998.3	997.7	998.7	998.2
Moquegua	857.9	858.0	858.1	858.2	857.7	857.1	857.1	857.7	857.2	856.5	857.0	856.6	855.8	855.6	856.0	855.3
Piura	1 016.2	1 016.2	1 015.9	1 014.8	1 016.3	1 016.6	...	1 011.4	1 011.5	1 010.9	1 010.9	1 011.6	1 009.8	1 007.7	1 011.7	1 011.2
Puno	...	...	...	...	649.6	649.9	650.6	649.9	649.6	657.2	650.4	649.0	645.3	649.3	654.8	650.1
Tacna	953.4	952.5	953.3	952.5	953.4	953.5	952.8	953.3	952.7	952.6	952.8	953.2	951.3	952.4	961.1	952.4

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI (2015)

De la misma manera en la Tabla 13 se muestra un consolidado de valores promedio de porcentaje de humedad para diferentes departamentos del Perú. Entre ellos se puede apreciar que los valores de humedad para el Departamento de Cajamarca se encuentran en un promedio anual entre 63% y 72% de humedad relativa. Cabe destacar que conforme al modelo ITU-R P.423, es posible obtener la magnitud de la presión de vapor de agua ( $e$ ) a partir de los valores de humedad relativa y presión de saturación de vapor de agua ( $e_s$ ) conforme las siguientes fórmulas:

$$e_s = a \exp\left(\frac{bt}{t+c}\right)$$

$$e = \frac{H e_s}{100}$$

Donde:

H : Humedad relativa (%)

$e_s$  : Presión de saturación de vapor agua (mbar)

t : Temperatura ambiental (°C)

a,b,c : Parámetros complementarios según ITU-R P.423



Tabla 13 Humedad relativa anual según departamento 2000 – 2015 (%)

Departamento	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Amazonas	88	87	85	87	85	82	83	80	82	85	83	85	88	83	77	77	81	87	83	81
Ancash	63	63	70	67	88	67	64	64	68	63	74	77	75	78	81	85	80	77	78	76
Apurímac	92	89	88	91	87	89	91	90	87	94	94	95	93	91	91	93	87	83	79	82
Arequipa	48	51	51	41	52	41	41	41	51	53	56	58	52	57	47	50	54	51	49	48
Ayacucho	64	61	59	63	63	59	58	57	56	57	77	75	70	86	84	78	73	77	77	79
Cajamarca	64	66	65	63	63	69	72	70	69	65	64	66	63	69	65	65	65	64	63	63
Cusco	71	72	72	77	75	80	80	77	71	75	75	72	64	71	74	76	67	74	68	69
Huancavelica	73	84	79	78	74	77	80	77	76	80	79	78	75	77	76	81	84	84	86	85
Huánuco	70	68	65	65	66	64	64	63	65	62	64	63	67	65	64	67	65	66	65	64
Ica	68	69	70	68	69	78	80	83	81	82	79	80	76	86	84	75	70	68	74	73
Junín	52	52	54	65	62	65	66	64	63	61	63	62	60	67	64	65	63	62	59	59
La Libertad	85	82	62	84	83	84	82	82	82	80	89	89	86	89	91	91	87	92	91	85
Lambayeque	76	72	78	79	79	80	78	80	76	72	71	86	82	83	83	82	81	82	80	81
Lima	84	78	85	89	84	88	86	85	89	85	84	87	84	86	85	85	86	86	87	86
Loreto	90	90	89	92	89	90	89	92	90	89	86	86	83	84	84	83	85	85	84	92
Madre de Dios	-	-	87	86	86	82	84	82	84	70	88	85	81	86	...	83	83	85	90	93
Moquegua	59	55	59	55	55	61	56	66	55	56	58	57	55	57	62	63	61	62	63	65
Pasco	-	80	78	80	81	85	84	83	79	83	85	84	79	81	75	82	84	86	85	86
Piura	64	62	65	63	69	67	72	72	69	70	74	71	75	76	73	70	75	74	76	76
Puno	45	-	-	-	...	...	63	62	61	57	62	63	56	55	56	63	61	64	65	68
San Martín	82	82	82	84	83	84	84	84	83	83	83	84	74	83	81	82	82	82	83	83
Tacna	78	76	75	74	74	77	78	75	75	77	78	80	73	75	77	75	75	76	78	80
Tumbes	84	82	86	88	89	90	87	88	89	89	89	88	87	91	91	90	85	91	91	78
Ucayali	93	89	86	86	83	84	88	88	89	85	88	88	84	89	90	90	90	88	90	88

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI (2015)

En cuanto a la temperatura, la Figura 32 muestra un gráfico acumulativo de comportamiento de la temperatura en el Departamento de Cajamarca, en el cual se puede apreciar que las temperaturas máximas (color rojo) llegan hasta 27°C, en tanto las temperaturas mínimas (color azul) llegan aproximadamente hasta -5 °C.

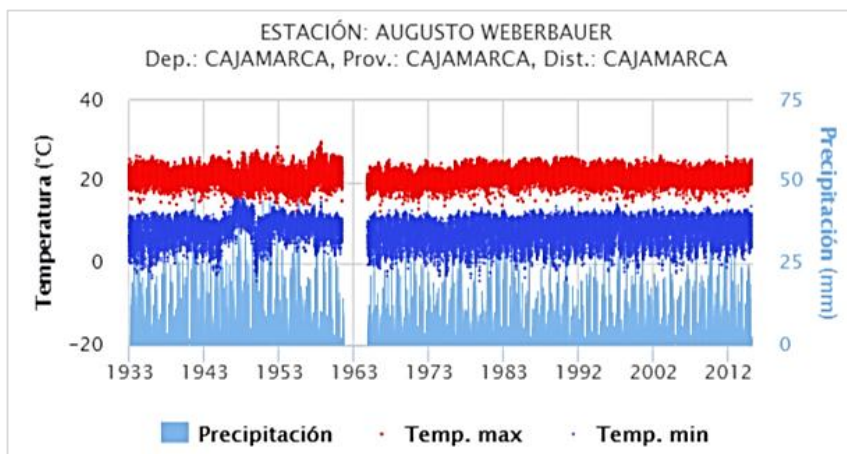


Figura 32 Gráfico estadístico de temperatura Cajamarca

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI (2012)

### 3.5.11. Tabulación de valores de refractividad a partir de ITU-R P.453

Acorde con la recomendación ITU-R P.453, la refractividad superficial puede ser estimada con una ecuación expresada en función de la Presión Atmosférica (P), la Temperatura Ambiental (T) y la Presión de Vapor de Agua (e), tal como se indica a continuación:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} - 5,6 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$$

Tomando en cuenta las ecuaciones del apartado anterior donde se podía estimar la presión de vapor de agua (e mbar) en función de la temperatura ambiental (t °C) y la humedad relativa (H %). La Tabla 14 muestra un extracto de las estimaciones realizadas en los diferentes rangos de presión atmosférica, temperatura y humedad tomados como referencia para la zona de Cajamarca.

Tabla 14 Extracto de estimaciones de refractividad superficial (Ns) en función de P (mbar), t (°C) y H (%) - Cajamarca

P <sub>1</sub> (mbar)	t (°C)	T(°K)	H%	a	b	c	e <sub>s</sub> (mbar)	e (mbar)	N <sub>s</sub>
720	-5	268	65	6.1121	17.502	240.97	4.22	2.74	223
730	-5	268	65	6.1121	17.502	240.97	4.22	2.74	226
740	-5	268	65	6.1121	17.502	240.97	4.22	2.74	229
720	-5	268	70	6.1121	17.502	240.97	4.22	2.95	224
730	-5	268	70	6.1121	17.502	240.97	4.22	2.95	227
740	-5	268	70	6.1121	17.502	240.97	4.22	2.95	230
720	-5	268	75	6.1121	17.502	240.97	4.22	3.16	225
730	-5	268	75	6.1121	17.502	240.97	4.22	3.16	228
740	-5	268	75	6.1121	17.502	240.97	4.22	3.16	231
720	-5	268	80	6.1121	17.502	240.97	4.22	3.37	226
730	-5	268	80	6.1121	17.502	240.97	4.22	3.37	229
740	-5	268	80	6.1121	17.502	240.97	4.22	3.37	232
720	-5	268	85	6.1121	17.502	240.97	4.22	3.59	227

Se debe destacar que la estimación se ha realizado considerando valores típicos de variación de presión atmosférica (740 a 720 mbar), temperatura ambiental (-5 °C a 25 °C) y humedad (50% a 90%). De esta manera se ha buscado identificar las combinaciones de valores P, t, H que generan los valores críticos de refractividad superficial (N<sub>s</sub> = 300, 250, 310) relacionados con los aumentos de interferencia cocanal detectados en simulación.

De esta manera, la Tabla 15 muestra un extracto de los hallazgos de combinaciones P, t, H que generan la ocurrencia de los valores críticos de refractividad superficial (N = 250, 300, 310).

Tabla 15 Extracto de estimaciones de refractividad superficial (Ns) en función de P (mbar), t (°C) y H (%) - Cajamarca

N°	P <sub>(mbar)</sub>	t(°C)	H%	N <sub>s</sub>	N°	P <sub>(mbar)</sub>	t(°C)	H%	N <sub>s</sub>	N°	P <sub>(mbar)</sub>	t(°C)	H%	N <sub>s</sub>	N°	P <sub>(mbar)</sub>	t(°C)	H%	N <sub>s</sub>
1	720	-5	50	219	55	720	5	50	222	109	720	15	50	232	163	720	25	50	254
2	730	-5	50	222	56	730	5	50	225	110	730	15	50	235	164	730	25	50	257
3	740	-5	50	225	57	740	5	50	228	111	740	15	50	238	165	740	25	50	259
4	720	-5	55	221	58	720	5	55	224	112	720	15	55	236	166	720	25	55	261
5	730	-5	55	223	59	730	5	55	227	113	730	15	55	239	167	730	25	55	263
6	740	-5	55	226	60	740	5	55	230	114	740	15	55	242	168	740	25	55	266
7	720	-5	60	222	61	720	5	60	226	115	720	15	60	240	169	720	25	60	267
8	730	-5	60	225	62	730	5	60	229	116	730	15	60	243	170	730	25	60	270
9	740	-5	60	227	63	740	5	60	232	117	740	15	60	245	171	740	25	60	273
10	720	-5	65	223	64	720	5	65	228	118	720	15	65	244	172	720	25	65	274
11	730	-5	65	226	65	730	5	65	231	119	730	15	65	247	173	730	25	65	277
12	740	-5	65	229	66	740	5	65	234	120	740	15	65	249	174	740	25	65	279
13	720	-5	70	224	67	720	5	70	230	121	720	15	70	248	175	720	25	70	281
14	730	-5	70	227	68	730	5	70	233	122	730	15	70	250	176	730	25	70	283
15	740	-5	70	230	69	740	5	70	236	123	740	15	70	253	177	740	25	70	286
16	720	-5	75	225	70	720	5	75	233	124	720	15	75	252	178	720	25	75	287
17	730	-5	75	228	71	730	5	75	235	125	730	15	75	254	179	730	25	75	290
18	740	-5	75	231	72	740	5	75	238	126	740	15	75	257	180	740	25	75	293
19	720	-5	80	226	73	720	5	80	235	127	720	15	80	255	181	720	25	80	294
20	730	-5	80	229	74	730	5	80	237	128	730	15	80	258	182	730	25	80	297
21	740	-5	80	232	75	740	5	80	240	129	740	15	80	261	183	740	25	80	299
22	720	-5	85	227	76	720	5	85	237	130	720	15	85	259	184	720	25	85	301
23	730	-5	85	230	77	730	5	85	240	131	730	15	85	262	185	730	25	85	303
24	740	-5	85	233	78	740	5	85	242	132	740	15	85	265	186	740	25	85	306
25	720	-5	90	228	79	720	5	90	239	133	720	15	90	263	187	720	25	90	307
26	730	-5	90	231	80	730	5	90	242	134	730	15	90	266	188	730	25	90	310
27	740	-5	90	234	81	740	5	90	244	135	740	15	90	268	189	740	25	90	313
28	720	0	50	220	82	720	10	50	226	136	720	20	50	242					
29	730	0	50	223	83	730	10	50	229	137	730	20	50	244					
30	740	0	50	226	84	740	10	50	232	138	740	20	50	247					
31	720	0	55	222	85	720	10	55	229	139	720	20	55	247					
32	730	0	55	224	86	730	10	55	232	140	730	20	55	249					
33	740	0	55	227	87	740	10	55	234	141	740	20	55	252					
34	720	0	60	223	88	720	10	60	232	142	720	20	60	252					
35	730	0	60	226	89	730	10	60	235	143	730	20	60	254					
36	740	0	60	229	90	740	10	60	237	144	740	20	60	257					
37	720	0	65	225	91	720	10	65	235	145	720	20	65	257					
38	730	0	65	227	92	730	10	65	237	146	730	20	65	259					
39	740	0	65	230	93	740	10	65	240	147	740	20	65	262					
40	720	0	70	226	94	720	10	70	237	148	720	20	70	262					
41	730	0	70	229	95	730	10	70	240	149	730	20	70	264					
42	740	0	70	232	96	740	10	70	243	150	740	20	70	267					
43	720	0	75	228	97	720	10	75	240	151	720	20	75	267					
44	730	0	75	230	98	730	10	75	243	152	730	20	75	270					
45	740	0	75	233	99	740	10	75	246	153	740	20	75	272					
46	720	0	80	229	100	720	10	80	243	154	720	20	80	272					
47	730	0	80	232	101	730	10	80	246	155	730	20	80	275					
48	740	0	80	235	102	740	10	80	249	156	740	20	80	277					
49	720	0	85	231	103	720	10	85	246	157	720	20	85	277					
50	730	0	85	234	104	730	10	85	249	158	730	20	85	280					
51	740	0	85	236	105	740	10	85	252	159	740	20	85	282					
52	720	0	90	232	106	720	10	90	249	160	720	20	90	282					
53	730	0	90	235	107	730	10	90	252	161	730	20	90	285					
54	740	0	90	238	108	740	10	90	254	162	740	20	90	287					

Se puede observar en la Tabla 15, que la aparición de valores críticos de refractividad asociados al aumento de interferencia cocanal, sólo se da en combinaciones específicas de clima (P, t, H). Se han resaltado los hallazgos alrededor de valores  $N_s=250$  en color amarillo, los hallazgos alrededor de valores  $N_s=300$  en color verde, y los hallazgos alrededor de valores  $N_s=310$  en color celeste.

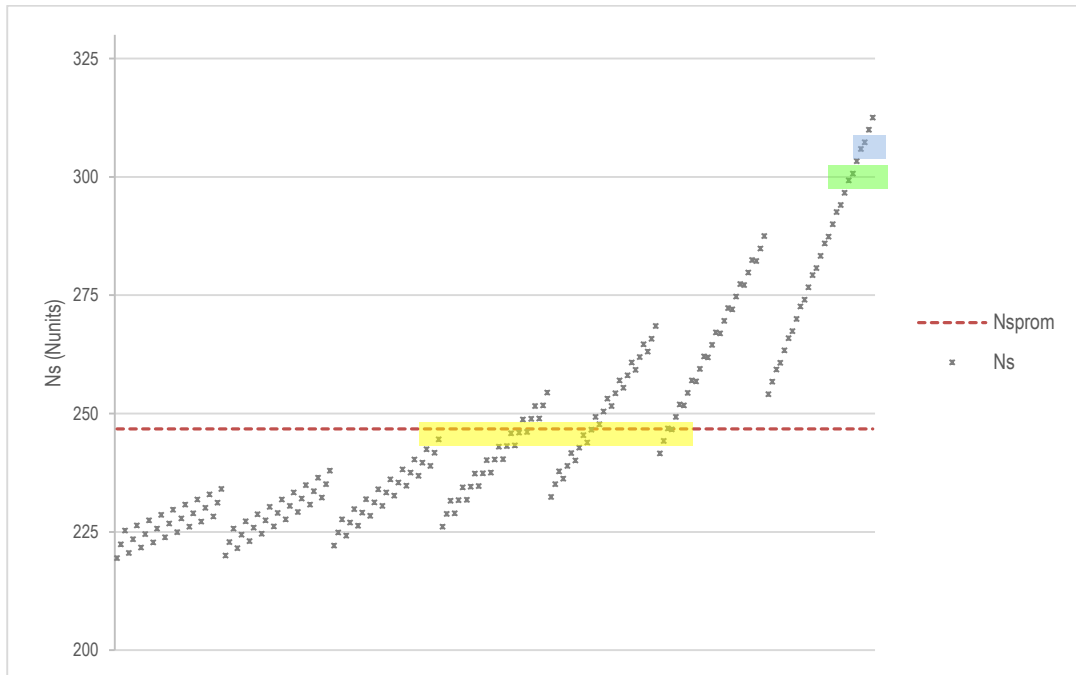


Figura 33 Valores críticos interferencia  $N_s$  versus otros valores

En la Figura 33 se ha procurado representar gráficamente lo mostrado en la Tabla 11, observándose que el comportamiento de la refractividad superficial ( $N_s$ ) es a tendencia a tomar valores en rangos específicos para diferentes condiciones climáticas (P, t, H). Dentro de estas acumulaciones en rangos, se presentan valores cercanos a  $N_s=250$ , 300 y 310, pero con una ocurrencia reducida. En el caso de la Figura 33 se han resaltado también la cercanía a valores  $N_s=250$  en color amarillo, cercanía a valores  $N_s=300$  en color verde, y cercanía a valores  $N_s=310$  en color celeste.

## **IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Análisis e interpretación de resultados**

En este apartado se presentarán los resultados obtenidos a partir de las simulaciones de interferencias entre 16 estaciones ubicadas en emplazamientos del Departamento de Cajamarca. Los resultados se presentarán de acuerdo al siguiente orden:

- Respecto de los hallazgos de mayor nivel interferencia cocanal entre estaciones de Cajamarca, para todos los valores de refractividad superficial simulados.
- Respecto de los hallazgos de interferencia cocanal entre estaciones del Departamento de Cajamarca, que se incrementan en valores específicos de refractividad superficial.
- Respecto de las condiciones de Presión atmosférica, Temperatura y Humedad en las cuales se generan los valores específicos de refractividad superficial asociados al aumento de interferencia cocanal.

#### **4.1.1. Mayores niveles de interferencia cocanal entre emplazamientos**

Respecto del mayor nivel interferencia cocanal, la Tabla 12 presenta los resultados de interferencia máxima obtenida para 07 estaciones del Departamento de Cajamarca. Se puede apreciar que los mayores niveles de interferencia cocanal se han identificado en las estaciones remotas Santa Apolonia, Cajamarca, Yanacocha y Palomapata. Asimismo, en las estaciones coubicadas Agopití 01, Agopití 02 y Agopití 03. Los niveles de interferencia máxima identificada van desde -78.74 dBm hasta -58.16 dBm, superando en la mayoría de casos (4 de 7) el umbral de calidad de -61 dBm asumido para el equipamiento microondas.

De la misma forma se identifican a las estaciones Agopití 01, Agopití 03, Cajamarca y Santa Apolonia como las emisoras de mayor interferencia, hacia las estaciones antes mencionadas.

Tabla 16 Interferencias de alto nivel en emplazamientos Cajamarca

N°	From	To	I <sub>max</sub> (dBm)
1	Agopiti 03	Santa Apolonia	-58.16
2	Cajamarca	Agopiti 01	-58.60
3	Santa Apolonia	Agopiti 03	-59.23
4	Agopiti 01	Cajamarca	-60.00
5	Agopiti 03	Yanacocha	-65.76
6	Cajamarca	Agopiti 02	-68.42
7	Agopiti 01	Palomapata	-78.74

Todo lo anteriormente mencionado lleva a afirmar que las siete estaciones consideradas en la Tabla 16, son las que generan las interferencias cocanal más críticas, independientemente de los valores de refractividad superficial simulados.

#### 4.1.2. Valores de refractividad N<sub>s</sub> asociados al aumento de Interferencia

Respecto de los incrementos de interferencia cocanal en valores específicos de refractividad superficial, los valores que obtuvieron la mayor cantidad de incrementos de interferencia corresponden a refractividad superficial N<sub>s</sub> = 250, 300, y 310. Habiéndose realizado una tabulación conforme ITU-R P.453 para los diferentes valores de Presión Atmosférica, Temperatura Ambiental posibles en Cajamarca, la aparición de estos valores representa aproximadamente el 16% de todos los escenarios estimados. La Figura 34 compara el porcentaje de los 03 valores de refractividad antes indicados, respecto de los demás valores obtenidos.

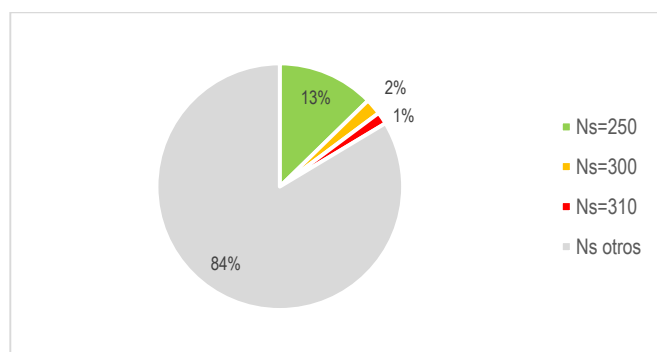


Figura 34 Valores críticos interferencia N<sub>s</sub> versus otros valores

Considerando únicamente los 03 valores relacionados al aumento de interferencia, la Figura 35 muestra la distribución de aparición de los valores de refractividad antes citados. Puede observarse que los valores cercanos a  $N_s = 250$  representan el 77% de los hallazgos, seguidos por  $N_s = 300$  con el 13%, y  $N_s = 310$  con 10%.

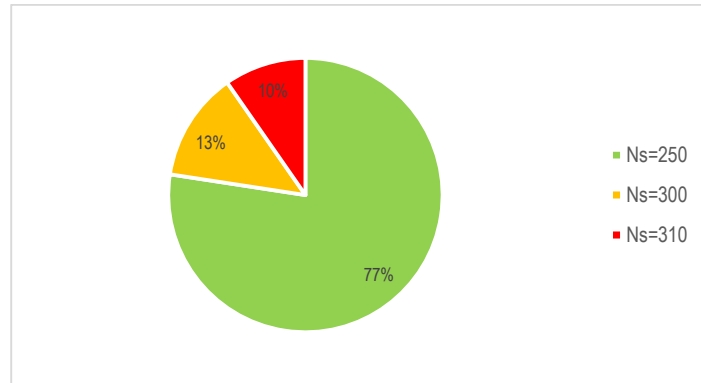


Figura 35 Distribución porcentual de tres valores críticos  $N_s$

Por todo lo anteriormente analizado, se puede afirmar que los valores de refractividad superficial alrededor de  $N_s = 250$  Nunits, son los que poseen mayor asociación al incremento de interferencias en los emplazamientos analizados.

#### 4.1.3. Condiciones climáticas asociadas al aumento de Interferencia

A partir del hallazgo de los 03 valores más significativos de refractividad superficial ( $N_s = 250, 300, y 310$ ), vinculados al aumento de interferencia cocanal, y con el empleo de las ecuaciones ITU-R P.453, se han estimado valores de Presión Atmosférica, Temperatura y Humedad, que puedan generar la aparición valores cercanos a estas 03 condiciones de refractividad superficial en los emplazamientos de interconexión microondas en la zona de Cajamarca sometidos al proceso de simulación. La Figura 36 busca representar los valores climáticos evaluados, a fin de poder identificar las condiciones en las que se podría dar la aparición de cada uno de los valores de refractividad antes mencionados.

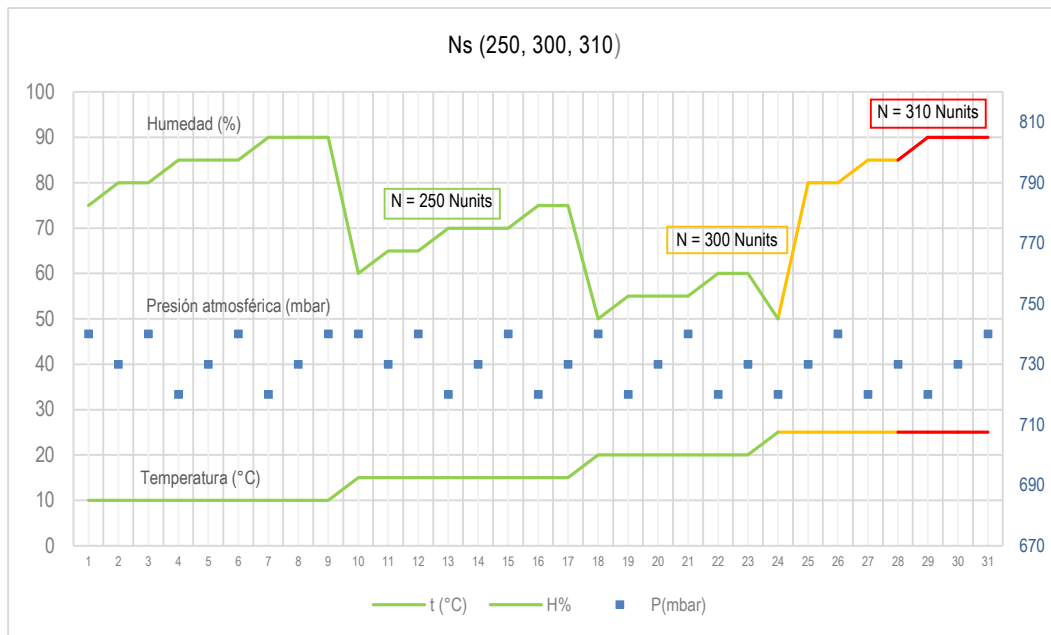


Figura 36 Valores críticos  $N_s$  y condiciones climáticas P,T,H

De esta manera en la Figura 36, se ha representado los valores de Presión Atmosférica, Temperatura y Humedad que generan valores críticos de refractividad superficial asociada al aumento de interferencia cocanal. Se puede apreciar que la Presión Atmosférica es la magnitud que posee el rango más limitado de variación.

Los valores cercanos a 250 Nunits, aparecen desde condiciones de baja temperaturas con alta humedad ( $T=10\text{ °C}$  y  $H=80\%$ ). La aparición de valores de refractividad superficial  $N_s = 250$  Nunits se mantiene conforme aumenta la temperatura ambiental y se reduce la humedad (aumento de temperatura hasta  $T=25\text{ °C}$  y reducción de humedad relativa hasta  $H=50\%$ ).

La aparición de  $N_s = 300$  Nunits, se daría a partir de altos valores de temperatura y humedad (aumento de temperatura hasta  $T=25\text{ °C}$ , humedad relativa hasta  $H=80\%$ ), asimismo la aparición de  $N_s = 310$  Nunits se daría en el máximo aumento de temperatura y humedad ( $T = 25\text{ °C}$  y  $H=90\%$ ), lo cual hace menos probable su aparición.



La Figura 37, muestra el detalle de las estaciones más afectadas por aumento de interferencia cocanal, para cada valor de refractividad crítico identificado. De esta manera se puede observar que para la condición de  $N_s = 250$  Nunits, las estaciones más afectadas son Matará y La Grama, cuyas interferencias provienen de Agopití 06 y Agopití 08 respectivamente. Esta condición se repite para la aparición del valor  $N_s = 310$  Nunits.

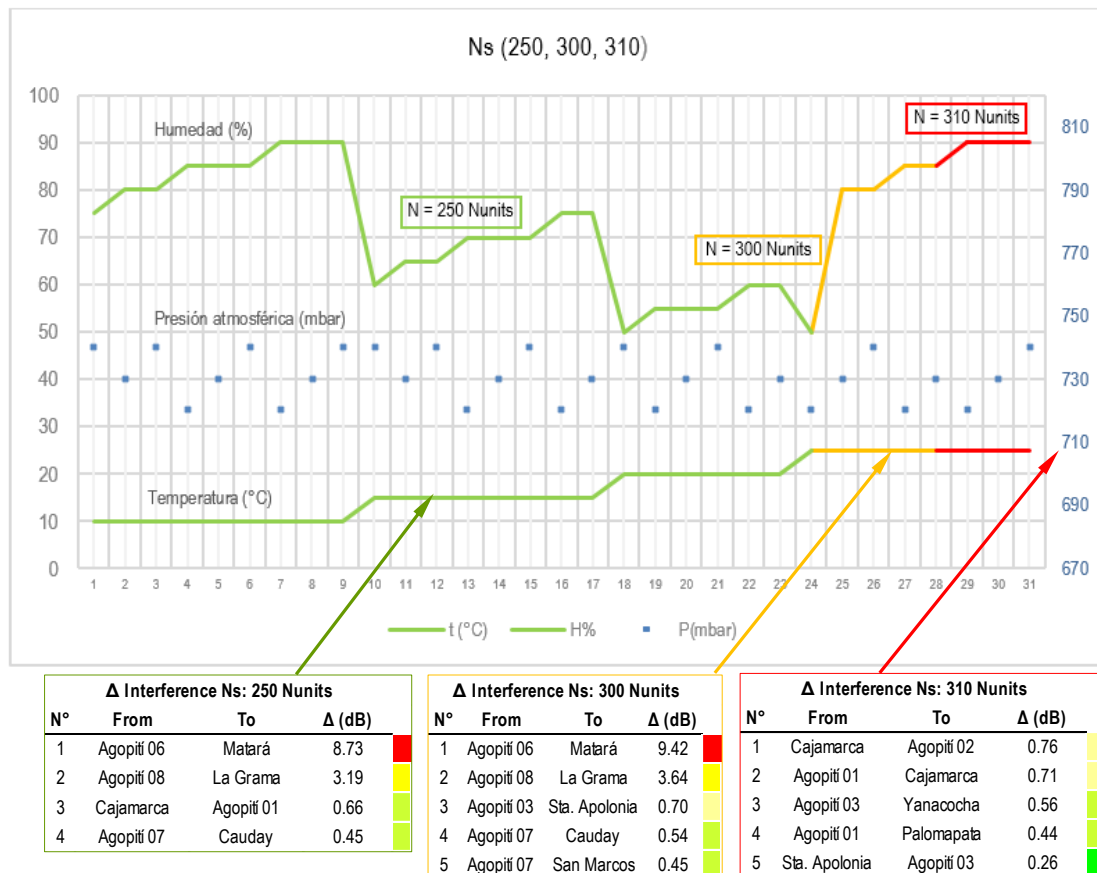


Figura 37 Condiciones y estaciones con mayor aumento de interferencia

Para el caso de la aparición del valor  $N_s = 310$  Nunits, las estaciones no llegan a ser afectadas con un incremento tan alto como el caso de  $N_s = 250$  y  $N_s = 310$ , sin embargo, se resaltan a las estaciones Agopití 02 y Cajamarca como aquellas que obtuvieron mayor valor de incremento. Nótese además que se ha incluido una escala referencial en colores, para resaltar los valores más altos (color rojo), diferenciándolos de los valores intermedios (color amarillo), e incrementos menores (color verde).

Tabla 17. Resumen Consolidado de Resultados

N°	Interf. to:	I <sub>max</sub> (dBm)	ΔI <sub>1</sub> (dB)	ΔI <sub>2</sub> (dB)	Interf. from:	Condiciones Ns	Condiciones climáticas (P, T, H)		ΔI aparición	t <sub>estim</sub> (días/año)	
1	Santa Apolonia	-58.16	0.70	-	Agopití 03	300	T = 25 °C H = 80%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	2%	7.3	
2	Agopití 01	-58.60	0.66	-	Cajamarca	250	10°C ≤ T ≤ 20 °C 90% ≥ H ≥ 50%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	13%	47.5	
3	Agopití 03	-59.23	0.26	-	Santa Apolonia	310	T = 25 °C H = 90%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	1%	3.7	
4	Cajamarca	-60.00	0.71	-	Agopití 01	310	T = 25 °C H = 90%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	1%	3.7	
5	Yanacocha	-65.76	0.56	-	Agopití 03	310	T = 25 °C H = 90%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	1%	3.7	
6	Agopití 02	-68.42	0.76	-	Cajamarca	310	T = 25 °C H = 90%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	1%	3.7	
7	Palomapata	-78.74	0.44	-	Agopití 01	310	T = 25 °C H = 90%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	1%	3.7	
8	Matará	-85.10	9.42	8.73	Agopití 06	300, 250	10°C ≤ T ≤ 20 °C 90% ≥ H ≥ 50%	T = 25 °C H = 80%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	15%	54.8
9	La Grama	-86.12	3.64	3.19	Agopití 08	300, 250	10°C ≤ T ≤ 20 °C 90% ≥ H ≥ 50%	T = 25 °C H = 80%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	15%	54.8
10	San Marcos	-87.02	0.45	-	Agopití 07	300	T = 25 °C H = 80%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	2%	7.3	
11	Cauday	-92.64	0.54	0.45	Agopití 07	300, 250	10°C ≤ T ≤ 20 °C 90% ≥ H ≥ 50%	T = 25 °C H = 80%	720 mbar ≤ P ≤ 740 mbar	15%	54.8

Finalmente, la Tabla 17, muestra el resumen de resultados obtenidos. Puede observarse que las estaciones han sido ordenadas por intensidad de interferencia, incluyendo el detalle de la estación interferente y los respectivos incrementos de interferencia obtenidos en uno o más valores de refractividad superficial. Asimismo, se han agregado los rangos climáticos de Presión Atmosférica, Temperatura Ambiental y Humedad Relativa, bajo los cuales se estima el incremento de interferencia, el porcentaje de aparición de los valores desfavorables de refractividad, y su estimación en tiempo (días / año).

Conforme el resumen mostrado, existen 06 estaciones con un nivel de interferencia cocanal muy alto (de -58 dBm a -68 dBm), de los cuales la estación Agopití 01, es la que tiene la mayor amplitud de condiciones climáticas para que pueda aumentar la interferencia proveniente desde la estación Cajamarca.

Asimismo, existen 04 estaciones cuyo nivel de interferencia cocanal resultante se considera en valores intermedios (de -78 dBm a -87 dBm). De ellos las estaciones Matará y La Grama son los que tienen mayor amplitud de condiciones climáticas para el incremento de interferencias.

Del mismo modo, la estación Cauday posee un nivel de interferencia menor (-93 dBm), sin embargo, posee amplitud de condiciones climáticas para el incremento de interferencias.

En cuanto las condiciones climáticas, se han simulado rangos de Presión Atmosférica (P) entre 720 mbar a 740 mbar. La mayor ocurrencia de refractividad corresponde al valor  $N_s = 250$  Nunits, lo cual está ligado a una relación inversa entre Temperatura y Humedad. Es decir, este valor aparece para valores bajos de temperatura y altos de humedad, y conforme la temperatura aumenta y la humedad disminuye continúa apareciendo hasta valores cercanos a temperatura 20 °C y humedad relativa 50 %.

Finalmente, la aparición de valores de refractividad  $N_s = 300$  Nunits y  $N_s = 310$  Nunits, es menos frecuente y está relacionada con el incremento de

temperatura por encima de los 25°C, así como rangos de humedad relativa que superen el 80%.

#### **4.2. Docimasia de hipótesis**

Conforme el análisis de resultados, se pudieron identificar dos factores climáticos que generan mayor incidencia en el incremento de interferencia cocanal en emplazamientos de interconexión microondas de la ciudad de Cajamarca:

##### **a. Temperatura**

Se estima que este factor incide directamente en la aparición de escenarios de incremento de interferencia cocanal sobre 04 estaciones dentro de emplazamientos de interconexión microondas de la ciudad de Cajamarca. Los rangos que generan mayor incidencia de incremento de interferencia corresponden a valores a partir de 10 °C hasta 20 °C, seguido por los rangos cercanos a 25 °C.

##### **b. Humedad**

Se estima que este factor influye considerablemente sobre la aparición de aumentos de interferencia en emplazamientos de radioenlaces microondas en la zona de Cajamarca. Los valores más altos de humedad se asocian con la temperatura baja, produciendo aumento de interferencia en 04 estaciones, asimismo manteniendo los escenarios de incremento de interferencia conforme la temperatura aumente y la humedad disminuya. Los valores máximos de incremento de interferencia se dan cuando los valores de humedad y temperatura llegan a ser máximos al mismo tiempo.

Finalmente, conforme los resultados obtenidos, se puede afirmar que la Temperatura ambiental y Humedad Relativa son los dos factores que más inciden en el incremento de interferencia cocanal entre estaciones microondas en emplazamientos de la ciudad de Cajamarca.

## V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

Conforme los resultados obtenidos se han estimado tanto para las estaciones remotas como para las estaciones coubicadas, parámetros de señal e interferencia recibida que han facilitado la clasificación de las estaciones por sus niveles de interferencias y sus respectivos incrementos. Entre estos parámetros se destacan el nivel y desvanecimiento de señal, nivel máximo de interferencia, su fuente emisora e incremento en valores específicos de refractividad superficial. Así las cosas, se han cuantificado ligeros desvanecimientos de señal en todas las estaciones, salvo en la estación Agopití 05, en la cual se ha descartado un desvanecimiento mayor a 7 dB por ocurrir en valores de refractividad alrededor de  $N_s = 400$ , siendo estos valores no alcanzables en las condiciones climáticas de Cajamarca. Cabe destacar que a partir de estos parámetros propuestos de Nivel de recepción (Nrx), Interferencia (I), y Refractividad (N) se pueden construir aún parámetros de análisis más complejos, que motivarían otras investigaciones.

En cuanto a las estaciones de mayor interferencia, se han identificado 06 estaciones cuyos niveles de interferencia cocanal oscilan entre los -58 dBm a -68 dBm. Esto indica claramente un nivel de interferencia inaceptable, lo cual coincide con los criterios establecidos por Revilla y Calvanapón (2017), en cuanto al aislamiento de interferencia cocanal requerido entre los enlaces Agopití 01 hacia Santa Apolonia, Agopití 02 hacia Yanacocha, Agopití 03 hacia Cajamarca, debiendo recomendarse un aislamiento por polarización o con diferentes canales de radiofrecuencia.

Si bien es cierto se han logrado identificar incrementos de interferencia en valores específicos de refractividad en las seis estaciones mencionadas anteriormente, el aislamiento por distintos canales de RF, o aislamiento por polarización cruzada, debería dimensionarse de manera que éste, asegure una considerable discriminación de interferencia, aún en los valores críticos específicos de refractividad superficial.

Respecto de las estaciones con mayor incremento de interferencia, éstas se han identificado en el grupo de 04 estaciones con niveles intermedios de interferencia (alrededor de -85 dBm). Las estaciones Matará y La Grama, son las que han presentado los incrementos más notables de interferencia en las simulaciones (9.4 dB y 3.6 dB respectivamente). Respecto de ello cabe destacar que si bien no llegan a valores tan altos como las del primer grupo (-58 dBm a -68 dBm), no deben despreciarse los efectos, puesto que su aparición se ha dado en el 15% de condiciones de refractividad simuladas.

Los incrementos más notables de interferencia se generan en valores de refractividad superficial alrededor de  $N_s = 250, 300$  y  $310$  Nunits. Conforme lo indicado anteriormente se ha estimado que los incrementos de interferencia más notables en las estaciones Matará y La Grama puedan tener un 15% de porcentaje de aparición, o el equivalente a 54.8 días al año. En este sentido la estimación se ha realizado considerando una probabilidad de aparición uniforme de los diferentes valores de refractividad.

Respecto de las condiciones climáticas que guardan mayor relación con los incrementos de interferencia (estaciones Matará y La Grama), los resultados reflejan rango de temperatura entre  $10^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ , así como rango de humedad entre 50 % a 90%, que favorecen la aparición del valor de refractividad superficial  $N_s=250$  Nunits. En este orden ideas sobre una variación moderada de presión atmosférica, se puede predecir una relación inversamente proporcional entre temperatura y humedad. Es decir, la mayor parte del tiempo conforme se va aumentando la temperatura y disminuyendo la humedad, se presentarán incrementos de interferencia en Matará y La Grama, provenientes de Agopití 06 y Agopití 08, respectivamente.

Los resultados del presente trabajo predicen que la mayor parte de aparición de condiciones desfavorables para Matará y La Grama se darán en relación inversamente proporcional con la humedad, hasta un límite de 20°C en la zona de Cajamarca. En tanto que, Del Rosario, C. (2019) asocia condiciones de degradación en forma proporcional entre temperatura y humedad hasta límites de 35°C para la ciudad de Iquitos. En este sentido se pueden resaltar diferencias entre los resultados de ambos trabajos, orientados a zonas de sierra y selva respectivamente.

Respecto de los valores de potencia mas notables asociados al aumento de interferencia (estaciones Matará y La Grama), éstos alcanzan niveles alrededor de -85 dBm. En este sentido se resaltan las diferencias con Santiago, J. (2017) cuyos valores promedio medidos superaban los -80 dBm. Cabe destacar sin embargo que los escenarios son distintos puesto que el caso analizado en el presente trabajo pertenece a una banda licenciada, para el segmento de transporte de red.

Los resultados obtenidos para el presente trabajo nos indican que los valores de refractividad superficial cercanos a 250 N units son los que se producen el mayor incremento de Interferencias hacia las estaciones Matará y La Grama. En ese sentido siguiendo los aportes de Salamon E., Hansen H. y Abbott D. (2014) éste sería el valor crítico de refractividad superficial recomendado a tomar en cuenta para la predicción de interferencias provenientes desde la estación Agopití.

Los resultados obtenidos respecto de los niveles más altos de interferencias con escasa dependencia de la refractividad superficial, tales como Agopití, Cajamarca, Santa Apolonia y Yanacocha, llegan hasta niveles de -58 dBm, En este sentido se encuentra coincidencia con las recomendaciones de Jin-A P, Seung-Keun P, Dong Ho K, Pyun Do C, Kyoung Rok C. (2003) quienes también sugirieron aislamiento por polarización y por canales fijos de frecuencia como recomendaciones para reducir la interferencia en 2.4 GHz.

Respecto de las características técnicas empleadas para efectos de simulación, se tomó en cuenta valores referenciales de equipos dorsales microondas propuestos por Alvarado J. y Mendoza J. (2005). Si bien es cierto los valores de señal recibida empleados en los enlaces obtuvieron niveles de recepción similares (niveles por encima de -40 dBm), en el trabajo realizado se han analizado los incrementos de interferencia independientemente del valor de señal recibido en el enlace, por lo cual se considera que se mantiene la independencia de los resultados respecto de características técnicas o marcas específicas de equipos transceptores, guías de onda o sistema radiante.



## VI. CONCLUSIONES

- A partir de un proceso de simulación y obtención de reportes de niveles de recepción, interferencia, y la desviación en valores específicos de refractividad, se propusieron indicadores de clasificación de las estaciones con mayor nivel de interferencia y mayor incremento de ésta en valores específicos de refractividad superficial.
- El análisis de reportes de simulación permitió identificar a las estaciones Agopití 01, Agopití 02, Agopití 03, Cajamarca, Santa Apolonia y Yanacocha, como las estaciones con mayor nivel de interferencia cocanal en todos los valores de refractividad superficial. Los niveles de interferencia llegan hasta -58 dBm.
- Las estaciones Matará y La Grama fueron identificadas como las estaciones con mayor incremento de interferencia en valores específicos de refractividad superficial. Los incrementos llegan a superar los 9 dB en valores específicos de refractividad superficial.
- Se lograron identificar 03 valores de refractividad superficial asociados a los incrementos de interferencia. En este sentido los valores  $N_s = 250$ ,  $N_s = 300$ , y  $N_s = 310$ , bajo criterio de Pareto, fueron los que originaron mayor cantidad de reportes de simulación con evidencia de incrementos en los niveles de Interferencia cocanal recibidos en diferentes emplazamientos de interconexión dorsal en la ciudad de Cajamarca.
- De los tres valores de refractividad superficial relacionados a incrementos de interferencia, se identificó al valor  $N_s = 250$ , como el que posee la mayor cantidad de apariciones (15% de todos los reportes de simulación). En ese sentido se logró identificar rangos de temperatura entre 10°C a 20°C, relacionados con rangos de humedad descendentes desde 90% a 50% como los principales condicionantes climáticos a la aparición del valor de refractividad antes señalado, y por lo tanto al incremento de interferencias en los emplazamientos Matará y La Grama.

## VII. RECOMENDACIONES

- El análisis realizado se ha dirigido hacia la identificación de aumento de interferencia con dependencia de la refractividad superficial mediante simulaciones, sin embargo, este análisis puede extenderse a la relación Carrier / Interference (C/I) y a la degradación de la tasa de error de bit, o velocidad máxima alcanzable, lo cual puede ser recomendado como trabajo futuro.
- Asimismo, el presente análisis ha evaluado la respuesta en un canal de radiofrecuencia de 56 MHz perteneciente al centro a la banda de 7 GHz, conforme a las recomendaciones de Calvanapón P. y Revilla C. (2018), sin embargo, se considera una oportunidad de investigación, evaluar la respuesta en otros canales de la banda de 7 GHz e incluso en otras bandas de radiofrecuencia del segmento de transporte tales como 6, 8 y 11 GHz.
- El análisis de refractividad realizado en el presente trabajo ha sido evaluado para el rango  $250 \text{ Nunits} \leq N_s \leq 400 \text{ Nunits}$  conforme lo permitido por la herramienta de simulación. Los valores cercanos a 400 Nunits se relacionan con valores de alta temperatura y humedad, en tanto que los valores cercanos a 250 Nunits se relacionan con condiciones de temperatura y humedad más bajas. En este sentido para el análisis de los emplazamientos en Cajamarca, se considera una oportunidad de investigación, el poder extender el análisis a valores  $N_s < 250 \text{ Nunits}$ , para lo cual deberá en primera instancia disponerse de una herramienta de simulación que permita esta variación.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **Tesis**
- Alvarado, J. & Mendoza, J. (2005) Elección y diseño de una red de comunicaciones para la región Loreto (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Fernández C. & Dávila L. (2013) Diseño de una red de transporte para la integración de la Región Madre de Dios a la red troncal de telecomunicaciones del Perú (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Llontop J. & Sánchez P. (2016) Estudio de Interferencias Pre-Existentes Internas de un Operador de Telecomunicaciones y u influencia en los parámetros de Radio Frecuencia del Enlace de Interconexión Agopiti – Cauday, Departamento de Cajamarca (Tesis de Pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Revilla C. & Calvanapón P. (2017) Estimación de la mejora de Parametros RF de un enlace de Interconexion Microondas para un operador de Telecomunicaciones en el departamento de Cajamarca mediante el ordenamiento del plan de Frecuencias de una estación nodal en la banda de 7 GHz (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

- **Libros**

- Tomasi, W. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (4ª ed.). México, México: Pearson Education
- Pérez, C., Zamanillo, J., y Casanueva A. (2007) Sistemas de Telecomunicación. Santander, España: Servicios de publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Manning T. (2009) Microwave Radio Transmission Design Guide (2a ed.). Canton Street Norwood Massachusetts, United States of America: Artech House.

- **Publicaciones**

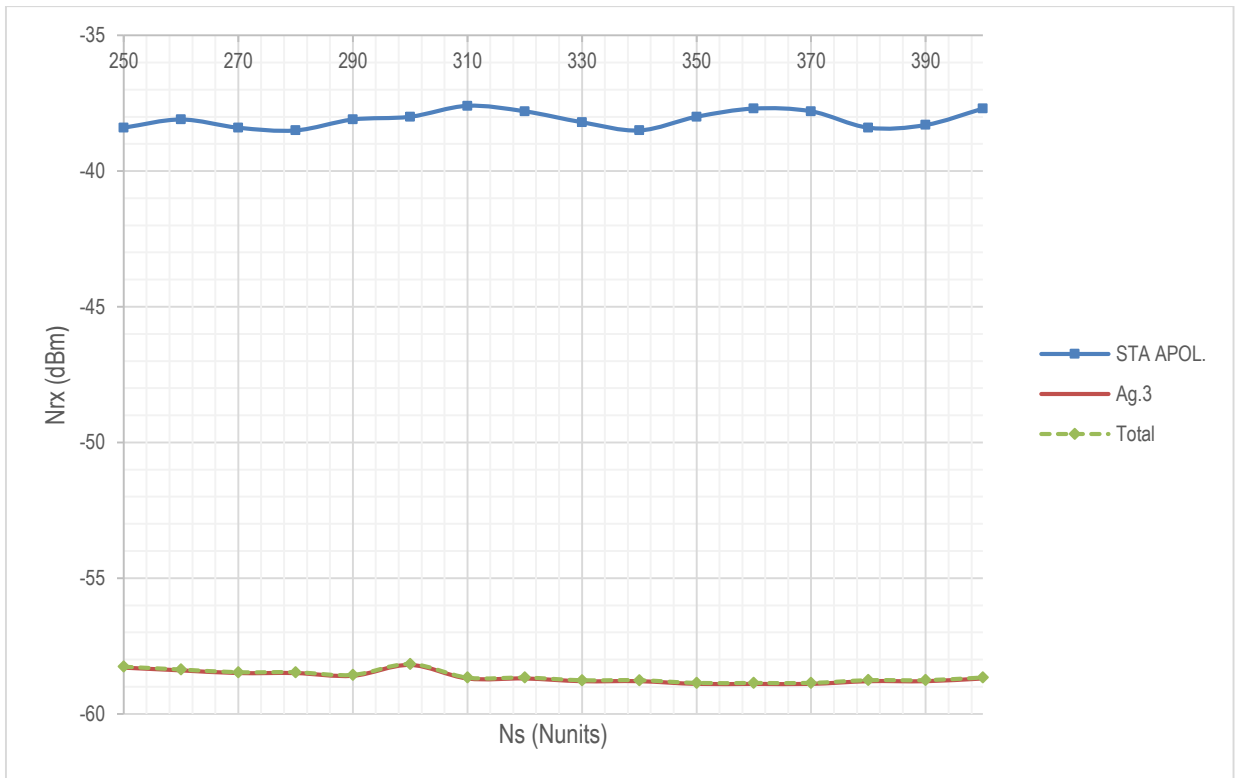
- Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (2017). Recomendación UIT-R P.453-13 (12/2017) Índice de refracción radioeléctrica: su fórmula y datos sobre la refractividad, Serie P, Propagación de las ondas radioeléctricas. <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.453-13-201712-I/es>

- **Páginas en el world wide web**

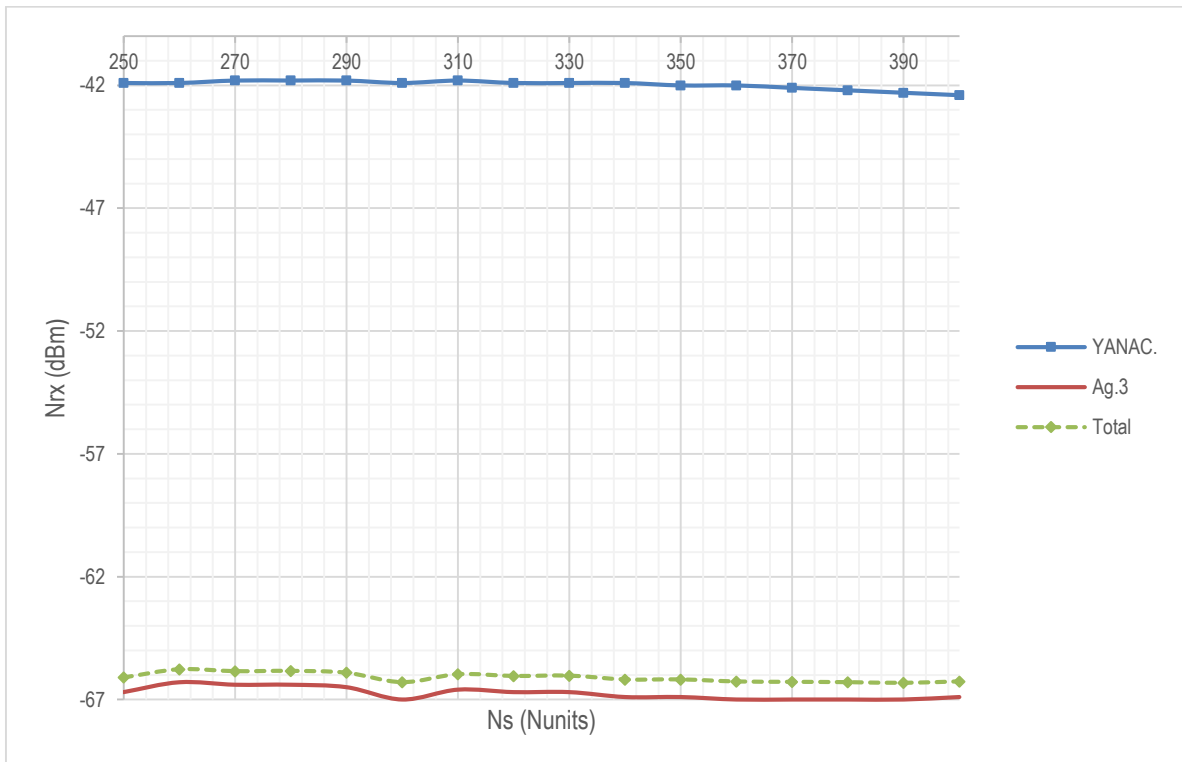
- Murillo J. J. (2005) Radioprogación. Transparencias de la asignatura radiación y radiocomunicación. ETSI. Universidad de Sevilla. <https://personal.us.es/murillo/docente/radio/documentos/tema7.pdf>

## ANEXO I: Tablas y Gráficos de estimación de Interferencia versus Refractividad (Far Ends)

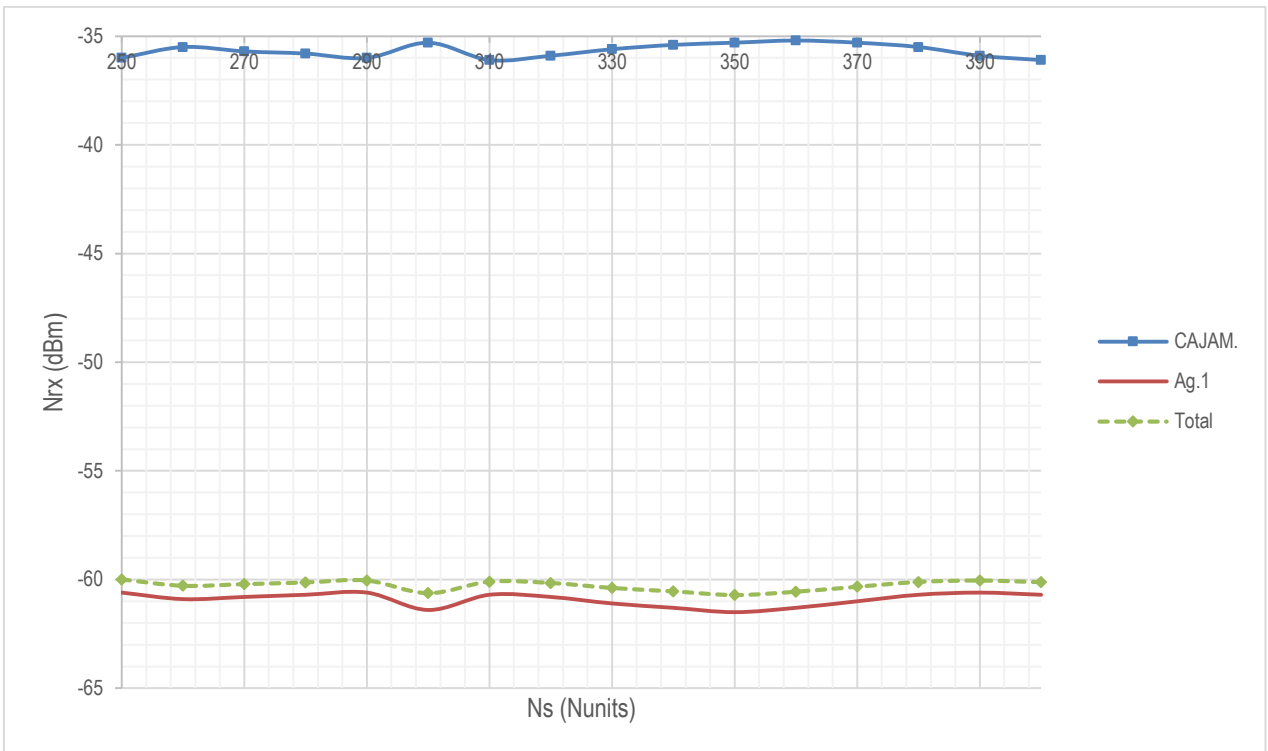
Ns	Nrx (dBm) STA APOL.	Interf. (dBm) Ag.2	Interf. (dBm) Ag.3	Interf. (dBm) Ag.4	Interf. (dBm) Ag.5	Interf. (dBm) Ag.6	Interf. (dBm) Ag.7	Interf. (dBm) Ag.8	Interf. (dBm) Total
250	-38.4	-79.6	-58.3	-87.9	-107.2	-110.4	-112.2	-106.2	-58.26
260	-38.1	-80.1	-58.4	-88.1	-106.3	-115.5	-111.5	-106.2	-58.37
270	-38.4	-80.1	-58.5	-88.1	-106.3	-115.5	-111.5	-106.2	-58.47
280	-38.5	-80.1	-58.5	-88.2	-106.5	-115.6	-111.5	-106.2	-58.47
290	-38.1	-80	-58.6	-88.2	-106.9	-115.6	-111.6	-106.1	-58.56
300	-38	-79.4	-58.2	-87.9	-106.4	-110.3	-112.3	-106.3	-58.16
310	-37.6	-79.9	-58.7	-88.2	-106.9	-115.7	-111.6	-106.1	-58.66
320	-37.8	-79.9	-58.7	-88.2	-106.5	-115.8	-111.6	-106.1	-58.66
330	-38.2	-79.8	-58.8	-88.2	-106.3	-115.8	-111.6	-106.1	-58.76
340	-38.5	-79.7	-58.8	-88.2	-106.5	-115.8	-111.6	-106.1	-58.76
350	-38	-79.7	-58.9	-88.3	-107	-115.9	-111.7	-106	-58.86
360	-37.7	-79.6	-58.9	-88.3	-107.1	-115.8	-111.7	-106	-58.86
370	-37.8	-79.5	-58.9	-88.3	-106.5	-115.8	-111.7	-106	-58.86
380	-38.4	-79.5	-58.8	-88.3	-106.3	-115.8	-111.7	-106	-58.76
390	-38.3	-79.4	-58.8	-88.4	-106.7	-115.7	-111.8	-106	-58.76
400	-37.7	-79.4	-58.7	-88.4	-107.1	-115.6	-111.8	-106	-58.66



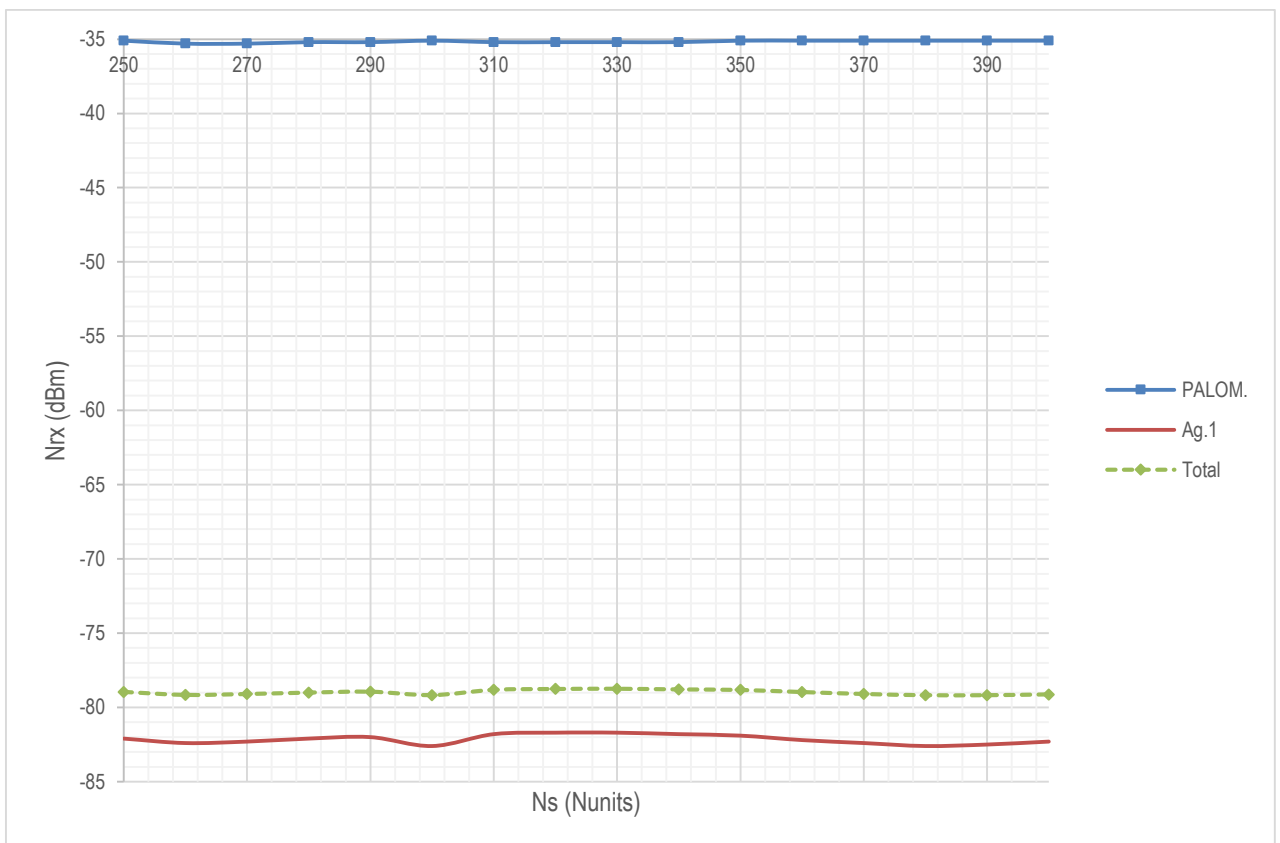
Ns	Nrx (dBm) YANAC.	Interf. (dBm) Ag.1	Interf. (dBm) Ag.3	Interf. (dBm) Ag.4	Interf. (dBm) Ag.5	Interf. (dBm) Ag.6	Interf. (dBm) Ag.7	Interf. (dBm) Ag.8	Interf. (dBm) Total
250	-41.9	-75.3	-66.7	-86.7	-105.9	-115.7	-117.6	-111.4	-66.10
260	-41.9	-75.4	-66.3	-87.2	-105.2	-120.3	-117.6	-111.3	-65.76
270	-41.8	-75.3	-66.4	-87.2	-105.2	-120.3	-117.2	-111.3	-65.84
280	-41.8	-75.2	-66.4	-87.1	-105.2	-120.3	-117.2	-111.2	-65.83
290	-41.8	-75.1	-66.5	-87.1	-105.1	-120.3	-117.2	-111.2	-65.90
300	-41.9	-74.8	-67	-86.6	-105.4	-116	-117.6	-111.5	-66.29
310	-41.8	-74.9	-66.6	-87	-105.2	-120.2	-117.3	-111.2	-65.97
320	-41.9	-74.8	-66.7	-86.9	-105.2	-120.1	-117.4	-111.2	-66.04
330	-41.9	-74.7	-66.7	-86.9	-105.3	-120.1	-117.4	-111.2	-66.02
340	-41.9	-74.6	-66.9	-86.8	-105.4	-120	-117.5	-111.2	-66.18
350	-42	-74.6	-66.9	-86.8	-105.5	-119.9	-117.6	-111.2	-66.18
360	-42	-74.6	-67	-86.8	-105.7	-119.8	-117.6	-111.2	-66.26
370	-42.1	-74.7	-67	-86.7	-105.8	-119.7	-117.6	-111.2	-66.28
380	-42.2	-74.8	-67	-86.7	-106	-119.6	-117.7	-111.2	-66.29
390	-42.3	-75	-67	-86.7	-106	-119.5	-117.7	-111.2	-66.32
400	-42.4	-75.2	-66.9	-86.6	-105.9	-119.5	-117.6	-111.2	-66.26



Ns	Nrx (dBm) CAJAM.	Interf. (dBm) Ag.1	Interf. (dBm) Ag.2	Interf. (dBm) Ag.4	Interf. (dBm) Ag.5	Interf. (dBm) Ag.6	Interf. (dBm) Ag.7	Interf. (dBm) Ag.8	Interf. (dBm) Total
250	-36	-60.6	-68.9	-96.3	-106.8	-110.3	-112	-106.8	-60.00
260	-35.5	-60.9	-69.1	-96	-107.5	-115.4	-112.2	-106.5	-60.29
270	-35.7	-60.8	-69.2	-96	-107.5	-115.3	-112.2	-106.5	-60.21
280	-35.8	-60.7	-69.3	-96	-107.1	-115.2	-112.2	-106.6	-60.14
290	-36	-60.6	-69.3	-95.9	-107	-115.2	-112.2	-106.6	-60.05
300	-35.3	-61.4	-68.5	-96.2	-107.4	-111	-111.9	-106.8	-60.62
310	-36.1	-60.7	-69	-95.9	-106.8	-115.3	-112.1	-106.6	-60.10
320	-35.9	-60.8	-68.8	-95.9	-106.8	-115.5	-112.1	-106.7	-60.16
330	-35.6	-61.1	-68.6	-95.9	-106.9	-115.7	-112.1	-106.7	-60.39
340	-35.4	-61.3	-68.5	-95.9	-107.1	-116	-112.1	-106.7	-60.54
350	-35.3	-61.5	-68.5	-95.9	-107.4	-116.1	-112.1	-106.8	-60.71
360	-35.2	-61.3	-68.6	-95.8	-107.6	-115.9	-112	-106.8	-60.56
370	-35.3	-61	-68.8	-95.8	-107.6	-115.6	-112	-106.8	-60.33
380	-35.5	-60.7	-69.1	-95.8	-107.3	-115.4	-111.9	-106.8	-60.11
390	-35.9	-60.6	-69.3	-95.8	-107	-115.2	-111.9	-106.8	-60.05
400	-36.1	-60.7	-69.2	-95.8	-106.8	-115.2	-111.9	-106.8	-60.12

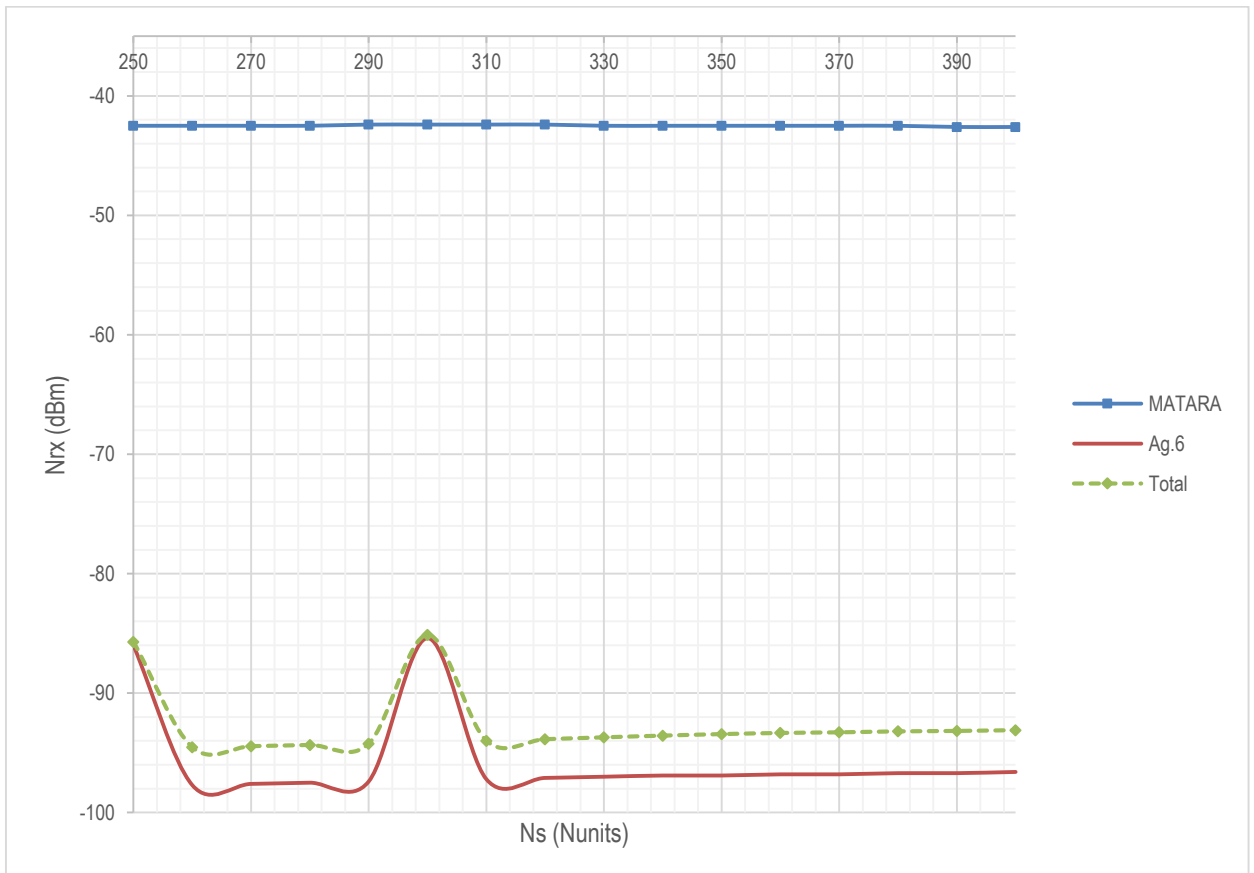


Ns	Nrx (dBm) PALOM.	Interf. (dBm) Ag.1	Interf. (dBm) Ag.2	Interf. (dBm) Ag.3	Interf. (dBm) Ag.5	Interf. (dBm) Ag.6	Interf. (dBm) Ag.7	Interf. (dBm) Ag.8	Interf. (dBm) Total
250	-35.1	-82.1	-87.7	-83.7	-93	-101.6	-115.6	-109.7	-78.96
260	-35.3	-82.4	-87.8	-83.7	-93.8	-108.6	-115.6	-109.5	-79.16
270	-35.3	-82.3	-87.7	-83.7	-93.8	-108.6	-115.7	-109.5	-79.10
280	-35.2	-82.1	-87.7	-83.7	-93.8	-108.6	-115.7	-109.5	-79.01
290	-35.2	-82	-87.6	-83.7	-93.8	-108.6	-115.7	-109.5	-78.94
300	-35.1	-82.6	-87.4	-83.7	-93.7	-101.8	-115.6	-109.6	-79.18
310	-35.2	-81.8	-87.5	-83.7	-93.4	-108.5	-115.6	-109.5	-78.82
320	-35.2	-81.7	-87.5	-83.7	-93.2	-108.4	-115.6	-109.5	-78.76
330	-35.2	-81.7	-87.4	-83.7	-93.1	-108.4	-115.6	-109.5	-78.74
340	-35.2	-81.8	-87.4	-83.7	-93	-108.3	-115.6	-109.6	-78.79
350	-35.1	-81.9	-87.3	-83.7	-93	-108.2	-115.6	-109.6	-78.82
360	-35.1	-82.2	-87.3	-83.7	-93	-108.1	-115.6	-109.6	-78.97
370	-35.1	-82.4	-87.3	-83.8	-93.1	-108.1	-115.6	-109.6	-79.10
380	-35.1	-82.6	-87.2	-83.8	-93.3	-108	-115.6	-109.7	-79.18
390	-35.1	-82.5	-87.2	-83.9	-93.6	-107.9	-115.6	-109.7	-79.18
400	-35.1	-82.3	-87.2	-84	-93.8	-107.9	-115.6	-109.8	-79.13

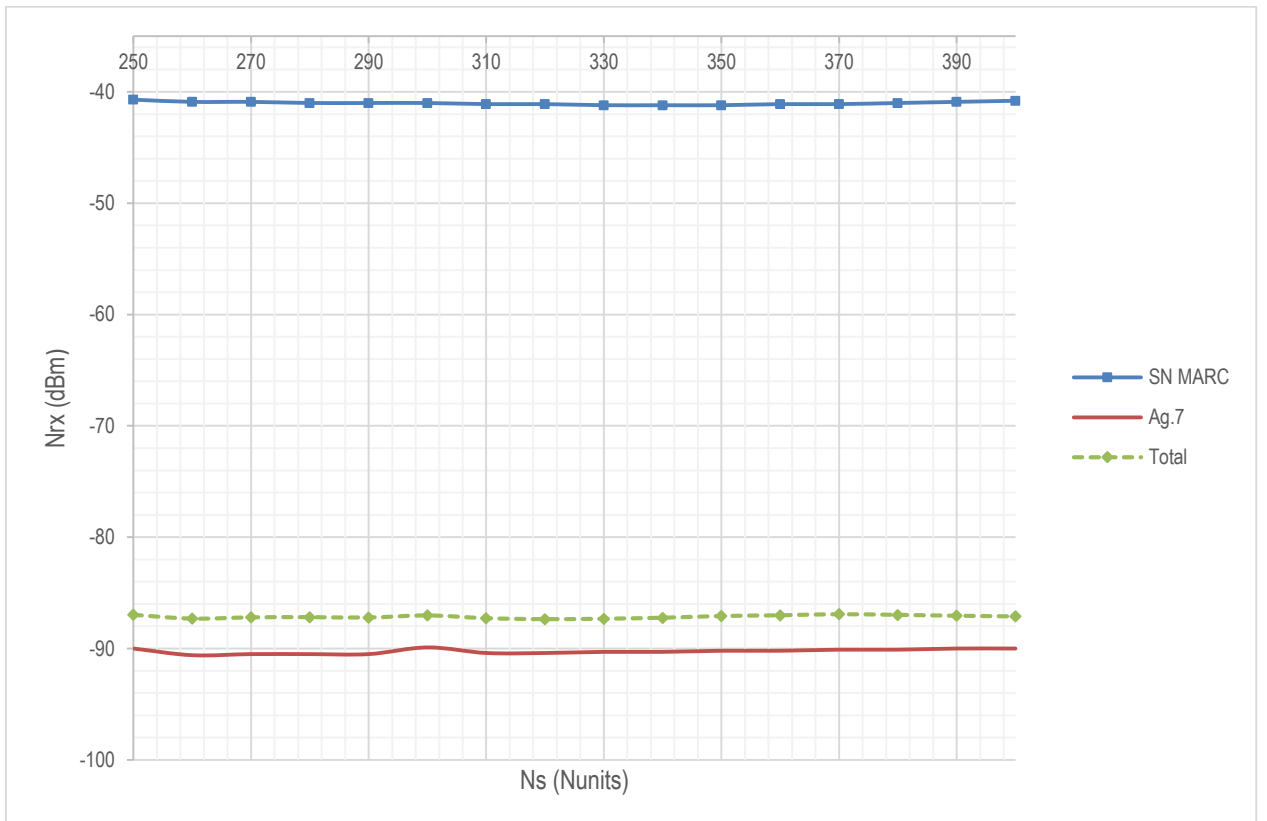




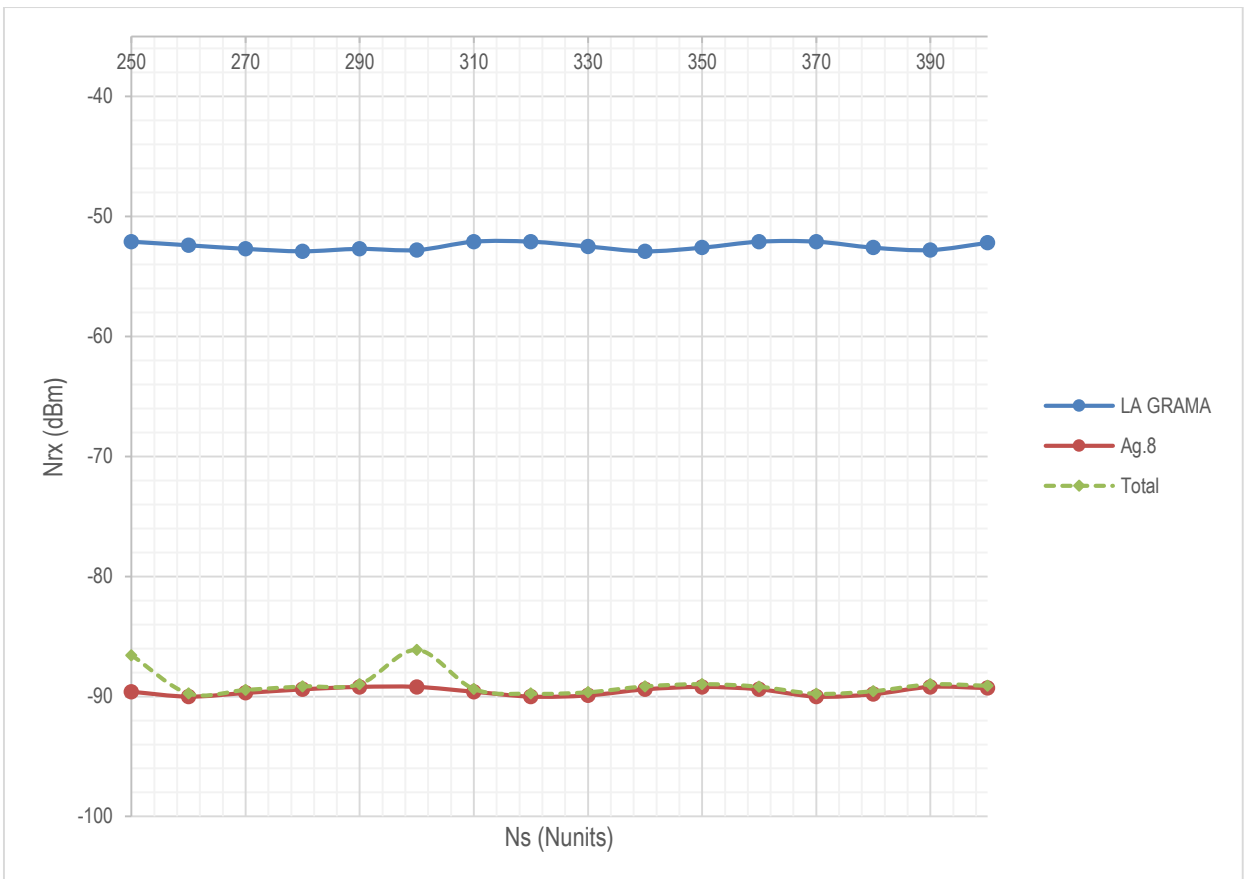
Ns	Nrx (dBm) MATARA	Interf. (dBm) Ag.1	Interf. (dBm) Ag.2	Interf. (dBm) Ag.3	Interf. (dBm) Ag.4	Interf. (dBm) Ag.6	Interf. (dBm) Ag.7	Interf. (dBm) Ag.8	Interf. (dBm) Total
250	-42.5	-113.9	-112	-122.4	-98.2	-86	-110	-111	-85.70
260	-42.5	-113.9	-110.5	-120.6	-98.2	-97.7	-110	-111	-94.52
270	-42.5	-114	-109.2	-119.1	-98.2	-97.6	-110	-111	-94.43
280	-42.5	-114	-108	-117.8	-98.2	-97.5	-110	-111	-94.33
290	-42.4	-114	-106.9	-116.5	-98.2	-97.4	-110	-111	-94.23
300	-42.4	-114.1	-105.7	-115.3	-98.2	-85.4	-110	-111	-85.10
310	-42.4	-114.1	-104.9	-114.4	-98.2	-97.2	-110	-111	-93.98
320	-42.4	-114.2	-104	-113.4	-98.2	-97.1	-110	-111.1	-93.85
330	-42.5	-114.2	-103.1	-112.5	-98.2	-97	-110	-111.1	-93.70
340	-42.5	-114.3	-102.4	-111.6	-98.2	-96.9	-110	-111.1	-93.55
350	-42.5	-114.4	-101.8	-111	-98.1	-96.9	-110	-111.1	-93.43
360	-42.5	-114.5	-101.5	-110.5	-98.1	-96.8	-110	-111.1	-93.33
370	-42.5	-114.7	-101.2	-110.2	-98.1	-96.8	-110	-111.1	-93.28
380	-42.5	-114.9	-101	-110	-98.1	-96.7	-110	-111.1	-93.20
390	-42.6	-115.1	-100.8	-109.8	-98.1	-96.7	-110	-111.1	-93.16
400	-42.6	-115.6	-100.7	-109.6	-98.1	-96.6	-109.9	-111.2	-93.10



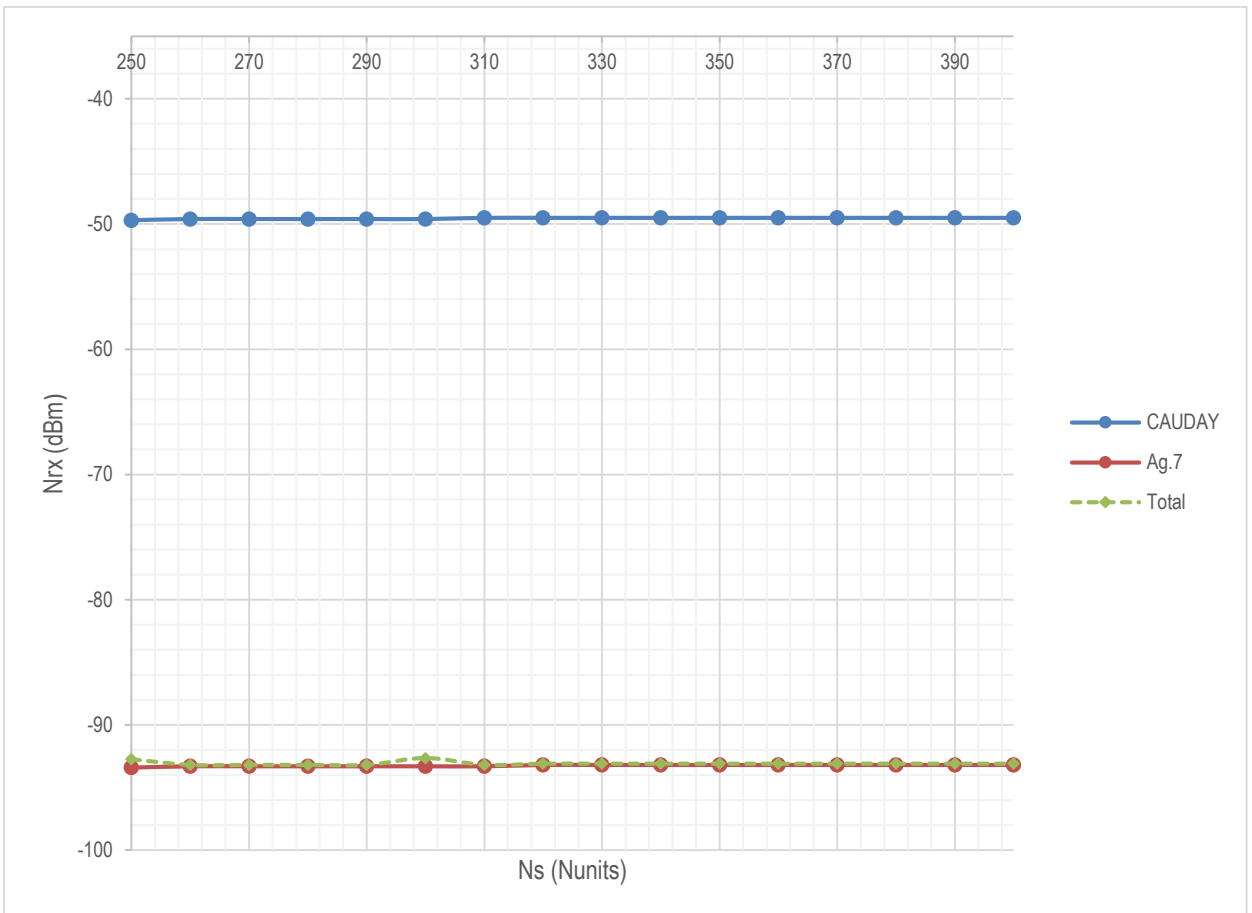
Ns	Nrx (dBm) SN MARC	Interf. (dBm) Ag.1	Interf. (dBm) Ag.2	Interf. (dBm) Ag.3	Interf. (dBm) Ag.4	Interf. (dBm) Ag.5	Interf. (dBm) Ag.7	Interf. (dBm) Ag.8	Interf. (dBm) Total
250	-40.7	-114.5	-114.1	-113.5	-104.2	-92	-90	-94.8	-86.96
260	-40.9	-115.2	-114.5	-113.5	-104.2	-92.1	-90.6	-94.9	-87.30
270	-40.9	-115.1	-114.4	-113.5	-104.2	-91.9	-90.5	-94.9	-87.19
280	-41	-114.9	-114.4	-113.4	-104.1	-91.9	-90.5	-94.8	-87.17
290	-41	-114.6	-114.4	-113.4	-104.1	-92	-90.5	-94.8	-87.20
300	-41	-115.1	-114.3	-113.7	-104.1	-92.4	-89.9	-94.7	-87.02
310	-41.1	-114.4	-114.3	-113.3	-104.1	-92.4	-90.4	-94.7	-87.26
320	-41.1	-114.4	-114.2	-113.2	-104.1	-92.7	-90.4	-94.7	-87.35
330	-41.2	-114.6	-114.1	-113.2	-104	-92.8	-90.3	-94.6	-87.31
340	-41.2	-114.9	-114.1	-113.1	-104	-92.5	-90.3	-94.6	-87.23
350	-41.2	-115.2	-114	-113.1	-104	-92.2	-90.2	-94.5	-87.07
360	-41.1	-115.1	-114	-113	-104	-92	-90.2	-94.5	-87.01
370	-41.1	-114.7	-113.9	-113	-103.9	-91.9	-90.1	-94.4	-86.91
380	-41	-114.4	-113.9	-113	-103.9	-92.1	-90.1	-94.4	-86.97
390	-40.9	-114.4	-113.9	-113	-103.9	-92.6	-90	-94.3	-87.05
400	-40.8	-114.6	-116.8	-112.9	-103.9	-92.8	-90	-94.3	-87.10



Ns	Nrx (dBm) LA GRAMA	Interf. (dBm) Ag.1	Interf. (dBm) Ag.2	Interf. (dBm) Ag.3	Interf. (dBm) Ag.4	Interf. (dBm) Ag.5	Interf. (dBm) Ag.6	Interf. (dBm) Ag.8	Interf. (dBm) Total
250	-52.1	-117.7	-116.1	-115.6	-120.2	-112.1	-89.6	-89.6	-86.56
260	-52.4	-117.4	-116.6	-116.2	-119.5	-113	-103.2	-90	-89.75
270	-52.7	-117.7	-116.2	-115.8	-119.6	-112.7	-102.9	-89.7	-89.45
280	-52.9	-117.9	-116.1	-115.6	-119.8	-112.3	-102.7	-89.4	-89.15
290	-52.7	-117.6	-116.1	-115.6	-120.2	-112.1	-102.7	-89.2	-88.96
300	-52.8	-117.6	-116.3	-115.8	-119.5	-112.6	-89.1	-89.2	-86.12
310	-52.1	-117.1	-116.8	-116.2	-120	-112.4	-103.3	-89.6	-89.37
320	-52.1	-117.2	-116.9	-116.4	-119.6	-112.9	-103.5	-90	-89.76
330	-52.5	-116.4	-116.4	-116	-119.5	-112.8	-103	-89.9	-89.64
340	-52.9	-116.7	-116.1	-115.6	-119.7	-112.3	-102.7	-89.4	-89.15
350	-52.6	-117.4	-116.1	-115.6	-120.2	-112.1	-102.7	-89.2	-88.96
360	-52.1	-119.7	-116.6	-116.1	-120.2	-112.4	-103.2	-89.4	-89.18
370	-52.1	-124.4	-116.8	-116.4	-119.7	-112	-103.5	-90	-89.76
380	-52.6	-137.4	-116.2	-115.8	-119.5	-113.3	-102.9	-89.8	-89.55
390	-52.8	-128.7	-116.1	-115.6	-120	-117.4	-102.7	-89.2	-88.98
400	-52.2	-121.1	-116.6	-116	-120.3	-127.5	-103.1	-89.3	-89.10

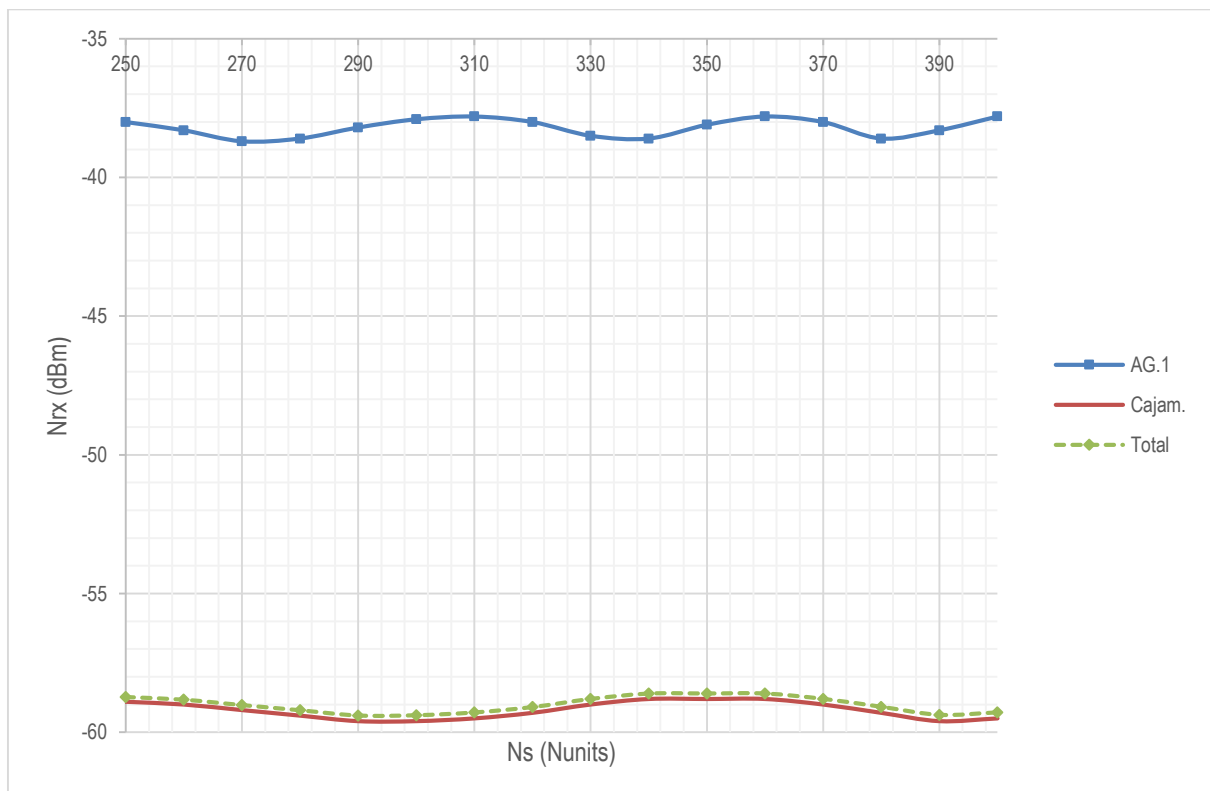


Ns	Nrx (dBm) CAUDAY	Interf. (dBm) Ag.1	Interf. (dBm) Ag.2	Interf. (dBm) Ag.3	Interf. (dBm) Ag.4	Interf. (dBm) Ag.5	Interf. (dBm) Ag.6	Interf. (dBm) Ag.7	Interf. (dBm) Total
250	-49.7	-119.9	-119	-118.4	-122.5	-115.7	-101.7	-93.4	-92.74
260	-49.6	-119.9	-118.9	-118.3	-122.4	-115.6	-112.9	-93.3	-93.19
270	-49.6	-119.9	-118.9	-118.3	-122.4	-115.6	-112.8	-93.3	-93.19
280	-49.6	-119.8	-118.9	-118.3	-122.4	-115.6	-112.8	-93.3	-93.19
290	-49.6	-119.8	-118.9	-118.2	-122.3	-115.6	-112.8	-93.3	-93.19
300	-49.6	-119.9	-119	-118.3	-122.4	-115.7	-101.6	-93.3	-92.64
310	-49.5	-119.8	-118.9	-118.2	-122.3	-115.6	-112.8	-93.3	-93.19
320	-49.5	-119.8	-118.9	-118.2	-122.3	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
330	-49.5	-119.8	-118.9	-118.2	-122.3	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
340	-49.5	-119.8	-118.9	-118.2	-122.2	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
350	-49.5	-119.8	-118.8	-118.2	-122.2	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
360	-49.5	-119.9	-118.8	-118.2	-122.2	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
370	-49.5	-119.9	-118.8	-118.2	-122.2	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
380	-49.5	-119.9	-118.8	-118.2	-122.2	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
390	-49.5	-119.9	-118.9	-118.2	-122.2	-115.6	-112.8	-93.2	-93.09
400	-49.5	-119.9	-118.9	-118.2	-122.2	-115.7	-112.8	-93.2	-93.09

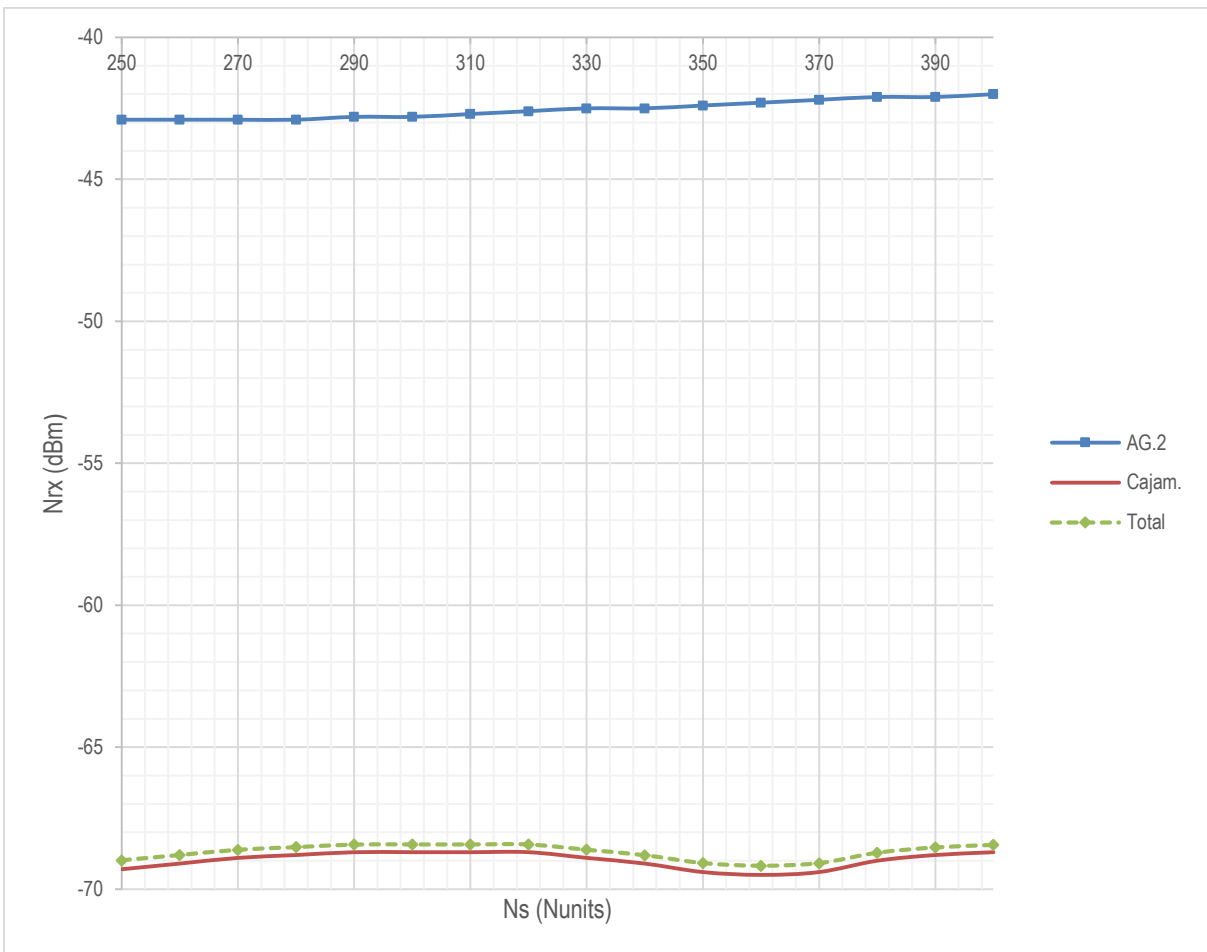


## ANEXO II: Tablas y Gráficos de estimación de Interferencia versus Refractividad (Near Ends)

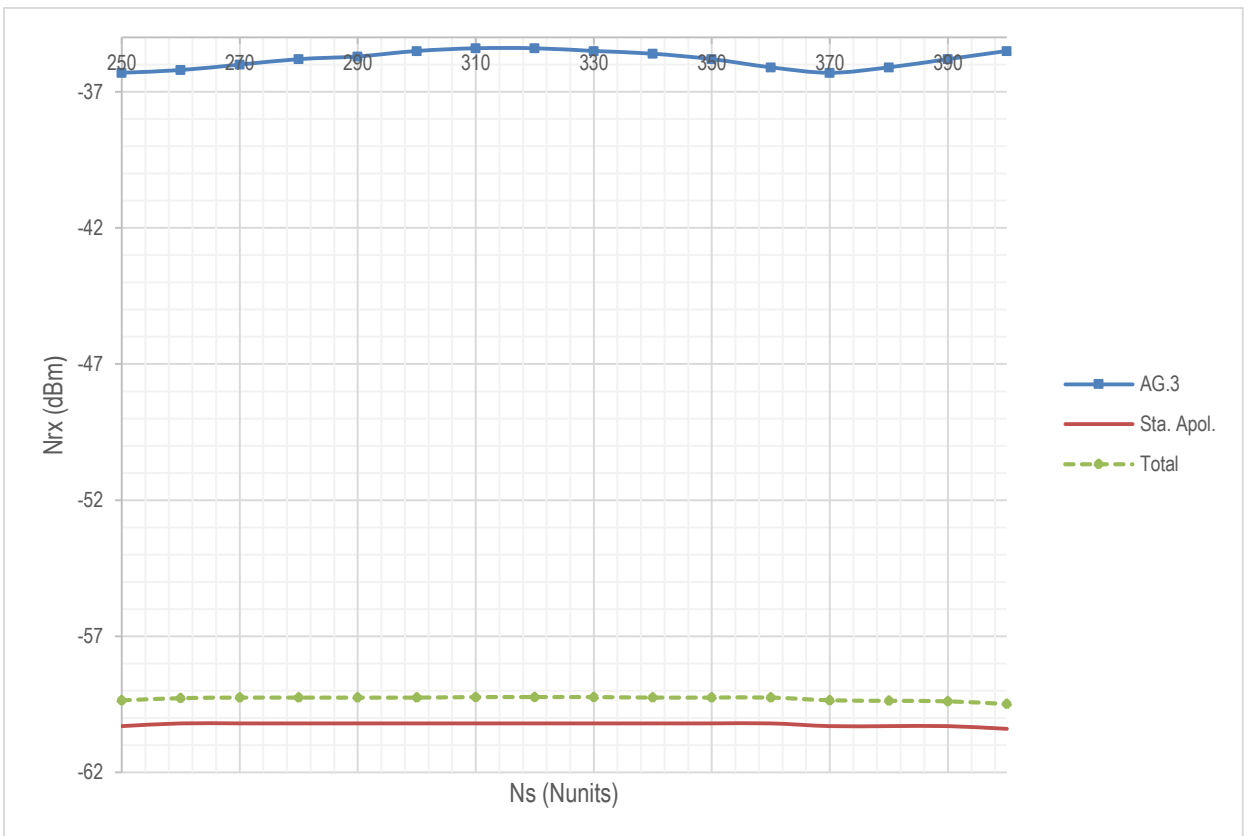
Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	AG.1	Yanac.	Cajam.	Palom.	Matara	Sn. Marcos	La Grama	Caday	Total
250	-38	-73.6	-58.9	-80.8	-114.8	-110.6	-114.4	-118	-58.73
260	-38.3	-73.6	-59	-80.7	-114.7	-110.5	-114.7	-118	-58.82
270	-38.7	-73.7	-59.2	-80.6	-114.7	-110.5	-115	-118	-59.02
280	-38.6	-73.6	-59.4	-80.4	-114.6	-110.6	-115	-118	-59.20
290	-38.2	-73.6	-59.6	-80.3	-114.5	-110.8	-114.7	-118	-59.39
300	-37.9	-73.4	-59.6	-80.1	-114.4	-111.1	-114.3	-118	-59.39
310	-37.8	-73.3	-59.5	-80	-114.4	-111.3	-114.2	-118	-59.29
320	-38	-73.2	-59.3	-79.9	-114.3	-111.4	-114.5	-118	-59.09
330	-38.5	-73	-59	-79.9	-114.3	-111.1	-115	-118	-58.80
340	-38.6	-72.9	-58.8	-79.9	-114.2	-110.7	-115	-118	-58.60
350	-38.1	-72.8	-58.8	-80	-114.2	-110.6	-114.4	-118	-58.60
360	-37.8	-72.8	-58.8	-80.2	-114.1	-110.5	-113.2	-118.1	-58.60
370	-38	-72.8	-59	-80.4	-114.1	-110.8	-113.1	-118.1	-58.79
380	-38.6	-72.8	-59.3	-80.7	-114	-111.2	-113	-118.1	-59.08
390	-38.3	-72.9	-59.6	-80.8	-114	-111.4	-113	-118.1	-59.37
400	-37.8	-73.1	-59.5	-80.6	-114	-110.9	-113	-118.1	-59.28



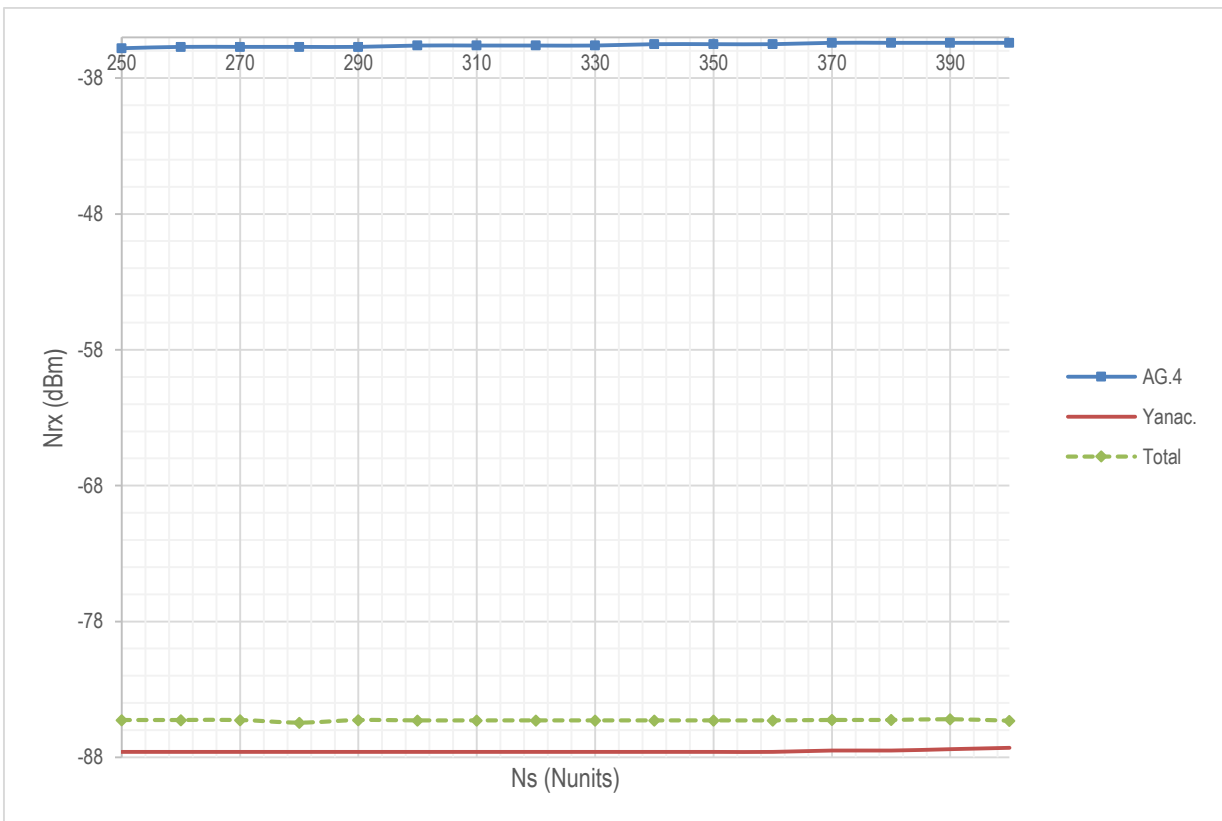
Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	<b>AG.2</b>	Sta. Apol.	<b>Cajam.</b>	Palom.	Matara	Sn. Marcos	La Grama	Caday	Total
250	-42.9	-81.5	-69.3	-87.7	-102.3	-112.7	-116.1	-119	-68.98
260	-42.9	-81.5	-69.1	-87.7	-102.3	-112.7	-115.8	-119	-68.80
270	-42.9	-81.5	-68.9	-87.8	-102.3	-112.7	-115.4	-119	-68.61
280	-42.9	-81.5	-68.8	-87.8	-102.3	-112.6	-115.2	-119	-68.52
290	-42.8	-81.5	-68.7	-87.9	-102.3	-112.6	-115.3	-119	-68.43
300	-42.8	-81.4	-68.7	-87.9	-102.4	-112.5	-115.6	-119	-68.42
310	-42.7	-81.4	-68.7	-88	-102.4	-112.5	-116	-119	-68.42
320	-42.6	-81.4	-68.7	-88.1	-102.4	-112.5	-116	-119	-68.42
330	-42.5	-81.4	-68.9	-88.1	-102.5	-112.4	-115.5	-119	-68.61
340	-42.5	-81.5	-69.1	-88.2	-102.5	-112.3	-115.2	-119	-68.80
350	-42.4	-81.5	-69.4	-88.2	-102.6	-112.3	-115.3	-119	-69.08
360	-42.3	-81.5	-69.5	-88.3	-102.7	-112.2	-115.9	-119	-69.18
370	-42.2	-81.5	-69.4	-88.3	-102.7	-112.2	-116	-119	-69.09
380	-42.1	-81.6	-69	-88.3	-102.9	-112.1	-115.4	-119	-68.72
390	-42.1	-81.6	-68.8	-88.2	-103	-112.1	-115.3	-119.1	-68.53
400	-42	-81.7	-68.7	-88.1	-103.2	-112	-115.9	-119.1	-68.44



Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	<b>AG.3</b>	<b>Sta. Apol.</b>	Yanac.	Palom.	Matara	Sn. Marcos	La Grama	Cauday	Total
250	-36.3	-60.3	-66.5	-84.7	-111.2	-111.6	-115.6	-118.4	-59.35
260	-36.2	-60.2	-66.5	-84.6	-111.2	-111.6	-115.3	-118.4	-59.27
270	-36	-60.2	-66.4	-84.6	-111.2	-111.6	-115	-118.4	-59.25
280	-35.8	-60.2	-66.4	-84.6	-111.2	-111.5	-114.8	-118.4	-59.25
290	-35.7	-60.2	-66.4	-84.5	-111.2	-111.5	-114.8	-118.4	-59.25
300	-35.5	-60.2	-66.4	-84.4	-111.3	-111.4	-115	-118.4	-59.25
310	-35.4	-60.2	-66.3	-84.4	-111.3	-111.4	-115.4	-118.4	-59.23
320	-35.4	-60.2	-66.3	-84.3	-111.3	-111.3	-115.6	-118.4	-59.23
330	-35.5	-60.2	-66.3	-84.3	-111.4	-111.3	-115.1	-118.4	-59.23
340	-35.6	-60.2	-66.4	-84.2	-111.4	-111.3	-114.8	-118.4	-59.25
350	-35.8	-60.2	-66.4	-84.1	-111.5	-111.2	-114.8	-118.4	-59.25
360	-36.1	-60.2	-66.4	-84.1	-111.5	-111.2	-115.3	-118.4	-59.25
370	-36.3	-60.3	-66.5	-84	-111.6	-111.2	-115.5	-118.4	-59.35
380	-36.1	-60.3	-66.6	-83.9	-111.7	-111.1	-114.9	-118.4	-59.37
390	-35.8	-60.3	-66.7	-83.9	-111.8	-111.1	-114.8	-118.4	-59.39
400	-35.5	-60.4	-66.8	-83.9	-112	-111.1	-115.3	-118.4	-59.49

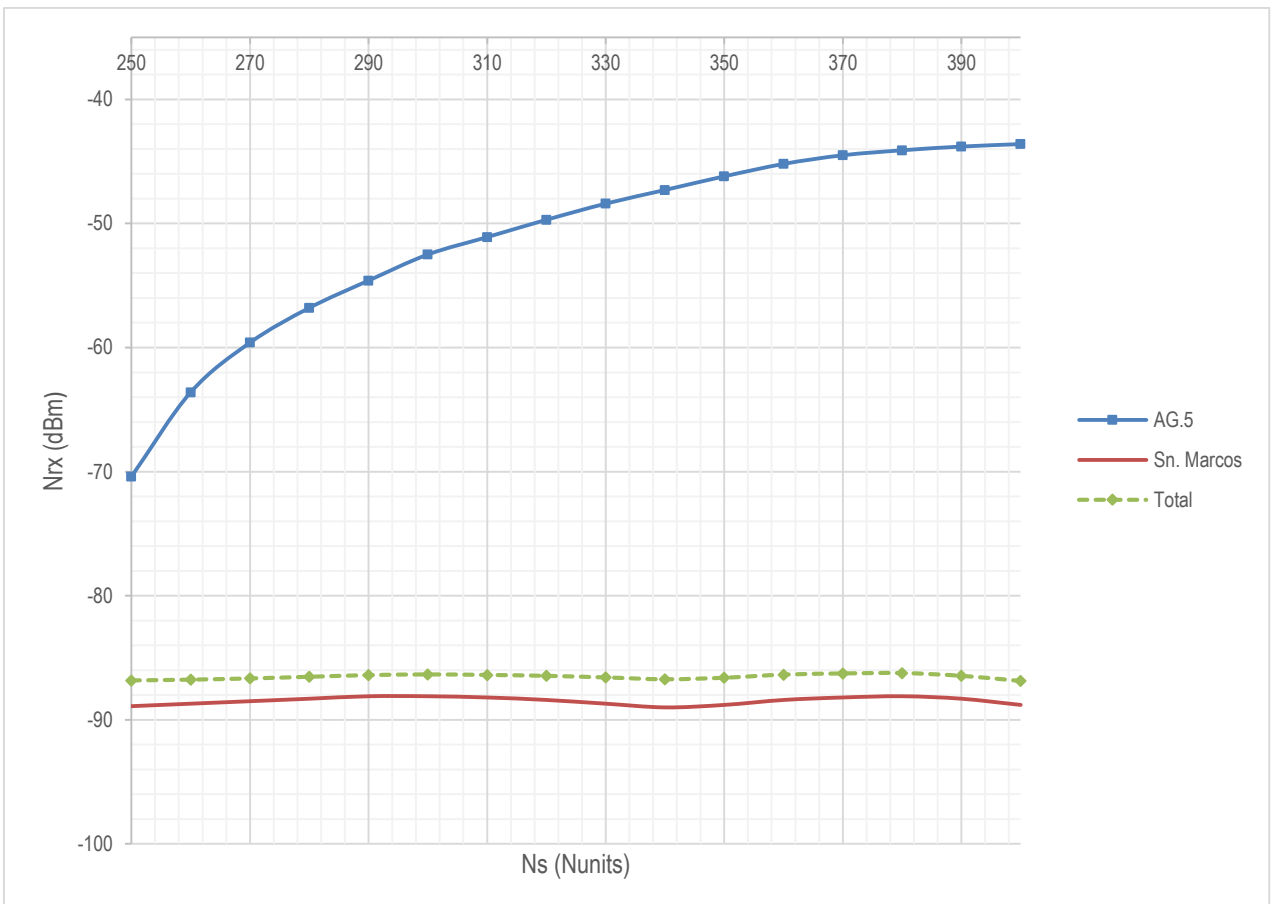


Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	<b>AG.4</b>	Sta. Apol.	Yanac.	Cajam.	Matara	Sn. Marcos	La Grama	Cauday	Total
250	-35.8	-90.8	-87.6	-95.8	-100.3	-102.8	-118.9	-122.4	-85.26
260	-35.7	-90.8	-87.6	-95.8	-100.3	-102.8	-118.7	-122.4	-85.26
270	-35.7	-90.8	-87.6	-95.8	-100.3	-102.8	-118.7	-122.4	-85.26
280	-35.7	-90.8	-87.6	-98.8	-100.3	-102.9	-118.9	-122.4	-85.45
290	-35.7	-90.8	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-119.2	-122.4	-85.26
300	-35.6	-90.9	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-119.6	-122.4	-85.29
310	-35.6	-90.9	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-119.3	-122.4	-85.29
320	-35.6	-90.9	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-118.9	-122.4	-85.29
330	-35.6	-90.9	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-118.7	-122.4	-85.29
340	-35.5	-90.9	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-118.8	-122.4	-85.29
350	-35.5	-90.9	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-119.4	-122.4	-85.29
360	-35.5	-90.9	-87.6	-95.8	-100.3	-102.9	-119.4	-122.4	-85.29
370	-35.4	-91	-87.5	-95.8	-100.3	-102.8	-118.9	-122.4	-85.25
380	-35.4	-91	-87.5	-95.8	-100.3	-102.8	-118.7	-122.4	-85.25
390	-35.4	-91	-87.4	-95.8	-100.4	-102.8	-119.1	-122.4	-85.20
400	-35.4	-91	-87.3	-98.5	-100.4	-102.8	-119.5	-122.4	-85.31

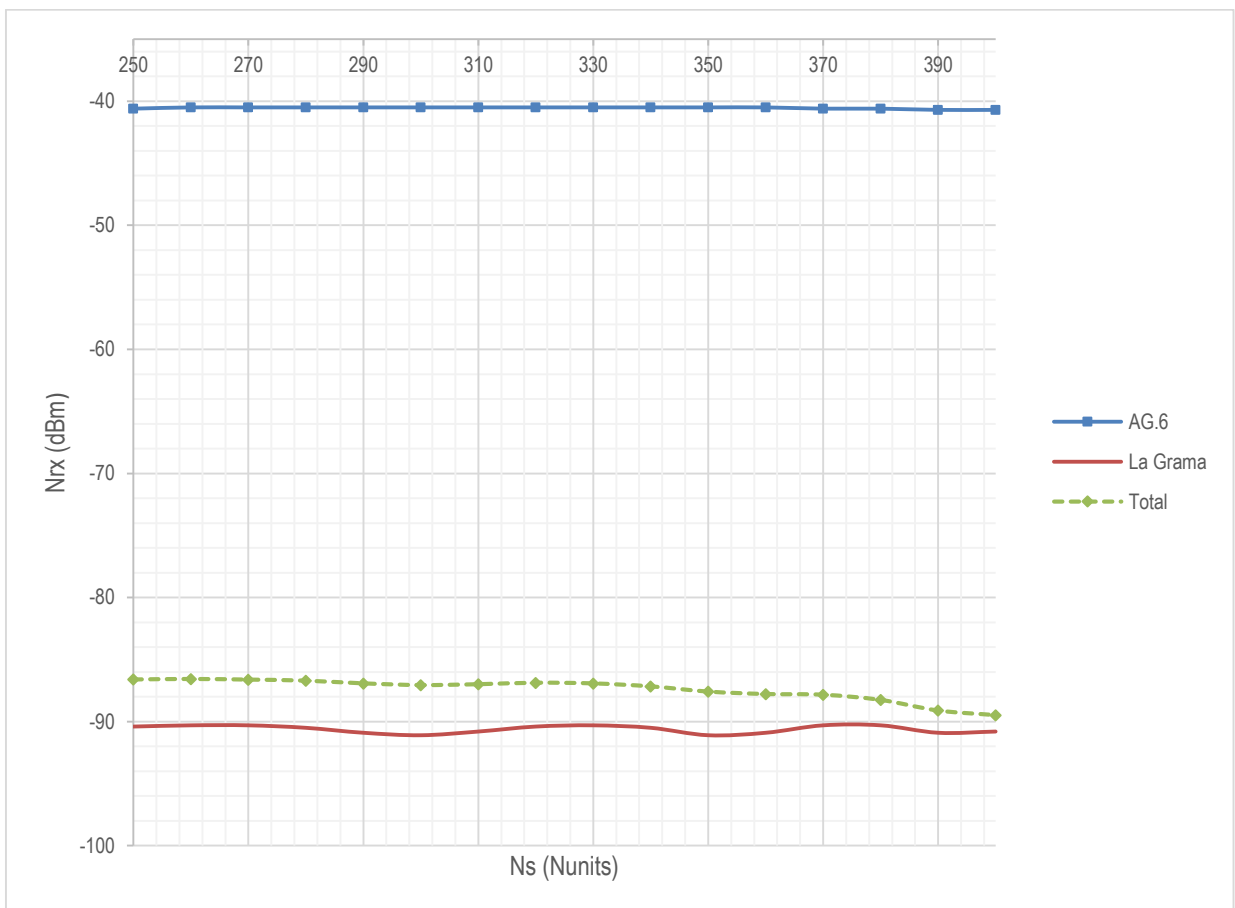




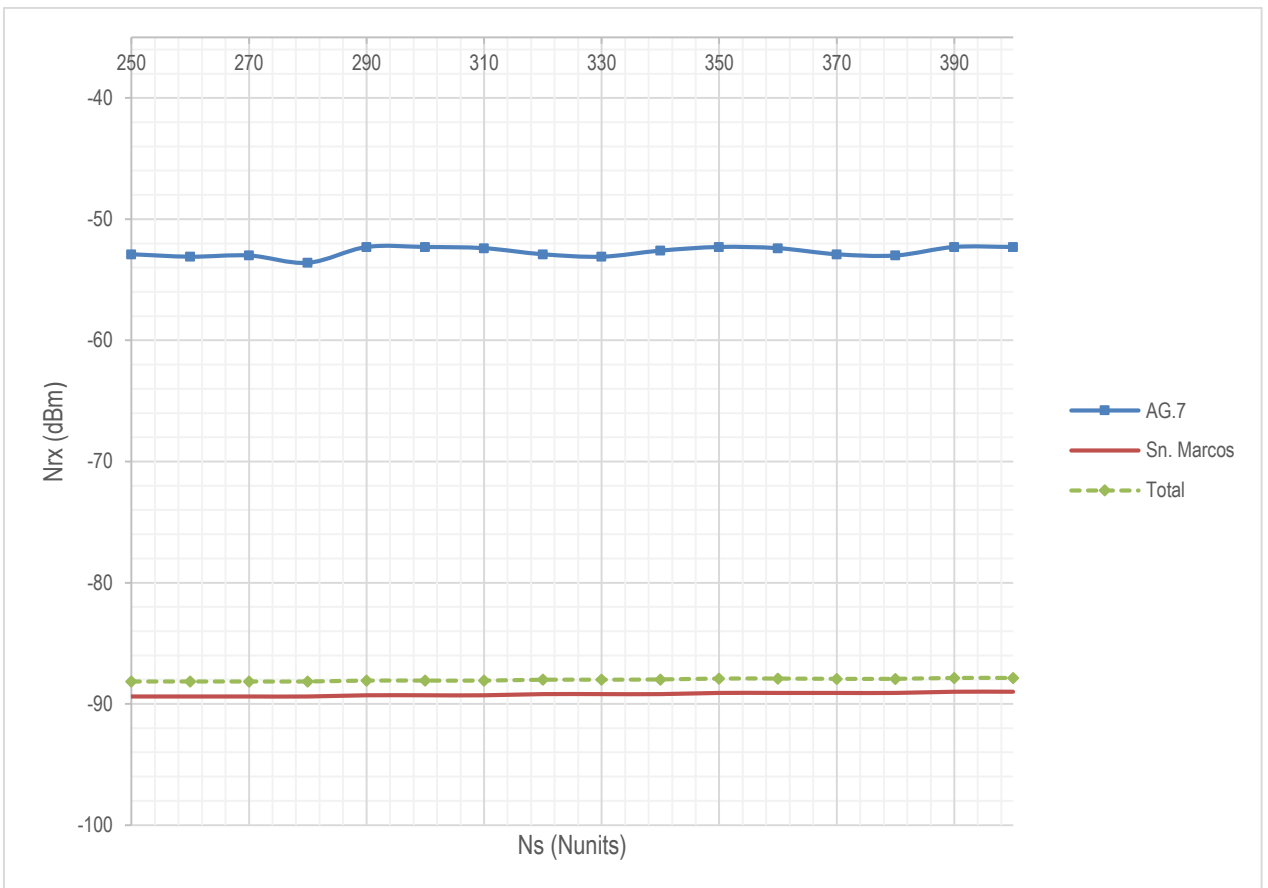
Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	<b>AG.5</b>	Sta. Apol.	Yanac.	Cajam.	Palom.	<b>Sn. Marcos</b>	La Grama	Cauday	Total
250	-70.4	-106.5	-103.4	-105	-91.7	-88.9	-110.1	-113.8	-86.82
260	-63.6	-106.7	-103.3	-105	-91.9	-88.7	-110	-113.8	-86.76
270	-59.6	-107	-103.3	-105.1	-92	-88.5	-109.6	-113.8	-86.66
280	-56.8	-107.3	-103.3	-105.2	-92	-88.3	-109.3	-113.8	-86.53
290	-54.6	-107.2	-103.3	-105.4	-92	-88.1	-109.3	-113.8	-86.40
300	-52.5	-106.8	-103.4	-105.6	-91.8	-88.1	-109.5	-113.8	-86.35
310	-51.1	-106.5	-103.4	-105.8	-91.7	-88.2	-109.9	-113.8	-86.39
320	-49.7	-106.5	-103.5	-105.8	-91.5	-88.4	-110.1	-113.8	-86.46
330	-48.4	-106.8	-103.6	-105.7	-91.3	-88.7	-109.7	-113.8	-86.58
340	-47.3	-107.3	-103.7	-105.4	-91.2	-89	-109.3	-113.8	-86.73
350	-46.2	-107.1	-103.9	-105.2	-91.2	-88.8	-109.3	-113.8	-86.61
360	-45.2	-106.6	-104	-105	-91.2	-88.4	-109.8	-113.8	-86.36
370	-44.5	-106.5	-104.2	-105	-91.3	-88.2	-110.1	-113.8	-86.27
380	-44.1	-106.9	-104.2	-105.1	-91.4	-88.1	-109.4	-113.8	-86.24
390	-43.8	-107.3	-104.1	-105.4	-91.7	-88.3	-108.1	-113.8	-86.46
400	-43.6	-106.7	-103.9	-105.8	-92	-88.8	-108.1	-113.9	-86.87



Ns	Nrx (dBm) <b>AG.6</b>	Interf. (dBm) Sta. Apol.	Interf. (dBm) Yanac.	Interf. (dBm) Cajam.	Interf. (dBm) Palom.	Interf. (dBm) <b>Matara</b>	Interf. (dBm) La Grama	Interf. (dBm) Cauday	Interf. (dBm) Total
250	-40.6	-114.4	-117.7	-112.4	-103.9	-89.3	-90.4	-103.7	-86.61
260	-40.5	-114.4	-117.7	-112.5	-103.9	-89.3	-90.3	-103.7	-86.57
270	-40.5	-114.4	-117.7	-112.7	-103.8	-89.4	-90.3	-103.7	-86.62
280	-40.5	-114.4	-117.7	-112.9	-103.8	-89.4	-90.5	-103.7	-86.71
290	-40.5	-114.5	-117.7	-113	-103.8	-89.5	-90.9	-103.7	-86.93
300	-40.5	-114.5	-117.7	-113.2	-103.8	-89.6	-91.1	-103.7	-87.06
310	-40.5	-114.5	-117.7	-113.1	-103.8	-89.7	-90.8	-103.7	-86.99
320	-40.5	-114.6	-117.7	-112.9	-103.8	-89.8	-90.4	-103.7	-86.87
330	-40.5	-114.6	-117.7	-112.7	-103.8	-90	-90.3	-103.7	-86.93
340	-40.5	-114.7	-117.8	-112.5	-103.8	-90.3	-90.5	-103.7	-87.17
350	-40.5	-114.8	-117.8	-112.3	-103.8	-90.6	-91.1	-103.7	-87.59
360	-40.5	-114.8	-117.9	-112.3	-103.9	-91.2	-90.9	-103.7	-87.78
370	-40.6	-114.9	-118	-112.4	-103.9	-92.1	-90.3	-103.7	-87.84
380	-40.6	-115	-118.1	-112.6	-104	-93.3	-90.3	-103.8	-88.26
390	-40.7	-115.1	-118.2	-113	-104.1	-94.9	-90.9	-103.8	-89.11
400	-40.7	-115.2	-118.4	-113.2	-104.1	-96.9	-90.8	-103.8	-89.49



Ns	Nrx (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)	Interf. (dBm)
	AG.7	Sta. Apol.	Yanac.	Cajam.	Palom.	Matara	Sn. Marcos	Cauday	Total
250	-52.9	-114.7	-118	-112.5	-117.2	-112.4	-89.4	-94.4	-88.15
260	-53.1	-114.7	-118	-112.5	-117.2	-112.4	-89.4	-94.4	-88.15
270	-53	-114.7	-118	-112.5	-117.2	-112.4	-89.4	-94.4	-88.15
280	-53.6	-114.7	-118	-112.5	-117.2	-112.4	-89.4	-94.4	-88.15
290	-52.3	-114.7	-118	-112.5	-117.1	-112.4	-89.3	-94.4	-88.08
300	-52.3	-114.7	-118	-112.5	-117.1	-112.3	-89.3	-94.4	-88.08
310	-52.4	-114.6	-118	-112.5	-117.1	-112.3	-89.3	-94.4	-88.08
320	-52.9	-114.6	-118	-112.5	-117.1	-112.3	-89.2	-94.4	-88.00
330	-53.1	-114.6	-118	-112.5	-117	-112.3	-89.2	-94.4	-88.00
340	-52.6	-114.6	-118	-112.5	-117	-112.3	-89.2	-94.3	-87.98
350	-52.3	-114.6	-118.1	-112.5	-117	-112.3	-89.1	-94.3	-87.90
360	-52.4	-114.6	-118.1	-112.5	-116.9	-112.3	-89.1	-94.3	-87.90
370	-52.9	-114.6	-118.1	-112.5	-116.9	-112.3	-89.1	-94.4	-87.93
380	-53	-114.6	-118.2	-112.5	-116.9	-112.3	-89.1	-94.4	-87.93
390	-52.3	-114.6	-118.2	-112.6	-116.9	-112.3	-89	-94.4	-87.85
400	-52.3	-114.6	-118.3	-112.6	-116.9	-112.3	-89	-94.4	-87.85



Ns	Nrx (dBm) AG.8	Interf. (dBm) Sta. Apol.	Interf. (dBm) Yanac.	Interf. (dBm) Cajam.	Interf. (dBm) Palom.	Interf. (dBm) Matara	Interf. (dBm) Sn. Marcos	Interf. (dBm) La Grama	Interf. (dBm) Total
250	-49.7	-108.4	-111.3	-106.1	-110.1	-113.7	-92.9	-88.8	-87.23
260	-49.7	-108.4	-111.3	-106.1	-110.1	-113.7	-92.9	-88.5	-87.02
270	-49.7	-108.4	-111.3	-106.1	-110.1	-113.7	-92.8	-88.4	-86.92
280	-49.7	-108.4	-111.3	-106.1	-110	-113.7	-92.8	-88.4	-86.92
290	-49.7	-108.4	-111.3	-106.1	-110	-113.7	-92.8	-88.6	-87.06
300	-49.7	-108.3	-111.3	-106.1	-110	-113.6	-92.7	-89.1	-87.38
310	-49.7	-108.3	-111.3	-106.1	-110	-113.6	-92.7	-89.2	-87.45
320	-49.7	-108.3	-111.4	-106.2	-109.9	-113.6	-92.6	-88.8	-87.15
330	-49.6	-108.3	-111.4	-106.2	-109.9	-113.6	-92.6	-88.4	-86.87
340	-49.6	-108.3	-111.4	-106.2	-109.9	-113.6	-92.5	-88.4	-86.84
350	-49.6	-108.2	-111.4	-106.2	-109.8	-113.6	-92.5	-88.8	-87.12
360	-49.6	-108.2	-111.4	-106.2	-109.8	-113.5	-92.5	-89.2	-87.39
370	-49.7	-108.2	-111.5	-106.2	-109.8	-113.5	-92.4	-88.8	-87.09
380	-49.7	-108.2	-111.5	-106.2	-109.7	-113.5	-92.4	-88.4	-86.81
390	-49.7	-108.2	-111.6	-106.3	-109.7	-113.5	-92.4	-88.6	-86.95
400	-49.7	-108.2	-111.6	-106.3	-109.7	-113.5	-92.3	-89.2	-87.32

