

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia entre dos transceptores
2.4 GHz cubricados en un emplazamiento urbano, Trujillo-2022

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

Autores:

Cayhuaray Aguirre, Jonathan Ricardo

De La Cruz Aguilar, Hugo Fernando

Jurado Evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto

Secretario : León Cerna, Alejandro Martin

Vocal : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Asesor

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

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

TRUJILLO - PERÚ

2023

Fecha de Sustentación: 2023/11/06

Comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia entre dos transceptores 2.4 GHz colocados en un emplazamiento urbano, Trujillo-2022

por Jonathan Ricardo Cayhuaray Aguirre

Fecha de entrega: 30-oct-2023 10:25p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2212751081

Nombre del archivo: Tesis_De_La_Cruz_-_Cayhuaray_30-10-23.docx (5.55M)

Total de palabras: 12450

Total de caracteres: 66605


Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia entre dos transceptores 2.4 GHz coubicados en un emplazamiento urbano, Trujillo-2022

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	www.revistas.usb.edu.co Fuente de Internet	1%
3	www.telectronika.com Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%


Ms. Ing. Eduardo Cerna Sánchez
Asesor

Jurado de sustentación Oral

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

Ms. Ing. LEÓN CERNA ALEJANDRO MARTIN
N° CIP 177967
Secretario

Ms. Ing. DE LA CRUZ RODRÍGUEZ OSCAR
MIGUEL
N° CIP 85598
Vocal

Entregado el:

Aprobado por:

CAYHUARAY AGUIRRE JONATHAN R.
DNI 70662719

DE LA CRUZ AGUILAR, HUGO F.
DNI 47447851

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

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



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia entre dos transceptores
2.4 GHz colocados en un emplazamiento urbano, Trujillo-2022

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

Autores:

Cayhuaray Aguirre, Jonathan Ricardo

De La Cruz Aguilar, Hugo Fernando

Jurado Evaluador:

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto

Secretario : León Cerna, Alejandro Martin

Vocal : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Asesor

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

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

TRUJILLO - PERÚ

2023

Fecha de Sustentación: 2023/11/06

DECLARACION DE ORIGINALIDAD

Yo, CERNA SÁNCHEZ EDUARDO E., docente del Programa de Estudio de Pregrado de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada “**Comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia entre dos transeceptores 2.4 GHz coubicados en un emplazamiento urbano, Trujillo-2022**”, de los autores Cayhuaray Aguirre, Jonathan Ricardo y De La Cruz Aguilar, Hugo Fernando.

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 3%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 30 de octubre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis “**Comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia entre dos transeceptores 2.4 GHz coubicados en un emplazamiento urbano, Trujillo-2022**” y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

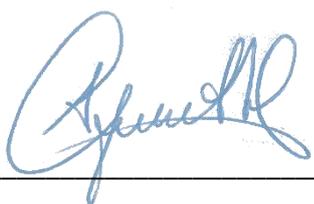
Ciudad y fecha: Trujillo, 30 de octubre del 2023.



CERNA SÁNCHEZ, EDUARDO ELMER

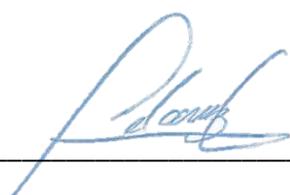
DNI: 18216463

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



CAYHUARAY AGUIRRE, JONATHAN R.

DNI: 70662719



DE LA CRUZ AGUILAR, HUGO F.

DNI: 47447851

DEDICATORIAS

Dedico esta investigación a principalmente a Dios, por ser el inspirador y brindarme fuerzas para continuar en este proceso de desarrollo personal y profesional. A mis padres quienes con su paciencia y esfuerzo he logrado hoy un sueño más.

Jonathan, Cayhuaray Aguirre.

A Dios y mis padres por ser mi guía en todo momento y brindarme su apoyo cuando los he necesitado. A mi hijo Gabriel por ser mi inspiración y el motivo para superarme cada día y alcanzar mis metas en lo personal y profesional.

A mis hermanos por todos sus consejos y ayuda incondicional.

Hugo, De La Cruz Aguilar.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitir culminar satisfactoriamente la carrera, de igual manera agradecer a nuestras familias quienes nos apoyaron y formaron parte durante de nuestra formación profesional y personal.

También agradecer a nuestro asesor Ing. Eduardo Cerna, por el apoyo incondicional a su gran aporte de conocimientos y experiencia enfocados a nuestro trabajo. Gracias por su dedicación y ser la guía necesaria para la culminación de nuestra tesis.

Finalmente, agradecer a nuestra casa de estudios superior, la Universidad Privada Antenor Orrego por la exitosa formación académica a lo largo de los 5 años de carrera, que fueron las principales bases para desarrollarnos como profesionales.

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en la comparación del modelo de Friis con mediciones de interferencia cocanal medidas entre dos estaciones coubicadas sobre un emplazamiento urbano en la ciudad de Trujillo.

Se construyó una estructura de prueba sobre la cual se midieron diferentes niveles de interferencia entre las dos estaciones coubicadas para diferentes separaciones horizontales y verticales. Para las separaciones horizontales fueron de un mínimo de 10 cm y máximo de hasta 60 cm en tanto que las separaciones verticales fueron desde 0 cm hasta 170 cm.

Los resultados indicaron que el Modelo de Friis logra un mejor desempeño en el límite inicial y final ($\Delta x=10$, $\Delta x=60$) de la separación horizontal al tener valores bajos. Para el error absoluto se obtuvieron valores que oscilan entre 4.11 a 8.59 dB, la desviación estándar se encontró en un rango de 2.93 dB a 3.59 dB y el rmse entre 5.24 dB a 9.11 dB en contraste con los valores para las separaciones horizontales intermedias las cuales aumentaron hasta más del 100% a los valores de los extremos en algunos casos.

Se detalla dentro del trabajo el procedimiento seguido para las mediciones, estimaciones, cálculos de error absoluto y desviación estándar correspondiente.

Palabras clave: Interferencias, coubicación, Friis, error absoluto, desviación estándar, raíz de error cuadrático medio.

ABSTRACT

This paper focuses on the comparison of the Friis model with co-channel interference measurements measured between two stations co-located on an urban site in the city of Trujillo.

A test structure was built on which different interference levels were measured between the two co-located stations for different horizontal and vertical separations. For the horizontal separations, they were a minimum of 10 cm and a maximum of up to 60 cm, while the vertical separations were from 0 cm to 170 cm.

The results indicated that the Friis Model achieves a better performance in the initial and final limit ($\Delta x=10$, $\Delta x=60$) of the horizontal separation when having low values. For the absolute error, values ranging from 4.11 to 8.59 dB were obtained, the standard deviation was found in a range of 2.93 dB to 3.59 dB and the rmse between 5.24 dB to 9.11 dB in contrast to the values for the intermediate horizontal separations which increased to more than 100% at extreme values in some cases.

The procedure followed for the measurements, estimates, calculations of absolute error and corresponding standard deviation is detailed within the work.

Keywords: Interferences, collocation, Friis, absolute error, standard deviation, root mean square error.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad con lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, ponemos a su disposición el informe de tesis titulado **“COMPARACIÓN DEL MODELO DE FRIIS CON MEDICIONES DE INTERFERENCIA ENTRE DOS TRANSCÉPTORES 2.4 GHz COUBICADOS EN UN EMPLAZAMIENTO URBANO, TRUJILLO-2022”** para que sea revisado y evaluado y de ser aprobado pueda ser defendido oralmente para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico.

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

Br. Jonathan Ricardo Cayhuraray Aguirre.

Br. Hugo Fernando De La Cruz Aguilar.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Problema de Investigación	16
1.2. Objetivos de la investigación	18
1.3. Justificación de la investigación.....	19
II. MARCO DE REFERENCIA	20
2.1. Antecedentes de la investigación	20
2.2. Marco Teórico.....	22
2.3. Marco conceptual	32
2.4. Hipótesis.....	34
2.5. Variables de Estudio.....	34
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	37
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	37
3.2. Población y muestra de estudio.....	37
3.3. Diseño de investigación.....	37
3.4. Técnicas e Instrumentos de investigación	38
3.5. Procesamiento y análisis de datos	53
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	71
4.1. Resultados.....	71
4.2. Docimasia de Hipótesis	76
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
VI. CONCLUSIONES	79
VII. RECOMENDACIONES	80
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO 01	84
ANEXO 02	89
ANEXO 03	90
ANEXO 04	94
ANEXO 05	98
ANEXO 06	100

ANEXO 07.....	102
ANEXO 08.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de canales WiFi 2.4 GHz	17
Figura 2: Estaciones coubicadas.....	22
Figura 3: Representación gráfica del patrón de radiación de una antena con polarización Vertical y Horizontal	24
Figura 4: Distribución de canales DSSS.....	30
Figura 5: Canales no solapados	30
Figura 6: Patrón elevación, Polarización Horizontal	41
Figura 7: patrón azimutal, Polarización Horizontal	41
Figura 8: Ubicación de instalación del prototipo de estación WiFi 2.4GHz en la ciudad de Trujillo.	43
Figura 9: Vista panorámica del ambiente de pruebas en la ciudad de Trujillo.....	43
Figura 10: Esquema de la estación Wi-Fi coubicada.....	44
Figura 11: Puntos de posicionamiento de las antenas Wi-Fi coubicadas	45
Figura 12: Canales WiFi ocupados en el área experimental	45
Figura 13: Modelado de Patrón Azimutal, Polarización Horizontal	46
Figura 14: Modelado de Patrón Elevación, Polarización Horizontal	47
Figura 15: Ubicación de las estaciones WiFi	48
Figura 16: Herramienta ubiquiti airOS	49
Figura 17: Ángulos de posición de las estaciones en el plano vertical	49
Figura 18: Ángulos de posición fija de las estaciones en el plano horizontal	50
Figura 19: Curvas de tendencia comparativa ($x=10$ y $x=20$).	63
Figura 20: Curvas de tendencia comparativa ($x=30$ y $x=40$).	64
Figura 21: Curvas de tendencia comparativa ($x=50$ y $x=60$).	65
Figura 22: Valores de Incertidumbre o Error Absoluto.....	68
Figura 23: Valores de Desviación Estándar.....	69
Figura 24: Valores de Raíz de error cuadrático medio	70
Figura 25: Valores promedio de mediciones de interferencia en la estación fija E1	73
Figura 26: Valores promedio de mediciones de interferencia en la estación móvil E2	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Banda de 2.4 GHz según la ITU-R.....	29
Tabla 2: Operacionalización de la Variable 01	35
Tabla 3: Operacionalización de la Variable 02.....	36
Tabla 4: Técnicas de investigación	38
Tabla 5: Antenas WiFi.....	39
Tabla 6: Características técnicas de las antenas NanoStation2	42
Tabla 7: Extracto de datos experimentales para la estación 1 (fija) con Δx (cm) = 10.	52
Tabla 8: Reportes de estimación para la separación horizontal (Δx) desde 10 a 60 cm y separación vertical (Δy) desde 0 a 170 cm	54
Tabla 9: Extracto de mediciones experimentales del Nivel de Potencia de Recepción de la fija en canal 6 para separación horizontal 10 cm y separación vertical de 0 a 170 cm.....	57
Tabla 10: Promedios del Nivel de Potencia de Recepción Experimental de la Estación 1 (fija).....	58
Tabla 11: Promedios de Nivel de Potencia de recepción experimental de la Estación 2 (móvil) según su ubicación de la Estación 1 (fija)	59
Tabla 12: Comparación de los Niveles de Potencia de Recepción Teóricos y Experimentales.....	61
Tabla 13: Extracto del reporte de error absoluto, desviación estándar y rmse obtenidos para la separación horizontal Δx 10cm en función a los niveles de potencia teóricos y experimentales.	67
Tabla 14: Parámetros utilizados en la estimación de los niveles de potencia de recepción teóricos	71
Tabla 15: Limitaciones del prototipo de pruebas.....	72
Tabla 16: Resumen de valores de margen de error y desviación	75

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

a. Descripción de la Realidad Problemática

Según Valero (2022), la tecnología WiFi, es un sistema principalmente empleado para conexión inalámbrica a Internet basado en el estándar 802.11, el cual se originó en 1985 en la denominada banda para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ISM), actualmente se utilizan frecuencias en el rango de los 2,4 GHz hasta el estándar 802.11 n y 5 GHz en 802.11 ac.

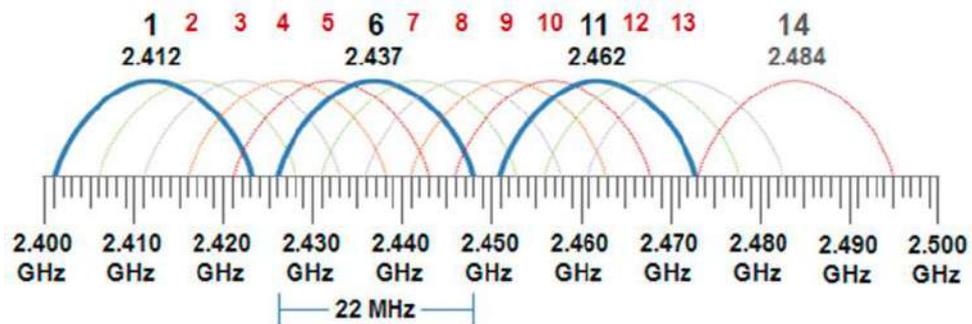
Hoy en día el uso de redes inalámbricas WiFi no solo se enfoca a entornos interiores o áreas indoor, sino también a entornos exteriores para interconectar puntos de usuarios, distribuir señales de internet inalámbrico, entre otras aplicaciones, dirigidas a fines privados y/o públicos. Es en esta variedad de escenarios, donde se dan necesidades de ubicación de estaciones en un mismo emplazamiento.

Según la estandarización IEEE 802.11 (1997), los canales de radiofrecuencia WiFi se encuentran traslapados, siendo el caso que, en la banda de 2.4 GHz, sólo existen 03 canales que no se superponen (CH 01, CH 06, CH 11).

La Figura 1 muestra la canalización de frecuencia en 2.4 GHz, en la cual se puede distinguir los 03 canales no traslapados en color azul.

Figura 1

Distribución de Canales WiFi 2.4 GHz



Nota. Adaptado de *Distribución de canales 2.4 GHz y 5 GHz*, por Alonso Caballero, 2017, Reydes (https://www.reydes.com/d/?q=Los_Espectros_de_2_4_GHz_y_5_GHz).

Según Manning (2009) la manera tradicional de medir el aislamiento de interferencias de estaciones coubicadas interviene un modelo basado en el aislamiento front to back entre las antenas de dichas estaciones. Sin embargo, esto da un resultado con buena aproximación cuando las interferencias se originan de emplazamientos lejanos, mientras que cuando las interferencias se originan de emplazamientos que se encuentran físicamente muy cercanas (por ejemplo, estaciones WiFi coubicadas) y sin arreglos de sincronía Tx/Rx, los patrones de radiación pueden obstaculizar en el cálculo de interferencias acopladas a corta distancia.

De esta manera se consideró la evaluación de un modelo que se adecue a las condiciones mencionadas anteriormente en el acoplamiento de interferencia entre estaciones coubicadas, en un emplazamiento de pruebas de la ciudad de Trujillo.

b. Descripción del problema

Se define como la determinación del desempeño del modelo de propagación de Friis comparando sus estimaciones en el cálculo de potencia cocanal interferente, con mediciones de interferencia cocanal acoplada entre dos estaciones WiFi 2.4 GHz ubicadas en un mismo emplazamiento en la ciudad de Trujillo.

c. Formulación del problema

¿Cómo se desempeña el modelo de propagación de Friis en el cálculo de potencia cocanal interferente acoplada entre dos estaciones WiFi ubicadas en un mismo emplazamiento?

1.2. Objetivos de la investigación

a. Objetivo General

Evaluar el desempeño del modelo de propagación de Friis en el cálculo del nivel de potencia interferente acoplada entre 2 estaciones WiFi 2.4GHz coubicadas en un mismo emplazamiento en la localidad de Trujillo.

b. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros que serán empleados en las estimaciones teóricas bajo el modelo de FRIIS.
- Establecer las limitaciones de una estación de prueba WiFi 2.4 GHz con 2 transceptores coubicados en un mismo emplazamiento, para fines de prueba de potencia cocanal interferente acoplada.
- Determinar los valores promedio de mediciones en el canal de WiFi elegido para la banda de 2.4 GHz, con distintas separaciones horizontales y verticales entre las 2 estaciones WiFi coubicadas.
- Evaluar las mediciones obtenidas, comparándolas con las estimaciones teóricas obtenidas bajo el modelo de FRIIS.

1.3. Justificación de la investigación

a. Importancia de la investigación

El trabajo se justificó al aplicar los conocimientos adquiridos en pregrado, en el análisis y caracterización de la problemática real, tal como la validación del modelo de Friis en el cálculo de interferencias en estaciones coubicadas WiFi, alineándose con los fines académicos de la Escuela de Ingeniería Electrónica – UPAO y obteniendo la aproximación del empleo de este método de cálculo en condiciones realistas de interferencia.

MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes de la investigación

a. Yao et al. (2018), en la investigación titulada “**Efficient Interference-Aware Power Control for Wireless Networks**”, se realizó una comparación de protocolos (IAPC, IRMA y STPC) para mejorar el rendimiento de la red. Luego del estudio y análisis indicaron algunas formas de gestión de interferencias mediante el control de potencia en redes inalámbricas. Se considera como aporte principal para la presente investigación, los criterios a tener en cuenta al momento de la configuración de la potencia de transmisión del transceptor para reducir interferencia con señales inalámbricas del entorno.

b. Gonzáles Bravo y Tovar Solórzano (2018), en la investigación titulada “**Diseño y construcción de un sistema de bajo costo para la aproximación del trazado del patrón de radiación en una banda ISM**”, se realizó el modelado aproximado de un patrón de radiación de una antena mediante un procedimiento mecánico y digital. Luego del procesamiento de datos se visualizó una similitud entre el patrón de radiación del fabricante y experimental. Se considera como aporte para la presente investigación, la evaluación de las diferencias entre el patrón de radiación de la hoja técnica del fabricante y el patrón de radiación medido experimentalmente.

c. Vallejo Baldeón et al. (2017), en el trabajo denominado “**Performance Evaluation of Wireless Network in conformance with IEEE 802.11n in Co-Channel Interference Scenario**”, se investigó el desempeño del estándar IEEE 802.11n en ambientes con interferencia cocanal. Para ello se analizaron métricas de desempeño de red en ambientes con y sin interferencia cocanal en la frecuencia de 2.4 GHz. Luego de realizar el análisis se concluyó que en escenarios con interferencia cocanal el rendimiento de la red disminuye en aproximadamente un 35%. Se considera el principal aporte de este trabajo, el análisis realizado respecto de parámetros de interferencia y su relación la velocidad de transferencia.

d. Suárez (2016), en la investigación titulada **“Estudio y recomendaciones para mitigar la interferencia en redes WiFi en zonas no controladas no licenciadas”**, se realizó la medición de interferencia en redes inalámbricas WiFi y bandas no licenciadas en centros comerciales y conjuntos residenciales. Luego de analizar, se determinó que la potencia exageradamente alta, incrementa el área de cobertura, pero origina interferencias a otros APs que se encuentren en la misma zona, además se pudo notar que la direccionalidad de la señal de los APs, origina cobertura en sitios innecesarios y ocasiona interferencia con otros APs y pérdida de señal. El aporte principal considerado en esta investigación son los parámetros aproximados de potencia y distancia para la cobertura de una determinada área, con el fin de reducir la interferencia con otros APs ubicados en la misma zona.

e. Mahajan y Gupta (2012), en la investigación titulada **“Interference Evaluation of different Wireless systems operating in 2.4 GHz ISM Band”**, estudiaron y analizaron la interferencia mutua que existe entre diferentes tecnologías que operan en la banda de 2.4 GHz tales como Bluetooth, Wireless USB, Zigbee, 2.4GHz Cordless Phone y los Hornos Microondas que se ubican en un mismo ambiente (casa o edificio), luego del estudio y análisis indicaron algunas formas de mitigar estas interferencias. Se considera como aporte principal para la presente investigación, los criterios a tener en cuenta al momento de la selección de canales que no tengan mucha demanda en el ambiente, evaluando la contaminación inalámbrica o señales que se acoplen en el entorno, lo cual fue de ayuda en la implementación del escenario de pruebas.

2.2. Marco Teórico

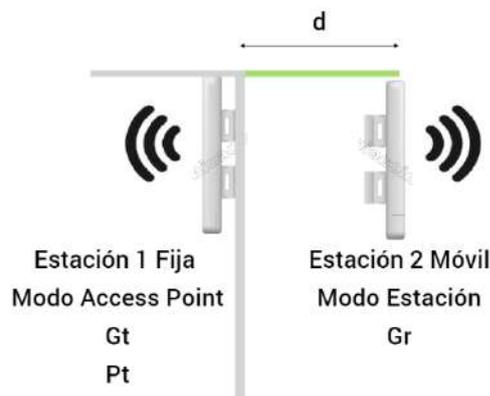
a. Modelo de propagación de Friis

Según Treviño Cortés (2003) este modelo es utilizado para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe una clara línea de vista.

La Figura 2 muestra el esquema que se va a aplicar para el modelo de Friis en el presente trabajo.

Figura 2

Estaciones coubicadas



Los sistemas de comunicación satelital y los enlaces microondas se pueden modelar como propagación en el espacio libre. El modelo del espacio libre predice que la potencia recibida decae como función de la distancia de separación entre el transmisor y receptor elevada alguna potencia. La potencia recibida en el espacio libre por una antena receptora la cual está separada de la antena transmisora a una distancia d , está dada por la ecuación.

$$Pr(d) = \frac{Pt.Gt.Gr}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

Pr: Potencia recibida

Pt: Potencia recibida la cual es función de la separación Tx – Rx (Transmisor - Receptor).

Gt: Ganancia de antena transmisora.

Gr: Ganancia de la antena receptora.

d: Distancia de separación de Tx – Rx dada en metros.

L: Factor de pérdida del sistema no relacionado a la propagación

λ : Longitud de onda dada en metros.

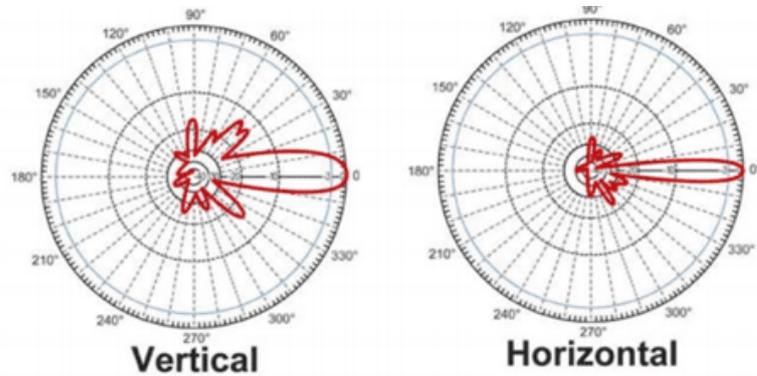
b. Patrón de radiación

Según Camargo Olivares (2009) es la simbolización gráfica de las características de una antena, representadas por las coordenadas polares o rectangulares, donde se puede observar la distribución de la energía en el ambiente. Ya sea, el representar las intensidades de los campos (en términos de intensidad de campo eléctrico E) o las densidades de potencia (P) en distintas ubicaciones angulares en relación con una antena. El aspecto del patrón de irradiación de una antena determina su directividad.

A continuación, la Figura 3 muestra la representación del patrón de radiación de una antena en ambos tipos de polarización:

Figura 3

Representación gráfica del patrón de radiación de una antena con polarización Vertical y Horizontal



Nota. Adaptado de la gráfica del patrón de radiación de una antena con polarización vertical y horizontal, por Pol Padrisa ,2016, Sysadmit

c. Polarización de antena

Según Camargo Olivares (2009) explica que es la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (horizontal o vertical), que coinciden con Betancor Arroyo (2017), además el menciona que la polarización circular y lineal solo son casos de propios de polarización elíptica.

Se divide en 4 formas, la primera es si una antena propaga una onda electromagnética polarizada verticalmente, a la antena se le considera polarización vertical, segundo, si la antena propaga una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se le considera que la antena está en polarización horizontal; pero si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, se llama polarizado elípticamente; y por ultimo si el campo eléctrico tiende a rotar en un patrón circular, se encuentra polarizada circularmente.

d. Interferencia de Telecomunicaciones

Según la recomendación UIT-R V.573-5, la interferencia radioeléctrica se define como la “Degradación producida en la recepción de una señal útil ocasionada por una perturbación radioeléctrica.”

En el Reglamento de Radiocomunicaciones se establecen varios niveles de interferencia: la interferencia admisible, la interferencia aceptada y la interferencia perjudicial. El primer término supone una degradación de la calidad de recepción que se puede considerar insignificante sin embargo se tiene que considerar en la planificación. El valor de este nivel se especifica en la mayoría de los casos en las recomendaciones UIT-R. El segundo término supone una moderada degradación de la calidad de recepción, detalla un nivel de interferencia más alto que, en ciertas condiciones, puede ser aceptable por las administraciones involucradas. El tercer término supone un nivel de interferencia inaceptable originando una grave degradación, interrupción continua o imposibilidad del funcionamiento de un servicio de radiocomunicación.

e. Interferencia Cocanal

Según Rico et al. (2014) se origina a causa de la presencia de señales interferentes que trabajan en el mismo ancho de banda del canal en el que está trabajando el receptor, la intensidad de esta interferencia dependerá tanto de las cualidades de rechazo cocanal del receptor como las cualidades de emisión del transmisor. Hay diferentes puntos a analizar para calcular la interferencia cocanal dependiendo de los servicios a utilizar, por ejemplo, en radiodifusión el espacio de alejamiento entre las estaciones cocanales juega un rol importante, mientras que en los servicios fijos el punto importante es la directividad de la antena. Sin embargo, hay un caso especial de interferencia, este escenario se presenta cuando se comparte la banda de transmisión, más aún si se ejecuta un despliegue descoordinado de equipos inalámbricos, en donde se desconoce la cantidad de estos y la ubicación de posibles puntos de interferencia.

f. Parámetros en el cálculo de propagación

Según Rico et al. (2014) para el cálculo de propagación, se tienen los siguientes parámetros:

- **Frecuencia:** el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz y 40GHz.
- **ERP (Effective Radiated Power):** potencia efectiva de radiación, se establecen en las unidades fijados por el usuario en la opción de configuración del sistema (mW, W, kW, dBm, dBW, dBk).
- **Antena:** se asume una antena omnidireccional, a menos que se indique el uso de una antena directiva.
- **Altura de la antena:** altura a la que se sitúa la antena, medido en metros, (sobre el nivel del mar), para transmitir y recibir.
- **Polarización:** debe detallarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical.

g. Pérdida de espacio libre

Según Lehpamer (2010) cuando la propagación se da entre dos puntos alejados geoméricamente, las ondas electromagnéticas se atenúan.

Para determinar la predicción la intensidad de la señal entre el transmisor y receptor debe existir un panorama libre de obstáculos y visualizarse entre ellos, por lo tanto, la atenuación es directamente proporcional al cuadrado de la distancia y frecuencia, dando como resultado la pérdida de espacio libre, este resultado representa la mayor parte del total de atenuación.

La dependencia de la frecuencia y la distancia de la pérdida entre dos antenas isotrópicas se expresa en números absolutos por la siguiente ecuación:

$$L_{FSL} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2 \quad (2)$$

Dónde

d = distancia entre las antenas transmisora y receptora (m)

λ = longitud de onda operativa (m)

c = velocidad de la luz en el vacío (m/s)

f = frecuencia (Hz)

El modelo de pérdida de trayectoria en el espacio libre de Friis es válida solo para transmisiones de largas distancias, siempre dependiendo de la distancia y frecuencia.

Por lo tanto, la pérdida en el espacio libre entre dos antenas isotrópicas es derivado de la relación entre la potencia de salida total de un transmisor y potencia de recibida en el receptor.

Después de convertir a unidades de frecuencia y expresarlo en forma logarítmica (decibelios), la ecuación se convierte:

$$L_{FSL} = 92.45 + 20\log(f_{GHz}) + 20\log(d_{km}) \quad [dB] \quad (3)$$

Dónde

f = frecuencia (GHz)

d = rango de línea de vista (LOS) entre antenas (km)

h. Espectro radioeléctrico y tipos de interferencias

Según Rico et al. (2014) explican que, en los sistemas de telecomunicaciones, la transmisión y recepción de datos empleando señales de radiofrecuencia es muy usual, en estos sistemas se produce una interacción entre las ondas de radio a ciertas distancias en donde puede resultar una comunicación entre dos terminales o una interferencia de señal generada por un transmisor sobre un receptor involuntario.

Estas pérdidas de señal se denominan en términos físicos como disminución de potencia de las señales de radio además se le conocen como pérdidas por trayectoria de las señales de radio, estas son analizadas y desarrolladas por distintos modelos de propagación de ondas de radio. Según Ontiveros (2018) existen 4 tipos de interferencias que mencionaremos a continuación.

- Interferencia radioeléctrica co-canal: Ocurre cuando 2 transmisores usan la misma frecuencia portadora para comunicarse a un solo receptor ocasionando una degradación en la señal.
- Interferencia por emisión fuera de la banda de frecuencias asignada: Se produce una interferencia cuando lo origina una señal portadora de la otro canal cerca.
- Interferencia por emisión no esencial: Interferencia originada por frecuencias armónicas de un transmisor o una intermodulación 2 o más frecuencias portadoras.
- Interferencia por invasión masiva de campo eléctrico: Este tipo de interferencia es producido por cierre de contactos de alto voltaje o equipos que producen chispa.

i. Interferencias debidas a materiales presentes en el entorno

Según Botero et al. (2009) explica las interferencias ocasionadas por materiales existentes en el entorno: Las ondas electromagnéticas son susceptibles, permitiendo cambiar sus trayectorias a causa de medios físicos presentes en el entorno, los productos o superficies con ciertas propiedades físicas pueden estar interfiriendo con la adecuada propagación de las ondas electromagnéticas afectándolas en la amplitud y fase, repercutiendo en la lectura y escritura del sistema.

Este problema es provocado reiteradamente por los materiales transparentes, líquidos y ferromagnéticos; cada uno de ellos presenta un efecto distinto en la onda, pero, en la superposición de todas estas interferencias ocasionan datos erróneos y alteraciones en la trazabilidad de los procesos.

j. WiFi en la banda de 2.4 GHz

Según, el estándar IEEE 802.11 (1997). “Los estándares 802.11 utilizan la banda de 2.4 GHz, debido a que esta no requiere licencia, está disponible en todo el mundo, y los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en ella deben aceptar la interferencia resultante de aplicaciones de también trabajan en esa banda”. (Cap.2).

Existen rangos de frecuencia y potencias máximas establecidas para la banda de 2.4 GHz por la ITU-R según la región. Se divide en 4 administraciones: E.E.U.U, Canadá, Europa, y Japón, siendo sus rangos de frecuencias 2.4000 – 2.4835GHz para las 4 regiones, inclusive Japón usa un rango de frecuencia adicional de 2.4710 – 2.4970GHz.

La Tabla1 muestra los rangos de frecuencias y las potencias máximas permitidas según la administración en que se encuentra.

Tabla 1

Banda de 2.4 GHz según la ITU-R

Designación general de la banda	Administración o región	Banda de frecuencia específica (MHz)	Potencia de salida del transmisor (mW)	Ganancia de antena (dBi)
Banda 2.4 GHz	EE.UU.	2400 - 2483.5	1000	0-6 dBi ⁽¹⁾ (Omni)
	Canadá	2400 - 2483.5	4 W p.i.r.e. ⁽²⁾	N/D
	Europa	2400 - 2483.5	100 mW (p.i.r.e.) ⁽⁵⁾	N/D
	Japón	2471 - 2497 2400 - 2483.5	10 mW/MHz ⁽⁴⁾ 10mW/MHz ⁽⁴⁾	0-6 dBi (Omni) 0-6 dBi (Omni)

Nota. Adaptado de “Características de las redes radio eléctricas de área local de banda ancha” (p. 19), por Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2014, *ITU-R*

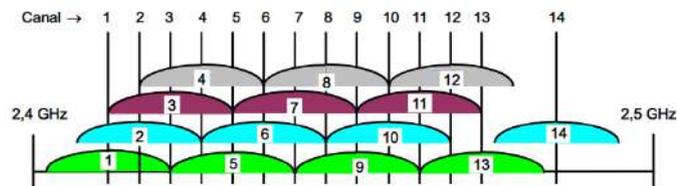
k. Distribución de canales en DSSS

Según, la Familia IEEE, “DSSS trabaja en la banda de 2.4 GHz con un ancho de banda total disponible de 83.5 MHz. Dicho ancho de banda total se divide en 14 canales con un ancho de banda por canal de 22 MHz, cada canal está desplazado 5 MHz con respecto al anterior, haciendo que los canales contiguos se solapen”. (Cap.2.).

Todo lo anterior mencionado se observa en la Figura 4, en todo el espectro de la banda de 2.4 GHz.

Figura 4

Distribución de canales DSSS

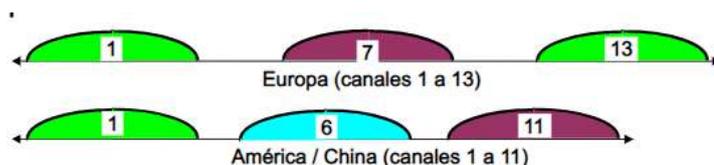


Nota. Adaptado de la *distribución de canales 802.11b/g*, por Rogelio Montaña, 2016, Universidad de Valencia

Del ancho de banda total disponible (83.5 MHz), es posible tener solo 3 canales independientes que pueden transmitir o recibir simultáneamente en una zona geográfica determinada, sin la presencia de interferencias en un canal procedentes de los otros dos canales, tal y como se muestra en la Figura 5 que se muestra a continuación:

Figura 5

Canales no solapados



Nota. Adaptado de la *distribución de canales 802.11b/g*, por Rogelio Montaña, 2015, Universidad de Valencia.

I. Radioenlace

Según Garazi (2018) una comunicación radioenlace está definida como la interconexión realizada entre dos antenas o más a través de ondas electromagnéticas por medio de un medio no guiado.

En un radioenlace se plantean dos frecuencias, uno para la portadora modulada Tx y otra para la portadora de Rx.

m. Tipos de radioenlace

Según Naranjo (2019) hay 3 tipos de radioenlace que destacan, los cuales son:

- **Enlace Punto a Punto:** cuando únicamente hay conexión entre dos puntos o dos nodos. Se suele utilizar para ampliar la red a grandes distancias ya que brinda mayor capacidad para transportar la información por el medio.

- **Enlace Punto a Multipunto:** en este tipo de enlace cada canal de datos tiene la capacidad de conectarse con varios puntos a la vez en donde la información es bidireccional, es decir, se transporta en doble dirección y se aplica en todas las terminales.

- **Enlace Multipunto a Multipunto:** cuando cada punto o nodo del despliegue de red, puede conectarse con cualquier otro, se le conoce como red en malla o Ad Hoc.

n. Atenuación

Según Vela (2015) es un fenómeno físico que implica la pérdida de energía de una señal electromagnética a causa de la distancia conforme se va alejando de la fuente. Generando que la señal electromagnética u onda se vaya extendiendo sobre un área mayor lo que hace que disminuya la densidad de potencia. Para contrarrestar este fenómeno se recomienda utilizar amplificadores o repetidores cada cierta distancia.

o. Antena

Según Vela (2015) este dispositivo o elemento cumple la función de un transductor, lo que realiza es recibe un tipo de energía en la entrada y la transforma en otra forma de energía diferente a su salida. Su funcionamiento

se basa en generar ondas electromagnéticas cuando recibe señales eléctricas, y genera señales eléctricas cuando recibe ondas electromagnéticas.

2.3. Marco conceptual

Se explican conceptos de los principales términos que serán utilizados en la investigación: indicadores, variables, unidades de medida.

a. Estación WiFi

Conocido también como punto de acceso, permite a varios equipos inalámbricos conectarse a una red cableada mediante WiFi.

b. Redes de área local inalámbricas (WLAN)

Es un tipo de red informática que provee conexión inalámbrica peer to peer (de igual a igual) transmitiendo y recepcionando datos por medio de ondas electromagnéticas y que solo se delimita a una cierta área de cobertura, como ejemplo, puede ser un edificio completo.

c. Coubicación

Es el suministro de espacio en la que un operador facilita a otro operador sus instalaciones, acondicionamiento, medios técnicos, seguridad y energía con la finalidad de que el operador solicitante pueda ubicar en él los equipos necesarios para el acceso y la interconexión a los usuarios finales.

d. Interferencia de transmisión y recepción (Tx/Rx)

Esto ocurre cuando se recibe una señal de radiofrecuencia en la misma frecuencia en la que se lleva a cabo una transmisión, esto puede afectar gravemente al receptor quien está esperando recepcionar la señal desde un extremo distante.

e. Emplazamiento de estaciones

Es el lugar o ubicación geográfica en donde se colocará una estructura, para la instalación y montaje de equipos de transmisión, tales como, antenas, repetidores, enlaces microondas, sistemas de energía.

f. Error absoluto

Se define como la diferencia positiva entre el valor real, x , de una determinada magnitud y el valor estimado, x_i .

En ocasiones el error absoluto aparece detrás del valor estimado y precedido por el signo \pm , indicando el margen en el que se encuentra el valor real.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i \quad (4)$$

Donde:

N = número de mediciones

E = diferencia absoluta de valores teóricos y experimentales

g. Desviación Estándar

Medida de la dispersión de una distribución de frecuencias respecto de su media. Equivale a la raíz cuadrada de la varianza

Es la medida de dispersión más utilizada en las investigaciones por ser la más estable de todas, ya que para su cálculo se utilizan todos los desvíos con respecto a la media aritmética de las observaciones y, además, se toman en cuenta los signos de esos desvíos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} (\sum_{i=1}^N E_i^2 - N \cdot \mu^2)} \quad (5)$$

h. Raíz de error cuadrático medio

El RMSE mide la precisión de los errores de previsión producidos por diferentes modelos de previsión para un conjunto de datos concreto y no entre conjuntos de datos. El RMSE es siempre positivo y disminuye a medida que disminuye el error de las previsiones. Es decir, cuanto más se acerquen los valores pronosticados a los reales, menor será el RMSE.

$$rmse = \sqrt{\mu^2 + \sigma^2} \quad (6)$$

2.4. Hipótesis

a. General

El modelo de propagación de Friis posee mejor desempeño en los límites de separación horizontal evaluadas en la estimación de potencia interferente acoplada entre dos estaciones WiFi 2.4 GHz coubicadas en un mismo emplazamiento de la ciudad de Trujillo.

2.5. Variables de Estudio

a. Modelo de propagación de Friis

Definición conceptual

Es un modelo de propagación que permite calcular la potencia recepcionada en una estación a cierta distancia y frecuencia en condiciones que no existan obstáculos entre ellas.

Indicadores

- Potencia transmitida
- Distancia
- Frecuencia
- Ganancias de antena
- Pérdidas
- Potencia recibida

b. Desempeño del modelo de propagación de Friis

Definición conceptual

Consiste en una evaluación del modelo de propagación de Friis en base al margen de error y desviación obtenida entre los cálculos teóricos y las mediciones experimentales de interferencia cocanal entre dos estaciones WiFi 2.4 GHz coubicadas en un emplazamiento de la ciudad Trujillo.

Indicadores:

- Error absoluto (μ).
- Desviación estándar (σ)
- Raíz de error cuadrático medio (rmse)

c. Operacionalización de las variables

Tabla 2

Operacionalización de la Variable 01

VARIABLE 01	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Modelo de propagación de Friis	A partir de los datos de potencia de transmisión, distancia, frecuencia, ganancias y pérdidas, se obtiene la estimación del nivel de potencia recibido (Nrx)	Potencia de transmisión	Guía de análisis de documentos	dBm
		Pérdidas		dB
		Ganancias		dB
		Distancia		metros
		Frecuencia		Giga Hertz
		Nivel de potencia recibido		dBm

Tabla 3

Operacionalización de la Variable 02

VARIABLE 02	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
Desempeño del modelo de propagación de Friis	A partir de las estimaciones del modelo de Friis, y mediciones de interferencia realizadas, se obtendrá el margen de error para cada separación horizontal en el canal empleado.	Error absoluto	Reporte	dB
		Desviación estándar		dB
		Raíz de error cuadrático medio		dB

METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación se considera tipo descriptivo. Dado que se buscó describir el desempeño del modelo de propagación de Friis en base al error obtenido entre las potencias interferentes cocanal estimadas y medidas entre 2 estaciones WiFi 2.4 GHz coubicadas en un mismo emplazamiento en la ciudad de Trujillo.

3.2. Población y muestra de estudio

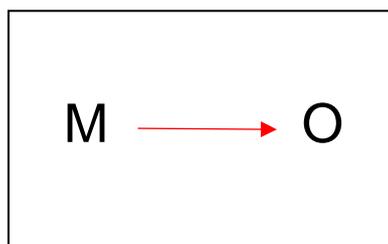
a. Población y muestra

La población y muestra está constituida por la estación de prueba WiFi 2.4 GHz en condiciones de cubicación e interferencia cocanal existente ubicada en una zona residencial de la ciudad de Trujillo con un muestreo no determinístico.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación planteado es de tipo descriptivo simple. Se recolectó información mediante mediciones de potencias interferentes en un emplazamiento de prueba dentro de la ciudad de Trujillo, con estaciones WiFi coubicadas, operando en la banda de 2.4 GHz, describiendo el error entre las mediciones experimentales con estimaciones teóricas que se realizan con el modelo de Friis, con el fin de evaluar dicho modelo.

Esquema:



Donde:

M : Estación de prueba en la ciudad de Trujillo

O : Observaciones del desempeño del modelo de FRIIS en base al error entre potencia interferente medida y estimaciones teóricas

3.4. Técnicas e Instrumentos de investigación

Tabla 4

Técnicas de investigación

Técnica	Forma de aplicación	Forma de obtención
Análisis de documentos	Identificación de los parámetros para realizar los cálculos de estimación del nivel de potencia de recepción (Nrx) a través del modelo de Friis.	Recolección de los datos de los manuales y fichas técnicas de las estaciones utilizadas en la investigación.
Observación	Observación de una estación de prueba instalada en una zona residencial de la ciudad de Trujillo.	Guía de observación de los reportes del nivel de potencia recibida para cada separación, obtenidos desde el software de monitoreo de cada estación.

3.4.1. Guía de análisis de documentos para la identificación de los parámetros relevantes en las antenas WiFi 2.4 GHz

Para la selección de la antena WiFi se consideró la frecuencia de trabajo, tipo de uso y disponibilidad del patrón de radiación. A continuación, se muestra la Tabla 5 con las antenas evaluadas.

Tabla 5

Antenas WiFi

Marca	Modelo	Frecuencia (MHz)	Tipo de uso	Patrón de radiación
Huawei	SL12432A	2300-2700	Outdoor	Privado
Tp-Link	EAP225 V3.20	2400-5000	Outdoor	No disponible
Ubiquiti	NanoStation2	2400	Outdoor	Disponible
Wavlink	AERIAL HD4 – AC1200	2400-5000	Outdoor	Privado

Se evaluaron las antenas de las diferentes marcas para seleccionar una que cumpla con las características técnicas compatibles con el diseño de nuestro prototipo como es:

- Frecuencia: 2.4 GHz
- Tipo de uso: Outdoor
- Forma de montaje: Compatible para instalaciones en torres dentadas.
- Patrón de radiación: Disponible.

Después de realizar las comparaciones con las antenas de la Tabla 5 se seleccionó a la antena de la marca Ubiquiti NanoStation2 de 2.4 GHz para el montaje en nuestro prototipo de pruebas.

a. Especificaciones técnicas de Ubiquiti NanoStation 2

- Hardware

Especificaciones del procesador: Atheros AR2315 SOC, MIPS 4KC, 180MHz

Información de memoria: 16 MB SDRAM, 4 MB Flash

Interfaz de red: 1 interfaz Ethernet 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45)

Antena: conjunto de antenas integradas + RP-SMA externo

- Antena

Ganancia: 10dBi (2400-2483,5MHz)

Polarización: Multipolarizada (Vertical/Horizontal)

Selección de polarización: controlada por software

Inalámbrico: 2,4 GHz, 802.11b/g

Ancho del canal: 5/10/20MHz

Conector externo: RP-SMA

Elevación del ancho del haz de 3 dB: 30 grados

Azimut de ancho de haz de 3 dB: 60 grados

Rendimiento del alcance: exterior (dependiendo de la antena de la estación base) más de 15 km

- Físico

Fuente de alimentación: 12 V, 1 A (12 vatios). Incluye suministro e inyector.

Método de alimentación: Alimentación pasiva a través de Ethernet (pares 4,5+; retorno 7,8)

Temperatura de funcionamiento: -20 °C a +70 °C (PCB del sistema optimizada para altas temperaturas)

Peso: 0,4 kilogramos

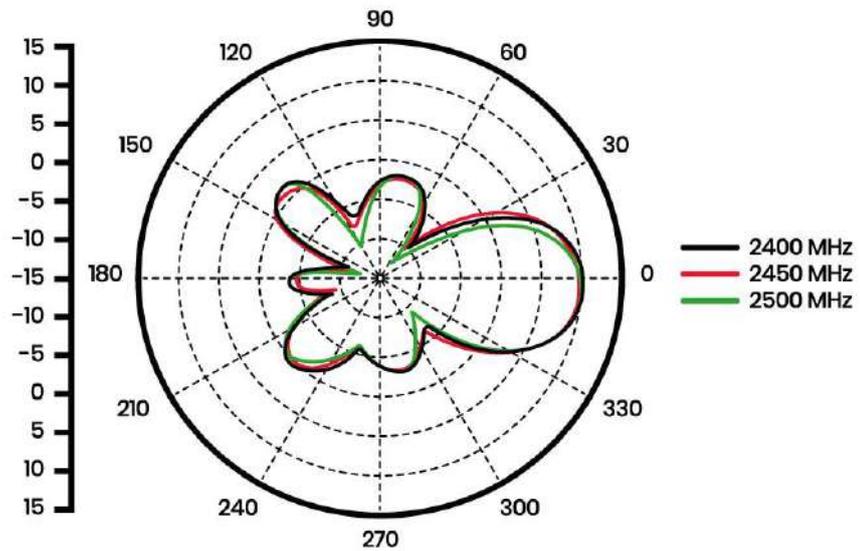
Tamaño: 26.4cm x 8cm x 3cm

- Patrones de radiación

En la Figura 6. se muestra el patrón de radiación de elevación en polarización horizontal de la estación utilizada en 3 diferentes frecuencias: 2.4 GHz, 2.45GHz y 2.5GHz.

Figura 6

Patrón elevación, Polarización Horizontal

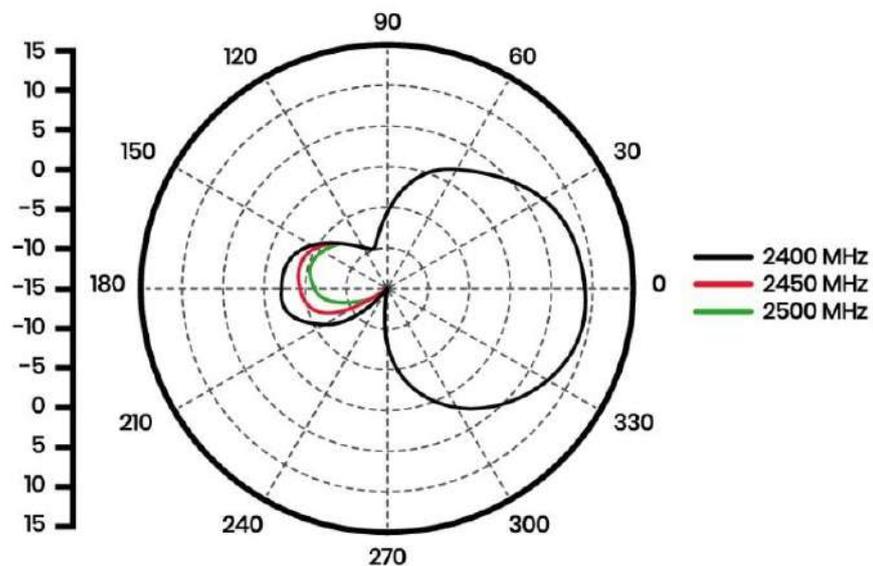


Nota. Adaptado del Patrón de elevación con polarización horizontal, por Ubiquiti Networks, 2022.

En la Figura 7. se muestra el patrón de radiación azimutal en polarización horizontal de la estación utilizada en 3 diferentes frecuencias: 2.4 GHz, 2.45GHz y 2.5GHz.

Figura 7

Patrón Azimutal, Polarización Horizontal



Nota. Adaptado del Patrón Azimutal con polarización horizontal, por Ubiquiti Networks, 2022.

Se presenta la Tabla 6 con las características más relevantes que serán usados para el cálculo del nivel de potencia de recepción teórico usando el modelo de Friis.

Tabla 6

Características técnicas de las antenas NanoStation2

Parámetros	Detalle	Unidad
Antenna Gain o Ga	10	dBi
Polarity	Vertical / Horizontal	
Ptx	20	dBm
Loss cable	1.5	dB
Umbral	-92	dBm
PIRE	28.5	DBm
Pire	0.71	Watts
Wireless	2.4	GHz

Nota. Adaptado del *NanoStation2 Datasheet*, por Ubiquiti Networks, 2022.

3.4.2. Elaboración y configuración del prototipo de pruebas

a. Ubicación del prototipo de estación WiFi

El prototipo de estación Wi-Fi de 2.4 GHz se ubicó en el cuarto piso de un domicilio ubicada en la Urb. Trupal de la ciudad de Trujillo. Exactamente en las coordenadas: -8.112541, -79.042167, el punto exacto se visualiza en la Figura 8 mostrada a continuación:

Figura 8

Ubicación de instalación del prototipo de estación WiFi 2.4GHz en la ciudad de Trujillo.

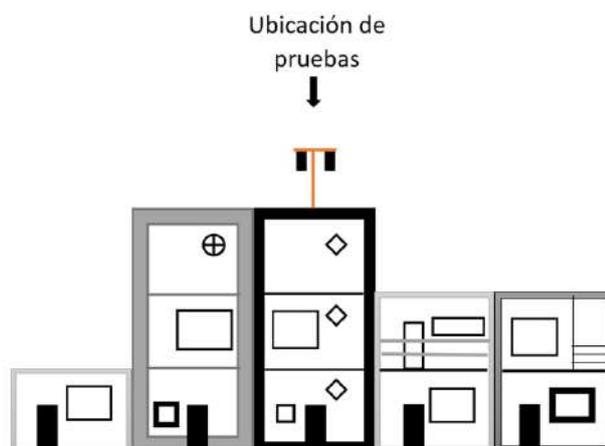


Nota. El punto rojo indica la ubicación exacta donde se instaló la estructura de pruebas. Adaptado de *la ubicación de instalación de la estación WiFi 2.4GHz*, por Google Maps, 2022.

El ambiente en donde se implementó el prototipo fue en la azotea del edificio (4to piso) puesto que es un espacio abierto al exterior con la finalidad de reducir los posibles efectos de reflexión en la toma de datos.

Figura 9

Vista panorámica del ambiente de pruebas en la ciudad de Trujillo.



b. Diseño del prototipo experimental de pruebas

Para el presente prototipo de estación Wi-Fi se diseñó e implementó una estructura metálica que consiste en una base rectangular de 0.63 metros por 0.30 metros, sobre la cual va el mástil en forma de “T” con una altura de 2.05 metros, tal y como se muestra en la Figura 10:

Figura 10

Esquema de la estación Wi-Fi coubicada



La parte superior del prototipo está conformado de dos partes, la primera que viene desde la base en forma de una L invertida y la segunda es un brazo removible como se puede observar en el Anexo 8, el mástil tiene 18 puntos de posicionamiento vertical; mientras que el brazo removible tiene 4 puntos de posicionamiento horizontal y el brazo no removible también cuenta con 2 puntos de posicionamiento horizontal y un punto que se tomó como posición inicial, haciendo un total de 6 puntos de posicionamiento horizontal para el desarrollo del trabajo de investigación. Cada separación de altura y distancia es de 10 cm, tal y como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Puntos de posicionamiento de las Antenas Wi-Fi coubicadas



c. Identificación del canal con menor interferencia externa

Para poder determinar el canal empleado se realizó un estudio de campo para identificar el canal libre en el entorno que se lleva a cabo la presente investigación, con la herramienta WiFi Analyzer se comprueba que a lo largo del espectro de 2.4GHz el canal 06 cumple con los requisitos para la toma de datos.

Figura 8

Canales WiFi ocupados en el área experimental



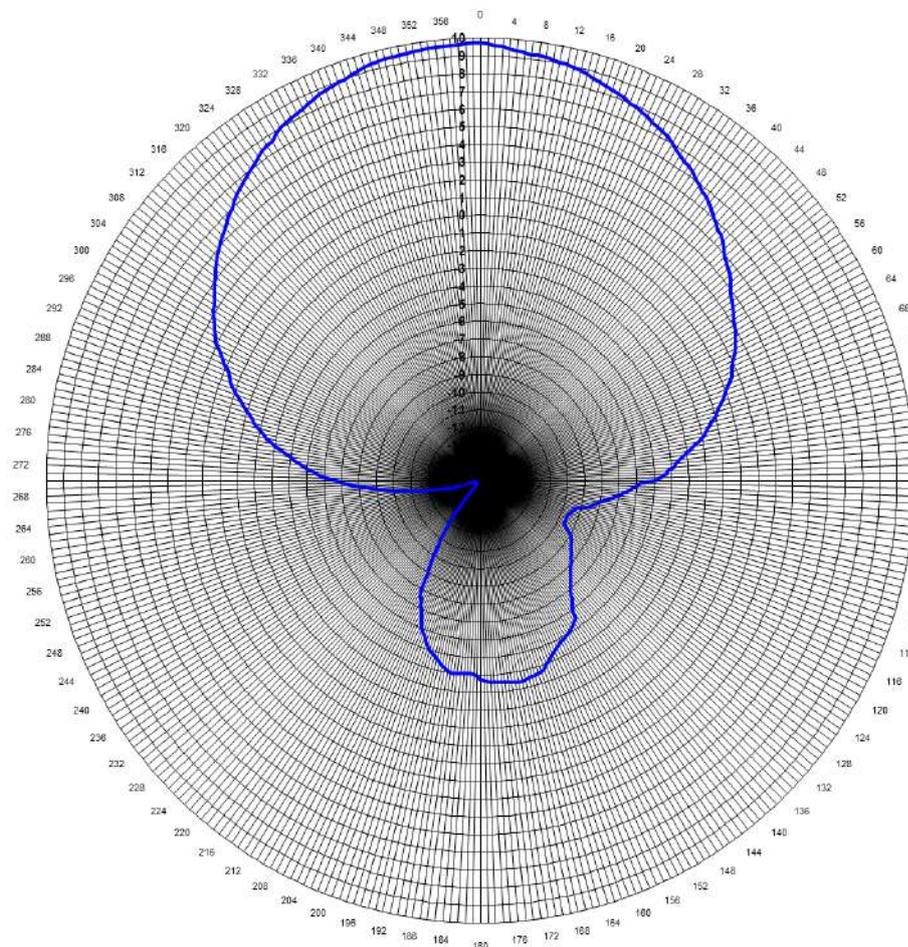
Nota. Adaptado de los canales WiFi ocupados, por Wifi Analyzer, 2022.

d. Referencia del patrón de radiación para simulación

En base a las pruebas realizadas en el apartado anterior, se seleccionó el patrón radiación del canal 6 a partir de las Figuras 6 y 7 representadas en color rojo. El patrón de radiación con polarización horizontal azimutal fue modelado para la herramienta de simulación y el resultado se encuentra en la Figura 13. Para realizar el modelado se utilizó una tabla de valores técnicos de los patrones Azimuth y Elevación ubicada en el Anexo 2.

Figura 9

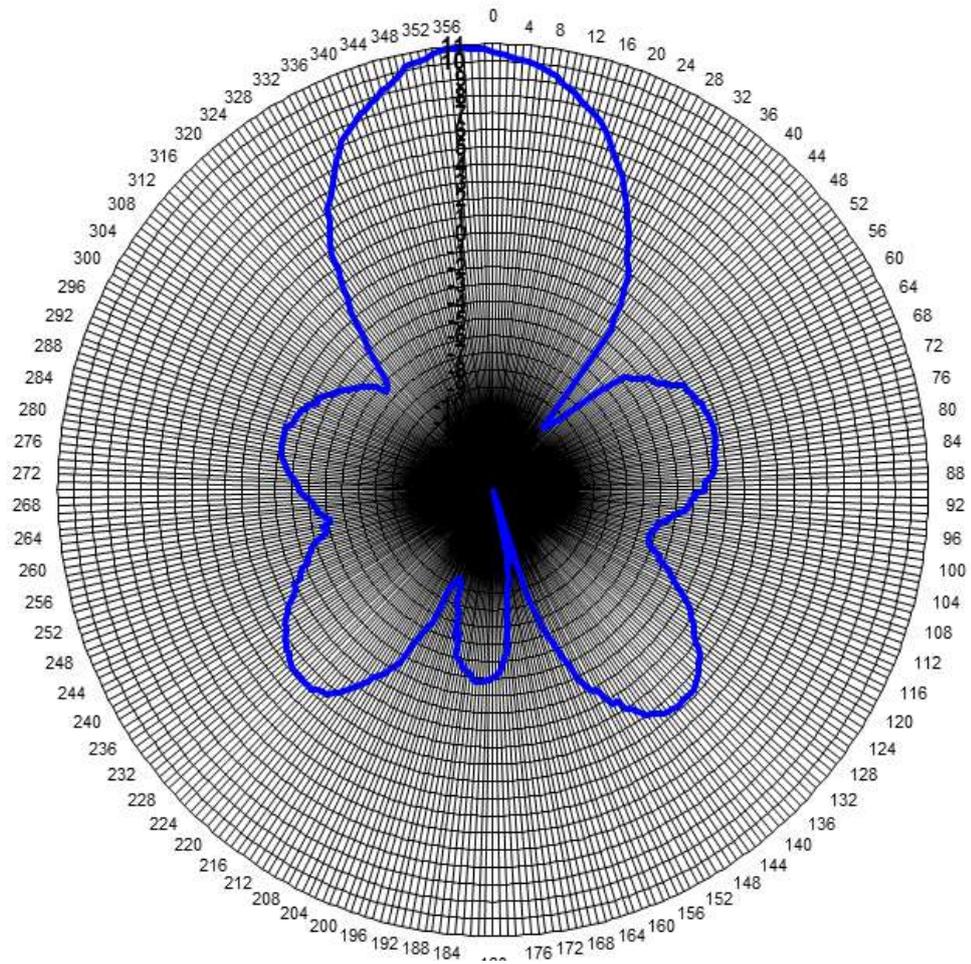
Modelado de Patrón Azimutal, Polarización Horizontal



En la Figura 14 se obtuvo el patrón de radiación de elevación con polarización horizontal, las cuales fueron usadas en el cálculo de potencia interferente de las dos estaciones coubicadas en el emplazamiento de prueba en la Ciudad de Trujillo

Figura 10

Modelado de Patrón Elevación, Polarización Horizontal



e. Herramienta Ubiquiti AirOS para la adquisición de datos

AirOS es la interfaz web de la estación que permite realizar la configuración y análisis de RSSI. Adicional, este software presenta el Protocolo de administración de Red o SNMP que permite el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.

La Estación 1 se configuró en Modo Access Point y la Estación 2 se mantuvo la configuración Modo Estación como se presenta en la Figura 15, estas configuraciones se pueden visualizar en los Anexos 5 y 6.

Figura 11

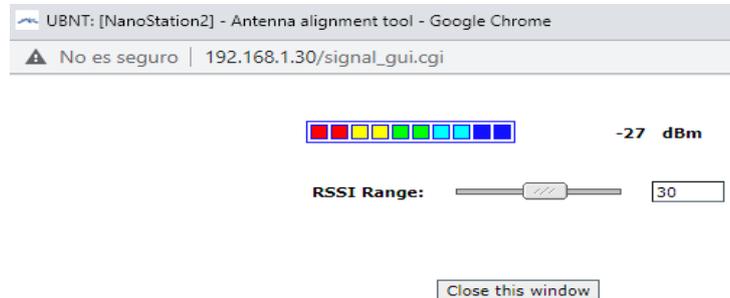
Ubicación de las estaciones WiFi



Para la captura de la información de manera constante se utilizó una herramienta de grabación de video junto con una herramienta de captura de cuadros para recuperar la información con resolución de un segundo como se presenta en la Figura 16. En el Anexo 7 se detalla los programas mencionados anteriormente.

Figura 12

Herramienta Ubiquiti airOS

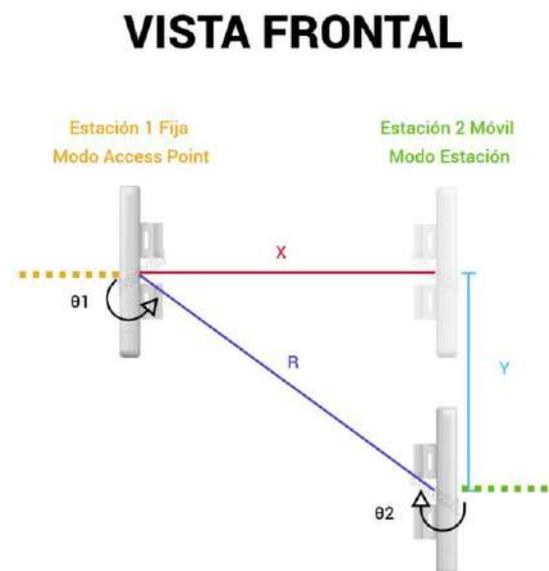


Nota. La imagen muestra el nivel de recepción de interferencia en dBm, obtenida desde la plataforma web del transceptor

Se consideró: La frecuencia “ f ” del utilizada fue 2.437Ghz, las separaciones horizontales “ x ” y verticales “ y ”, la ganancia “ G_a ” de la estación 1 y 2, los ángulos de posición vertical son “ θ_1 ” para la estación 1 y “ θ_2 ” con respecto a la estación 2 y viceversa, las perdidas por ángulo de discriminación, la hipotenusa “ r ”, generada por el cambio de posición vertical de la estación 2 como se muestra en la Figura 17.

Figura 13

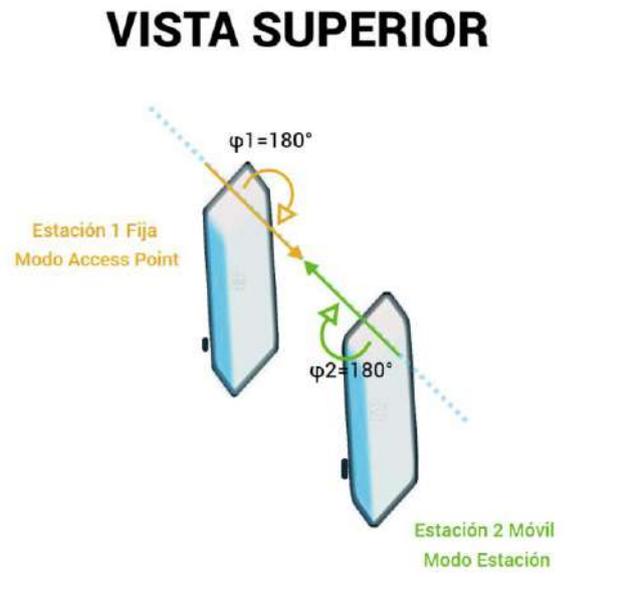
Ángulos de posición de las estaciones en el plano vertical



Además, se consideró el ángulo fijo “ φ ” de 180° entre estaciones como se muestra en la Figura 18, donde “ φ_1 ” es para la Estación 1 y “ φ_2 ” para la Estación 2, las pérdidas y finalmente el valor de la potencia de recepción teórico (N_{rx}).

Figura 14

Ángulos de posición fija de las estaciones en el plano horizontal



Para la obtención de la estimación de la potencia de recepción interferente, se utilizó la siguiente ecuación en las estaciones coubicadas (fija y móvil):

$$N_{RX} = (PIRE + Ga_1 + Ga_2 - D(\varphi_1) - D(\theta_1) - D(\varphi_2) - D(\theta_2) - P_e)dBm \quad (7)$$

Donde:

PIRE= Potencia isotrópica radiada equivalente.

Ga_1 y Ga_2 = Ganancia de antena.

D = Valor de discriminación.

φ_1 y φ_2 = Ángulos entre estaciones formados en posición horizontal.

θ_1 y θ_2 = Ángulos entre estaciones formados en posición vertical.

P_e = Pérdidas por espacio libre.

3.4.3. Obtención de las mediciones del Nivel de Potencia de recepción Interferente

Se obtuvieron los valores del Nivel de Potencia de recepción interferente para cada estación siguiendo el procedimiento de la guía de observación ubicada en el Anexo 1. A continuación se muestra en la Tabla 7 el extracto de los datos obtenidos de manera experimental.

Tabla 7

Extracto de datos experimentales para la estación 1 (fija) con Δx (cm) = 10.

Estacion 1																				
Δy (cm)	Δx (cm) = 10																			
0	-29	-28	-28	-29	-28	-28	-28	-28	-29	-28	-28	-29	-29	-29	-28	-28	-28	-28	-28	-29
-10	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-30	-31	-30	-30	-30	-30	-31	-30	-30	-30
-20	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-32	-32	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-33	-33
-30	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26
-40	-29	-29	-29	-30	-29	-28	-28	-28	-28	-27	-28	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27
-50	-31	-31	-31	-32	-32	-32	-31	-32	-31	-31	-31	-32	-31	-31	-31	-30	-30	-30	-30	-30
-60	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-34	-36	-36	-37	-37	-37	-37
-70	-35	-35	-35	-36	-36	-35	-36	-36	-35	-35	-36	-35	-35	-36	-35	-35	-35	-35	-35	-36
-80	-37	-37	-36	-37	-37	-37	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37
-90	-35	-34	-34	-35	-34	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37
-100	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-35	-34	-34	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-36
-110	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-40	-40	-40
-120	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-35	-35	-35	-36	-37	-37	-38	-37	-37	-37	-37
-130	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40
-140	-42	-42	-42	-43	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-43	-43	-42	-42	-42	-41	-41	-41
-150	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-33	-33	-34	-34	-34	-34
-160	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-38
-170	-37	-37	-37	-37	-40	-40	-38	-37	-37	-38	-38	-37	-36	-36	-35	-35	-35	-35	-35	-35

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Reporte de estimación teórica del nivel de potencia de recepción

Se obtuvieron los valores de estimación teórica del nivel de potencia de recepción utilizando la ecuación 7. Estas estimaciones se realizaron tanto para la estación fija como para la estación móvil, teniendo en cuenta las 6 separación horizontales y 18 verticales entre las estaciones, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Reportes de estimación para la separación horizontal (Δx) desde 10 a 60 cm y separación vertical (Δy) desde 0 a 170 cm

f (GHz)	Δy (cm)	Ga1 (dBi)	$\phi 1$ (°)	D($\phi 1$) (dB)	Ga2 (dBi)	$\phi 2$ (°)	D($\phi 2$) (dB)	Δx (cm)	$\theta 1$ (°)	D($\theta 1$) (dB)	r (cm)	Pe (dB)	$\theta 2$ (°)	D($\theta 2$) (dB)	NRX T(dBm)
2.437	0	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	180	-4.12	10.0	20.19	180	-4.12	-22.41
2.437	10	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	135	1.74	14.1	23.20	45	-8.74	-24.18
2.437	20	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	153	-1.80	22.4	27.18	63	-2.06	-25.02
2.437	30	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	162	-8.76	31.6	30.19	72	-1.42	-34.34
2.437	40	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	166	-13.59	41.2	32.49	76	-1.35	-41.42
2.437	50	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	169	-10.44	51.0	34.34	79	-1.42	-40.18
2.437	60	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	171	-9.32	60.8	35.87	81	-1.59	-40.76
2.437	70	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	172	-8.63	70.7	37.18	82	-1.62	-41.41
2.437	80	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	173	-7.98	80.6	38.32	83	-1.59	-41.87
2.437	90	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	174	-6.76	90.6	39.33	84	-1.75	-41.82
2.437	100	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	174	-6.76	100.5	40.23	84	-1.75	-42.73
2.437	110	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	175	-5.55	110.5	41.05	85	-1.70	-42.29
2.437	120	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	175	-5.55	120.4	41.80	85	-1.70	-43.04
2.437	130	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	176	-5.18	130.4	42.49	86	-1.87	-43.52
2.437	140	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	176	-5.18	140.4	43.13	86	-1.87	-44.16
2.437	150	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	176	-5.18	150.3	43.73	86	-1.87	-44.76
2.437	160	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	176	-5.18	160.3	44.29	86	-1.87	-45.32
2.437	170	10	180	-3.74	10	180	-3.74	10	177	-4.79	170.3	44.81	87	-2.02	-45.60
2.437	0	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	180	-4.12	20.0	26.21	180	-4.12	-28.43
2.437	10	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	117	-2.71	22.4	27.18	27	2.70	-21.17
2.437	20	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	135	1.74	28.3	29.22	45	-8.74	-30.20
2.437	30	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	146	0.66	36.1	31.33	56	-3.54	-28.19
2.437	40	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	153	-1.80	44.7	33.20	63	-2.06	-31.04
2.437	50	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	158	-5.45	53.9	34.81	68	-1.51	-35.75
2.437	60	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	162	-8.76	63.2	36.21	72	-1.42	-40.36
2.437	70	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	164	-10.75	72.8	37.43	74	-1.38	-43.55
2.437	80	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	166	-13.59	82.5	38.51	76	-1.35	-47.44
2.437	90	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	167	-15.00	92.2	39.48	77	-1.39	-49.85
2.437	100	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	169	-10.44	102.0	40.36	79	-1.42	-46.21
2.437	110	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	170	-9.75	111.8	41.16	80	-1.57	-46.45
2.437	120	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	171	-9.32	121.7	41.89	81	-1.59	-46.78
2.437	130	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	171	-9.32	131.5	42.57	81	-1.59	-47.46
2.437	140	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	172	-8.63	141.4	43.20	82	-1.62	-47.43
2.437	150	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	172	-8.63	151.3	43.79	82	-1.62	-48.02
2.437	160	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	173	-7.98	161.2	44.34	83	-1.59	-47.89
2.437	170	10	180	-3.74	10	180	-3.74	20	173	-7.98	171.2	44.86	83	-1.59	-48.41
2.437	0	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	180	-4.12	30.0	29.73	180	-4.12	-31.95
2.437	10	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	108	-5.19	31.6	30.19	18	6.88	-22.47
2.437	20	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	124	-0.57	36.1	31.33	34	-0.96	-26.84
2.437	30	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	135	1.74	42.4	32.74	45	-8.74	-33.72
2.437	40	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	143	1.34	50.0	34.17	53	-4.28	-31.09
2.437	50	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	149	-0.61	58.3	35.50	59	-2.88	-32.98
2.437	60	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	153	-1.80	67.1	36.72	63	-2.06	-34.56
2.437	70	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	157	-4.47	76.2	37.82	67	-1.74	-38.01
2.437	80	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	159	-6.05	85.4	38.82	69	-1.58	-40.43
2.437	90	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	162	-8.76	94.9	39.73	72	-1.42	-43.89
2.437	100	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	163	-14.44	104.4	40.56	73	-1.37	-50.35
2.437	110	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	165	-11.66	114.0	41.33	75	-1.32	-48.29
2.437	120	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	166	-13.59	123.7	42.03	76	-1.35	-50.96
2.437	130	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	167	-15.00	133.4	42.69	77	-1.39	-53.06
2.437	140	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	168	-11.00	143.2	43.30	78	-1.45	-49.73
2.437	150	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	169	-10.44	153.0	43.88	79	-1.42	-49.73
2.437	160	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	169	-10.44	162.8	44.42	79	-1.42	-50.27
2.437	170	10	180	-3.74	10	180	-3.74	30	170	-9.75	172.6	44.93	80	-1.57	-50.23

f (GHz)	Δy (cm)	Ga1 (dBi)	$\phi 1$ (°)	D($\phi 1$) (dB)	Ga2 (dBi)	$\phi 2$ (°)	D($\phi 2$) (dB)	Δx (cm)	$\theta 1$ (°)	D($\theta 1$) (dB)	r (cm)	Pe (dB)	$\theta 2$ (°)	D($\theta 2$) (dB)	NRX T(dBm)
2.437	0	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	180	-4.12	40.0	32.23	180	-4.12	-34.45
2.437	10	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	104	-5.18	41.2	32.49	14	8.07	-23.59
2.437	20	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	117	-2.71	44.7	33.20	27	2.70	-27.19
2.437	30	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	127	0.35	50.0	34.17	37	-3.24	-31.03
2.437	40	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	135	1.74	56.6	35.24	45	-8.74	-36.22
2.437	50	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	141	1.60	64.0	36.31	51	-4.55	-33.25
2.437	60	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	146	0.66	72.1	37.35	56	-3.54	-34.21
2.437	70	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	150	-0.65	80.6	38.32	60	-2.73	-35.68
2.437	80	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	153	-1.80	89.4	39.22	63	-2.06	-37.06
2.437	90	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	156	-3.73	98.5	40.05	66	-1.79	-39.57
2.437	100	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	158	-5.45	107.7	40.83	68	-1.51	-41.77
2.437	110	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	160	-6.56	117.0	41.55	70	-1.48	-43.58
2.437	120	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	162	-8.76	126.5	42.23	72	-1.42	-46.39
2.437	130	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	163	-14.44	136.0	42.86	73	-1.37	-52.65
2.437	140	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	164	-10.75	145.6	43.45	74	-1.38	-49.57
2.437	150	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	165	-11.66	155.2	44.01	75	-1.32	-50.97
2.437	160	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	166	-13.59	164.9	44.53	76	-1.35	-53.46
2.437	170	10	180	-3.74	10	180	-3.74	40	167	-15.00	174.6	45.03	77	-1.39	-55.40
2.437	0	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	180	-4.12	50.0	34.17	180	-4.12	-36.38
2.437	10	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	101	-4.92	51.0	34.34	11	8.80	-24.44
2.437	20	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	112	-4.37	53.9	34.81	22	5.27	-27.90
2.437	30	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	121	-1.21	58.3	35.50	31	0.52	-30.18
2.437	40	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	129	0.82	64.0	36.31	39	-9.82	-39.30
2.437	50	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	135	1.74	70.7	37.18	45	-8.74	-38.16
2.437	60	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	140	1.66	78.1	38.04	50	-4.82	-35.18
2.437	70	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	144	1.16	86.0	38.88	54	-3.99	-35.69
2.437	80	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	148	-0.01	94.3	39.68	58	-3.24	-36.91
2.437	90	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	151	-1.05	103.0	40.44	61	-2.33	-37.80
2.437	100	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	153	-1.80	111.8	41.16	63	-2.06	-39.00
2.437	110	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	156	-3.73	120.8	41.83	66	-1.79	-41.34
2.437	120	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	157	-4.47	130.0	42.47	67	-1.74	-42.66
2.437	130	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	159	-6.05	139.3	43.07	69	-1.58	-44.67
2.437	140	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	160	-6.56	148.7	43.63	70	-1.48	-45.66
2.437	150	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	162	-8.76	158.1	44.17	72	-1.42	-48.32
2.437	160	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	163	-14.44	167.6	44.67	73	-1.37	-54.46
2.437	170	10	180	-3.74	10	180	-3.74	50	164	-10.75	177.2	45.16	74	-1.38	-51.27
2.437	0	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	180	-4.12	60.0	35.75	180	-4.12	-37.97
2.437	10	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	99	-4.40	60.8	35.87	9	9.41	-24.84
2.437	20	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	108	-5.19	63.2	36.21	18	6.88	-28.50
2.437	30	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	117	-2.71	67.1	36.72	27	2.70	-30.71
2.437	40	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	124	-0.57	72.1	37.35	34	-0.96	-32.86
2.437	50	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	130	1.05	78.1	38.04	40	-10.32	-41.30
2.437	60	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	135	1.74	84.9	38.76	45	-8.74	-39.74
2.437	70	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	139	1.73	92.2	39.48	49	-5.70	-37.43
2.437	80	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	143	1.34	100.0	40.19	53	-4.28	-37.11
2.437	90	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	146	0.66	108.2	40.87	56	-3.54	-37.74
2.437	100	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	149	-0.61	116.6	41.52	59	-2.88	-39.00
2.437	110	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	151	-1.05	125.3	42.15	61	-2.33	-39.51
2.437	120	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	153	-1.80	134.2	42.74	63	-2.06	-40.58
2.437	130	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	155	-2.81	143.2	43.30	65	-1.90	-42.00
2.437	140	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	157	-4.47	152.3	43.84	67	-1.74	-44.03
2.437	150	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	158	-5.45	161.6	44.35	68	-1.51	-45.30
2.437	160	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	159	-6.05	170.9	44.84	69	-1.58	-46.45
2.437	170	10	180	-3.74	10	180	-3.74	60	161	-7.75	180.3	45.31	71	-1.47	-48.51

3.5.2. Reporte de la recolección del nivel de potencia de recepción experimental

Para la recolección de los datos experimentales se realizaron 20 mediciones del Nivel de Potencia en cada una de las estaciones según su posición. Para ello se elaboró una tabla para la estación 1 y una para la estación 2 las cuales pueden verse en el Anexo 1.

La Tabla 9 muestra los datos recolectados de la estación 1 (fija) cuando las dos estaciones se encuentran en su posición inicial $\Delta x=10$ (cm) y $\Delta y=0$ (cm), estas fueron incrementando la separación vertical hasta llegar a $\Delta y=170$ (cm) tomándose 20 mediciones en cada posición. Para cada una de las siguientes posiciones se incrementó la separación horizontal Δx en 10 (cm) y se ubicó la estación móvil en su posición inicial $\Delta y=0$ (cm), incrementándose nuevamente la separación vertical hasta llegar a $\Delta y=170$ (cm); esto se realizó hasta llegar a una separación horizontal $\Delta x=60$ (cm). Así como estas mediciones, se realizaron todas las demás tanto en la estación fija como en la estación móvil las cuales pueden encontrarse en el Anexo 3.

Tabla 9

Extracto de mediciones experimentales del Nivel de Potencia de Recepción de la fija en canal 6 para separación horizontal 10 cm y separación vertical de 0 a 170 cm

Estacion 1																			
$\Delta y(\text{cm})$	$\Delta x(\text{cm}) = 10$																		
0	-29	-28	-28	-29	-28	-28	-28	-28	-29	-28	-28	-29	-29	-29	-28	-28	-28	-28	-29
-10	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-30	-31	-30	-30	-30	-30	-31	-30	-30
-20	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-32	-32	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-33	-33
-30	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26
-40	-29	-29	-29	-30	-29	-28	-28	-28	-28	-27	-28	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27
-50	-31	-31	-31	-32	-32	-32	-31	-32	-31	-31	-31	-32	-31	-31	-31	-30	-30	-30	-30
-60	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-34	-36	-36	-37	-37	-37
-70	-35	-35	-35	-36	-36	-35	-36	-36	-35	-35	-36	-35	-35	-36	-35	-35	-35	-35	-36
-80	-37	-37	-36	-37	-37	-37	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37
-90	-35	-34	-34	-35	-34	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37
-100	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-35	-34	-34	-35	-35	-36	-36	-36
-110	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-40	-40
-120	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-35	-35	-35	-36	-37	-37	-38	-37	-37	-37
-130	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41
-140	-42	-42	-42	-43	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-43	-43	-42	-42	-42	-41
-150	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-33	-33	-34	-34	-34
-160	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-38
-170	-37	-37	-37	-37	-40	-40	-38	-37	-37	-38	-38	-37	-36	-36	-35	-35	-35	-35	-35

Luego de la recolección de datos, se obtuvieron los promedios del Nivel de Potencia de Recepción experimental de cada estación según su ubicación de separación, en la Tabla 10 se presenta el resumen de los promedios del Nivel de Potencia de Recepción en el canal 6 de la Estación 1 (fija) configurada Modo Access Point.

Tabla 10

Promedios del Nivel de Potencia de Recepción Experimental de la Estación 1 (fija)

			NRX E1 - Estación Fija (dBm)					
N°	f (GHz)	Δy (cm)	$\Delta x = 10(\text{cm})$	$\Delta x = 20(\text{cm})$	$\Delta x = 30(\text{cm})$	$\Delta x = 40(\text{cm})$	$\Delta x = 50(\text{cm})$	$\Delta x = 60(\text{cm})$
1	2.437	0	-28.35	-40.80	-37.20	-37.25	-37.70	-36.90
2	2.437	-10	-30.60	-30.00	-37.00	-36.65	-38.95	-32.65
3	2.437	-20	-31.60	-29.10	-31.05	-34.70	-29.05	-33.35
4	2.437	-30	-26.00	-34.10	-31.95	-30.15	-32.25	-30.60
5	2.437	-40	-27.80	-29.35	-34.20	-34.20	-34.75	-32.70
6	2.437	-50	-31.00	-28.15	-33.00	-30.35	-37.05	-33.35
7	2.437	-60	-34.70	-29.70	-38.20	-38.00	-29.30	-39.55
8	2.437	-70	-35.40	-37.00	-31.95	-39.00	-36.00	-33.60
9	2.437	-80	-36.65	-33.25	-37.80	-36.95	-40.35	-35.80
10	2.437	-90	-35.75	-34.20	-38.00	-33.50	-31.80	-35.95
11	2.437	-100	-34.65	-37.60	-36.70	-34.95	-33.00	-35.00
12	2.437	-110	-39.25	-38.05	-37.55	-34.00	-34.80	-38.95
13	2.437	-120	-35.90	-38.40	-34.60	-40.25	-35.00	-37.15
14	2.437	-130	-40.70	-39.60	-38.15	-35.10	-33.70	-36.05
15	2.437	-140	-42.80	-42.65	-35.90	-41.00	-34.75	-38.90
16	2.437	-150	-33.65	-35.90	-36.75	-34.45	-38.00	-35.80
17	2.437	-160	-37.10	-39.15	-36.35	-35.20	-37.75	-37.50
18	2.437	-170	-36.75	-38.65	-40.20	-38.40	-43.70	-41.15

En la Tabla 11 se presenta el resumen de los promedios del Nivel de Potencia de Recepción experimentales en el canal 6 de la Estación 2 (móvil).

Tabla 11

Promedios del Nivel de Potencia de Recepción experimental de la Estación 2 (móvil) según su ubicación de la Estación 1 (fija)

			NRX E2 - Estación Móvil (dBm)					
N°	f (GHz)	Δy (cm)	$\Delta x = 10(\text{cm})$	$\Delta x = 20(\text{cm})$	$\Delta x = 30(\text{cm})$	$\Delta x = 40(\text{cm})$	$\Delta x = 50(\text{cm})$	$\Delta x = 60(\text{cm})$
1	2.437	0	-27.45	-37.00	-31.30	-36.00	-32.75	-31.40
2	2.437	-10	-33.15	-31.75	-34.65	-34.00	-32.05	-31.55
3	2.437	-20	-28.90	-27.80	-30.35	-31.05	-28.80	-31.70
4	2.437	-30	-25.60	-34.30	-30.40	-29.45	-33.25	-28.15
5	2.437	-40	-26.70	-30.30	-30.75	-32.40	-33.00	-32.55
6	2.437	-50	-30.80	-28.30	-31.30	-29.05	-33.60	-31.90
7	2.437	-60	-34.55	-30.95	-38.65	-35.85	-28.05	-36.70
8	2.437	-70	-35.60	-33.00	-31.40	-38.60	-35.20	-31.05
9	2.437	-80	-35.60	-31.95	-33.40	-35.50	-39.90	-33.10
10	2.437	-90	-32.00	-33.10	-36.90	-32.45	-28.40	-32.95
11	2.437	-100	-32.90	-32.75	-36.15	-32.20	-30.10	-32.95
12	2.437	-110	-36.30	-35.25	-33.65	-31.15	-32.00	-36.00
13	2.437	-120	-33.20	-38.05	-33.05	-37.25	-32.00	-33.15
14	2.437	-130	-37.55	-37.70	-35.20	-33.10	-30.70	-34.85
15	2.437	-140	-36.95	-38.50	-32.45	-38.85	-31.35	-33.70
16	2.437	-150	-31.00	-31.75	-31.50	-31.65	-30.10	-33.80
17	2.437	-160	-34.75	-33.70	-32.05	-32.55	-33.45	-33.45
18	2.437	-170	-33.05	-36.80	-36.60	-34.65	-36.00	-36.30

3.5.3. Cuadro comparativo de los Niveles de Potencia de Recepción Teóricos y Experimentales

En la Tabla 12, se muestra los datos de niveles de recepción teóricos y experimentales con los que se realizaron las gráficas comparativas que permitieron observar el comportamiento de las curvas de tendencia de cada una de ellas. En donde $N_{rx T}$, es el valor del nivel de recepción teórico, $N_{rx E1}$ es el valor del nivel de recepción experimental de la Estación 1 (fija) y $N_{rx E2}$ es el valor del nivel de recepción experimental de la Estación 2 (móvil).

Tabla 12

Comparación de los Niveles de Potencia de Recepción Teóricos y Experimentales

f (GHz)	Δy (cm)	$\Delta x = 10(\text{cm})$			$\Delta x = 20(\text{cm})$			$\Delta x = 30(\text{cm})$			$\Delta x = 40(\text{cm})$			$\Delta x = 50(\text{cm})$			$\Delta x = 60(\text{cm})$		
		NRX T(dBm)	NRX E1 (dBm)	NRX E2 (dBm)															
2.437	0	-22.41	-28.35	-27.45	-28.43	-40.80	-37.00	-31.95	-37.20	-31.30	-34.45	-37.25	-36.00	-36.38	-37.70	-32.75	-37.97	-36.90	-31.40
2.437	-10	-24.18	-30.60	-33.15	-21.17	-30.00	-31.75	-22.47	-37.00	-34.65	-23.59	-36.65	-34.00	-24.44	-38.95	-32.05	-24.84	-32.65	-31.55
2.437	-20	-25.02	-31.60	-28.90	-30.20	-29.10	-27.80	-26.84	-31.05	-30.35	-27.19	-34.70	-31.05	-27.90	-29.05	-28.80	-28.50	-33.35	-31.70
2.437	-30	-34.34	-26.00	-25.60	-28.19	-34.10	-34.30	-33.72	-31.95	-30.40	-31.03	-30.15	-29.45	-30.18	-32.25	-33.25	-30.71	-30.60	-28.15
2.437	-40	-41.42	-27.80	-26.70	-31.04	-29.35	-30.30	-31.09	-34.20	-30.75	-36.22	-34.20	-32.40	-39.30	-34.75	-33.00	-32.86	-32.70	-32.55
2.437	-50	-40.18	-31.00	-30.80	-35.75	-28.15	-28.30	-32.98	-33.00	-31.30	-33.25	-30.35	-29.05	-38.16	-37.05	-33.60	-41.30	-33.35	-31.90
2.437	-60	-40.76	-34.70	-34.55	-40.36	-29.70	-30.95	-34.56	-38.20	-38.65	-34.21	-38.00	-35.85	-35.18	-29.30	-28.05	-39.74	-39.55	-36.70
2.437	-70	-41.41	-35.40	-35.60	-43.55	-37.00	-33.00	-38.01	-31.95	-31.40	-35.68	-39.00	-38.60	-35.69	-36.00	-35.20	-37.43	-33.60	-31.05
2.437	-80	-41.87	-36.65	-35.60	-47.44	-33.25	-31.95	-40.43	-37.80	-33.40	-37.06	-36.95	-35.50	-36.91	-40.35	-39.90	-37.11	-35.80	-33.10
2.437	-90	-41.82	-35.75	-32.00	-49.85	-34.20	-33.10	-43.89	-38.00	-36.90	-39.57	-33.50	-32.45	-37.80	-31.80	-28.40	-37.74	-35.95	-32.95
2.437	-100	-42.73	-34.65	-32.90	-46.21	-37.60	-32.75	-50.35	-36.70	-36.15	-41.77	-34.95	-32.20	-39.00	-33.00	-30.10	-39.00	-35.00	-32.95
2.437	-110	-42.29	-39.25	-36.30	-46.45	-38.05	-35.25	-48.29	-37.55	-33.65	-43.58	-34.00	-31.15	-41.34	-34.80	-32.00	-39.51	-38.95	-36.00
2.437	-120	-43.04	-35.90	-33.20	-46.78	-38.40	-38.05	-50.96	-34.60	-33.05	-46.39	-40.25	-37.25	-42.66	-35.00	-32.00	-40.58	-37.15	-33.15
2.437	-130	-43.52	-40.70	-37.55	-47.46	-39.60	-37.70	-53.06	-38.15	-35.20	-52.65	-35.10	-33.10	-44.67	-33.70	-30.70	-42.00	-36.05	-34.85
2.437	-140	-44.16	-42.80	-36.95	-47.43	-42.65	-38.50	-49.73	-35.90	-32.45	-49.57	-41.00	-38.85	-45.66	-34.75	-31.35	-44.03	-38.90	-33.70
2.437	-150	-44.76	-33.65	-31.00	-48.02	-35.90	-31.75	-49.73	-36.75	-31.50	-50.97	-34.45	-31.65	-48.32	-38.00	-30.10	-45.30	-35.80	-33.80
2.437	-160	-45.32	-37.10	-34.75	-47.89	-39.15	-33.70	-50.27	-36.35	-32.05	-53.46	-35.20	-32.55	-54.46	-37.75	-33.45	-46.45	-37.50	-33.45
2.437	-170	-45.60	-36.75	-33.05	-48.41	-38.65	-36.80	-50.23	-40.20	-36.60	-55.40	-38.40	-34.65	-51.27	-43.70	-36.00	-48.51	-41.15	-36.30

Con los datos de la tabla N° 12 se realizaron las Figuras 19, 20 y 21, donde se muestran los 6 diferentes escenarios que representan las separaciones horizontales y los valores de recepción (Nrx) teóricos y experimentales de ambas estaciones de forma ordenada, cada gráfico presenta una curva de tendencia de color azul que representa los valores Nrx teóricos, la curva de tendencia naranja representa los valores Nrx experimentales de la Estación 1 (fija) y la curva de tendencia verde representa los valores Nrx experimentales de la Estación 2 (móvil).

Figura 15

Curvas de tendencia comparativa (x=10 y x=20).

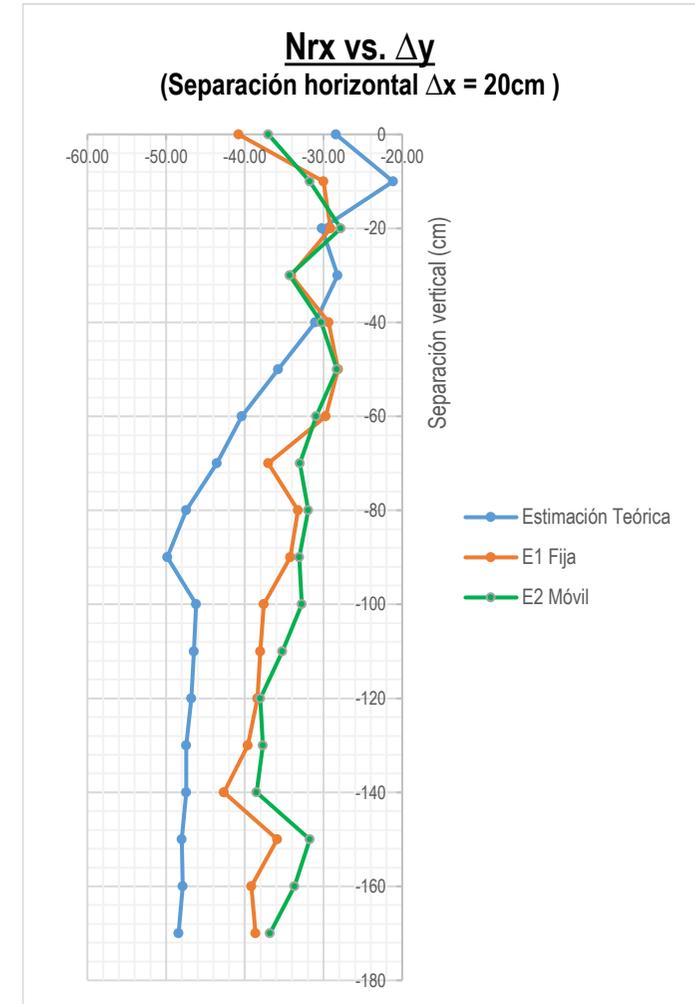
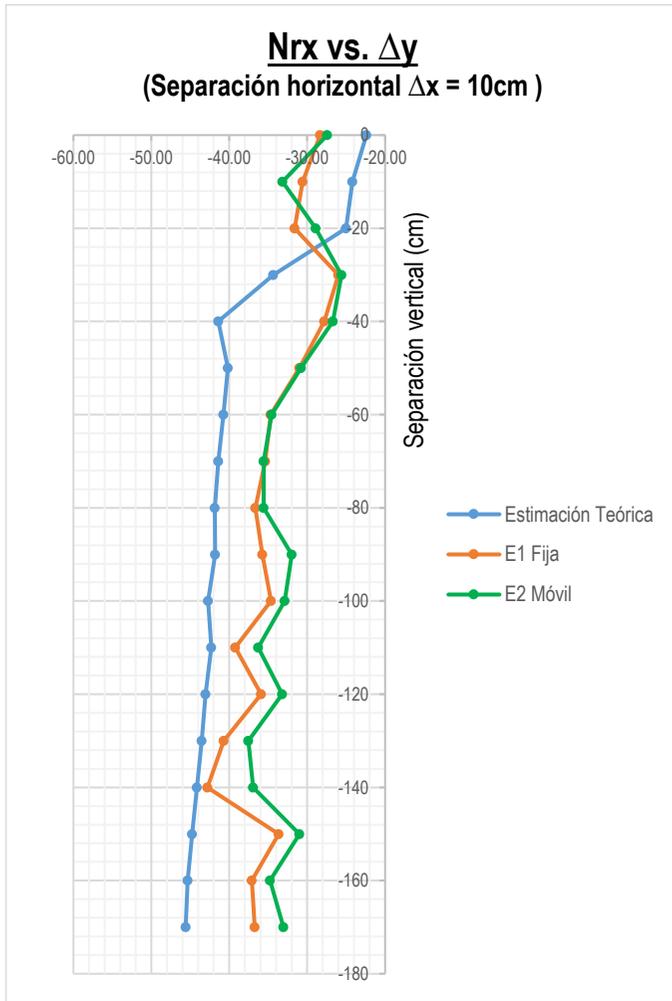


Figura 16

Curvas de tendencia comparativa (x=30 y x=40).

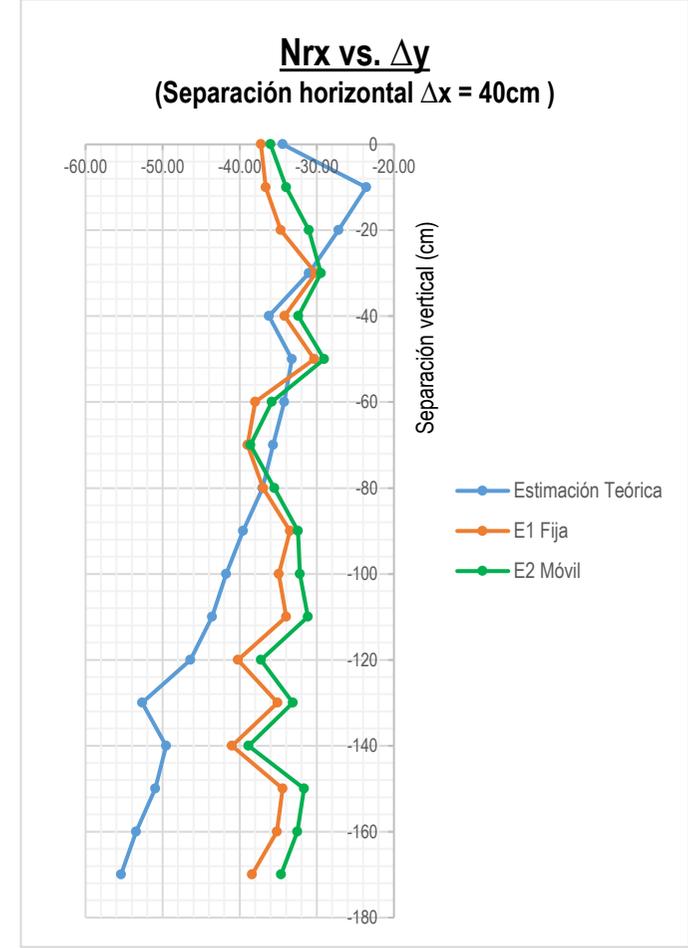
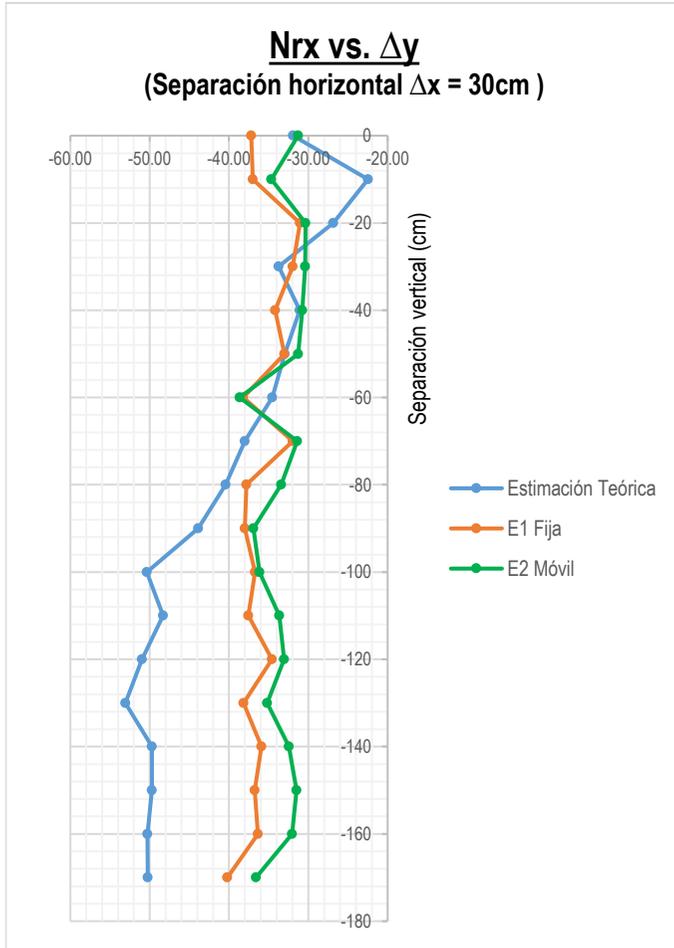
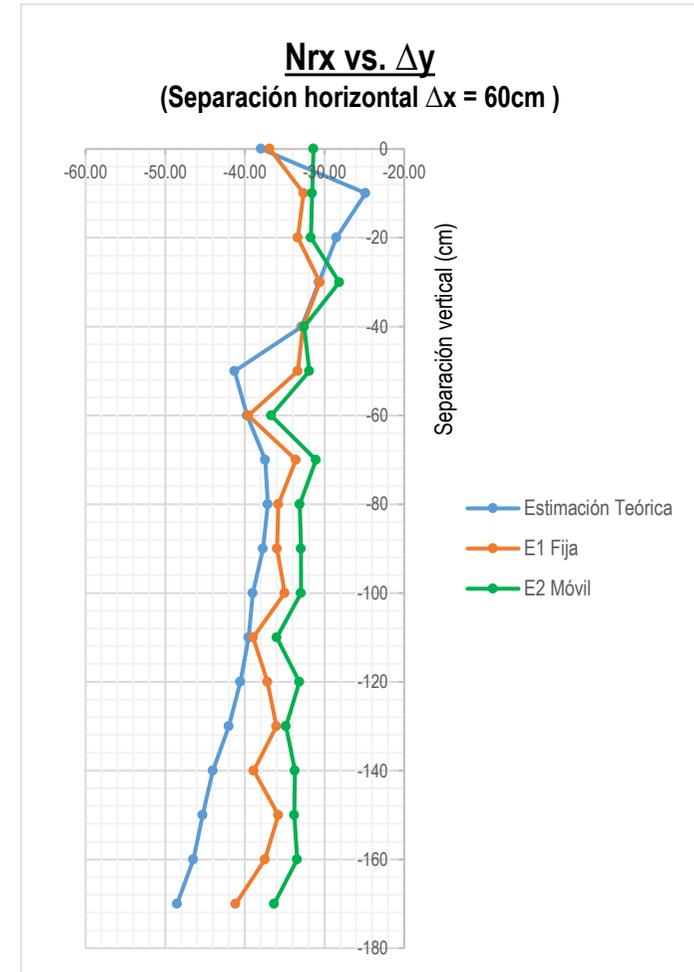
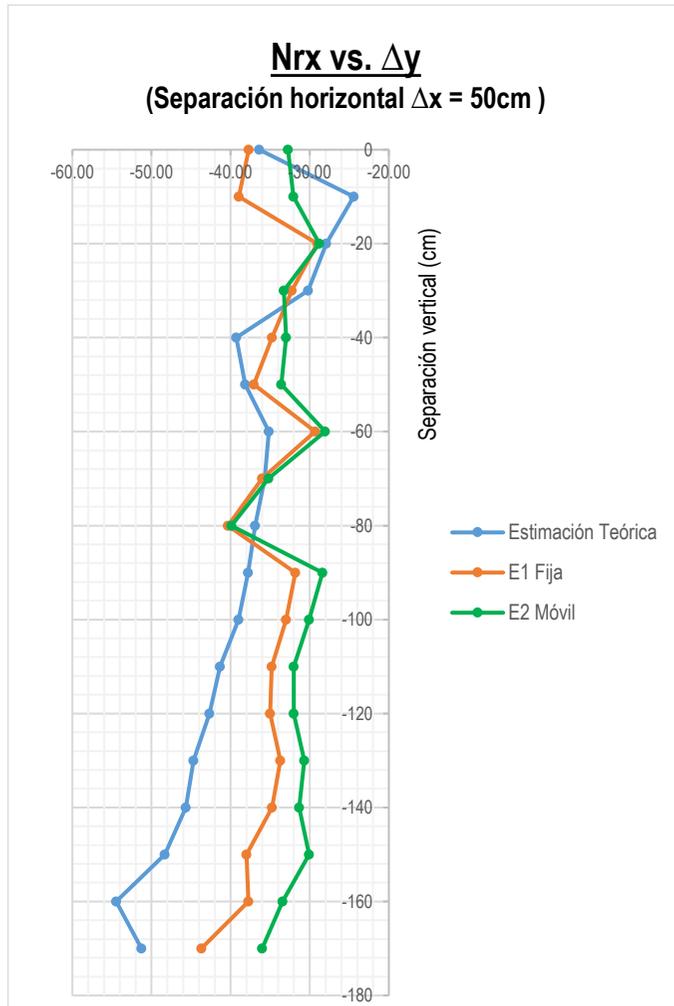


Figura 17

Curvas de tendencia comparativa ($x=50$ y $x=60$).



En la Figura 19, se puede apreciar las líneas de tendencias obtenidas de las mediciones y de la estimación teórica para el nivel recibido de interferencia en la estación fija y móvil; ambas estaciones emiten señales y se interfieren una a la otra.

Se puede apreciar que para mayor separación vertical los valores medidos en las estaciones se acercan más a la estimación teórica en los gráficos de separación horizontal de 10 cm y 20cm. También se observa que a menor separación vertical se presenta una mayor divergencia en sus comportamientos.

En las Figuras 20 y 21 se observa una similitud en las líneas de tendencia acentuándose la divergencia a mayor distancia horizontal y menor distancia vertical.

3.5.4. Reporte de error absoluto, desviación estándar y rmse de los niveles de Potencia de Recepción

Con los datos del nivel de potencia de recepción teóricos y experimentales a través del método estadístico se obtuvieron los valores del error absoluto, desviación estándar y rmse los cuales fueron procesados como se muestra en la Tabla 13 para la separación horizontal de Δx 10cm. Estos cálculos fueron realizados para todas las separaciones horizontales hasta Δx 60cm las cuales se encuentran en el Anexo 04.

Tabla 13

Extracto del reporte de error absoluto, desviación estándar y rmse obtenidos para la separación horizontal Δx 10cm en función a los niveles de potencia teóricos y experimentales.

Δx (cm)	Δy (cm)	Measurements								Mean Absolute Error value		Standar deviation (σ)		Root Mean Square (rmse)	
		N	NRX T (dBm)	NRX E1 (dBm)	NRX E2 (dBm)	$E_{i(E1-T)}$	$E_{i(E2-T)}$	E_{iE1}^2	E_{iE2}^2	uE1	uE2	$\sigma E1$	$\sigma E2$	rmseE1	rmseE2
10	0	18	-22.41	-28.35	-27.45	5.94	5.04	35.34	25.45	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-10	18	-24.18	-30.60	-33.15	6.42	8.97	41.20	80.44	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-20	18	-25.02	-31.60	-28.90	6.58	3.88	43.31	15.06	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-30	18	-34.34	-26.00	-25.60	8.34	8.74	69.63	76.46	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-40	18	-41.42	-27.80	-26.70	13.62	14.72	185.48	216.65	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-50	18	-40.18	-31.00	-30.80	9.18	9.38	84.36	88.08	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-60	18	-40.76	-34.70	-34.55	6.06	6.21	36.72	38.56	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-70	18	-41.41	-35.40	-35.60	6.01	5.81	36.10	33.74	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-80	18	-41.87	-36.65	-35.60	5.22	6.27	27.22	39.28	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-90	18	-41.82	-35.75	-32.00	6.07	9.82	36.85	96.44	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-100	18	-42.73	-34.65	-32.90	8.08	9.83	65.22	96.54	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-110	18	-42.29	-39.25	-36.30	3.04	5.99	9.23	35.85	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-120	18	-43.04	-35.90	-33.20	7.14	9.84	50.95	96.78	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-130	18	-43.52	-40.70	-37.55	2.82	5.97	7.97	35.68	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-140	18	-44.16	-42.80	-36.95	1.36	7.21	1.86	52.04	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-150	18	-44.76	-33.65	-31.00	11.11	13.76	123.44	189.34	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-160	18	-45.32	-37.10	-34.75	8.22	10.57	67.54	111.69	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
10	-170	18	-45.60	-36.75	-33.05	8.85	12.55	78.34	157.53	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11

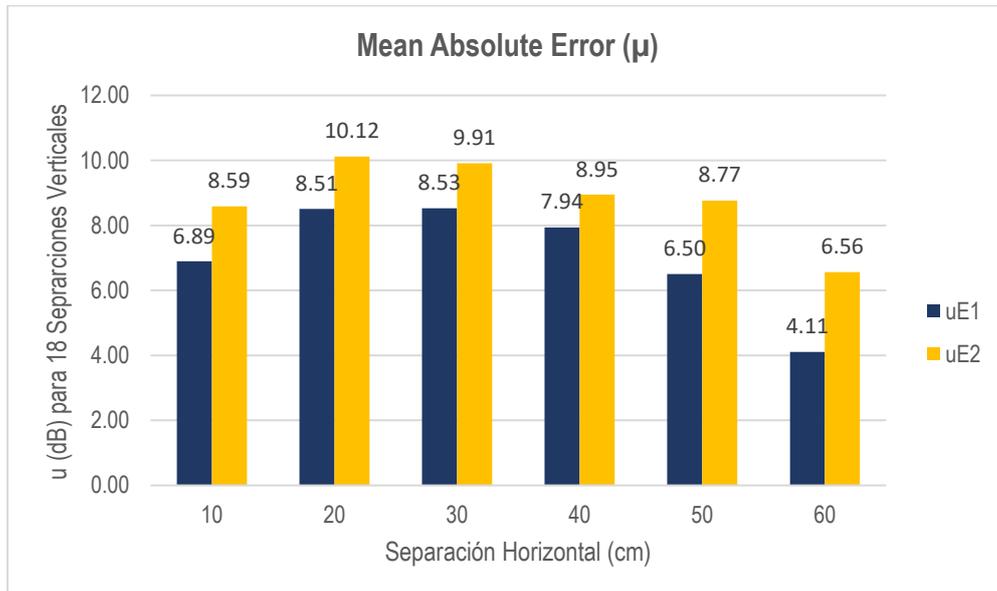
A continuación, se desarrolla la descripción de los resultados por cada indicador de desempeño.

a. Error absoluto (μ_{E1} y μ_{E2})

En la Figura 22 se presenta un resumen de los resultados de error absoluto obtenidos al evaluar el modelo de propagación de Friis en 18 separaciones verticales para seis separaciones horizontales (Δx). Se puede apreciar que el error absoluto obtenido en la predicción de interferencia en la estación fija (u_{E1}) y móvil (u_{E2}), obtiene sus valores más bajos en la distancia horizontal más corta ($\Delta x = 10$ cm), y en la distancia de separación mayor ($\Delta x = 60$ cm), cuyos valores oscilan entre 4 dB a 8.5 dB. En contraste los valores de separación horizontal centrales ($20\text{cm} \leq \Delta x \leq 50\text{cm}$) obtienen márgenes de error absoluto entre 6 dB a 10 dB.

Figura 18

Valores de Incertidumbre o Error Absoluto

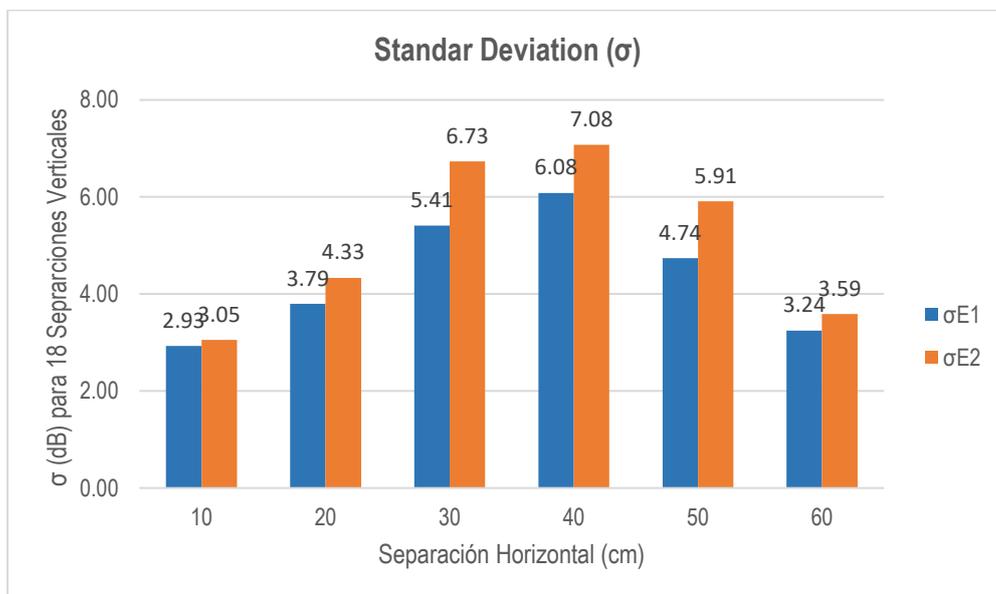


b. Desviación Estándar (σ_{E1} y σ_{E2})

En la Figura 23 se presenta un resumen de los resultados de desviación estándar obtenidos al evaluar el modelo de propagación de Friis en 18 separaciones verticales para seis separaciones horizontales (Δx). Se puede apreciar que los valores más bajos de desviación se obtienen en la distancia horizontal más corta ($\Delta x = 10$ cm), y en la distancia de separación mayor ($\Delta x = 60$ cm), cuyos valores oscilan entre 2.93 dB a 3.59 dB. En contraste los valores de separación horizontal centrales ($20\text{cm} \leq \Delta x \leq 50\text{cm}$) obtienen márgenes de error absoluto entre 3.79 dB a 7.08 dB.

Figura 19

Valores de Desviación Estándar



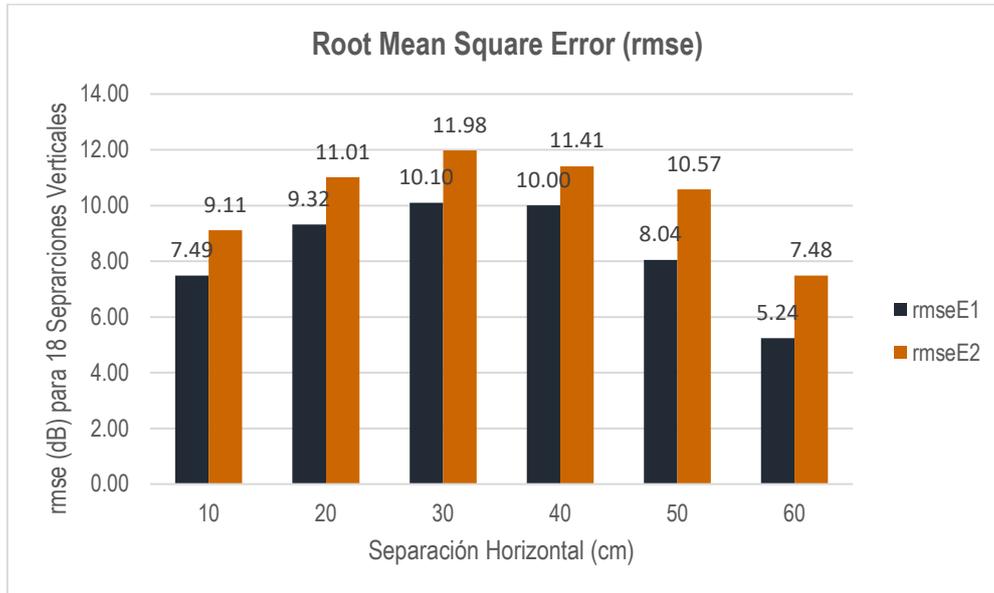
c. Raíz de Error Cuadrático Medio ($rmse_{E1}$ y $rmse_{E2}$)

En la Figura 24 se presenta un resumen de los resultados de la raíz de error cuadrático medio obtenidos al evaluar el modelo de propagación de Friis en 18 separaciones verticales para seis separaciones horizontales (Δx). Se puede apreciar que al igual que los parámetros antes analizados; los valores más bajos de $rmse$ se obtienen en la distancia horizontal más corta ($\Delta x = 10$ cm), y en la distancia de separación mayor ($\Delta x = 60$ cm), cuyos valores oscilan entre 5.24 dB a 9.11 dB. En contraste los valores de separación horizontal centrales

($20\text{cm} \leq \Delta x \leq 50\text{cm}$) obtienen raíz de error cuadrático medio entre 9.32 dB a 11.98 dB.

Figura 20

Valores de Raíz de error cuadrático medio



PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Parámetros utilizados en la estimación de los niveles de potencia interferente teóricos mediante el modelo de Friis

En la Tabla 14, se presenta los parámetros que sirvieron para el cálculo de los valores teóricos del Nivel de recepción (dBm).

Tabla 14

Parámetros utilizados en la estimación de los niveles de potencia de recepción teóricos

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad
Frecuencia	f	2.437 (canal 6)	GHz
Distancia horizontal y vertical entre estaciones	d	-	m
Potencia de transmisión	P _{tx}	10	dBm
Polarización de Estación	Pol.	Horizontal	
Patrón de elevación	-	0 a 360°	Grados
Patrón azimut	-	0 a 360°	Grados
Discriminación ángulos entre estaciones formados en posición horizontal	D(φ_1) y D(φ_2)	-	dBm
Discriminación entre estaciones formados en posición vertical	D(θ_1) y D(θ_2)	-	dBm
Ángulos entre estaciones formados en posición horizontal	φ_1 y φ_2	180°	Grados
Ángulos entre estaciones formados en posición vertical	θ_1 y θ_2	0° a 180°	Grados
Ganancia de antenas	G _{a1} y G _{a2}	10	dBi

Como se observa en la Tabla 14:

Se utilizó el canal 06, el cual es uno de los tres canales no solapados para la banda de 2.4 GHz, debido a que presentaba una menor interferencia.

La distancia Horizontal y vertical de las estaciones varían de 10 cm a 60 cm para la separación horizontal y de 0 cm a 170 cm para la separación vertical.

El ángulo formado entre las estaciones de forma horizontal siempre es de 180° mientras que en vertical puede variar entre 0° a 180°. Los datos de discriminación para esos ángulos se pueden obtener de la tabla de valores técnicos de los patrones Azimuth y Elevación de polarización Horizontal ubicados en el Anexo 02.

4.1.2. Limitaciones de la estación de prueba de potencia cocanal interferente acoplada WiFi 2.4 GHz con 2 transceptores coubicados en un mismo emplazamiento.

En la Tabla 15 se muestran las limitaciones del prototipo de pruebas que se tuvieron en la implementación.

Tabla 15

Limitaciones del prototipo de pruebas

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
	fmin (mínima)	2.427	GHz
Frecuencia	fc (central)	2.437	GHz
	fmax (máxima)	2.447	GHz
Distancia de separación horizontal entre estaciones	dX	0 – 60	cm
Distancia de separación vertical entre estaciones	dY	0 - 170	cm
Potencia de transmisión	Ptx min	5	dBm
	Ptx med	10	dBm
	Ptx max	20	dBm
Ganancia de antena	Ga	10	dBi

Como se observa en la Tabla 15:

La frecuencia utilizada es de 2.437 GHz, potencia de transmisión es de 10 dBm y la ganancia se encuentra en un valor de 10 dBi, las cuales son soportadas por las antenas utilizadas en la implementación del prototipo.

El desplazamiento de las antenas es de forma horizontal de hasta 60 cm y vertical hasta 170 cm de acuerdo al diseño de la estructura de pruebas, la cual fue fabricada considerando los rangos máximos de coubicacion que se pueden dar en este tipo de emplazamientos.

4.1.3. Valores promedio de las mediciones de interferencia del canal 6 de WiFi 2.4 GHz de las distintas separaciones horizontales y verticales entre las 2 estaciones

De acuerdo a la figura 25 y 26 donde se muestran los valores promedios de las mediciones de interferencia tomadas para las estación fija y móvil, se encontró que para la estación Fija E1 el nivel de recepción de interferencia promedio varía entre -43.70 dBm y -26.00 dBm; para la estación móvil E2 se observó que el nivel de interferencia varía entre -39.9 y -25.60 dBm.

Figura 25

Valores promedio de mediciones de interferencia en la estación fija E1

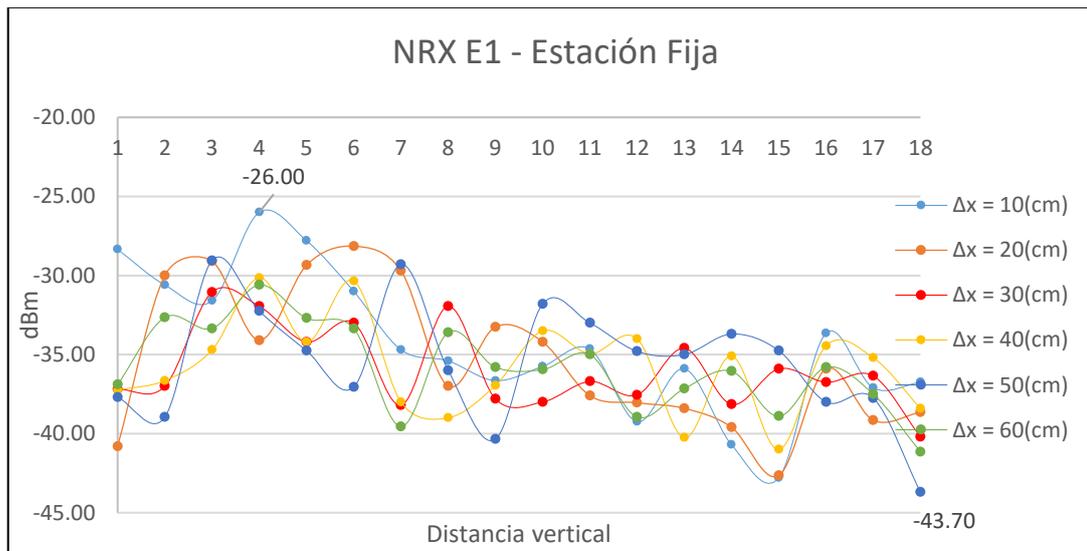
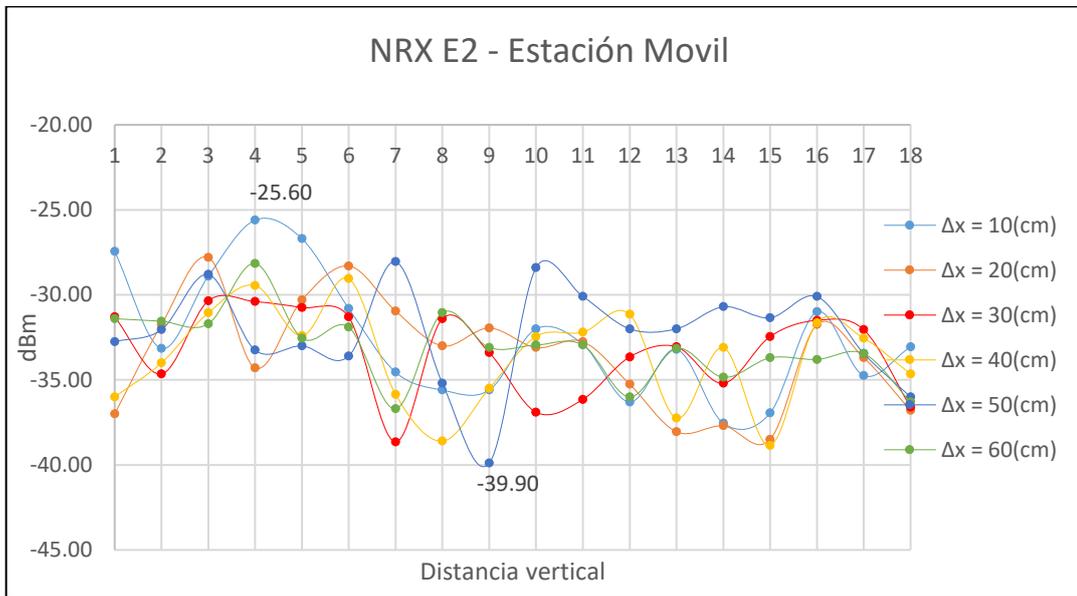


Figura 26

Valores promedio de mediciones de interferencia en la estación móvil E2



4.1.4. Evaluación de la comparación de las mediciones de interferencia obtenidas con respecto a las estimaciones teóricas bajo el modelo de FRIIS

Se presenta los valores de margen de error y desviación obtenidos para cada una de las estaciones en las diferentes distancias. Estos valores de margen de error y desviación permitirán describir el desempeño del Modelo de Friis en el cálculo de interferencias en las dos estaciones WiFi 2.4 GHz coubicadas. La Tabla 16 presenta un resumen de los valores de error absoluto, desviación estándar y raíz de error cuadrático medio obtenidos al evaluar el modelo de propagación de Friis, en 18 separaciones verticales, para cada una de las separaciones horizontales presentadas en la Tabla 12.

Tabla 16

Resumen de valores de margen de error y desviación

Δx (cm)	u_{E1}	u_{E2}	σ_{E1}	σ_{E2}	$rmse_{E1}$	$rmse_{E2}$
10	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
20	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
30	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
40	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
50	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
60	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48

Como se observa en la tabla 16:

- El margen de error de 6.89 a 8.59 dB para las distancias de separación horizontal más cortas, y de 4.11 a 6.56 dB para las distancias de separación horizontal más grandes, es decir los valores extremos de separación presentan menor error absoluto.
- La desviación estándar puede interpretarse como una dispersión del margen de error de 2.93 dB para las distancias de separación horizontal más cortas, y de 3.59 dB para las distancias de separación horizontal más grandes, es decir los valores extremos de separación presentan menor dispersión del margen de error.
- El RMSE interpretarse como una diferencia efectiva entre los valores estimados y medidos de 7.49 dB a 9.11 dB para las distancias de separación horizontal más cortas, y de 5.24 dB a 7.48 dB para las distancias de separación horizontal más grandes, es decir las diferencias en los promedios entre los valores estimados y medidos se dan en los extremos de separación horizontal.

4.2. Docimasia de Hipótesis

En base a los resultados descritos, tanto el error absoluto, la desviación estándar y la raíz del error cuadrático medio, decrecen en las distancias más cercanas y lejanas de separación horizontal.

El error absoluto presentó un rango de oscilación mínimo para μ_{E1} en $\Delta x=10$ con un valor de 6.89 dB y en $\Delta x=60$ con un valor 4.11 dB, para el μ_{E2} se obtuvo en $\Delta x=10$ con un valor de 8.59 dB y en $\Delta x=60$ con un valor 6.56 dB, a comparación de los valores máximos que oscilaron entre 6.50 dB a 10.12 dB.

Los valores obtenidos para la desviación estándar, los valores mínimos estuvieron oscilando en un rango de 2.9 dB a 3.6 dB, en contraste a los valores máximos que se obtuvieron entre 3.8 dB a 7.1 dB.

Para los valores de rmse, los valores mínimos estuvieron oscilando en un rango de 2.9 dB a 3.6 dB, en contraste a los valores máximos que se obtuvieron entre 3.8 dB a 7.1 dB.

Esto indica un mejor desempeño de modelo de propagación de Friis en los extremos menor y mayor de separación horizontal de estaciones coubicadas en una torre de instalación doméstica. Por lo cual, los autores consideran que la hipótesis planteada se cumple en el presente trabajo de investigación.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

✓ Los parámetros empleados para el cálculo del Nivel de Potencia de Recepción, fueron seleccionados a partir de las hojas técnicas del fabricante de la marca Ubiquiti y según el modelo del equipo usado, por tal motivo se utilizó los patrones teóricos que brinda el fabricante, usados para el cálculo de la discriminación de la antena para cada ángulo azimutal y elevación del patrón de radiación correspondiente. En este sentido respecto del trabajo realizado por Gonzáles & Tovar (2018), no se pudo realizar una verificación experimental de los patrones de radiación debido a las limitaciones en la disponibilidad de equipos de medición, por lo cual se considera una ampliación de la presente investigación el realizar una medición real del patrón de radiación para poder incluirlo en los cálculos.

✓ La implementación del emplazamiento de prueba con estaciones coubicadas interferentes se realizó sobre una estructura metálica fabricada de tubo cuadrado presentado como características, un mástil de 2.05 m con 18 orificios verticales con separación de 10 cm; una barra horizontal fija de 35 cm, con 3 orificios; una barra horizontal móvil de 36 cm con 04 orificios. Con estas características se pueden variar 06 separaciones horizontales y para cada una de ellas 18 separaciones verticales. Estas limitaciones están alineadas con un posible emplazamiento doméstico de baja altura que pueda ser empleado para coubicación de estaciones WiFi. Asimismo, cabe destacar dentro de las limitaciones, que la zona donde se realizó las mediciones, estuvo expuesta a señales interferentes externas propias de una azotea, así como rebotes de señal propios de obstáculos y elementos de una vivienda. Elementos tales como cordeles, muros, objetos y demás elementos típicos de una instalación doméstica pudieron afectar los resultados. Debido a esto se siguieron la metodología de medición recomendada por Si Ting Ng (2021) y las recomendaciones de implementación de Mahajan (2012), identificándose el canal 6 como el que tiene menor contaminación de interferencias externas no controladas, de manera que en esa parte se tiene una coincidencia con el procedimiento empleado en dichas investigaciones.

✓ Las mediciones se realizaron siguiendo las recomendaciones de Chao (2018) y Suarez (2016) respecto de poder mantener una potencia moderada de manera que no se saturen los amplificadores de transmisión y no se alteren las características lineales de los elementos que componen el sistema de radiofrecuencia. En ese aspecto la potencia para poder hacer transmisión fue de 10 dBm, lo cual fue constante durante todas mediciones, de esta manera no se llegan a saturar los amplificadores de transmisión que soportan una potencia máxima de 26 dBm. Asimismo, siguiendo las recomendaciones de Becerra L. (2004), se realizaron 20 mediciones por posición a fin de generar menor incertidumbre, considerándose los promedios de medición, para los cálculos y comparación con el modelo de Friis. Cabe destacar que no existe un protocolo estandarizado a nivel nacional para el tiempo y número de mediciones.

✓ Los resultados obtenidos muestran que todos los parámetros de desempeño del modelo de propagación de Friis se reducen a menores distancias de separación, aumentan en las distancias intermedias y vuelven a disminuir en las mayores distancias de separación evaluadas. Los valores de error absoluto oscilan entre 2.9 dB a 7.1 dB, y el error entre las medias de los valores estimados y medidos varían entre 5.2 dB a 11.9 dB, lo cual muestra una aproximación moderada del modelo de Friis para este tipo de cálculo desempeñándose con menor error en los extremos de separación horizontal de una torre doméstica típica de ubicación de estaciones WiFi 2.4 GHz.

CONCLUSIONES

- ✓ Se identificaron los parámetros de potencia de transmisión, ganancia, pérdidas internas, y principalmente la discriminación que se tiene por los ángulos azimuth y elevación del patrón de radiación, que se aplicaron en el cálculo de las estimaciones teóricas del modelo de Friis.
- ✓ El emplazamiento de prueba WiFi 2.4 GHz, fue implementado con las limitaciones típicas de las torres empleadas en instalaciones domésticas o de edificios multifamiliares de la zona urbana de Trujillo. En cuanto a la separación horizontal se tuvo un límite de 60 cm, y de hasta 170 cm para separación vertical. Todo ello expuesto a cambios en la propagación por rebotes horizontales, verticales, presencia de objetos y otras fuentes interferentes provenientes de instalaciones domiciliarias, es decir un escenario típico donde suelen implementarse enlaces de corto alcance en la ciudad de Trujillo.
- ✓ Las mediciones se realizaron en el canal 6 WiFi 2.4 GHz, siguiendo recomendaciones de trabajos internacionales, dada la ausencia de referencias. Los valores de recepción promedio empleados, tuvieron como base 20 mediciones, orientadas a una incertidumbre de medición de hasta 2.1 dB.
- ✓ Para describir el desempeño de modelo de Friis respecto de las mediciones de interferencia realizadas, se emplearon los parámetros de error absoluto (μ), desviación estándar (σ) y raíz del error cuadrático medio (rmse), todos estos parámetros decrecen en las distancias más cercanas y lejanas de separación horizontal entre las estaciones WiFi 2.4 GHz ubicadas en un emplazamiento doméstico, obteniéndose un desempeño moderado con errores entre 2.9 dB a 7.1 dB en la predicción de interferencias.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones, ampliar el estudio evaluando otros modelos de propagación en estaciones coubicadas y tomando en cuenta el patrón de radiación real para el canal que se va a utilizar, con el fin de obtener datos más precisos para los cálculos teóricos.
- Se recomienda ampliar el estudio en las mediciones de potencia interferente agregando paquetes de datos para poder probar su máxima capacidad y rendimiento bajo la interferencia generada por las estaciones coubicadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becerra L. (25-27 de octubre de 2004). Número de Mediciones Necesarias, Centro Nacional de Metrología. Mexico.
- Betancor Arroyo, E. (2017) *Diseño Y Estudio De Una Antena De Polarización Circular Para La Banda Ka*. Proyecto Fin De Carrera, Escuela Técnica Superior De Ingeniería Y Sistemas De Telecomunicación. Universidad Politécnica De Madrid.
- Botero, J., González, D. y Paz, H. (2009) *La interferencia como un factor que afecta el desempeño de un sistema RFID*. Artículo de investigación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Caballero, A. (2017). *Los Espectros de 2.4 GHz y 5 GHz*. https://www.reydes.com/d/?q=Los_Espectros_de_2_4_GHz_y_5_GHz
- Camargo Olivares, J. (2009) *Modelo de cobertura para redes inalámbricas de interiores*. Documento de investigación. Universidad de Sevilla.
- UIT-R (2014). *Características de las redes radioeléctricas de área local de banda ancha*. Recomendación UIT-R M.1450-5. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1450-5-201404-!!!PDF-S.pdf
- Garazi, G. (2018) *Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial*. Tesis para el grado en Tecnología de Telecomunicación. Universitat Oberta de Catalunya.
- Gonzalez Bravo, I. y Tovar Solórzano, N. (2018) *Diseño y construcción de un sistema de bajo costo para la aproximación del trazado de patrón de radiación en una banda ISM*. Informe de Materia Integradora, Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica Del Litoral.
- Lehpamer, H. (2010). *Microwave Transmission Networks, Second Edition*. McGraw-Hill Education.

- Mahajan A. y Gupta S. (2012) *Interference Evaluation of different Wireless systems operating in 2.4 GHz ISM Band*. Papers, School of Electronics and Communication Engineering, Shri Mata Vaishno Devi University.
- Manning, T. (2009). *Microwave radio transmission design guide*. Artech house.
- Naranjo, S. (2019) *Implementación de una Red por Radioenlaces para proveer Servicio de Conectividad a Internet a Sedes Educativas Urbanas en la Ciudad de Buga*. Universidad del Cauca. Tesis de pregrado. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad del Cauca.
- Ontiveros, M. (2018) *Metodología Para La Detección De Interferencias Producidas Por Estaciones Radioeléctricas, Mediante El Uso De Equipos De Monitoreo Portátiles Del MTC*. Trabajo De Investigación. Escuela Tecnológica del Perú.
- Redes Inalámbricas 802.11. (2016). *Ampliación de Redes*. https://www.aulawiki.info/ampliacion/T8-redes_WiFi.pptx
- Rico, M., Contreras, D. y San Juan, E. (2014) *Interferencias en sistemas de radiodifusión en zonas de frontera colombiana*. Artículo de investigación. Universidad de San Buenaventura.
- Suárez, M. (2016) *Estudio y recomendaciones para mitigar la interferencia en redes WiFi en zonas no controladas no licenciadas*. Tesis de Postgrado para Maestría y Doctorado en el Área de Telecomunicaciones. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Ting Ng, Y.S. Lee, Kavinesh S Radhakrishna, Thiruvarasu Muthu Krishnan (2021). Study of 2457 MHz WIFI Network Signal Strength at Indoor and Outdoor Enviroment. International Journal of Wireless and Microwave Technologies (IJWMT), Vol.11, No.6, pp. 1-9. DOI: 10.5815/ijwmt.2021.06.01
- Treviño Cortés, J. (2003) *Propagación de RF en las bandas: LF, MF, HF, VHF, UHF y VHF*. Documento de investigación. Universidad de las Américas Puebla.

- Valero, C. (2022). *Qué es el WiFi y cómo funciona para conectar todo a Internet*. ADSLZONE.<https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>
- Vallejo Baldeón, M., Nicolalde Rodríguez, D. y Lara Cueva, R. (2017) *Performance Evaluation of Wireless Network in conformance with IEEE 802.11n in Co-Channel Interference Scenario*. 2017 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM). doi:10.1109/colcomcon.2017.8088188.
- Vocabulario de radiocomunicaciones. (2007). *Recomendación UIT-R V.573-5*. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.573-5-200709-S!!PDF-S.pdf
- Vela, P. (2015) *Estudio y diseño de un radioenlace para transmisión de datos e internet en frecuencia libre para la cooperativa indígena “Alfa y Omega” utilizando equipos Airmax de Ubiquiti*. Tesis para el grado de Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional.
- Yao, J., Lou, W., Yang, C. y Wu, K. (2018). *Efficient Interference-Aware Power Control for Wireless Networks*. *Computer networks*, 136, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.02.017>

ANEXOS

ANEXO 01:

GUIA DE OBSERVACIÓN

Objetivo: Obtención de las **mediciones del Nivel de Potencia de recepción Interferente** entre dos estaciones WiFi 2.4 GHz coubicadas en un emplazamiento doméstico.

Ubicación: Ciudad de Trujillo, Urb. Trupal

Investigadores:

- Jonathan Ricardo Cayhuaray Aguirre
- Hugo Fernando De La Cruz Aguilar

Fecha: 21/08/2021

Los datos de los valores del nivel de potencia de recepción interferencia entre las dos estaciones WiFi 2.4 GHz coubicadas en un emplazamiento doméstico se obtuvieron siguiendo el siguiente procedimiento:

- 1) Se Identifica con el programa Wifi Analyzer que canal no solapado está libre o muestra el canal menos saturado para realizar las mediciones. (Figura 12)
- 2) Se realiza la configuración de las estaciones 1 y 2, mediante el inyector PoE y un patch cord conectados a una laptop para la adquisición de datos y configuración de las estaciones. (Figura 8).
- 3) Se Configura los parámetros de las estaciones 1 y 2 usando un navegador web para ingresar mediante las direcciones IP asignadas a cada una de las estaciones. La interfaz web de la antena permite configurar el modo de trabajo de la estación y el uso de herramientas como la obtención de RSSI (Received Signal Strength Indicator).

- 4) Se ubican las estaciones 1 y 2 en la posición la posición inicial la cual presenta una separación de 10cm de la estación 1 respecto a la estación 2 con direcciones opuestas de 180°. La estación 1 está ubicado al lado izquierdo en la barra fija horizontal de la estructura de pruebas con posición 0 y verticalmente con posición 0, la estación 2 se encuentra ubicada en la barra móvil con posición 0 y verticalmente con posición 0. (Figura 11)
- 5) Una vez ubicadas las estaciones en su posición inicial se recolectan los datos de Nivel de Potencia Recepción Interferente desde la interfaz web en cada estación (1 y 2) utilizando el programa de captura de video Cam Free8 por un tiempo establecido de 20 segundos. Se realiza la segunda medición desplazando la estación 2 una posición hacia abajo ($y=10$) y manteniendo la posición inicial en la estación 1 y así sucesivamente hasta completar las 18 posiciones verticales, luego la estación 2 se desplaza una posición hacia la derecha ($x=20$) y se inicia nuevamente en $y=0$, para completar las 18 posiciones verticales. De esta manera se realizan las 6 posición horizontales y sus 18 posiciones verticales.
- 6) Luego de la recolección de datos capturados mediante video se utiliza el programa Movavi Video Editor Plus 2020 que permite obtener los datos con presión de 1 segundo por lo que se obtienen un total de 20 mediciones por posición, las cuales serán ingresadas a una tabla de Excel tanto para la estación 1 como para la estación 2, como se muestra a continuación:

Tabla de medición del nivel de potencia de recepción para la estación 1 fija verticalmente configurada como Access Point, donde $\Delta x(\text{cm})$ es la distancia entre estaciones y $\Delta y(\text{cm})$ es la distancia vertical.

$\Delta y(\text{cm})$	Estacion 1																	
	$\Delta x(\text{cm}) =$																	
0																		
-10																		
-20																		
-30																		
-40																		
-50																		
-60																		
-70																		
-80																		
-90																		
-100																		
-110																		
-120																		
-130																		
-140																		
-150																		
-160																		
-170																		

Tabla de medición del nivel de potencia de recepción para la estación 2 móvil, donde Δx (cm) es la distancia entre estaciones y Δy (cm) es la distancia vertical.

Estacion 2	
Δy (cm)	Δx (cm) =
0	
-10	
-20	
-30	
-40	
-50	
-60	
-70	
-80	
-90	
-100	
-110	
-120	
-130	
-140	
-150	
-160	
-170	

Método de medición:

Conforme al método de medición empleado por Si Ting, N. et al (2021), se realizaron mediciones de potencia de recepción e interferente WiFi 2.4 GHz, con incrementos de distancia desde las fuentes emisoras y el empleo de la herramienta Ubiquiti AirOS.

Número de mediciones:

Conforme las recomendaciones de Becerra L. (2004), se seleccionó un número mínimo requerido de 20 mediciones de potencia interferente, para obtener un valor incertidumbre de 2.1 dB, con una desviación estimada de $\sigma = 1.4$ dB, para el 95.45% de los datos.

El tiempo de la medición se encuentra asociado al número mínimo de mediciones requeridas (repeticiones). La herramienta empleada permite capturar una medición por segundo, por lo cual el tiempo empleado para cada medición es estimado en 20 segundos.

Referencias:

La presente guía de observación, está basada en los métodos de medición empleados por:

- Si Ting Ng, Y.S. Lee, Kavinesh S Radhakrishna, Thiruvarasu Muthu Krishnan (2021), "Study of 2457 MHz WIFI Network Signal Strength at Indoor and Outdoor Enviroment", International Journal of Wireless and Microwave Technologies (IJWMT), Vol.11, No.6, pp. 1-9, 2021.
DOI: 10.5815/ijwmt.2021.06.01
- Becerra L. (2004) "Número de Mediciones Necesarias" Centro Nacional de Metrología, México

ANEXO 02

Tabla de valores técnicos de los patrones Azimuth y Elevación de polarización Horizontal.

Angle (°)	Azimuth D(φ) (dB)	Elevación D(e) (dB)	Angle (°)	Azimuth D(φ) (dB)	Elevación D(e) (dB)	Angle (°)	Azimuth D(φ) (dB)	Elevación D(e) (dB)	Angle (°)	Azimuth D(φ) (dB)	Elevación D(e) (dB)	Angle (°)	Azimuth D(φ) (dB)	Elevación D(e) (dB)
0	9.76	10.51	72	-0.29	-1.42	144	-6.00	1.16	216	-11.71	-0.68	288	-0.49	-2.46
1	9.69	10.45	73	-0.60	-1.37	145	-5.48	1.00	217	-12.21	-0.45	289	-0.13	-2.42
2	9.59	10.39	74	-0.83	-1.38	146	-5.36	0.66	218	-12.71	0.01	290	0.15	-2.46
3	9.54	10.17	75	-0.98	-1.32	147	-5.24	0.23	219	-13.18	0.23	291	0.43	-2.63
4	9.45	10.10	76	-1.26	-1.35	148	-5.16	-0.01	220	-13.48	0.50	292	0.61	-2.64
5	9.37	10.05	77	-1.50	-1.39	149	-5.08	-0.61	221	-14.74	0.55	293	0.75	-2.82
6	9.31	9.90	78	-1.72	-1.45	150	-4.96	-0.65	222	-14.74	0.66	294	1.18	-2.86
7	9.23	9.75	79	-1.92	-1.42	151	-4.91	-1.05	223	-14.74	0.87	295	1.40	-3.12
8	9.24	9.59	80	-2.18	-1.57	152	-4.85	-1.80	224	-14.74	0.83	296	1.71	-3.31
9	9.22	9.41	81	-2.53	-1.59	153	-4.79	-1.80	225	-14.74	0.89	297	2.12	-3.28
10	9.12	9.00	82	-2.90	-1.62	154	-4.70	-2.27	226	-14.74	0.86	298	2.29	-3.47
11	9.08	8.80	83	-3.12	-1.59	155	-4.62	-2.81	227	-14.74	0.90	299	2.50	-3.65
12	9.04	8.60	84	-3.44	-1.75	156	-4.46	-3.73	228	-14.74	0.85	300	2.69	-3.86
13	8.95	8.30	85	-3.67	-1.70	157	-4.36	-4.47	229	-14.74	0.83	301	2.95	-3.98
14	8.89	8.07	86	-3.84	-1.87	158	-4.22	-5.45	230	-14.74	0.73	302	3.14	-4.10
15	8.78	7.87	87	-4.20	-2.02	159	-4.08	-6.05	231	-14.74	0.64	303	3.23	-4.30
16	8.64	7.57	88	-4.31	-2.31	160	-3.95	-6.56	232	-14.74	0.42	304	3.46	-4.65
17	8.54	7.31	89	-4.55	-2.31	161	-3.77	-7.75	233	-14.74	0.41	305	3.71	-4.67
18	8.41	6.88	90	-4.94	-2.39	162	-3.67	-8.76	234	-14.74	0.28	306	3.94	-4.86
19	8.34	6.53	91	-5.76	-2.96	163	-3.61	-14.44	235	-14.74	0.16	307	4.09	-4.97
20	8.28	5.98	92	-5.98	-2.91	164	-3.56	-10.75	236	-14.74	-0.16	308	4.37	-5.25
21	8.14	5.55	93	-6.25	-3.16	165	-3.54	-11.66	237	-14.74	-0.32	309	4.56	-5.47
22	8.00	5.27	94	-6.50	-3.28	166	-3.50	-13.59	238	-14.74	-0.38	310	4.80	-5.69
23	7.91	4.90	95	-6.70	-3.45	167	-3.46	-15.00	239	-14.74	-0.61	311	4.93	-5.85
24	7.80	4.28	96	-6.99	-3.52	168	-3.41	-11.00	240	-14.74	-0.83	312	5.15	-6.41
25	7.70	3.75	97	-7.27	-3.80	169	-3.38	-10.44	241	-14.74	-1.05	313	5.31	-6.36
26	7.54	3.24	98	-7.54	-4.21	170	-3.42	-9.75	242	-14.74	-1.35	314	5.44	-6.22
27	7.44	2.70	99	-7.77	-4.40	171	-3.45	-9.32	243	-14.74	-1.71	315	5.65	-5.97
28	7.33	2.19	100	-8.01	-4.46	172	-3.48	-8.63	244	-14.74	-1.90	316	5.85	-5.27
29	7.21	1.66	101	-8.22	-4.92	173	-3.52	-7.98	245	-14.74	-1.86	317	5.96	-4.52
30	7.05	1.01	102	-8.36	-4.92	174	-3.56	-6.76	246	-14.74	-2.36	318	6.20	-3.76
31	6.83	0.52	103	-8.49	-5.02	175	-3.56	-5.55	247	-14.74	-2.48	319	6.39	-3.26
32	6.65	0.34	104	-8.71	-5.18	176	-3.57	-5.18	248	-14.74	-2.68	320	6.58	-2.33
33	6.52	-0.08	105	-9.06	-5.28	177	-3.58	-4.79	249	-14.74	-3.17	321	6.72	-1.51
34	6.44	-0.96	106	-9.37	-5.30	178	-3.66	-4.36	250	-14.74	-3.30	322	6.86	-0.99
35	6.30	-1.73	107	-9.33	-5.29	179	-3.71	-4.19	251	-14.74	-3.30	323	6.97	0.16
36	6.06	-2.79	108	-9.45	-5.19	180	-3.74	-4.12	252	-14.74	-3.58	324	7.13	0.69
37	5.91	-3.24	109	-9.48	-5.12	181	-3.93	-3.94	253	-14.74	-3.62	325	7.31	1.77
38	5.74	-7.30	110	-9.56	-4.69	182	-4.06	-3.90	254	-14.74	-3.97	326	7.46	2.45
39	5.63	-9.82	111	-9.63	-4.33	183	-4.07	-3.80	255	-13.42	-4.41	327	7.55	2.92
40	5.47	-10.32	112	-9.63	-4.37	184	-4.08	-3.78	256	-13.23	-4.74	328	7.63	3.46
41	5.26	-10.02	113	-9.64	-3.84	185	-4.04	-3.82	257	-13.05	-4.84	329	7.87	4.20
42	5.04	-10.08	114	-9.62	-3.53	186	-4.02	-3.88	258	-12.87	-4.55	330	8.00	4.46
43	4.88	-9.74	115	-9.62	-3.25	187	-4.01	-4.12	259	-12.45	-5.05	331	8.11	4.82
44	4.67	-9.23	116	-9.61	-2.98	188	-4.01	-4.27	260	-11.45	-5.14	332	8.18	5.38
45	4.62	-8.74	117	-9.58	-2.71	189	-4.03	-4.39	261	-11.05	-4.81	333	8.29	5.86
46	4.39	-7.77	118	-9.47	-2.24	190	-4.07	-4.53	262	-10.57	-4.66	334	8.35	6.35
47	4.15	-7.02	119	-9.29	-1.78	191	-4.21	-4.83	263	-10.00	-4.47	335	8.49	6.69
48	3.92	-6.10	120	-9.00	-1.44	192	-4.33	-4.98	264	-9.76	-4.45	336	8.60	7.24
49	3.80	-5.70	121	-8.89	-1.21	193	-4.48	-5.17	265	-9.30	-4.33	337	8.73	7.51
50	3.65	-4.82	122	-8.83	-1.02	194	-4.61	-6.46	266	-8.82	-4.17	338	8.79	7.68
51	3.48	-4.55	123	-8.77	-0.68	195	-4.77	-6.26	267	-8.01	-4.01	339	8.87	7.99
52	3.33	-4.45	124	-8.71	-0.57	196	-4.86	-7.52	268	-7.44	-3.80	340	8.95	8.30
53	3.07	-4.28	125	-8.64	-0.37	197	-5.00	-7.78	269	-7.11	-3.59	341	8.99	8.48
54	2.83	-3.99	126	-8.53	-0.01	198	-5.16	-8.30	270	-6.63	-3.41	342	9.08	8.73
55	2.68	-3.60	127	-8.47	0.35	199	-5.40	-8.67	271	-6.01	-3.45	343	9.17	8.87
56	2.52	-3.54	128	-8.38	0.67	200	-5.60	-9.23	272	-5.64	-3.24	344	9.31	9.20
57	2.34	-3.50	129	-8.26	0.82	201	-5.74	-9.51	273	-5.32	-3.09	345	9.38	9.32
58	2.16	-3.24	130	-8.22	1.05	202	-5.99	-9.40	274	-4.91	-2.94	346	9.42	9.56
59	2.07	-2.88	131	-8.10	1.24	203	-6.29	-9.16	275	-4.59	-2.70	347	9.44	9.83
60	1.96	-2.73	132	-7.97	1.39	204	-6.59	-8.75	276	-4.23	-2.61	348	9.45	10.22
61	1.78	-2.33	133	-7.89	1.53	205	-6.91	-6.51	277	-3.92	-2.46	349	9.48	10.32
62	1.64	-2.01	134	-7.79	1.74	206	-7.11	-6.18	278	-3.51	-2.35	350	9.51	10.37
63	1.48	-2.06	135	-7.68	1.74	207	-7.52	-5.58	279	-3.10	-2.25	351	9.55	10.49
64	1.26	-1.90	136	-7.55	1.75	208	-7.53	-4.73	280	-2.76	-2.15	352	9.55	10.64
65	1.04	-1.90	137	-7.42	1.66	209	-8.04	-3.55	281	-2.44	-2.11	353	9.60	10.80
66	0.84	-1.79	138	-7.27	1.74	210	-8.87	-3.04	282	-2.17	-2.12	354	9.60	10.84
67	0.73	-1.74	139	-7.10	1.73	211	-9.39	-2.49	283	-1.80	-2.14	355	9.61	10.80
68	0.60	-1.51	140	-6.95	1.66	212	-9.86	-2.29	284	-1.56	-2.09	356	9.65	10.86
69	0.31	-1.58	141	-6.79	1.60	213	-10.30	-1.97	285	-1.34	-2.12	357	9.67	10.78
70	0.09	-1.48	142	-6.46	1.49	214	-10.71	-1.54	286	-1.08	-2.10	358	9.68	10.77
71	-0.14	-1.47	143	-6.21	1.34	215	-11.01	-1.08	287	-0.79	-2.24	359	9.74	10.76

ANEXO 03

Tablas de mediciones recolectadas de las estaciones 1 y 2

Estacion 1																			
Δy(cm)	Δx(cm) = 10																		
0	-29	-28	-28	-29	-28	-28	-28	-28	-29	-28	-28	-29	-29	-29	-28	-28	-28	-28	-29
-10	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-30	-31	-30	-30	-30	-30	-31	-30	-30
-20	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-32	-32	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-33	-33
-30	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26
-40	-29	-29	-29	-30	-29	-28	-28	-28	-28	-27	-28	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27
-50	-31	-31	-31	-32	-32	-32	-31	-32	-31	-31	-31	-32	-31	-31	-31	-30	-30	-30	-30
-60	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-34	-36	-36	-37	-37	-37
-70	-35	-35	-35	-36	-36	-35	-36	-36	-35	-35	-36	-35	-35	-36	-35	-35	-35	-35	-36
-80	-37	-37	-36	-37	-37	-37	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37
-90	-35	-34	-34	-35	-34	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37
-100	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-35	-34	-34	-35	-36	-36	-36	-36
-110	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-40	-40	-40
-120	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-35	-35	-35	-36	-37	-37	-38	-37	-37	-37
-130	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40
-140	-42	-42	-42	-43	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-43	-43	-42	-42	-42	-41	-41
-150	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-33	-33	-34	-34	-34	-34
-160	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-38
-170	-37	-37	-37	-37	-40	-40	-38	-37	-37	-38	-38	-37	-36	-36	-35	-35	-35	-35	-35

Estacion 1																			
Δy(cm)	Δx(cm) = 20																		
0	-40	-40	-41	-41	-41	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41
-10	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
-20	-30	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29
-30	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-35	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34
-40	-31	-30	-30	-30	-30	-30	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29
-50	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-29	-29
-60	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-29	-30	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-32
-70	-35	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-38	-37	-37	-38	-38	-38	-37	-37	-38	-37	-37
-80	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-35	-35	-35	-36
-90	-34	-34	-35	-34	-35	-35	-34	-34	-34	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34
-100	-38	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-36
-110	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-39	-38	-38	-38	-38	-37	-38	-38	-38	-38	-39	-39
-120	-39	-38	-38	-38	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-39	-39	-39	-39	-39
-130	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
-140	-42	-43	-43	-43	-42	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-42	-42	-42	-42	-42	-43	-43
-150	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-36	-36	-36	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35
-160	-41	-41	-41	-40	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-41	-40	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-38
-170	-39	-39	-38	-38	-39	-39	-39	-38	-38	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-38

Estacion 1																			
Δy(cm)	Δx(cm) = 30																		
0	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-38
-10	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-37
-20	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-32	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31
-30	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-33	-34	-35
-40	-34	-34	-34	-35	-35	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34
-50	-32	-32	-32	-32	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-33	-33	-33	-33
-60	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-39	-38	-38	-38
-70	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-31	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32
-80	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-36
-90	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38
-100	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37
-110	-37	-38	-38	-38	-38	-37	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-38	-38	-37	-37	-37	-37	-38
-120	-35	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-35	-34	-34	-34	-34	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35
-130	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38
-140	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36
-150	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-37	-36	-37	-37	-37	-36	-36	-37
-160	-37	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-36	-36	-37	-37	-36	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-36
-170	-41	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40

Estacion 1																		
$\Delta y(\text{cm})$	$\Delta x(\text{cm}) = 40$																	
0	-37	-37	-37	-37	-38	-37	-37	-37	-38	-37	-37	-38	-37	-37	-37	-38	-37	-37
-10	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-37	-37	-37	-36	-36	-36	-37	-37
-20	-36	-36	-36	-36	-36	-35	-35	-35	-34	-35	-34	-34	-34	-33	-34	-34	-34	-35
-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-31	-30	-31	-30	-30	-30	-30	-30	-31
-40	-35	-35	-35	-35	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-34	-34
-50	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-29	-30	-30
-60	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38
-70	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39
-80	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-37	-37	-37	-37
-90	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-34	-34	-34	-34
-100	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-34	-35	-35
-110	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34
-120	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41
-130	-34	-34	-34	-35	-34	-34	-34	-34	-35	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36
-140	-42	-42	-42	-42	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-41	-41	-41
-150	-34	-34	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-35	-34	-35	-35	-35	-35	-35	-34	-34
-160	-37	-36	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-36	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35
-170	-39	-39	-38	-39	-39	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38

Estacion 1																		
$\Delta y(\text{cm})$	$\Delta x(\text{cm}) = 50$																	
0	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-38	-38	-38	-38
-10	-37	-36	-36	-36	-36	-39	-39	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
-20	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-30	-29	-29	-29	-29	-29
-30	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-33	-33	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-33
-40	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-35	-35	-35	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34
-50	-38	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-37	-38	-38	-37	-35	-35
-60	-31	-31	-31	-30	-30	-29	-29	-29	-29	-28	-28	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29
-70	-37	-36	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-35
-80	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
-90	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-32
-100	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33
-110	-34	-34	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-34
-120	-36	-36	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-36	-35	-35	-34	-34	-34	-35	-35	-35
-130	-34	-33	-33	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-34	-34	-34
-140	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-34	-35	-35	-35	-34	-35	-34	-34
-150	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38
-160	-37	-37	-37	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38
-170	-45	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-45	-44	-44	-42	-42	-43	-43	-43

Estacion 1																		
$\Delta y(\text{cm})$	$\Delta x(\text{cm}) = 60$																	
0	-35	-35	-34	-39	-39	-39	-38	-37	-37	-37	-37	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-36
-10	-33	-33	-33	-33	-32	-32	-32	-32	-33	-32	-32	-32	-32	-33	-33	-33	-33	-34
-20	-34	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-34	-34	-33	-34
-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-31	-30
-40	-31	-31	-32	-32	-32	-32	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-33
-50	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-34	-34	-34	-34
-60	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-39	-40	-40	-40	-39	-39	-40	-40	-39	-39	-39	-39
-70	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-33	-34	-33	-34	-33	-33	-34	-34	-34	-33	-33	-34
-80	-35	-36	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36
-90	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36
-100	-36	-36	-36	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-34	-35	-35	-36	-35	-34	-34
-110	-40	-40	-40	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-39	-38	-39	-39	-39	-39
-120	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-37	-39	-38	-37	-37	-37	-37
-130	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36
-140	-39	-39	-40	-39	-39	-39	-38	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-38	-38	-39	-39
-150	-36	-36	-36	-36	-36	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-35
-160	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-38	-38	-38	-37	-38	-38	-38	-38	-38
-170	-42	-42	-42	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41

Estacion 2																				
Δy(cm)	Δx(cm) = 10																			
0	-27	-27	-26	-29	-28	-33	-27	-28	-27	-27	-28	-27	-27	-27	-26	-28	-26	-27	-27	
-10	-31	-32	-33	-32	-31	-32	-33	-32	-32	-32	-31	-33	-36	-35	-37	-33	-35	-34	-36	-33
-20	-30	-29	-29	-27	-30	-28	-30	-29	-29	-28	-27	-29	-29	-28	-29	-29	-29	-28	-32	-32
-30	-25	-25	-24	-26	-25	-25	-25	-31	-26	-25	-25	-24	-26	-25	-24	-34	-24	-24	-24	-25
-40	-26	-26	-27	-26	-26	-27	-27	-27	-26	-27	-27	-26	-27	-27	-26	-28	-27	-27	-27	-27
-50	-32	-31	-31	-29	-32	-31	-31	-31	-30	-30	-32	-31	-30	-30	-31	-30	-32	-30	-31	-31
-60	-35	-33	-32	-34	-34	-34	-35	-34	-34	-33	-34	-33	-34	-35	-34	-36	-38	-36	-37	-37
-70	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-34	-35	-35	-36	-36	-37	-35	-37	-34	-35	-36	-37	-36	-37
-80	-37	-35	-36	-35	-36	-34	-36	-35	-34	-34	-36	-36	-36	-36	-35	-35	-37	-36	-37	-36
-90	-34	-30	-32	-30	-33	-32	-34	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-31	-32	-33	-32	-33	-30
-100	-34	-34	-33	-33	-34	-33	-34	-33	-33	-35	-34	-32	-35	-32	-32	-32	-31	-32	-32	-30
-110	-35	-35	-36	-37	-37	-37	-38	-37	-36	-36	-37	-36	-36	-35	-36	-37	-37	-37	-35	-36
-120	-32	-35	-32	-33	-34	-33	-32	-33	-33	-33	-34	-32	-33	-33	-34	-34	-33	-34	-34	-33
-130	-37	-36	-35	-37	-36	-36	-37	-38	-37	-36	-36	-37	-40	-40	-40	-38	-38	-38	-38	-39
-140	-42	-40	-42	-39	-40	-37	-36	-36	-37	-36	-38	-37	-36	-36	-36	-34	-36	-33	-34	-34
-150	-32	-31	-32	-30	-31	-31	-32	-32	-32	-32	-30	-29	-29	-32	-30	-32	-33	-30	-30	-30
-160	-35	-35	-35	-34	-34	-35	-33	-35	-35	-35	-35	-34	-34	-34	-35	-34	-36	-35	-37	-35
-170	-38	-37	-37	-34	-32	-34	-31	-32	-33	-31	-32	-33	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-33

Estacion 2																				
Δy(cm)	Δx(cm) = 20																			
0	-38	-37	-38	-37	-38	-38	-37	-38	-38	-36	-38	-37	-36	-39	-36	-35	-34	-36	-37	-37
-10	-31	-31	-33	-32	-30	-32	-31	-31	-32	-32	-31	-33	-32	-32	-32	-31	-31	-32	-33	-33
-20	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-27	-27	-28	-27	-29	-28	-30	-27	-28	-28	-28	-27	-29	-25
-30	-33	-34	-31	-33	-35	-36	-36	-32	-35	-36	-34	-33	-35	-34	-35	-34	-34	-35	-37	-34
-40	-29	-31	-31	-30	-30	-30	-30	-30	-31	-32	-30	-30	-31	-29	-30	-31	-30	-30	-31	-30
-50	-29	-28	-29	-28	-30	-28	-28	-29	-28	-27	-28	-26	-28	-29	-28	-28	-30	-28	-29	-28
-60	-30	-29	-30	-29	-28	-31	-29	-30	-29	-29	-33	-31	-32	-32	-33	-33	-33	-32	-33	-33
-70	-37	-38	-37	-38	-32	-33	-32	-33	-33	-32	-32	-32	-32	-30	-30	-30	-33	-32	-34	-30
-80	-33	-33	-34	-33	-31	-33	-34	-31	-33	-30	-31	-32	-30	-32	-32	-32	-31	-31	-31	-32
-90	-34	-34	-33	-31	-31	-33	-34	-33	-34	-33	-33	-33	-31	-31	-35	-34	-35	-33	-34	-33
-100	-35	-32	-33	-34	-33	-33	-33	-32	-33	-33	-34	-32	-33	-32	-33	-32	-33	-32	-33	-32
-110	-36	-36	-36	-37	-37	-38	-38	-36	-35	-35	-36	-37	-35	-36	-32	-33	-33	-33	-31	-32
-120	-38	-37	-39	-38	-40	-38	-39	-37	-38	-39	-38	-39	-38	-38	-37	-38	-38	-38	-37	-37
-130	-37	-40	-38	-39	-39	-38	-40	-38	-39	-36	-38	-39	-37	-37	-38	-36	-36	-37	-36	-36
-140	-39	-40	-37	-38	-37	-41	-39	-38	-37	-39	-38	-39	-38	-36	-40	-37	-39	-40	-39	-39
-150	-35	-32	-33	-30	-34	-33	-32	-34	-33	-32	-31	-30	-31	-30	-31	-30	-32	-31	-31	-31
-160	-35	-33	-35	-34	-33	-34	-35	-33	-34	-35	-33	-33	-34	-35	-34	-33	-33	-34	-31	-33
-170	-38	-36	-38	-35	-37	-37	-36	-36	-37	-38	-36	-37	-38	-38	-38	-36	-39	-37	-35	-34

Estacion 2																				
Δy(cm)	Δx(cm) = 30																			
0	-31	-34	-33	-33	-34	-31	-32	-34	-33	-30	-29	-30	-31	-31	-29	-31	-30	-28	-30	-32
-10	-35	-35	-35	-33	-35	-34	-34	-35	-34	-34	-35	-36	-34	-35	-36	-34	-34	-35	-35	-35
-20	-30	-29	-30	-30	-30	-31	-30	-30	-32	-30	-30	-32	-30	-30	-31	-30	-30	-29	-31	-32
-30	-30	-30	-30	-30	-29	-30	-31	-30	-30	-30	-32	-32	-30	-31	-30	-31	-31	-29	-30	-32
-40	-34	-34	-33	-34	-33	-30	-31	-30	-29	-30	-29	-30	-30	-30	-28	-30	-30	-30	-30	-30
-50	-31	-31	-29	-30	-31	-31	-30	-31	-31	-31	-33	-34	-32	-33	-31	-30	-31	-33	-33	-33
-60	-41	-38	-40	-40	-41	-39	-39	-38	-38	-37	-38	-38	-38	-39	-38	-37	-37	-40	-37	-37
-70	-30	-32	-32	-31	-30	-29	-32	-31	-32	-32	-32	-31	-33	-32	-30	-31	-31	-31	-32	-34
-80	-36	-34	-35	-34	-35	-34	-33	-33	-34	-36	-34	-36	-32	-29	-32	-33	-32	-32	-33	-31
-90	-37	-37	-37	-38	-36	-38	-36	-37	-36	-37	-36	-37	-38	-36	-37	-38	-37	-37	-37	-36
-100	-36	-36	-36	-38	-37	-37	-36	-36	-37	-37	-36	-36	-36	-35	-37	-35	-36	-35	-36	-34
-110	-31	-34	-32	-34	-34	-33	-34	-36	-33	-33	-34	-34	-36	-34	-33	-34	-33	-34	-34	-33
-120	-33	-32	-33	-35	-32	-32	-31	-31	-33	-34	-33	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-34	-32	-33
-130	-36	-36	-36	-36	-35	-36	-35	-35	-36	-36	-37	-35	-35	-35	-36	-35	-34	-34	-34	-32
-140	-33	-34	-33	-32	-32	-34	-31	-33	-31	-33	-31	-33	-33	-32	-32	-32	-33	-32	-33	-32
-150	-33	-32	-32	-31	-34	-32	-30	-32	-32	-31	-32	-32	-31	-30	-29	-31	-32	-33	-30	-30
-160	-32	-34	-34	-32	-32	-31	-32	-34	-32	-32	-31	-32	-31	-31	-31	-32	-33	-32	-31	-32
-170	-39	-37	-37	-37	-37	-37	-36	-37	-36	-36	-37	-36	-36	-36	-36	-36	-37	-37	-36	-36

Estacion 2

Δy(cm)	Δx(cm) = 40																	
0	-36	-35	-35	-36	-37	-36	-35	-36	-36	-36	-36	-37	-35	-37	-36	-37	-36	-36
-10	-36	-35	-35	-35	-33	-35	-33	-34	-33	-33	-31	-34	-34	-35	-34	-36	-33	-34
-20	-34	-34	-34	-33	-36	-30	-29	-31	-31	-31	-31	-29	-30	-29	-31	-28	-27	-30
-30	-28	-28	-28	-29	-29	-28	-30	-30	-30	-30	-27	-31	-30	-30	-30	-31	-31	-29
-40	-32	-33	-30	-33	-32	-33	-33	-30	-31	-32	-32	-31	-33	-33	-32	-33	-34	-35
-50	-31	-28	-32	-30	-32	-30	-31	-30	-28	-28	-28	-27	-30	-28	-28	-30	-28	-27
-60	-35	-36	-35	-36	-35	-35	-36	-37	-36	-35	-36	-35	-37	-37	-36	-34	-37	-36
-70	-37	-37	-36	-36	-36	-37	-35	-35	-36	-37	-37	-40	-44	-41	-41	-40	-42	-41
-80	-36	-36	-36	-35	-34	-34	-36	-34	-35	-36	-36	-36	-36	-37	-36	-35	-36	-35
-90	-32	-33	-33	-34	-35	-34	-35	-32	-31	-33	-31	-30	-32	-33	-32	-32	-35	-32
-100	-32	-33	-33	-29	-33	-31	-32	-32	-32	-31	-34	-32	-32	-34	-33	-31	-33	-33
-110	-31	-34	-33	-33	-31	-32	-33	-31	-31	-31	-30	-31	-32	-31	-30	-28	-31	-30
-120	-36	-35	-37	-37	-37	-37	-38	-38	-37	-37	-38	-37	-39	-37	-38	-36	-37	-38
-130	-32	-33	-33	-33	-31	-32	-32	-33	-33	-35	-33	-34	-32	-34	-33	-33	-35	-34
-140	-41	-40	-42	-41	-41	-41	-41	-39	-40	-40	-40	-39	-38	-37	-35	-37	-35	-38
-150	-31	-31	-31	-31	-32	-30	-32	-31	-33	-31	-32	-33	-34	-31	-30	-34	-32	-31
-160	-33	-32	-34	-31	-29	-34	-31	-32	-33	-34	-32	-35	-31	-34	-34	-35	-32	-32
-170	-35	-35	-35	-35	-35	-34	-35	-35	-36	-34	-35	-34	-35	-34	-35	-35	-34	-34

Estacion 2

Δy(cm)	Δx(cm) = 50																	
0	-33	-33	-33	-32	-33	-33	-33	-32	-33	-33	-33	-33	-33	-34	-31	-33	-32	-33
-10	-36	-36	-35	-36	-35	-32	-31	-31	-32	-31	-31	-31	-31	-30	-31	-31	-29	-31
-20	-29	-28	-29	-28	-27	-27	-28	-35	-29	-29	-29	-28	-29	-29	-30	-28	-29	-28
-30	-32	-34	-33	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-35	-31	-33	-36	-33	-31	-36	-35	-34
-40	-33	-35	-31	-35	-34	-35	-33	-34	-33	-33	-32	-33	-33	-34	-30	-32	-33	-32
-50	-31	-32	-33	-35	-34	-34	-34	-33	-35	-34	-34	-35	-35	-34	-34	-32	-32	-35
-60	-32	-32	-33	-27	-29	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-28	-27	-28
-70	-35	-36	-36	-35	-35	-36	-35	-34	-34	-34	-37	-34	-36	-36	-35	-34	-35	-36
-80	-41	-41	-39	-41	-41	-40	-39	-40	-40	-39	-41	-39	-40	-40	-39	-39	-40	-39
-90	-28	-29	-28	-29	-31	-27	-27	-28	-29	-28	-27	-27	-28	-29	-29	-29	-28	-26
-100	-31	-29	-28	-31	-32	-32	-30	-32	-30	-30	-30	-30	-29	-30	-30	-29	-30	-30
-110	-33	-32	-29	-30	-32	-31	-33	-32	-33	-33	-31	-33	-33	-32	-33	-33	-31	-33
-120	-35	-31	-30	-30	-34	-30	-32	-33	-33	-33	-32	-31	-32	-33	-30	-32	-32	-33
-130	-31	-32	-29	-29	-31	-30	-30	-32	-30	-32	-30	-31	-31	-31	-30	-31	-32	-31
-140	-32	-32	-33	-33	-34	-33	-30	-33	-34	-33	-30	-31	-31	-31	-33	-32	-31	-27
-150	-29	-30	-30	-30	-31	-32	-31	-31	-30	-31	-30	-30	-29	-30	-29	-31	-30	-31
-160	-36	-33	-32	-33	-34	-33	-34	-33	-34	-33	-35	-34	-33	-32	-32	-36	-33	-32
-170	-36	-37	-36	-36	-36	-37	-35	-36	-35	-36	-36	-36	-36	-37	-34	-35	-38	-35

Estacion 2

Δy(cm)	Δx(cm) = 60																	
0	-31	-30	-32	-30	-33	-31	-31	-31	-33	-33	-33	-30	-31	-32	-29	-30	-33	-33
-10	-33	-32	-32	-31	-31	-31	-32	-31	-32	-32	-29	-30	-33	-32	-29	-34	-32	-32
-20	-30	-31	-31	-32	-31	-33	-32	-33	-31	-32	-33	-33	-29	-32	-31	-33	-33	-30
-30	-27	-25	-29	-28	-28	-29	-28	-29	-28	-28	-28	-28	-28	-29	-28	-28	-30	-29
-40	-33	-35	-33	-33	-33	-34	-30	-31	-33	-32	-30	-33	-33	-33	-32	-34	-33	-30
-50	-30	-30	-30	-31	-32	-30	-31	-29	-30	-29	-32	-33	-33	-34	-34	-33	-34	-34
-60	-36	-36	-37	-37	-36	-37	-36	-36	-38	-38	-36	-37	-37	-37	-37	-36	-36	-37
-70	-32	-31	-30	-31	-30	-31	-32	-32	-31	-31	-32	-34	-32	-30	-30	-31	-32	-31
-80	-34	-33	-34	-32	-34	-34	-32	-32	-33	-32	-32	-35	-33	-35	-33	-33	-33	-35
-90	-35	-33	-33	-33	-34	-30	-32	-35	-31	-33	-34	-32	-34	-33	-34	-30	-33	-34
-100	-33	-33	-32	-30	-32	-32	-32	-33	-32	-32	-31	-34	-33	-35	-40	-35	-32	-33
-110	-35	-34	-36	-35	-36	-35	-36	-35	-36	-34	-36	-35	-37	-37	-38	-36	-39	-37
-120	-33	-33	-33	-34	-33	-34	-33	-33	-33	-32	-32	-33	-33	-33	-34	-33	-33	-35
-130	-36	-35	-36	-34	-35	-36	-36	-35	-35	-36	-35	-36	-34	-35	-34	-34	-35	-33
-140	-33	-34	-35	-36	-34	-34	-34	-36	-34	-36	-35	-35	-34	-34	-34	-32	-31	-32
-150	-34	-33	-33	-34	-34	-35	-34	-33	-35	-35	-33	-33	-36	-33	-35	-33	-34	-33
-160	-35	-33	-34	-33	-33	-33	-32	-33	-33	-35	-35	-33	-33	-34	-33	-31	-34	-33
-170	-38	-37	-35	-36	-35	-35	-37	-35	-35	-36	-35	-35	-37	-39	-37	-37	-37	-38

ANEXO 04

Tablas de cálculo de Error Absoluto y Desviación Estándar

Measurements	$\Delta x = 10(\text{cm})$							Mean Absolute Error value (u)		Standar deviation (σ)		Root Mean Square (rmse)	
	N	NRX T (dBm)	NRX E1 (dBm)	NRX E2 (dBm)	$E_{i(E1-T)}$	$E_{i(E2-T)}$	E_{iE1}^2	E_{iE2}^2	uE1	uE2	$\sigma E1$	$\sigma E2$	rmseE1
18	-22.41	-28.35	-27.45	5.94	5.04	35.34	25.45	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-24.18	-30.60	-33.15	6.42	8.97	41.20	80.44	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-25.02	-31.60	-28.90	6.58	3.88	43.31	15.06	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-34.34	-26.00	-25.60	8.34	8.74	69.63	76.46	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-41.42	-27.80	-26.70	13.62	14.72	185.48	216.65	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-40.18	-31.00	-30.80	9.18	9.38	84.36	88.08	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-40.76	-34.70	-34.55	6.06	6.21	36.72	38.56	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-41.41	-35.40	-35.60	6.01	5.81	36.10	33.74	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-41.87	-36.65	-35.60	5.22	6.27	27.22	39.28	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-41.82	-35.75	-32.00	6.07	9.82	36.85	96.44	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-42.73	-34.65	-32.90	8.08	9.83	65.22	96.54	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-42.29	-39.25	-36.30	3.04	5.99	9.23	35.85	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-43.04	-35.90	-33.20	7.14	9.84	50.95	96.78	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-43.52	-40.70	-37.55	2.82	5.97	7.97	35.68	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-44.16	-42.80	-36.95	1.36	7.21	1.86	52.04	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-44.76	-33.65	-31.00	11.11	13.76	123.44	189.34	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-45.32	-37.10	-34.75	8.22	10.57	67.54	111.69	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11
18	-45.60	-36.75	-33.05	8.85	12.55	78.34	157.53	6.89	8.59	2.93	3.05	7.49	9.11

Measurements	N	$\Delta x = 20(\text{cm})$		$E_{i(E1-T)}$	$E_{i(E2-T)}$	E_{iE1}^2	E_{iE2}^2	Mean Absolute Error value (u)		Standar deviation (σ)		Root Mean Square (rmse)	
		NRX T (dBm)	NRX E1 (dBm)					NRX E2 (dBm)	uE1	uE2	$\sigma E1$	$\sigma E2$	rmseE1
18	-28.43	-40.80	-37.00	12.37	8.57	153.12	73.52	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-21.17	-30.00	-31.75	8.83	10.58	78.05	112.03	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-30.20	-29.10	-27.80	1.10	2.40	1.21	5.77	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-28.19	-34.10	-34.30	5.91	6.11	34.90	37.30	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-31.04	-29.35	-30.30	1.69	0.74	2.85	0.55	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-35.75	-28.15	-28.30	7.60	7.45	57.80	55.54	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-40.36	-29.70	-30.95	10.66	9.41	113.74	88.64	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-43.55	-37.00	-33.00	6.55	10.55	42.87	111.24	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-47.44	-33.25	-31.95	14.19	15.49	201.35	239.93	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-49.85	-34.20	-33.10	15.65	16.75	244.98	280.63	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-46.21	-37.60	-32.75	8.61	13.46	74.06	181.05	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-46.45	-38.05	-35.25	8.40	11.20	70.63	125.54	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-46.78	-38.40	-38.05	8.38	8.73	70.23	76.22	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-47.46	-39.60	-37.70	7.86	9.76	61.75	95.22	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-47.43	-42.65	-38.50	4.78	8.93	22.84	79.73	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-48.02	-35.90	-31.75	12.12	16.27	146.82	264.62	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-47.89	-39.15	-33.70	8.74	14.19	76.36	201.31	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01
18	-48.41	-38.65	-36.80	9.76	11.61	95.20	134.73	8.51	10.12	3.79	4.33	9.32	11.01

Measurements		$\Delta x = 30(\text{cm})$				Mean Absolute Error value (u)				Standar deviation (σ)		Root Mean Square (rmse)	
N	NRX T (dBm)	NRX E1 (dBm)	NRX E2 (dBm)	$E_{i(E1-T)}$	$E_{i(E2-T)}$	E_{iE1}^2	E_{iE2}^2	uE1	uE2	$\sigma E1$	$\sigma E2$	rmseE1	rmseE2
18	-31.95	-37.20	-31.30	5.25	0.65	27.59	0.42	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-22.47	-37.00	-34.65	14.53	12.18	210.98	148.24	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-26.84	-31.05	-30.35	4.21	3.51	17.70	12.30	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-33.72	-31.95	-30.40	1.77	3.32	3.15	11.05	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-31.09	-34.20	-30.75	3.11	0.34	9.66	0.12	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-32.98	-33.00	-31.30	0.02	1.68	0.00	2.82	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-34.56	-38.20	-38.65	3.64	4.09	13.24	16.72	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-38.01	-31.95	-31.40	6.06	6.61	36.74	43.71	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-40.43	-37.80	-33.40	2.63	7.03	6.91	49.39	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-43.89	-38.00	-36.90	5.89	6.99	34.65	48.81	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-50.35	-36.70	-36.15	13.65	14.20	186.38	201.70	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-48.29	-37.55	-33.65	10.74	14.64	115.43	214.44	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-50.96	-34.60	-33.05	16.36	17.91	267.70	320.83	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-53.06	-38.15	-35.20	14.91	17.86	222.37	319.05	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-49.73	-35.90	-32.45	13.83	17.28	191.37	298.72	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-49.73	-36.75	-31.50	12.98	18.23	168.41	332.24	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-50.27	-36.35	-32.05	13.92	18.22	193.70	331.88	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98
18	-50.23	-40.20	-36.60	10.03	13.63	100.55	185.71	8.53	9.91	5.41	6.73	10.10	11.98

Measurements		$\Delta x = 40(\text{cm})$				Mean Absolute Error value (u)				Standar deviation (σ)		Root Mean Square (rmse)	
N	NRX T (dBm)	NRX E1 (dBm)	NRX E2 (dBm)	$E_{i(E1-T)}$	$E_{i(E2-T)}$	E_{iE1}^2	E_{iE2}^2	uE1	uE2	$\sigma E1$	$\sigma E2$	rmseE1	rmseE2
18	-34.45	-37.25	-36.00	2.80	1.55	7.86	2.41	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-23.59	-36.65	-34.00	13.06	10.41	170.58	108.38	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-27.19	-34.70	-31.05	7.51	3.86	56.46	14.93	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-31.03	-30.15	-29.45	0.88	1.58	0.78	2.51	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-36.22	-34.20	-32.40	2.02	3.82	4.09	14.61	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-33.25	-30.35	-29.05	2.90	4.20	8.42	17.65	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-34.21	-38.00	-35.85	3.79	1.64	14.34	2.68	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-35.68	-39.00	-38.60	3.32	2.92	11.05	8.55	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-37.06	-36.95	-35.50	0.11	1.56	0.01	2.43	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-39.57	-33.50	-32.45	6.07	7.12	36.81	50.66	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-41.77	-34.95	-32.20	6.82	9.57	46.56	91.65	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-43.58	-34.00	-31.15	9.58	12.43	91.86	154.61	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-46.39	-40.25	-37.25	6.14	9.14	37.64	83.46	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-52.65	-35.10	-33.10	17.55	19.55	307.99	382.19	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-49.57	-41.00	-38.85	8.57	10.72	73.41	114.87	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-50.97	-34.45	-31.65	16.52	19.32	273.06	373.43	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-53.46	-35.20	-32.55	18.26	20.91	333.44	437.24	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41
18	-55.40	-38.40	-34.65	17.00	20.75	289.03	430.59	7.94	8.95	6.08	7.08	10.00	11.41

Measurements	$\Delta x = 50(\text{cm})$							Mean Absolute Error value (u)		Standar deviation (σ)		Root Mean Square (rmse)	
	N	NRX T(dBm)	NRX E1 (dBm)	NRX E2 (dBm)	$E_{i(E1-T)}$	$E_{i(E2-T)}$	E_{iE1}^2	E_{iE2}^2	uE1	uE2	$\sigma E1$	$\sigma E2$	rmseE1
18	-36.38	-37.70	-32.75	1.32	3.63	1.73	13.21	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-24.44	-38.95	-32.05	14.51	7.61	210.50	57.89	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-27.90	-29.05	-28.80	1.15	0.90	1.33	0.82	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-30.18	-32.25	-33.25	2.07	3.07	4.27	9.40	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-39.30	-34.75	-33.00	4.55	6.30	20.70	39.68	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-38.16	-37.05	-33.60	1.11	4.56	1.23	20.80	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-35.18	-29.30	-28.05	5.88	7.13	34.63	50.90	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-35.69	-36.00	-35.20	0.31	0.49	0.09	0.24	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-36.91	-40.35	-39.90	3.44	2.99	11.85	8.96	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-37.80	-31.80	-28.40	6.00	9.40	36.02	88.39	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-39.00	-33.00	-30.10	6.00	8.90	35.98	79.18	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-41.34	-34.80	-32.00	6.54	9.34	42.81	87.29	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-42.66	-35.00	-32.00	7.66	10.66	58.62	113.55	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-44.67	-33.70	-30.70	10.97	13.97	120.40	195.23	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-45.66	-34.75	-31.35	10.91	14.31	119.05	204.80	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-48.32	-38.00	-30.10	10.32	18.22	106.58	332.10	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-54.46	-37.75	-33.45	16.71	21.01	279.39	441.63	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57
18	-51.27	-43.70	-36.00	7.57	15.27	57.36	233.29	6.50	8.77	4.74	5.91	8.04	10.57

Measurements	$\Delta x = 60(\text{cm})$							Mean Absolute Error value (u)		Standar deviation (σ)		Root Mean Square (rmse)	
	N	NRX T(dBm)	NRX E1 (dBm)	NRX E2 (dBm)	$E_{i(E1-T)}$	$E_{i(E2-T)}$	E_{iE1}^2	E_{iE2}^2	uE1	uE2	$\sigma E1$	$\sigma E2$	rmseE1
18	-37.97	-36.90	-31.40	1.07	6.57	1.14	43.14	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-24.84	-32.65	-31.55	7.81	6.71	61.02	45.04	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-28.50	-33.35	-31.70	4.85	3.20	23.57	10.27	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-30.71	-30.60	-28.15	0.11	2.56	0.01	6.54	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-32.86	-32.70	-32.55	0.16	0.31	0.03	0.10	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-41.30	-33.35	-31.90	7.95	9.40	63.26	88.43	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-39.74	-39.55	-36.70	0.19	3.04	0.04	9.27	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-37.43	-33.60	-31.05	3.83	6.38	14.70	40.76	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-37.11	-35.80	-33.10	1.31	4.01	1.72	16.10	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-37.74	-35.95	-32.95	1.79	4.79	3.19	22.90	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-39.00	-35.00	-32.95	4.00	6.05	16.00	36.60	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-39.51	-38.95	-36.00	0.56	3.51	0.31	12.30	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-40.58	-37.15	-33.15	3.43	7.43	11.78	55.23	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-42.00	-36.05	-34.85	5.95	7.15	35.41	51.13	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-44.03	-38.90	-33.70	5.13	10.33	26.34	106.75	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-45.30	-35.80	-33.80	9.50	11.50	90.16	132.14	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-46.45	-37.50	-33.45	8.95	13.00	80.07	168.96	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48
18	-48.51	-41.15	-36.30	7.36	12.21	54.13	149.01	4.11	6.56	3.24	3.59	5.24	7.48

ANEXO 05

Configuración de la Estación 1 modo Access Point

The screenshot shows the 'STATUS' page of the NanoStation2 interface. The top navigation bar includes 'MAIN', 'WIRELESS', 'NETWORK', 'ADVANCED', 'SERVICES', and 'SYSTEM'. The 'airOS' logo is in the top right corner. The 'STATUS' section displays various system parameters:

Base Station SSID:	REPETIDOR	AirMax Capacity:	- %
AirMax Quality:	- %	Channel:	6
Frequency:	2437 MHz	Noise Floor:	-96 dBm
Antenna:	Horizontal	ACK Timeout:	30
Security:	WPA2	Date:	2015-07-24 13:59:52
Uptime:	00:17:59	Host Name:	UBNT
LAN Cable:	ON	LAN IP Address:	192.168.1.30
LAN MAC:	00:27:22:1F:75:B4	WLAN IP Address:	192.168.1.30
WLAN MAC:	00:27:22:1E:75:B4	Extra info:	- - -

A 'Refresh' button is located at the bottom right of the status area.

The screenshot shows the 'BASIC WIRELESS SETTINGS' and 'WIRELESS SECURITY' pages of the NanoStation2 interface. The top navigation bar includes 'MAIN', 'WIRELESS', 'NETWORK', 'ADVANCED', 'SERVICES', and 'SYSTEM'. The 'airOS' logo is in the top right corner.

BASIC WIRELESS SETTINGS

- Wireless Mode: Access Point
- SSID: REPETIDOR Hide SSID
- Country Code: PERU
- IEEE 802.11 Mode: B/G mixed
- Channel Spectrum Width: 20MHz Max Datarate: 54Mbps
- Channel Shifting: Disabled
- Channel: 6 - 2437 MHz
- Output Power: 10 dBm Auto EIRP regulatory limiter
- Data Rate, Mbps: 54 Auto

WIRELESS SECURITY

- Security: WPA2-AES
- Authentication Type: Open Shared Key
- WEP Key Length: 64 bit
- WEP Key:
- WPA Preshared Key: qwertyuop
- MAC ACL: Enabled
- Key Type: HEX
- Key Index: 1
- Policy: Allow
-
- MAC:
- MAC Comment:

NanoStation2 airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: [v] Logout

Network Mode: Bridge [v]
 Disable Network: None [v]

NETWORK SETTINGS

Bridge IP Address: DHCP Static

IP Address: 192.168.1.30
 Netmask: 255.255.255.0
 Gateway IP: 192.168.1.1
 Primary DNS IP: 4.4.4.4
 Secondary DNS IP: 8.8.8.8
 DHCP Fallback IP: 192.168.1.20
 Spanning Tree Protocol:

Auto IP Aliasing:
 IP Aliases: [Configure...](#)

FIREWALL SETTINGS

Enable Firewall: [Configure...](#)

[Change](#)

NanoStation2 airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: [v] Logout

ADVANCED WIRELESS SETTINGS

Rate Algorithm: EWMA [v]
 Noise Immunity: Enabled
 RTS Threshold: 2346 Off
 Fragmentation Threshold: 2346 Off
 Distance: 2.5 miles (4 km)
 ACK Timeout: 48 Auto Adjust
 Multicast Data: Allow All
 Multicast Rate, Mbps: 1 [v]
 Extra Reporting: Enabled
 Installer EIRP Calculation: Enabled
 Enable Client Isolation:

ANTENNA

Antenna Settings: Horizontal [v]

SIGNAL LED THRESHOLDS

	LED1	LED2	LED3	LED4
Thresholds, dBm:	-94	-80	-73	-65

ANEXO 06

Configuración de la Estación 2

NanoStation2 airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Herramientas: Salir

ESTADO

SSID Estación Base:	REPETIDOR	MAC AP:	00:27:22:1E:75:B4
Fuerza de la señal:		-30 dBm	AirMax: Inhabilitado
Calidad AirMax:	- %	Capacidad AirMax:	- %
TX Tasa:	54 Mbps	Tasa RX :	1 Mbps
Frecuencia:	2437 MHz	Canal:	6
Antena:	Horizontal	Ruido Base:	-95 dBm
Seguridad:	WPA2	Time out:	26
CCQ Transmisión:	97%	Estado QoS:	No QoS
Tiempo en funcionamiento:	00:11:17	Fecha:	2015-07-24 13:53:11
Cable LAN:	ON	Nombre del Host:	UBNT
LAN MAC:	00:15:6D:AE:44:C9	LAN Dirección IP:	192.168.1.20
MAC WLAN:	00:15:6D:AD:44:C9	Dirección IP WLAN:	192.168.1.20
Información Adicional:	- - -		

NanoStation2 airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Herramientas: Salir

CONFIGURACION INALÁMBRICA BÁSICA

Modo Inalámbrico: Estación Clonar MAC
ESSID: REPETIDOR Seleccione...
Vincular al MAC AP: 00:27:22:1E:75:B4
Código País: PERU Change...
Modo IEEE 802.11: B/G mixto
Anchura del espectro de canal: 20MHz Vel. máx. de datos: 54Mbps
Cambio de canal: Inhabilitado
Lista de exploración de canales: Habilitado 6 Edición...
Potencia de salida: 10 dBm Autolimitar PIRE según dominio regulatorio
Velocidad de datos, Mbps: 54 Auto

SEGURIDAD INALÁMBRICA

Seguridad: WPA2-AES
Tipo de autenticación: Abierto Clave compartida
Longitud Clave WEP: 64 bit Tipo de Clave: HEX
Clave WEP: Índice Clave: 1
Autenticación WPA: PSK EAP-TTLS MSCHAPV2
WPA Clave Pre-Compartidas: qwertyuiop
Identidad anónima WPA:
Usuario WPA:
Clave de usuario WPA:
Cambiar

© Copyright 2006-2015 Ubiquiti Networks

NanoStation2 airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Herramientas: Salir

Modo de Red: Bridge
Desactivar Red: Ninguno

CONFIGURACIÓN DE LA RED

Dirección IP Bridge: DHCP Estático

Dirección IP: 192.168.1.20 Asignar Alias de IP Automáticamente:

Máscara de red: 255.255.255.0 Alias IP:

IP Puerta de Enlace: 192.168.1.1

IP DNS Primario:

IP DNS Secundario:

DHCP Fallback IP: 192.168.1.20

Protocolo Spanning Tree:

CONFIGURACIÓN DEL FIREWALL

Activar Firewall:

© Copyright 2006-2015 Ubiquiti Networks

NanoStation2 airOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Herramientas: Salir

CONFIGURACIÓN INALÁMBRICA AVANZADA

Prioridad AirMax: None

Algoritmo de Velocidad: EWMA

Inmunidad al ruido: Habilitado

Umbral RTS: 2346 Apagado

Umbral de fragmentación: 2346 Apagado

Distancia: millas (4 km)

Time out: 48 Ajuste automático

Datos de Multidifusión: Permitir Todos

Tasa Multidifusión, Mbps: 1

Informe Extra: Habilitado

Installer EIRP Calculation: Habilitado

ANTENA

Configuración de antena: Horizontal

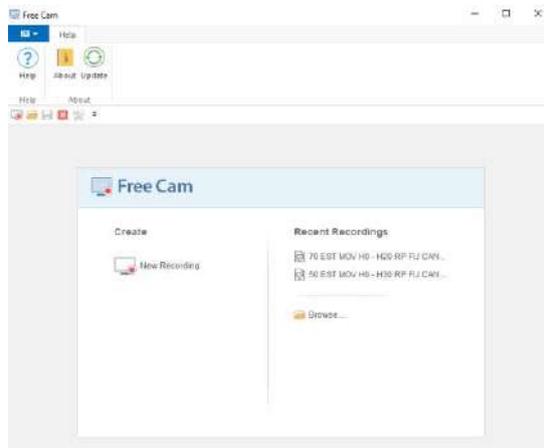
UMBRALES DE LED DE SEÑAL

	LED1	LED2	LED3	LED4
Umbral, dBm:	-94	-80	-73	-65

ANEXO 07

Programa de captura de datos visuales – Free Cam 8

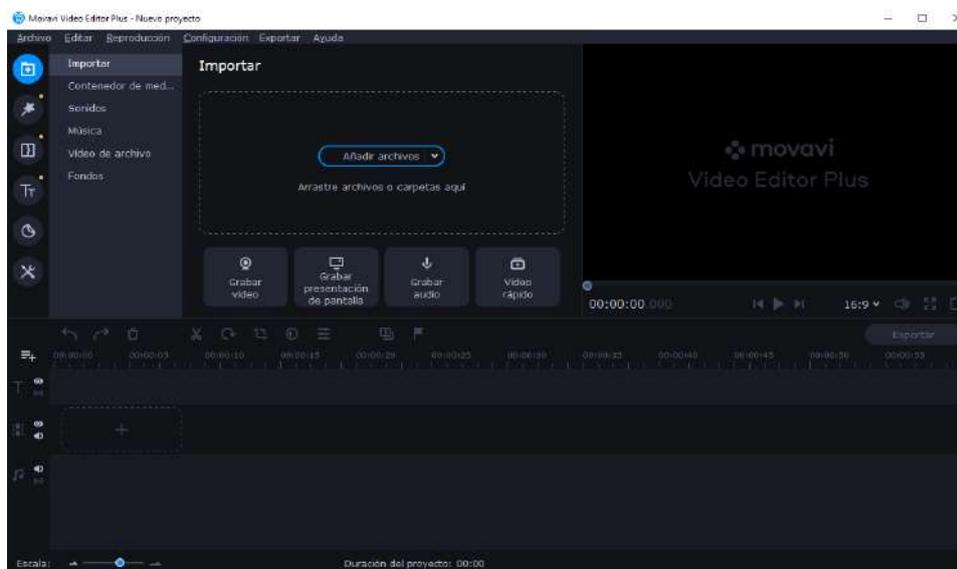
Permite recolectar los datos en forma de video con formato AVI, esto se realizó por cada ubicación una grabación en un rango de 22seg. a 30seg.



Programa Cam Free 8

Programa de visualización de datos recolectados Movavi Video Editor Plus

Este programa Movavi Video permitió visualizar y recolectar los datos cada 1 segundo, ya que este programa presenta una precisión de 0.5 segundos.



Programa Movavi Video Editor Plus

ANEXO 08

Estructura de pruebas



