



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA EN  
LA BANDA DE 2.4 GHZ EN ZONAS DE BAJA COBERTURA ALIMENTADA  
POR ENERGÍA SOLAR**

**AUTOR**

ANTHONY BRYAN LASCANO DE LA CRUZ

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO EN  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR**

ING. FERNANDO VINICO CHAMBA MACAS Mgt.

**Santa Elena, Ecuador**

**Año 2025**



**UPSE**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Ing. Ronald Rovira Jurado, PhD.  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

Ing. Fernando Chamba Macas, Mgt.  
**DOCENTE TUTOR**

Ing. Luis Amaya Fajino, Mgt.  
**DOCENTE GUÍA UIC/ ESPECIALISTA**

Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgt.  
**SECRETARIA**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Lascano De La Cruz Anthony Bryan, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

La Libertad, a los 16 días del mes de diciembre del año 2025

TUTOR



---

Ing. Fernando Vinicio Chamba Macas Mgt.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Lascano De La Cruz Anthony Bryan**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, a los 16 días del mes de diciembre del año 2025

**TUTOR**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "F. Chamba Macas", is written over a horizontal line.

**Ing. Fernando Vinicio Chamba Macas Mgt.**



**UPSE**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Lascano De La Cruz Anthony Bryan

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, Implementación de un prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz en zonas de baja cobertura alimentada por energía solar previo a la obtención del título en Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 16 días del mes de diciembre del año 2025

EL AUTOR

Lascano De La Cruz Anthony Bryan

## AGRADECIMIENTO

*“La gratitud no sólo es la mayor de todas las virtudes, sino que es la madre de todas las demás.”*

*(Marco Tulio Cicerón)*

*Este trabajo de titulación representa el cierre de una etapa académica construida a lo largo de los años, marcada por aprendizajes, desafíos y crecimiento personal.*

*Expreso mi más sincero agradecimiento a mi madre, Odalia De La Cruz, por su amor sincero e incondicional, fortaleza y apoyo permanente, y a mi padre, Mc Evoy Lascano, por su experiencia, paciencia y enseñanzas, que fueron pilares fundamentales en mi formación personal y académica. Su sacrificio se ve reflejado en cada logro y cada meta cumplida.*

*A mis amigos Mayrin, Gregory, Sebastián, Gabriel, Melanie, Erika, Nubia, Fiorella, José, Diego, y a todos aquellos que con orgullo puedo llamar amigos, me enseñaron que la dedicación y el esmero no solo se reflejan en un buen trabajo, sino en la calidad humana con la que se afrontan los retos. Fue un privilegio haberlos conocido y haber progresado juntos; un regalo de la vida por el cuál estaré eternamente agradecido.*

*Agradezco infinitamente a Carolina, Antonella, Juan y Gabriela, quienes, sin ser mi familia de sangre, se convirtieron en una parte esencial de mi vida. Gracias por demostrarme que, incluso en medio de las*

*dificultades y pérdidas, la vida conserva su significado cuando se comparte con personas sinceras y leales. Sin ellos no estuviera donde estoy ahora.*

*Finalmente, expreso mi agradecimiento a los ingenieros que aportaron sus conocimientos a lo largo de mi formación académica, así como a las autoridades de la facultad. De manera especial, al Ingeniero Daniel Jaramillo Chamba, por su compromiso, claridad en la enseñanza y por valorar no solo el rendimiento académico, sino también el esfuerzo y crecimiento como persona.*

*Anthony Bryan, Lascano De La Cruz*

## DEDICATORIA

*“Quienes partieron no se han ido: viven en lo que nos enseñaron”.*

*(Anthony Lascano)*

Este trabajo de titulación se lo dedico no solo a quienes aún están a mi lado, sino aun más para quienes ya no lo están.

Nombro a mi hermano, Wladimir Lascano, quien fue mi más grande orgullo y mi inspiración, y quién extrañaré por toda mi vida. Fue alguien a quien admiré desde pequeño y que hoy en día lo sigo admirando. Tu partida me causó una decaída de las que no me podré recuperar por completo, pero aun levanto la frente, y los recuerdos que tengo son una fuerza inconmensurable que me permite seguir adelante.

A mis abuelos paternos, Mery Espinoza y Arnaldo Lascano, quienes me enseñaron que la familia es lo más importante, a través de su bondad, cariño y rectitud, y que siempre debo hacer las cosas por el buen camino, aun cuando todo esté en contra.

A mi bisabuelo materno, Julio De La Cruz, quien pudo disfrutar de mi niñez, y quién me enseñó el valor del heroísmo y de ser agradecido con todo lo que nos rodea. En sus días de gloria me contaba cómo salvó una vida, y con orgullo puedo decir que fue uno de los primeros héroes que tuve. Cumplió su misión en esta vida y fue llamado por Dios.

Al Ing. Jaime Moisés Minchala Marquino Mgt., por su sabiduría y enseñanzas. Siempre le tuve una profunda estima por la gran paciencia y cariño que brindaba a sus estudiantes con cada clase impartida. Lamenté con desgarré su partida y sentí una culpa inmensa por no haber podido hacer más

por él. Me demostró que, a pesar de su gran dolor, seguía dando todo de sí por aquello que amaba, y que con una buena compañía, como lo fueron su esposa y su mascota, la vida puede ser más cálida hasta el último momento.

Y, por último, pero no menos importante, a mis mascotas Sofía y Moncho. Amé cada segundo de su compañía durante mi niñez y adolescencia. Con ustedes aprendí lo que es dar y recibir amor incondicional. A pesar de que no siempre fui una buena persona, con su inocencia me recibían con la misma emoción cada vez que me veían. El destino no permitió que sigan a mi lado, pero los llevaré en mis recuerdos y en mi corazón hasta mi último aliento. Infinitamente gracias a todos.

*Anthony Bryan, Lascano*

# ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.		
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.		
CERTIFICACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.		
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	¡Error! Marcador no definido.		
DECLARO QUE: .....	¡Error! Marcador no definido.		
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO.....	¡Error! Marcador no definido.		
AUTORIZACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.		
AGRADECIMIENTO .....	VI		
DEDICATORIA .....	VIII		
ÍNDICE GENERAL .....	X		
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV		
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI		
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XXII		
RESUMEN .....	XXIII		
ABSTRACT.....	XXIV		
INTRODUCCIÓN .....	25		
CAPÍTULO I .....	26		
1.GENERALIDADES	DE	LA	PROPUESTA

1.1	Antecedentes .....	26
1.2.	Descripción del Proyecto .....	29
1.3.	Objetivos del proyecto .....	32
1.3.1.	Objetivo General.....	32
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	32
1.4.	Marco Conceptual .....	33
1.5.	Justificación.....	37
1.6.	Alcance del Proyecto.....	38
1.7.	Metodología .....	39
1.8.	Marco contextual.....	41
CAPÍTULO II.....		43
2.FUNDAMENTOS           TEÓRICOS           DE           LA           PROPUESTA		
43		
2.1.	Marco Teórico .....	43
2.1.1.	Tipos de redes.....	43
2.1.2.	Tecnologías en redes inalámbricas.....	51
2.1.3.	Características de Wi-Fi.....	54
2.1.4.	Estándares de Wi-Fi .....	59
2.1.5.	Seguridad en redes Wi-Fi.....	62
2.1.6.	Bandas de operación de Wi-Fi .....	63

2.1.7. Mediciones de potencia en redes Wi-Fi .....	67
2.1.8. Energías renovables.....	73
2.1.9. Tipos de energías renovables .....	75
2.1.10. Sistema fotovoltaico.....	80
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>87</b>
3.1. Componentes de la propuesta.....	87
3.1.1 Comparativa de componentes .....	94
3.2. Arquitectura de la red.....	97
3.3. Diseño del prototipo de un sistema fotovoltaico autónomo.....	97
3.3.1. Diseño de la propuesta .....	97
3.3.2 Dimensionamiento energético del sistema fotovoltaico portátil.....	99
3.3.3. Modelo 3d del prototipo.....	103
3.4. Implementación del Prototipo .....	104
3.5. Mediciones de potencia en redes wifi .....	112
3.5.1. Plan de medición (malla de puntos, hora/día, altura).....	112
3.5.2. Parámetros.....	113
3.6. Hardware propuesto (Ap, Paneles solares, Cámara de seguridad, Narda).....	121
3.7. Software propuesto.....	134
3.7.1. Configuración del AP: utilidad del fabricante.....	134
3.7.2. Site survEy Wi-Fi: Acrylic Wi-Fi Heatmaps .....	138

3.8. Comparativa cuantitativa.....	151
3.9. Estudio de Factibilidad.....	152
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>154</b>
4.1. Resultados .....	154
4.1.1. Evaluación de cobertura e intensidad de la señal Wi-Fi .....	154
4.2. Análisis Comparativo de la conectividad en la cancha natural.....	155
4.2.1. Escenario sin prototipo.....	155
4.2.2. Escenario con prototipo en operación .....	157
4.2.3. Análisis de resultados obtenidos Comparación de indicadores de desempeño y mapas de calor.....	160
4.3. Mediciones de campo electromagnético con el Narda SRM 3006 .....	163
4.3.1. Resultados en la banda de 2.4 GHz.....	163
4.3.2. Comparación con límites normativos de exposición.....	164
4.4. Resultado de las encuestas a usuarios .....	165
4.4.1 Caracterización de la muestra y aplicación del cuestionario.....	165
4.4.2. Resultados antes de la implementación del prototipo .....	166
4.4.3. Resultados después de la implementación del prototipo.....	172
4.4.4. Comparación de percepciones antes y después.....	177
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>179</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>181</b>

REFERENCIAS.....	182
ANEXOS .....	193

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de Tipos de Antenas .....	95
Tabla 2: Estadísticas de Voltajes .....	95
Tabla 3: Parámetros de diseño .....	115
Tabla 4: Parámetros operativos.....	116
Tabla 5: Tabla de valores comparativos .....	161
Tabla 6: Niveles de campo eléctrico medidos en cada punto de evaluación .....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Red de Área Personal [15].....	44
Figura 2: Red de Área Local [16] .....	44
Figura 3: Red de Área Metropolitana [16].....	45
Figura 4: Red de Área Amplia [17] .....	46
Figura 5: Red o Topología en Estrella [20] .....	49
Figura 6: Red o Topología en Malla [21] .....	50
Figura 7: Red o Topología en Árbol [22] .....	50
Figura 8: Zona de Fresnel [41].....	65
Figura 9: Teoría del espectro de frecuencia [44] .....	67
Figura 10: Energía Solar [54] .....	76
Figura 11: Energía Eólica [55].....	76
Figura 12: Energía Hidroeléctrica [56].....	77
Figura 13: Energía Geotérmica [57] .....	78
Figura 14: Energía Mareomotriz y Undimotriz [58].....	79
Figura 15: Tanques de Biogás [59].....	80
Figura 16: Estructura típica de una celda solar tipo homojuntura [64].....	82
Figura 17: Tipos de Radiaciones [67].....	83

Figura 18: Sistema Fotovoltaico Aislado (Buele) [68] .....	85
Figura 19: Sistema Híbrido (Clamper) .....	85
Figura 20 – Narda (Analizador de Espectro en Tiempo Real) [70] .....	89
Figura 21 - Panel Solar [72].....	89
Figura 22: Batería de Litio de 500 Ah [74].....	91
Figura 23: Visualización de un Inversor Solar [75].....	92
Figura 24: Antena Waylink ac600 [76] .....	93
Figura 25: Cámara de seguridad IP [77].....	94
Figura 26: Estructura del Prototipo Fotovoltaico.....	99
Figura 27: Modelo 3D del prototipo elaborado por fusión 360 .....	104
Figura 28: Prototipo de red inalámbrica alimentado por energía solar.....	105
Figura 29: Compartimento de conexiones .....	106
Figura 30: Instalación de la antena WAVLINK AC600 y de la cámara de seguridad ...	107
Figura 31: Armado de la estructura portátil.....	109
Figura 32: Tendido de conexiones hacia el regulador .....	110
Figura 33: Conexión de la antena hacia el inversor .....	111
Figura 34: Extensión eléctrica múltiple conectada a la salida del inversor .....	112
Figura 35: Controlador Solar [79].....	125

Figura 36: Pantalla de inicio del controlador de carga .....	127
Figura 37: Tensión para la batería .....	128
Figura 38: Salida de carga activa .....	128
Figura 39: Configuración para protección de la batería.....	129
Figura 40: Configuración del tiempo de salida de tensión .....	130
Figura 41: Selección del tipo de batería según el fabricante .....	130
Figura 42: Acceso a la interfaz web del equipo WAVLINK AC600. ....	134
Figura 43: Selección del modo de operación (AP / Repetidor). ....	135
Figura 44: Selección de la red principal universitaria a repetir/enlazar.....	136
Figura 45: Configuración del SSID y contraseña del prototipo.....	136
Figura 46: Programación de reinicio automático del equipo. ....	137
Figura 47: Interfaz dde Acrylic Wi-Fi Heatmaps:carga de plano y parametros de simulación .....	139
Figura 48: Ejemplo dde mapa e calir simulado de cobertura en 2.4 GHz en la cancha natural .....	140
Figura 49: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2. 4 GHz en el PUNTO A. ....	141
Figura 50: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2. 4 GHz en el PUNTO B. ....	142
Figura 51: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2. 4 GHz en el PUNTO C. ....	142
Figura 52: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2. 4 GHz en el PUNTO D. ....	143

Figura 53: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO E .	143
Figura 54: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO F..	144
Figura 55: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO G.	144
Figura 56: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO H.	145
Figura 57: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO I ..	145
Figura 58: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO J ..	146
Figura 59: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO K.	146
Figura 60: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO L .	147
Figura 61: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO M	147
Figura 62: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO N.	148
Figura 63: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO O.	148
Figura 64: Mediciones sin la presencia del prototipo .....	155
Figura 65: Mediciones en la cancha natural .....	156
Figura 66: Mapa de calor en 3D generado con Acrylic WiFi HeatMaps .....	157
Figura 67: Trayectoria con el prototipo en la zona de estudio.....	158
Figura 68: Mapa de calor con el prototipo.....	159
Figura 69: Distribución espacial del nivel de señal (RSSI/dBm) .....	160
Figura 70: Datos de la red de ESTUDIANTES .....	161

Figura 71: Resumen porcentual de las respuestas del cuestionario inicial .....	167
Figura 72: ¿Con que frecuencia circula en la cancha natural o cerca de ella? – Encuesta Inicial .....	168
Figura 73: ¿Actualmente tiene acceso a una red Wi-Fi en esta zona? - Encuesta Inicial	168
Figura 74: ¿La calidad se servicio Wi-Fi en esta zona es suficiente para sus actividades? .....	169
Figura 75: ¿La conexión actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes? - Encuesta Inicial.....	169
Figura 76: ¿La velocidad de la conexión actual le permite realizar videollamadas, clases virtuales o envío de trabajos sin problema? - Encuesta Inicial.....	170
Figura 77: En esta zona, ¿Rara vez pierde la conexión o tiene “zonas muertas” sin cobertura?- Encuesta Inicial.....	170
Figura 78: En esta zona, ¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica? - Encuesta Inicial .....	171
Figura 79: En general, ¿Está satisfecho(a) con el servicio de conectividad actual en la cancha natural y su perímetro? - Encuesta Inicial .....	171
Figura 80: ¿Considera importante que la universidad mejore la conectividad en la cancha natural y sus alrededores? - Encuesta Inicial .....	172
Figura 81: Distribución de respuestas a la encuesta posterior a la implementación.....	173

Figura 82: Después de la instalación del prototipo, ¿Cómo califica la calidad del servicio Wi-Fi en la cancha natural en comparación con antes? - Encuesta Final.....	174
Figura 83: ¿La conexión Wi- Fi actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes? - Encuesta Final.....	174
Figura 84: ¿La velocidad de la conexión actual me permite realizar videollamadas o clases virtuales sin problemas? - Encuesta Final.....	175
Figura 85: Instalado el prototipo, ¿Ha vuelto a tener “zonas muertas” sin cobertura en la cancha natural o cerca de ella? - Encuesta Final.....	175
Figura 86: ¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica con la conexión actual? – Encuesta Final.....	176
Figura 87: En general, ¿Está conforme con el servicio de conectividad actual en l acancha natural y su perímetro? - Encuesta Final.....	176
Figura 88: ¿Consideró que la implementación del prototipo mejoró la conectividad en esta zona? - Encuesta Final .....	177

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Función de la Longitud de onda.....	88
Ecuación 2: Formula para el us de baterias óptimas.....	90
Ecuación 3: Potencia del diseño (AP).....	99
Ecuación 4: Potencia total demandada por el sistema de comunicaciones.....	100
Ecuación 5: Consumo energético diario .....	100
Ecuación 6: Energía necesaria para el prototipo.....	100
Ecuación 7: Potencia mínima reuquerida del panle fotovoltaico.....	101
Ecuación 8: Capacidad mínima requerida de la batería.....	101
Ecuación 9: Energía nominal de la bateria seleccionada .....	101
Ecuación 10: Energía útil disponible de la batería considerando un DoD del 50% .....	102
Ecuación 11: Corriente máxima estimada proveniente del panel fotovoltaico.....	102
Ecuación 12: Dimensionamiento de la potencia nominal del inversor.....	103
Ecuación 13: Calculo de la potencia nominal mínima del inversor.....	103

## RESUMEN

Esta investigación propone y valida un prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz alimentado por energía solar para cubrir áreas de baja cobertura dentro de la Universidad Estatal Península De Santa Elena. El sistema busca brindar conectividad autónoma y portátil donde la infraestructura eléctrica es limitada, integrando de forma práctica telecomunicaciones y energías renovables. El diseño considera una antena externa WAVLINK AC600, una cámara de seguridad IP con paneles solares, inversor, convertidor y baterías. Seleccionados por su compatibilidad, su eficiencia y capacidad de adaptación al entorno. Para garantizar seguridad y cumplimiento normativo donde se prevé un análisis de las regulaciones sobre radiación electromagnética y mediciones con equipo NARDA de densidad de potencia y otros parámetros de la red. En el plano técnico se evalúa la integración de los componentes y su desempeño en tiempo real para asegurar calidad de servicio. Asimismo, se estudia la conversión fotovoltaica y el almacenamiento energético, destacando beneficios ambientales al reducir la dependencia de fuentes convencionales y promover prácticas sostenibles en telecomunicaciones. La investigación incluye un análisis de factibilidad técnica, ambiental y operativa, con énfasis en portabilidad y funcionamiento bajo variaciones de radiación solar. Aunque concebido como prototipo, el sistema es escalable y replicable en zonas rurales u otros contextos con necesidades similares. Resultados serán documentados.

**Palabras claves:** Wavlink, Narda, Potencia, Sostenibilidad, Radiación

## ABSTRACT

This study proposes and validates a solar-powered wireless network prototype operating at 2.4 GHz to extend coverage in low-service areas on campus. The system delivers autonomous, portable connectivity where electrical infrastructure is limited, pragmatically merging telecommunications and renewable energy. The design considers an external WAVLINK AC600 antenna, an IP security camera, solar panels, inverter, converter, and batteries, selected for compatibility, efficiency, and environmental adaptability. To ensure safety and regulatory compliance, it includes a review of electromagnetic-exposure rules and field measurements with a Narda instrument to capture power density and other network parameters. Technically, the project evaluates component integration and real-time performance to guarantee service quality. It also examines photovoltaic conversion and energy storage, highlighting environmental gains by reducing dependence on conventional sources and promoting sustainable practices in telecommunications. The research incorporates technical, environmental, and operational feasibility analyses, emphasizing portability and performance under fluctuating solar irradiance. Although conceived as a prototype, the system is scalable and replicable for rural settings and other contexts with similar needs. Findings will be documented.

**Keywords:** Wavlink, Narda, Power, Sustainability, Radiation

# INTRODUCCIÓN

El acceso inalámbrico a Internet es hoy indispensable para estudiar, trabajar y participar plenamente en la sociedad. No obstante, persisten zonas con cobertura limitada o nula con mayor impacto donde la infraestructura eléctrica es insuficiente que profundizan la brecha de equidad digital. Esta investigación plantea un prototipo de red Wi-Fi en 2.4 GHz alimentado por energía solar, diseñado para brindar conectividad autónoma y portátil en áreas específicas del campus. La propuesta se alinea con la evidencia que, pese a avances globales, reconoce rezagos entre contextos urbanos y rurales. Desde la perspectiva energética, la alimentación fotovoltaica con baterías ofrece beneficios técnicos, económicos y ambientales: disminuye la dependencia de fuentes convencionales, reduce costos operativos y mejora la autonomía en sitios sin red estable. Además, estudios recientes muestran metodologías de dimensionamiento óptimo del conjunto FV-batería para estaciones de telecomunicaciones, lo que respalda la viabilidad de la solución planteada y orienta su implementación eficiente en el contexto universitario.

El diseño propuesto integra panel solar, controlador/convertidor, inversor, banco de batería, una antena externa WAVLINK AC600 y una cámara de videovigilancia alimentada por el mismo sistema fotovoltaico, seleccionados por compatibilidad y eficiencia. Además, el proyecto incorpora evaluaciones de seguridad para garantizar el cumplimiento de los límites de exposición a RF vigentes mediante mediciones de campo y verificación frente a las Directrices ICNIRP 2020 (100 kHz–300 GHz), aplicables a Wi-Fi [1]

Finalmente, se evaluará la cobertura y calidad del enlace en condiciones reales del campus, apoyándose en modelos de propagación y mapas de calor para 2.4 GHz reportados en estudios recientes en Ecuador, lo que aporta un marco metodológico cercano al contexto de implementación y facilita la replicabilidad en otras zonas de baja cobertura.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES DE LA PROPUESTA

### 1.1 Antecedentes

En el transcurso de los años, la accesibilidad a internet se ha vuelto en un factor clave para lo que es el desarrollo social y económico de las comunicaciones, ya sea en urbanas como rurales. Destacando que, en muchas regiones, como son las zonas alejadas o rurales, son las que carecen de una buena cobertura de las redes inalámbricas

En las últimas décadas, la conectividad a internet ha sido un motor fundamental para el desarrollo de la economía y parte social. Según [1], el informe sobre la conectividad mundial de 2022 (Global Connectivity Report 2022) hace un balance de los proyectos realizados en materia de conectividad digital durante los tres últimos decenios. Sin embargo, las limitaciones a nivel educativo son sumamente negativas, pues en el año del 2010 se afirmó que en el país las instalaciones privadas contaban con un mayor acceso a internet que las públicas [2].

Las áreas o zonas rurales, a causa de su dispersión geográfica y carencia de infraestructura, tienden a enfrentar con graves problemas de conectividad. Según [3]. En América Latina hay zonas rurales donde la cobertura es limitada. Dado el informe de la CEPAL, más del 90% de los hogares rurales en Bolivia, Paraguay y Perú no cuentan con conexión a internet, representando una gran dificultad para la mejora del servicio. En Latinoamérica se estima que la región precisa una inversión cercana a los 161.000 millones de dólares para lograr alcanzar niveles de conectividad similares a los países más desarrollados en el periodo de 2020-2050 [3]. Una red inalámbrica permite que los dispositivos permanezcan conectados a la red, con la ventaja de no usar cables.

Los puntos de acceso amplifican las señales de Wi-Fi, de manera que un dispositivo puede estar lejos de un router, pero permanece conectado a la red [4].

En [5], muestra como las redes inalámbricas han sido implementadas con éxito en áreas rurales utilizando la banda de 2.4 GHz [5]. De acuerdo con [6], el programa W4C implementado en la India utiliza métodos de línea de visión, tecnologías inalámbricas, equipos WI-Fi de bajo costo y espectro sin licencia (2.4 GHz y 5.8 GHz) para crear redes inalámbricas de propiedad y operación comunitaria en ubicaciones rurales y remotas para democratizar Acceso a Internet y ponerlo a disposición de todos [6].

La utilización de la energía solar en telecomunicaciones ha logrado ser una opción auxiliar muy optima en zonas rurales. Como [7], la tecnología fotovoltaica podría proporcionar 276 TWh de energía, cifra equivalente al 1% de la demanda mundial prevista por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) [7] . Implementando un sistema hibrido de energía solar y baterías permitirá suministrar la energía necesaria para la demanda requerida en estas zonas rurales y ofrecer la calidad de vida que se necesita [8].

En la actualidad existen infinidad de datos científicos sobre la implementación de las redes inalámbricas en zonas urbanas o rurales, de las cuales pocas han examinado su combinación con las fuentes de energía renovable de manera integral. Según [9], las soluciones solares Wi-Fi ofrecen una sostenible y rentable forma de conectar áreas remotas [9], de manera que, brinda conectividad inalámbrica donde las redes tradicionales no son factibles ni viables. El uso de la energía solar es muy beneficioso de las que puede ser abarcado de varias formas como lo plantea [10].

En la actualidad, el tener una disponibilidad a internet es visto como un recurso o servicio de primera necesidad, lo que nos permite realizar investigaciones para nuestra nutrición intelectual. Recalcando el uso de energía renovable a este proyecto de las cuales va a solucionar la gran problemática sobre la limitación de energía en sitios donde no hay ningún punto de acceso ubicado en la parte posterior de la cancha de la universidad [11].

Al mencionar sobre las redes inalámbricas nos referimos a que son redes que usan ondas de radio con el fin de enlazar los dispositivos, sin tener la necesidad de usar cables de cualquier tipo [12]. Tampoco hay que omitir que son similares a las mismas, con la diferencia de que las redes inalámbricas se deben transformar las señales de información en una forma adecuada para que esta se pueda propagar en el aire [12].

Al trabajar en una banda de frecuencia de 2.4 GHz nos da el beneficio de que pueda ser usada en cualquier parte del mundo, es decir, permite a los usuarios operar con redes inalámbricas sin la necesidad de obtener algún tipo de licencia, sin tener cargo alguno [12].

Al generalizar la conectividad, de primera instancia, es como el acceso que tienen los usuarios a internet y a las tecnologías de la información y las comunicaciones. Adicional a otros servicios, el acceso a la conectividad no está distribuido de manera homogénea entre los seres humanos que conformar el planeta. De acuerdo con cifras de la Unión Internacional de las comunicaciones de 2018, el índice de penetración de internet en países como Canadá es del 93,3%, en Estados Unidos del 88,6%, en costa rica del 86,9% y en chile del 79,9%; mientras que en México es apenas del 40%, cifras que solo superan a las de Colombia, Paraguay y Perú con 23,4%, 19,3% y 14% respectivamente [13]. Cabe recalcar que estos datos no han cambiado en su mayoría en el 2022.

En pleno siglo XXI, el ser humano ha desarrollado una elevada dependencia de los dispositivos tecnológicos modernos, no solo es por el confort, sino más bien como parte de un esfuerzo para tener una mejor eficiencia energética. En la exploración firme por una vida más llevadero y beneficioso, de las cuales muchos se han inclinado por la adquisición de equipos diseñados para reducir el consumo de electricidad. Tales productos como paneles solares, electrodomésticos de bajo consumo y sistemas de baja calefacción o refrigeración inteligentes, vienen a ser partes céntricas de esta tecnología. Las tecnologías ya antes mencionadas a principios eran el inicio de la innovación y desarrollo, ahora sin indispensables, brindando a los usuarios utilizar recursos renovables como lo es la energía solar, dando como resultado una disminución significativa en todo lo que conlleva a la energía eléctrica tradicional, costos y demás asociados.

## **1.2. Descripción del Proyecto**

El proyecto “Implementación de un prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz en zonas de baja cobertura alimentada por energía solar” tiene como objetivo primordial la conectividad inalámbrica en áreas donde la cobertura es limitada, utilizando energías sostenibles y renovables. El incremento de la demanda de acceso a internet en áreas con infraestructura limitada demanda una solución que incluya tecnologías inalámbricas con fuentes de energía renovable, originando la sostenibilidad y eficiencia energética.

Para realizar el análisis del estado del arte y la necesidad sustentable en el área, se hará el uso del equipo Narda para medición de las señales y las frecuencias exactas para la implementación del equipo para la red inalámbrica. Por lo que va a detectar la potencia de radiación de la antena WAVLINK afirmando de que se encuentre en los rangos de frecuencia de 2.4 GHz y 5 GHz. Adicionalmente, el equipo Narda detectará las zonas muertas o con baja cobertura de señal en el

lugar donde se planea ejecutar el proyecto dando una posición más exacta para una mejor orientación de la antena.

Asimismo, permitirá determinar las interferencias como también su impacto en la latencia optimizando la calidad de la red. A través del diagnóstico del espectro electromagnético, se podrán escoger los canales con menos interferencia, y como resultado, se logrará correlacionar la potencia de la antena con la energía adquirida por el sistema solar, afirmando que el equipo trabaje a plena capacidad sin interrupciones por falta de energía.

De ser necesario se cambiará la banda de 2.4 GHz a 5 GHz de las cuales va a proporcionar un aumento de velocidad de transmisión, pero con una disminución en el alcance de la señal, por lo que tendrá que ajustar la antena WAVLINK. Cuando se incremente el ancho de banda, la red dispondrá de una mayor capacidad de datos, conllevando a que requiera más potencia, por lo que será necesario el monitoreo para verificar que el kit solar suministre adecuadamente el consumo energético.

El uso de una clave de acceso sólida mejora la protección de la red sin comprometer la potencia o la estabilidad de la conexión; sin embargo, cuando muchos usuarios se conectan simultáneamente, puede producirse saturación en el ambiente inalámbrico. Asimismo, al cambiar la configuración del canal desde automático hacia fijo, el dispositivo Narda elige frecuencias que presentan menos interferencias, lo que resulta en una conexión más confiable y efectiva.

Como medida complementaria para mejorar el rendimiento, se programarán reinicios automáticos en períodos establecidos con anterioridad; esta acción corta momentáneamente el servicio de red, lo que permite eliminar las sesiones acumuladas y reducir la sobrecarga generada por el uso constante. De esta forma se logra un manejo más efectivo del flujo de datos, una

distribución más adecuada del ancho de banda disponible y un funcionamiento más consistente del sistema de red inalámbrica desarrollado.

Una vez culminado éste paso se incluye el análisis de las necesidades de conectividad y las condiciones ambientales del sector de la universidad, por lo que se procede a realizar encuestas a los usuarios que rondan o frecuenten la zona, con el fin de determinar los patrones de uso, problemas y preferencias relacionados con la conectividad actual, estos datos recopilados permitirán decretar los requerimientos técnicos y energéticos más apropiados para el prototipo de red que se planea implementar.

El sistema Wi-Fi propuesto proveerá conectividad a dispositivos móviles, portátiles y otras tecnologías, contará también una cámara de seguridad IP que será alimentada por el mismo sistema fotovoltaico para un mejor resguardo del prototipo y brindando un monitoreo del entorno, asegurando una cobertura adecuada y operación autónoma por medio de energía solar. Contando con esta fuente renovable va a reducir la dependencia de la red eléctrica tradicional, iniciando la sostenibilidad y afirmando un continuo funcionamiento del prototipo.

Como último punto se evaluarán los resultados de la implementación del prototipo recopilando datos sobre la cobertura y auto sustentabilidad, adicionalmente se harán encuestas inclinadas a un después de que se implementara el prototipo. Por lo cual, las encuestas a realizar permitirán dar una comparativa de la experiencia de los usuarios y poder medir el impacto de la red inalámbrica en su conectividad y complacencia.

Cabe recalcar que este proyecto no solo incentiva a una solución técnica, sino también la inclusión de percepción de los usuarios de cómo es el antes y el después, dando una visión un poco

más detallada sobre la garantía del sistema en términos de un mejoramiento en la sustentabilidad y conectividad.

### **1.3. Objetivos del proyecto**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Implementar un prototipo de sistema Wi-fi con tecnologías avanzadas aplicando sistemas renovables y eficientes, con el propósito de proporcionar conectividad estable y autosuficiente en la cancha natural de la universidad, reduciendo el impacto ambiental y el consumo energético tradicional.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Análisis del estado del arte de la necesidad sustentable en el perímetro de la cancha natural para mejorar su conectividad.
- Analizar las necesidades de conectividad y las condiciones ambientales del sector de la universidad para determinar los requerimientos técnicos y energéticos de la red.
- Desarrollar e implementar un prototipo de red inalámbrica Wi-Fi, con energías renovables y componentes tecnológicos adecuados, incluyendo un módulo de videovigilancia, para asegurar cobertura óptima, autonomía energética y mejorar la conectividad en el área evaluada.
- Evaluar los resultados del prototipo de red inalámbrica implementado, mediante la recopilación de datos sobre la cobertura y autonomía energética en el área seleccionada.

## 1.4. Marco Conceptual

- Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son sistemas de comunicación que permiten la transmisión de datos sin la necesidad de cables físicos, utilizando ondas de radio o infrarrojas. Estas redes han transformado la forma en que nos conectamos y comunicamos, facilitando el acceso a internet y la interconexión de dispositivos en diversas aplicaciones, desde entornos domésticos hasta empresariales. Existen varios tipos de redes inalámbricas, siendo el Wi-Fi una de las más comunes, que permite a los usuarios acceder a internet en un área determinada sin restricciones físicas. La arquitectura de estas redes incluye componentes esenciales como puntos de acceso, routers y dispositivos finales, que trabajan en conjunto para proporcionar conectividad eficiente y estable. La implementación de redes inalámbricas es especialmente relevante en áreas de baja cobertura, donde su capacidad de superar obstáculos físicos y ofrecer conectividad flexible es fundamental para mejorar la calidad de vida y el acceso a la información.

- Tecnología Wi-Fi y bandas de operación

La tecnología Wi-Fi se refiere a un conjunto de estándares que permiten la conexión inalámbrica de dispositivos a una red local, facilitando el acceso a internet y la comunicación entre equipos. Conocidos comúnmente como la familia 802.11, desde el 802.11b, que opera en la banda de 2.4 GHz, hasta el más reciente 802.11ax (Wi-Fi 6), que mejora la eficiencia y velocidad en entornos congestionados. La banda de 2.4 GHz, en particular, es ampliamente utilizada debido a su capacidad para penetrar obstáculos y proporcionar un alcance más amplio, aunque puede estar sujeta a interferencias de otros dispositivos como microondas y teléfonos inalámbricos. Esta

tecnología es esencial para la implementación de redes inalámbricas en áreas de baja cobertura, ya que permite a los usuarios conectarse de manera flexible y conveniente, mejorando la accesibilidad a servicios digitales y fomentando la inclusión tecnológica en diversas comunidades.

- Cobertura de señal

La cobertura de señal hace referencia al espacio geográfico donde un aparato puede sostener una conexión constante con la red inalámbrica. En áreas de escasa cobertura, se requieren modificaciones y optimizaciones, tales como la elección de canales de menor interferencias como también una adecuada ubicación de las antenas, para poder asegurar que la señal alcance eficazmente a todos los usuarios en el área analizada.

- Energías renovables

Las energías renovables son fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales que se regeneran de manera continua, como la solar, eólica, hidráulica y biomasa. En particular, la energía solar se ha convertido en una opción clave para alimentar sistemas de telecomunicaciones, ya que aprovecha la radiación solar a través de paneles fotovoltaicos que convierten la luz solar en electricidad. Esta forma de energía es especialmente valiosa en la implementación de redes inalámbricas en áreas de baja cobertura, donde la infraestructura eléctrica tradicional puede ser limitada o inexistente. Al integrar sistemas de energía solar, se logra no solo una mayor autosuficiencia energética, sino también una reducción significativa del impacto ambiental asociado al uso de combustibles fósiles. Además, el uso de energías renovables contribuye a la

sostenibilidad, promoviendo un desarrollo tecnológico más limpio y eficiente que beneficia tanto a las comunidades como al medio ambiente.

- Energía solar

La energía solar emplea la radiación del sol para producir energía eléctrica. En el proyecto, se utilizará un sistema solar fotovoltaico que absorberá la luz para suministrar energía a los dispositivos de la red inalámbrica y a la cámara de seguridad integrada en el prototipo, asegurando así su operación independiente y sustentable. Esta fuente energética no solo minimiza el efecto en el medio ambiente, sino también posibilita que la red funcione de forma constante sin la necesidad de depender de la red eléctrica tradicional, especialmente en zonas donde la infraestructura eléctrica es escasa o de baja fiabilidad.

- Sostenibilidad energética

La sostenibilidad energética conlleva la utilización de recursos de energía, fomentando la utilización de recursos renovables y Disminuyendo el uso constante de energía no renovable. En este proyecto, el uso de la red inalámbrica alimentada por energía solar sea autónoma, disminuyendo la huella de carbono y apoyando la meta mundial de sostenibilidad energética.

- Relevancia del proyecto

La puesta en marcha de un prototipo de red inalámbrica en las áreas de escasa cobertura en el campus de la universidad satisface una necesidad esencial de conectividad en zonas que en la actualidad no disponen de un acceso recurrente a internet. Esta restricción impacta de forma directa

a los alumnos, docentes y personal administrativo que necesitan acceso a la red para llevar a cabo tareas académicas y de gestión. El proyecto, al brindar una red inalámbrica fiable y que esta sea alimentada por energía solar, posee la capacidad de convertir estos lugares en áreas activas de conectividad, mejorando la utilización de los recursos de la universidad y proporcionando la inclusión digital.

El grado de importancia de este proyecto también reside en su perspectiva sustentable. La utilización de energía solar reduce la necesidad de la energía tradicional, fomentando acciones ecológicas que sincronizan el prototipo con las metas de sostenibilidad de la universidad. Esta perspectiva ecológica constituye un modelo de tecnología responsable y autosuficiente, proporcionando un ejemplo palpable de cómo incorporar métodos renovables en la infraestructura tecnológica del campus [13].

Además, la portabilidad del prototipo contribuye un valor considerable, ya que posibilita que el sistema se mueva a diferentes zonas del campus según las necesidades particulares de conectividad. Esta adaptabilidad permite que el prototipo no solo favorezca la zona del campo sintético, sino que también pueda utilizarse en eventos académicos o actividades al aire libre, donde sea necesaria la conectividad temporal.

Para resumir, el proyecto sobresalta por su importancia en tres aspectos primordiales: mejor en la accesibilidad y conectividad de zonas alejadas en el campus, la implementación de prácticas sustentables a través del uso de energía solar, y flexibilidad para ajustarse a las variadas demandas de la comunidad universitaria; adicionalmente, la incorporación de una cámara de videovigilancia permite supervisar el entorno y proteger el prototipo durante su operación en campo, por lo que se anticipa que el proyecto aporte de manera considerable al progreso tecnológico y responsable ecológicamente de la universidad.

## 1.5. Justificación

En muchos sectores rurales o periféricos, el acceso a redes de comunicación es deficiente debido a las dificultades para implementar infraestructuras cableadas o costosas. Estas zonas, que sufren de una baja cobertura, experimentan un rezago significativo en cuanto a acceso a la información, servicios de educación, salud, y oportunidades de desarrollo económico. La brecha digital que se genera no solo afecta a las comunidades rurales, sino también a sectores educativos y empresariales que dependen del acceso a internet para funcionar de manera eficiente. Recalcando que la brecha digital recientemente mencionada es la falta de conectividad accesible en zonas donde hay una baja cobertura dentro de las instalaciones de la universidad.

Por otro lado, la implementación de una red inalámbrica en el rango de 2.4 GHz se presenta como una solución adecuada debido a las características de este espectro, como su capacidad para transmitir a mayores distancias y atravesar obstáculos, lo cual es clave en zonas donde las condiciones geográficas pueden ser adversas. Adicionalmente, la utilización de energía solar como fuente de alimentación para el sistema no solo reduce costos operativos, sino que también aporta a la sostenibilidad, haciendo que este prototipo sea respetuoso con el medio ambiente y completamente autónomo. Esta es una solución especialmente relevante en zonas donde el acceso a fuentes de energía convencionales puede ser limitado o intermitente.

El desarrollo de este prototipo no solo tiene como objetivo mejorar la cobertura y accesibilidad a internet en áreas de baja conectividad, sino que también busca crear un modelo escalable que pueda ser replicado en otras regiones. Además, fomenta el uso de energías renovables, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y generando un impacto positivo tanto a nivel social como medioambiental. En resumen, este proyecto responde a una necesidad real de mejorar la inclusión digital mientras promueve soluciones energéticas sostenibles.

## 1.6. Alcance del Proyecto

Este proyecto de titulación tiene como objetivo principal implementar un prototipo de red inalámbrica haciendo uso de energía renovable para que sea situado en zonas de baja cobertura, utilizando un kit solar, una antena WANVLINK AC600 y una cámara de seguridad IP. La iniciativa se llevará a cabo en un ambiente controlado, donde se instalarán y configurará el kit solar y la antena para exteriores antes mencionada y la cámara, de las cuales está compuesto por el panel solar, inversor, baterías y convertidor. Estos dispositivos serán esenciales para la sustentabilidad de la antena, asegurando conexión las 24h. Cabe recalcar que las limitantes de este proyecto es que trabajará como un Access Point y que serán enfocadas más en las canchas de la universidad ya que son zonas en las que se frecuentan eventos deportivos y se necesita de internet.

Con respecto a lo que conlleva el proyecto e medirán las frecuencias electromagnéticas, los niveles de potencia y las señales que se encuentran presentes en el entorno en el que se dará uso al equipo Narda. También se efectuarán encuestas a los usuarios de esa zona, un antes y un después de implementar el prototipo, con el propósito de identificar y evaluar la cobertura y la conectividad de la red para una mejor satisfacción al usuario.

El diagnóstico de la eficiencia energética va a ser una parte primordial para el proyecto, chequeando el aprovechamiento del kit solar y su autonomía en las condiciones climáticas. Se predice que el prototipo en cuestión pueda ser capaz de ofrecer una cobertura adecuada y suficiente en las áreas que se pretende movilizar ya que en este proyecto se busque se sea portátil, tomando en cuenta que la recopilación de los resultados sea necesario para analizar la viabilidad de extender a algo más técnico y profesional de la que la universidad se pueda beneficiar.

Por ende, se concluirá con un análisis comparativo entre la situación actual de conectividad y los resultados finales después de haber implementado el prototipo de red inalámbrica, dando un enfoque en brindar cobertura y satisfacción a los usuarios que frecuentan el campus de la universidad.

### **1.7. Metodología**

Este proyecto para su desarrollo se regirá por varios métodos de investigación para poder cumplir los objetivos propuestos. Estos son:

- **Investigación cuantitativa:** Esta investigación recopila y analiza los datos estadísticos para obtener resultados objetivos y más precisos, permitiendo hacer una comparativa de datos de manera más cuantificable [14].

En el presente proyecto se inclina a la recopilación de datos mediables y estadísticos, como el resultado de las encuestas de un antes y un después de haber implementado el prototipo. Como también, se realizarán mediciones de frecuencia y coberturas con el equipo Narda y la eficiencia energética que brindarán los paneles solares.

- **Investigación cualitativa:** Planteando la investigación cualitativa hace referencia a la comprensión de los fenómenos por medio de la recopilación de datos que no sean numéricos, destacando de forma opcional percepciones y en ámbitos de experiencias. Con el único objetivo de obtener una comprensión más profunda de forma subjetiva en el test de investigación [14].

Teniendo un enfoque cualitativo permitirá evaluar la percepción de los usuarios sobre la calidad de la conectividad, analizar sus necesidades y determinar el nivel de satisfacción con la solución implementada. Además, tendremos más datos recopilados sobre el estado de conectividad y las condiciones ambientales de las zonas a las que se planea implementar el prototipo.

- **Investigación exploratoria:** Con respecto a la exploratoria busca examinar un problema poco estudiado para poder identificar patrones, hipótesis o ideas enfocadas en el tema ampliando el área de estudio [14].

En el proyecto propuesto abordará una problemática relativamente nueva en el contexto específico de mejorar la conectividad en zonas de baja cobertura mediante el uso de energías renovables. Con el objetivo de tener mejores soluciones técnicas viables y de como esta se comporta en un ambiente controlado.

- **Investigación experimental:** Tratando una investigación experimental consiste en diseñar experimentos donde una o algunas variables independientes se modifican para observar su efecto en una variable dependiente, identificando causas y efectos de una manera más controlada [14].

La metodología experimental se inclina a la manipulación y el control de las variables para observar los efectos en un fenómeno específico. Evaluando el comportamiento de la red inalámbrica en el rango de 2.4 GHz que será alimentada por energía renovable mejorando la conectividad en zonas de baja cobertura.

## 1.8. Marco contextual

La investigación se lleva a cabo en el campo sintético de la Universidad Estatal Península De Santa Elena, más conocida como el área de estudio. En este contexto, se ha demostrado una conexión inalámbrica inexistente, influenciada por la escasa infraestructura existente y la lejanía en relación a los puntos de mayor alcance del campus. Esta circunstancia provoca una brecha digital, limitando a la comunidad académica el acceso oportuno a instrumentos fundamentales para el aprendizaje, la investigación y la comunicación.

En este contexto, el propósito principal del proyecto es proporcionar una solución tecnológica que mejore la conectividad en el área de la cancha natural, mediante la puesta en marcha de un prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz alimentada por energía solar. El aumento en la necesidad de conexión a internet en zonas con infraestructura restringida ha subrayado la importancia de soluciones innovadoras, especialmente las que incorporan fuentes de energía renovable para garantizar su sostenibilidad.

la utilización de la banda de 2.4 GHz, ideal para proporcionar cobertura en distancias de tamaño medio, en combinación con la energía solar, facilitará la construcción de un sistema autosuficiente y respetuoso con el entorno. Este método aspira no solo a incrementar la conectividad en el campo de estudio, sino también a disminuir el efecto ambiental que resulta de la dependencia de fuentes de energía convencionales, favoreciendo el crecimiento sostenible de la universidad y su ambiente.

La iniciativa de este proyecto se sitúa dentro de una tendencia mundial de incorporar tecnologías renovables y a la vez limpias en la infraestructura tecnológica, con el objetivo de no solo optimizar el acceso a la información, sino también va a fomentar prácticas que fortalezcan la

preservación del medio ambiente. Adicionalmente, la demanda de soluciones tecnológicas que funcionen de forma independiente y eficaz en áreas con escasa cobertura o inaccesibilidad a la red eléctrica tradicional hace que este proyecto sea pertinente, no tan solo en el ámbito académico, sino también en comunicaciones rurales o periféricas.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA PROPUESTA

#### 2.1.Marco Teórico

##### 2.1.1. Tipos de redes

Las redes informáticas pueden categorizarse de varias maneras en función de sus propiedades. En esta parte se exponen las distintas clases de redes, incluyendo su categorización por su alcance geográfico, la diferencia entre redes con cable e inalámbricas, los beneficios y restricciones de las redes inalámbricas en contextos educativos, las estructuras fundamentales de conexión de dispositivos, y la presentación de la infraestructura existente en comparación con la infraestructura portátil del prototipo sugerido en el proyecto.

#### **Clasificación de redes según alcance**

Una clasificación frecuente de las redes se basa en el ámbito geográfico que cubren, identificando principalmente cinco clases: PAN, LAN (incluyendo su versión WLAN), MAN y WAN. De menor a mayor longitud, se establecen de la siguiente forma:

**Red de Área Personal (PAN):** Es una red de ordenadores utilizada para la comunicación entre dispositivos de la computadora más cercana de un usuario facilitan la comunicación entre, por ejemplo, teléfonos, tabletas, dispositivos inteligentes y periféricos, frecuentemente a través de tecnologías como USB, NFC, Bluetooth, tal cual como se observa en la **Figura 1**. [15].



Figura 1: Red de Área Personal [15]

**Red de Área Local (LAN):** LAN es el acrónimo de Local Area Network. El término se refiere a la combinación de varios ordenadores en un mismo sitio (empresa, hogar, etc.) para establecer una red de tal forma que pueda formar una sola red, como se puede observar en la **Figura 2**. Los ordenadores tienen la capacidad de intercambiar datos entre ellos o de conectarse a otra red [16].

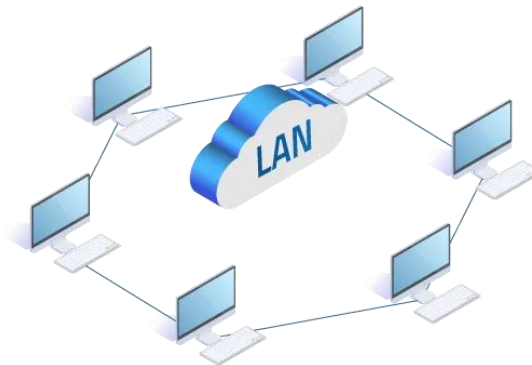
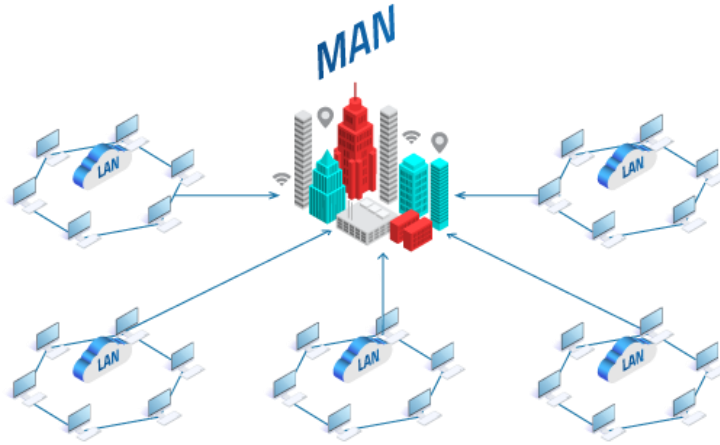


Figura 2: Red de Área Local [16]

**Red de Área Metropolitana (MAN):** De las siglas Metropolitan Area Network, está definida como una red de alta velocidad (banda ancha) que da cobertura en un área geográfica más extensa como una ciudad y regiones metropolitanas a distancias de hasta 100 km, así como se

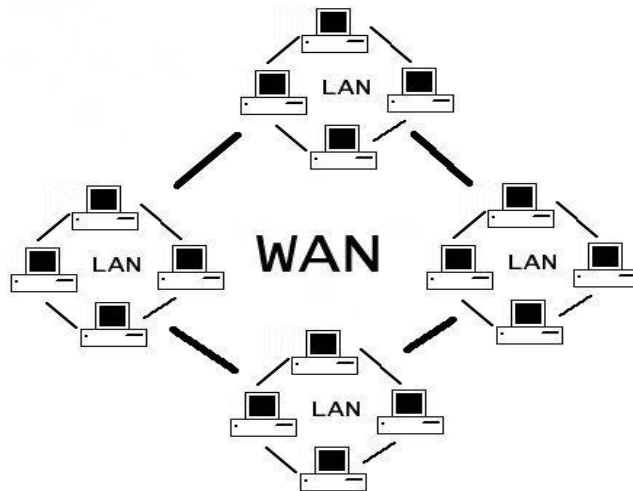
observa en la **Figura 3**. Las redes MAN usan tecnologías de fibra óptica para conectar varias LAN entre sí [16].



*Figura 3: Red de Área Metropolitana [16]*

**Red de Área Ampla (WAN):** Es una red informática extendida geográficamente extensas usando medios satelitales, cables interoceánicos, Wi-Fi, fibra óptica, puesto que abarcan varias ubicaciones físicas, proporcionando servicios a una zona, país o hasta incluso continentes [17].

Es importante señalar que sus modalidades pueden identificarse dentro de una categoría como LAN: por ejemplo, una Red de Campus sería una LAN de mayor tamaño (constituida de algunas construcciones) donde ya se encuentran varios segmentos de red internos y equipos de enrutamiento locales, como se ve en la **Figura 4**. Este concepto se aplica a redes locales amplias, frecuentemente de universidades o parques industriales, puesto que, a pesar de su escasez geográfica, necesitan ser organizadas en subredes y generalmente se consideran una escala intermedia entre MAN y LAN [17].



*Figura 4: Red de Área Amplia [17]*

### **Redes cableadas vs. redes inalámbricas**

Otro factor crucial es la tecnología de transmisión utilizada: redes cableadas en contraposición a redes inalámbricas. Las redes con cable se sirven de medios físicos palpables (cables de par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, etc.), en cambio, las redes inalámbricas utilizan ondas electromagnéticas (radiofrecuencia o infrarrojos) como vía de transmisión sin necesidad de cable. Esta distinción conlleva varios aspectos en el rendimiento y el uso:

**Redes cableadas:** En una red vía cable, los diferentes dispositivos y equipos que se conectan a ella lo hacen mediante cables, que usualmente son de tipo ethernet (también conocidos como coaxiales o de fibra óptica). Los componentes esenciales de una red vinculada incluyen cables y terminaciones, switches y hubs (administración de puntos de acceso), y routers y tarjetas de red de los dispositivos. Una red cableada tiene ciertas desventajas a diferencia de las redes inalámbricas, como es el caso de que los dispositivos deben estar conectados al router [18].

**Redes inalámbricas:** Una red inalámbrica posibilita que los aparatos se mantengan vinculados a la red, sin necesidad del uso de cables. Los puntos de acceso potencian las señales de Wi-Fi, lo que permite que un aparato, aunque se encuentre lejos de un router, siga vinculado a la red. Al conectarse a una zona de Wi-Fi centros comerciales, restaurantes u hoteles, una sala de espera de un aeropuerto u otro espacio público, se vincula a la red inalámbrica de la compañía correspondiente [18].

### **Ventajas y limitaciones de las redes inalámbricas**

En el ámbito educativo, la implementación de redes inalámbricas (en particular Wi-Fi) ha aportado una serie de beneficios considerables, aunque también implica algunas restricciones propias del ambiente académico:

#### **Ventajas de las redes inalámbricas en ámbitos educativos**

Las redes inalámbricas proporcionan significativas ventajas en ámbitos formativos como el universitario, al facilitar la movilidad de los consumidores y el acceso ininterrumpido a recursos de investigación y académicos sin necesidad de conexiones establecidas. Además, en este proyecto, la creación de una red inalámbrica independiente y sustentada por energía solar permite el acceso a la conectividad en áreas donde la infraestructura eléctrica es escasa, tal como sucede con la cancha natural de la universidad. Esto potencia la utilización del espacio académico, permitiendo la ejecución de acciones al aire libre con acceso permanente a internet [19].

#### **Retos y limitaciones de las redes inalámbricas en zonas de baja cobertura**

Pese a que las redes inalámbricas proporcionan versatilidad y disponibilidad, hay restricciones en zonas de escasa cobertura y alta demanda. La interrupción de otras redes, la

cantidad de usuarios y la fluctuación del estado del entorno pueden impactar en la estabilidad del enlace. Para este proyecto, estas restricciones se minimizan a través de la portabilidad del sistema y la capacidad de modificar su localización y configuración de acuerdo a las condiciones del ambiente universitario [19].

En conclusión, las redes inalámbricas brindan un gran valor en la educación al actualizar los métodos de enseñanza y expandir el acceso a la información. Sin embargo, necesitan una inversión en infraestructura sólida y en políticas de uso que reduzcan sus restricciones de capacidad, cobertura y seguridad.

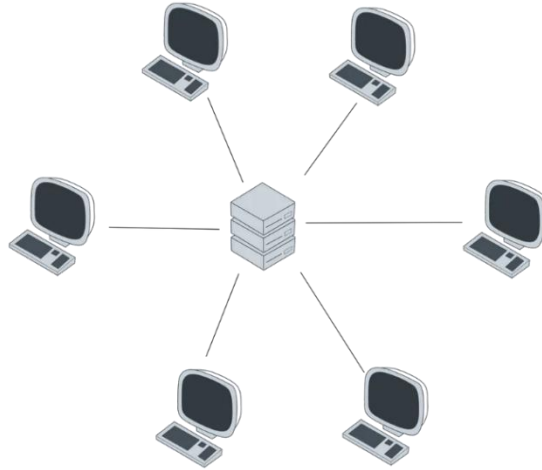
### **Topologías en redes inalámbricas**

Las topologías de red detallan cómo los dispositivos en una red se vinculan físicamente. Hay varias topologías fundamentales, entre las que sobresalen la estrella, la malla y el árbol (junto con otras como el bus, el anillo, entre otras). Cada topología incluye una estructura de conexiones con beneficios y limitaciones específicas, e incluso pueden fusionarse en diseños híbridos para ajustarse a requerimientos particulares (por ejemplo, las redes en campus generalmente emplean una estructura jerárquica que fusiona atributos de estrella y árbol). A continuación, se brindarán los conceptos necesarios sobre lo mencionado:

**Topología en estrella:** Es una red donde las estaciones se encuentran interconectadas. Se debe conectar directamente a un punto central y realizar todas las comunicaciones necesarias. necesariamente mediante él, así como se observa en la **Figura 5**. Los aparatos no se encuentran directamente

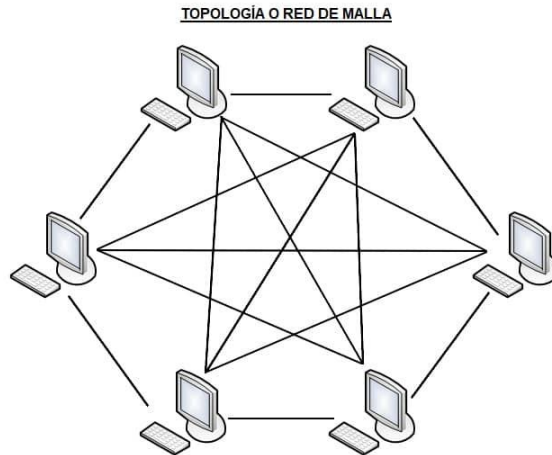
interconectados entre ellos, además de que no se tolera tanto flujo de datos. Una red en estrella en funcionamiento posee un nodo central activo que se encuentra activo. Esta

topología reduce la posibilidad de fallo de red haciendo la conexión de todos los nodos a un nodo central [20]



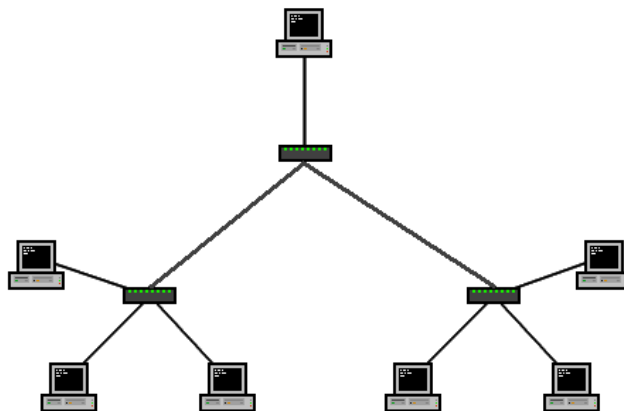
*Figura 5: Red o Topología en Estrella [20]*

**Topología en malla:** La topología de red mallada es una estructura de red donde cada nodo se encuentra conectado todos los nodos, como se aprecia en la **Figura 6**. Así se pueden transmitir los mensajes de un nodo a otro mediante distintas rutas. Si la red de malla se encuentra totalmente conectada vinculadas, no puede haber ninguna interrupción absoluta en las comunicaciones. Cada servidor mantiene sus conexiones únicas con todos los demás servidores. Es una topología muy usada en redes WAN o de área amplia [21].



*Figura 6: Red o Topología en Malla [21]*

**Topología en árbol:** Las conexiones entre los nodos se organizan en forma de árbol como se evidencia en la **Figura 7**, con un extremo y una base. Posee un cable principal denominado backbone, que transmite la comunicación a todos los nodos de la red, utilizando un mismo canal de comunicación, o sea, posee múltiples terminales vinculadas de manera que la red se pueda formar ramificar desde un servidor inicial [22].



*Figura 7: Red o Topología en Árbol [22]*

## **Infraestructura disponible e infraestructura física del prototipo**

### **Infraestructura disponible**

La infraestructura en el área a trabajar para la puesta en marcha del prototipo de red inalámbrica posee ciertos recursos que, a pesar de ser escasos, resultan ser fundamentales para el progreso del proyecto en cuestión. A continuación, se especifica la infraestructura existente en el sector del campo sintético de la universidad.

### **Infraestructura física**

El sistema planteado será totalmente portátil, proporcionando un desplazamiento a distintos lugares en la cancha natural o que el mismo pueda ser trasladado a la cancha que queda junto al colegio americano. Para facilitar su traslado, se edificará una estructura equipada con ruedas y un compartimiento seguro que resguardará el equipo de elementos externos, tales como las condiciones climáticas y el polvo. Esta estructura se le va a incluir un espacio para la instalación del kit solar, garantizando una fuente de energía eficaz y autónoma. El diseño está considerado para que el sistema no se encuentre vinculado a un punto fijo y pueda ser trasladado con facilidad de acuerdo con las demandas de conectividad en diferentes zonas.

### **2.1.2. Tecnologías en redes inalámbricas**

#### **Conexiones inalámbricas: Concepto y alcance**

Las conexiones inalámbricas han transformado la conectividad en un sin número de situaciones, simplificando el acceso a internet y a los servicios de telecomunicaciones sin requerir de infraestructura de cableado físico. Estas conexiones emplean ondas de radio para enviar y recibir información, posibilitando que los aparatos se comuniquen entre ellos y obtengan acceso a recursos en la red con mucha más libertad de movimiento y adaptabilidad en su localización [23].

## **Panorama de tecnologías: satelital, microondas (MW), Wi-Fi, LoraWAN, Zigbee, BLE**

Hay varias tecnologías inalámbricas utilizadas para diferentes usos. A continuación, se muestra un escenario de las más destacadas, señalando su idea y su alcance distintivo:

### **Comunicación satelital**

La comunicación satelital es una técnica avanzada de transmisión de datos que utiliza los satélites artificiales orbitando en torno a la Tierra. Estos satélites, que podrían ser del tipo de varias categorías como científicas, meteorológicas, de navegación o militares, desempeñan funciones como repetidores ubicados en el firmamento. Reciben señales tanto analógicas como digitales, usualmente en frecuencias de radio concretas y dentro del espectro de los GHz, desde una estación de terreno de transmisión, estas señales son amplificadas y las retransmiten a una o varias estaciones en el terreno del receptor, incluso a distancias extensas y en áreas de acceso complicado. El empleo de las frecuencias de radio de alta direccionalidad y microondas facilitan una cobertura exacta y eficiente como también una elevada resistencia a interferencias, lo que permite una transmisión eficaz de datos, voz y datos y video a escala mundial [24].

**Enlaces de microondas terrestres:** La comunicación por satélite es un sofisticado método de transmisión de datos que utiliza satélites artificiales en órbita alrededor del planeta. Estos satélites, que pueden clasificarse en diferentes categorías como científicos, meteorológicos, de navegación o militares, funcionan como repetidores en el firmamento. Reciben señales analógicas y digitales, usualmente en frecuencias de radio determinadas y dentro del espectro de los GHz, desde una estación de transmisión en terreno, amplifican estas señales y las retransmiten a una o varias estaciones receptoras, incluso a grandes distancias y en áreas de acceso complicado. El uso de microondas y frecuencias radiofónicas de alta direccionalidad posibilita una cobertura exacta y

una elevada resistencia a interferencias, lo que permite una transmisión eficaz de datos, voz y video a escala mundial.

**LoraWAN:** El método de transmisión de datos por satélite es una avanzada técnica que emplea satélites artificiales en órbita alrededor del planeta. Estos satélites, que se pueden categorizar en diversas clases como científicos, meteorológicos, de navegación o militares, operan como repetidores en el firmamento. Desde una estación de transmisión terrestre, captan señales analógicas y digitales, generalmente en frecuencias de radio específicas y dentro del espectro de los GHz. Estas señales son amplificadas y retransmitidas a una o varias estaciones receptoras, incluso a grandes distancias y en zonas de acceso difícil. La utilización de microondas y frecuencias radiofónicas de alta direccionalidad permite una cobertura precisa y una alta resistencia a interferencias, facilitando así una transmisión eficiente de datos, voz y video a nivel global. Protocolo de comunicación inalámbrica de largo alcance basado en la modulación Lora para conectar dispositivos en un área grande. Especifica los estándares de cómo se deben transmitir los datos entre dispositivos de IOT en una red [25].

**ZigBee:** ZigBee es una especificación mundial establecida por un consorcio de diversas marcas enfocado en la comercialización de sistemas de control inalámbrico conocidos como ZigBee Alliance. Esta especificación se fundamenta en el estándar 802.15.4 establecido por el IEEE, en el cual se detalla la capa física y de enlace del protocolo. La implementación sencilla y rápida de un sistema de control, o lo que es lo mismo, aspira a crear un sistema sólido y duradero que sea fácilmente integrable en una red inalámbrica destinada a la supervisión y el control [26].

**Bluetooth Low Energy (BLE):** Se ajusta a un estándar de comunicaciones inalámbricas fundamentado en radiofrecuencia, económico y con escaso uso de energía. Desde sus inicios, en 1994, Ericsson lo desarrolló como un sistema auxiliar que facilitaría la sustitución gradual de los enlaces cableados de varios periféricos. Sin embargo, las funcionalidades y adaptabilidad que ofrece Bluetooth han permitido su uso en una variedad de contextos distintos, como pueden ser la configuración de conexiones entre dos dispositivos móviles inteligentes, ya sean una PDA o un teléfono móvil, o la conexión de periféricos o aparatos de audio [26]. La versión BLE, lanzada a partir de Bluetooth 4.0, conserva un espectro parecido, pero mejora significativamente el uso de energía, posibilitando que sensores, dispositivos portátiles y otros aparatos operen con baterías de botón durante meses o años.

### 2.1.3. Características de Wi-Fi

#### Operación Wi-Fi

La operación de las redes Wi-Fi (normas IEEE 802.11) se fundamenta en diversos principios técnicos esenciales:

**Acceso al medio (CSMA/CA):** El algoritmo de gestión de colisiones de Ethernet se conocía como CSMA/CD, donde CD significaba detección de colisiones. El mecanismo Wi-Fi correspondiente es CSMA/CA, donde CA significa prevención de colisiones. Se presume que se ha producido una colisión si no se recibe el acuse de recibo de la capa de enlace. Al igual que con Ethernet, también existe un mecanismo de retroceso exponencial, aunque su escala es ligeramente diferente [27].

Cualquier emisor que desee enviar un nuevo paquete de datos espera el tiempo de inactividad (IFS) tras detectar el medio para comprobar si está inactivo. Si no detecta otro tráfico

en este intervalo, la estación puede transmitir inmediatamente. Sin embargo, si detecta otro tráfico, el emisor debe reducir la velocidad exponencialmente incluso en su primer intento de transmisión; después de todo, es probable que otras estaciones también estén esperando, y es fundamental evitar una colisión inicial [27]

**Tecnología de modulación (OFDM):** OFDM puede considerarse como el uso de múltiples señales de banda estrecha de modulación lenta, en lugar de una sola señal de banda ancha de modulación rápida. La baja velocidad de símbolo permite el uso de un intervalo de guarda entre símbolos, lo que permite eliminar la interferencia entre símbolos (ISI) y utilizar ecos y dispersión temporal para lograr una ganancia de diversidad, es decir, una mejora en la relación señal-ruido [28].

**Uso de múltiples antenas (MIMO):** MIMO utiliza múltiples antenas para resolver coherentemente más información que con una sola antena. Una forma de lograrlo es mediante la Multiplexación por División Espacial (MSDS), que multiplexa espacialmente múltiples flujos de datos independientes, transferidos simultáneamente dentro de un canal espectral de ancho de banda. MIMO puede aumentar significativamente el rendimiento de los datos al aumentar el número de flujos de datos espaciales resueltos. Cada flujo espacial requiere una antena discreta tanto en el transmisor como en el receptor [28].

**Modos de operación (infraestructura vs. ad-hoc):** Las conexiones ad hoc se utilizan a menudo para redes muy simples que no ofrecen conectividad a Internet. Sin embargo, las redes ad hoc complejas son ciertamente posibles. La configuración de la infraestructura es mucho más común. Las estaciones en una red de infraestructura se comunican directamente solo con su punto de acceso, que, a su vez, se comunica con el mundo exterior. Si los nodos Wi-Fi B y C comparten el punto de acceso AP, y B desea enviar un paquete a C, B primero lo reenvía al AP y AP luego lo

reenvía a C. Si bien esto introduce cierto grado de ineficiencia, significa que el punto de acceso y sus nodos asociados actúan automáticamente como una verdadera LAN: cada nodo puede comunicarse con todos los demás. (También es frecuente que la mayor parte del tráfico se realice entre los nodos Wi-Fi y el mundo exterior). En una red ad hoc, en comparación, es común que dos nodos solo puedan comunicarse entre sí mediante el reenvío a través de un tercer nodo intermedio; de hecho, esto es una variante del escenario de nodo oculto [29].

### **Componentes de un sistema Wi-Fi**

**Punto de acceso (AP):** Para la implementación de esta red, se utilizará una antena WAVLINK AC600, apta para funcionar en ambientes exteriores y creada para proporcionar cobertura en zonas amplias. La antena se ajusta a la banda de 2.4 GHz para lograr un espectro de cobertura apropiado en la cancha natural. Además, se incorporan instrumentos como el equipo Narda para examinar y modificar la potencia de radiación, mejorando la señal de la antena según las propiedades del ambiente, lo cual es crucial para preservar la persistencia de la red y la eficacia de la transmisión [30].

### **Limitaciones del entorno e interferencias**

**Limitaciones del entorno:** La puesta en marcha de una red inalámbrica alimentada por energía solar en el campo sintético de baja cobertura de la universidad tiene muchas restricciones particulares debido a las particularidades del ambiente, de primera instancia, el acceso a la energía solar es incierto, dado que las condiciones meteorológicas afectan directamente la eficacia de la carga solar. En ciertas circunstancias climáticas como lluvias o nubes, afecta a la generación de energía que disminuyen considerablemente, lo que podría afectar el funcionamiento constante de la red si las baterías no consiguen cargarse en su totalidad [30].

Igualmente, el proyecto atraviesa con obstáculos relacionados con las interferencias electromagnéticas, dado que la banda de 2.4 GHz está a disposición de varios dispositivos en la universidad, lo que podría impactar la calidad de la señal y la estabilidad de la conexión. Este fenómeno es particularmente significativo en zonas donde los usuarios habitualmente utilizan una amplia gama de dispositivos que están vinculados a la red.

La topografía y los obstáculos físicos de la cancha y sus cercanías también restringen la transmisión de la señal inalámbrica. Ya sean estos como construcciones en proceso, árboles y estructuras permanentes en el campus pueden obstaculizar la cobertura del prototipo, en particular si se necesita reubicación en otros lugares donde las condiciones ambientales sean las menos adecuadas.

Así mismo, las circunstancias del entorno constituyen un desafío para los elementos del proyecto. Incluido a ser un sistema portátil, se encuentra expuesto a las condiciones climáticas adversas, por lo que el dispositivo debe tener una adecuada protección contra el polvo, agua y otros diversos factores ambientales que podrían disminuir su durabilidad y desempeño.

Finalizando, las restricciones de infraestructura en la universidad, como la ausencia de puntos eléctricos próximos para cargar las baterías o hacer modificaciones rápidas en la configuración del equipo, dificultan el mantenimiento del prototipo y perjudican su desempeño a largo plazo.

**Retos y limitaciones de las redes inalámbricas en zonas de baja cobertura:** Pese a que las redes inalámbricas proporcionan versatilidad y disponibilidad, hay restricciones en zonas de escasa cobertura y alta demanda. La interrupción de otras redes, la cantidad de usuarios y la fluctuación del estado del entorno pueden impactar en la estabilidad del enlace. Para este proyecto,

estas restricciones se minimizan a través de la portabilidad del sistema y la capacidad de modificar su localización y configuración de acuerdo a las condiciones del ambiente universitario [30].

## **Medidas de mitigación operativa**

### **Medidas de mitigación**

Frente a las restricciones expuestas, se propone algunas tácticas para minimizar su efecto y mejorar el desempeño del prototipo. Dentro de estas se comprenden:

- **Optimización de la resistencia de las baterías:** La implementación de las baterías de una capacidad y eficiencia energética considerable podrían garantizar un tiempo aceptable en los días en la que las condiciones climáticas no favorezcan como son las lluvias o nubes, extendiendo la duración de red inalámbrica tomando en consideración que es un prototipo, y este mismo pueda ser de base investigativa para un proyecto más completo
- **Técnicas de ajuste de frecuencia:** Para disminuir la interrupción en la banda de 2.4 GHz, se podría contemplar la modificación de las frecuencias o la elección de canales con menor saturación, consiguiendo así una transmisión de señal más consistente en ambientes con gran cantidad de cantidad de dispositivos electrónicos conectados [31].
- **Protección ambiental del equipo:** la aplicación de materiales de protección, tales como revestimientos impermeables y carcasas resistentes puede contribuir a extender la durabilidad del equipo en situaciones de lluvia, polvo y luz solar.
- **Soluciones de carga portátil:** Para cubrir la escasez de puntos de carga próximos, se podrían considerar cargadores portátiles o incluso estaciones de carga extra que

posibiliten un mantenimiento más rápido y eficaz sin la necesidad de una infraestructura estable.

Para resumir, estas acciones de mitigación tienen como objetivo minimizar los impactos negativos de las restricciones ambientales, promoviendo una puesta en marcha de forma sostenible y eficaz del prototipo de red inalámbrica.

#### **2.1.4. Estándares de Wi-Fi**

##### **Evolución de los estándares 802.11: a, b, g, n, ac, ax**

##### **Teoría de la modulación de señales**

La modulación es un procedimiento esencial que facilita la transición de los datos a través de ondas de transmisión. En Wi-Fi, se utilizan diversos métodos de modulación, tales como la modulación por Desplazamiento de Fase Cuadratura (QPSK) como también las Modulación por división de Frecuencia Ortogonal (OFDM), entre otros. Estos métodos incrementan la eficacia espectral y la resistencia a las interferencias, garantizando una transmisión más íntegra en ambientes inalámbricos [32].

La familia IEEE 802.11 ha progresado desde modelos de dispersión espectral y canales reducidos hasta métodos de multicarrier sofisticados con canales amplios y elevada densidad espectral:

**802.11b:** El estándar 802.11b tiene una velocidad máxima de datos brutos de 11 Mbit/s y utiliza el mismo método de acceso al medio definido en el estándar original. Los productos 802.11b aparecieron en el mercado a principios del año 2000 y constituyen una extensión directa de la técnica de modulación definida en el estándar original. El drástico aumento del rendimiento de

802.11b (en comparación con el estándar original), junto con las sustanciales reducciones de precio, propiciaron su rápida aceptación como la tecnología LAN inalámbrica definitiva [33].

**802.11a:** La norma 802.11a se añadió a la norma original y fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo protocolo central que el estándar original y fue el primero de la familia 802.11 en operar en la banda de 5 GHz. Utiliza una multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de 52 subportadoras con una velocidad máxima de datos sin procesar de 54 Mbit/s, lo que normalmente produce un rendimiento de alrededor de 20 Mbit/s [33].

**802.11g:** 802.11g funciona en la banda de 2.4 GHz (como 802.11b), pero utiliza el mismo esquema de transmisión basado en OFDM que 802.11a. Opera a una velocidad máxima de bits de capa física de 54 Mbit/s, sin incluir códigos de corrección de errores directos. El hardware 802.11g es mayormente compatible con versiones anteriores del hardware 802.11b. Sin embargo, en una red 802.11g, la presencia de un dispositivo 802.11b reducirá significativamente la velocidad de la red 802.11g general [33].

**802.11n:** 802.11n trabaja tanto en la banda de 2.4 GHz como en la de 5 GHz. La compatibilidad con bandas de 5 GHz es opcional. IEEE 802.11n se basa en estándares 802.11 anteriores al incluir canales de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) y 40 MHz a la capa PHY, y agregación de tramas a la capa MAC [33].

**802.11ac:** IEEE 802.11ac (también conocido como VHT, Very High Throughput) es un estándar que proporciona rendimiento en la banda de 5 GHz. 802.11ac aprovecha la estructura 802.11n (y 802.11a) siempre que sea posible. Esto es ventajoso para garantizar la compatibilidad con versiones anteriores y la coexistencia y también permite a los desarrolladores de 802.11ac centrarse en las nuevas funciones necesarias para lograr los requisitos de rendimiento, esperaba un

rendimiento WLAN multiestación de al menos 1 Gbps y un rendimiento de enlace único de al menos 500 Mbps [33].

**802.11ax:** También conocido como Wi-Fi 6, se considera la sexta generación de Wi-Fi. Este nuevo estándar presenta una mejora progresiva de las características tecnológicas de los actuales, IEEE 802.11n y ac, ofrece soporte para compatibilidad con las frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz. De igual forma, permite que los puntos de acceso sean capaces de manejar un mayor número de usuarios en entornos densos, mejora la eficiencia espectral y proporciona un rendimiento más confiable para diversas aplicaciones, garantizando una experiencia mejorada [34].

### **Capacidades (MIMO, OFDMA) y efectos en alcance/capacidad**

En las normas actuales, el desempeño eficaz no solo se basa en la modulación/anchos de canal, sino también en la capacidad de múltiples usuarios y en la distribución del tiempo de aire:

**MIMO / MU-MIMO:** MU-MIMO (multiusuario, múltiples entradas, múltiples salidas) emplea el concepto de múltiples haces simultáneos para proporcionar canales independientes a cada usuario. MU-MIMO funciona en conjunto con OFDMA para permitir un aumento significativo de la capacidad y la compatibilidad con más dispositivos.

Con la llegada de 802.11ac, se define una nueva tecnología llamada MU-MIMO. En ella, un punto de acceso (AP) puede utilizar sus recursos de antena para transmitir múltiples tramas a diferentes clientes, todos al mismo tiempo y en el mismo espectro de frecuencias. Si 802.11n es como un concentrador (hub), 802.11ac puede considerarse como un conmutador inalámbrico (en el enlace descendente) [35].

**OFDM (802.11ax):** La tecnología IEEE 802.11ax OFDMA permite que incluso los puntos de acceso 802.11ax de primera onda admitan ocho flujos espaciales y entreguen hasta 4800 Mbps en la capa física, según la implementación del proveedor. Todos los clientes lograrán un mayor rendimiento efectivo en la capa MAC, para una mejor experiencia general del usuario [36].

**Efectos en alcance y cobertura:** A mayor ancho de canal y orden de modulación (por ejemplo, 256-QAM/1024-QAM), se incrementan las tasas PHY, pero se reduce el alcance efectivo, dado que se necesitan SNR más elevadas y se disminuye la resistencia ante atenuación/interferencia. Por esta razón, la banda de 5 GHz (y 6 GHz en 6E) ofrece más capacidad, pero menos penetración que la banda de 2.4 GHz. En demostraciones reales, se elige el ancho de canal en función de la densidad de los clientes y el ruido ambiente [37].

Implicaciones para el prototipo en la cancha: En un ambiente abierto con escasa cobertura y energía solar, generalmente el diseño da prioridad a 2.4 GHz con 20 MHz y MCS conservadores para estabilidad, dejando 5 GHz para celdas de mayor densidad o cercanía. En Wi-Fi 6, OFDMA/MU-MIMO optimiza la experiencia al interactuar con numerosos usuarios, particularmente si el punto de acceso y una porción significativa de clientes soportan 802.11ax.

#### **2.1.5. Seguridad en redes Wi-Fi**

**WEP/WPA/WPA2(AES)/WPA3; control de acceso MAC y temporización:** La seguridad en redes Wi-Fi ha progresado desde los primeros mecanismos vulnerables (WEP) hacia sistemas actuales fundamentados en un cifrado sólido y una autenticación robusta. WEP, que utilizaba RC4 con vectores de inicialización breves, se volvió anticuado debido a sus debilidades inherentes; WPA implementó TKIP como medida provisional; y WPA2 (IEEE 802.11i) consolidó

AES-CCMP como algoritmo de cifrado/integridad sugerida. Las directrices de seguridad institucionales sugieren desactivar WEP y TKIP y utilizar AES-CCMP de manera única.

El estado del arte actual es WPA3. En modo Personal, reemplaza PSK por SAE (Simultaneous Authentication of Equals), más resistente a ataques de diccionario sin conexión y a intentos de adivinación de contraseñas. En modo Enterprise, integra exigencias modernas e impone PMF/802.11w para proteger la integridad de tramas de gestión; además, el ecosistema Wi-Fi exige WPA3 en 6 GHz (Wi-Fi 6E/7). En ambos casos se mantiene AES-CCMP como base de cifrado de datos.

**Control de acceso por MAC:** Se admite que no debe ser visto como un obstáculo de seguridad principal: la dirección MAC es suplantable (spoofing) y, en consecuencia, el filtrado MAC solo brinda utilidad operativa adicional (lista blanca/negra puntual) pero no reemplaza el cifrado/autenticación sólida.

**Timer:** La estrategia sugerida es establecer timeouts de sesión (para tiempo total e inactividad) con el fin de liberar recursos, prevenir sesiones "zombie" y favorecer el uso equitativo del ancho de banda. En el uso de un portal cautivo, la administración del estado de sesión y sus expiraciones se ajusta a la arquitectura y las API estandarizadas por IETF para estos portales.

#### **2.1.6. Bandas de operación de Wi-Fi**

En el ámbito de las redes inalámbricas, se presentan diversos estándares de transmisión, como el Wi-Fi uno de los más aplicados en usos como el actual. La tecnología Wi-Fi (Wireless Fidelity), en particular las bandas de 2.4 GHz y 5GHz, es muy empleada por si alcance y su habilidad para superar barreras, como son las estructuras y paredes, lo que facilita su implementación en diferentes lugares de un campus universitario. Específicamente, la banda 2.4

GHz proporciona un rango de cobertura más amplio, pero a decir verdad su velocidad es inferior en comparación con la banda de 5 GHz. El motivo por el cual se seleccionó la banda de 2.4 GHz para este proyecto es que, en el área del campo, las demandas de cobertura sobrepasan las de velocidad, y se necesita una señal que abarque el espacio de forma homogénea.

**Banda de 2.4 GHz: características y canales (1/6/11):** En la banda de 2.4 GHz, los canales 1, 6 y 11 no se entrelazan. En el espectro de 2.4 GHz, cada canal posee una anchura de 20 MHz. El canal los centros están divididos por 5 MHz y el espectro aproximado tiene un ancho de únicamente 100 MHz. Esto implica que los 11 canales deben ajustarse a los 100 MHz existentes y, finalmente, superponerse [38].

**Banda de 5 GHz: características y comparativa:** La banda de 5 GHz proporciona un mayor número de canales y posibilita anchos de 40/80/160 MHz, lo que permite una mayor capacidad añadida y una reducción en la posibilidad de solapamiento con redes cercanas. No obstante, al funcionar con mayor frecuencia muestra una penetración y alcance efectivo inferiores a 2.4 GHz a potencia equivalente, debido al incremento de pérdidas en espacio libre y la reducción de obstáculos. En diseños centrados en la capacidad, se da preferencia a 5 GHz, dejando 2.4 GHz para garantizar cobertura y soporte [39].

### **Espectro y propagación: zonas de Fresnel, propagación, atenuación, pérdida en espacio libre**

**Zona de Fresnel:** Es una elipse ficticia que gira en torno a la línea visual entre el emisor y el receptor de acuerdo como se muestra en la **Figura 8**. Conforme las señales de radio se desplazan por el espacio libre hacia su meta, podrían detectar una obstrucción en la zona de Fresnel, lo que deterioraría la señal. Se alcanzan el máximo rendimiento y alcance cuando no existen obstáculos en esta zona de Fresnel. Las variables como la pérdida de espacio libre, el beneficio de la antena,

la pérdida del cable, la velocidad de datos, la distancia del enlace, la potencia del transmisor, la sensibilidad del receptor y otras, inciden en la distancia de su enlace de malla. Los enlaces pueden continuar operando siempre y cuando entre el 60% y el 70% del área de Fresnel esté exenta de obstáculos [40].

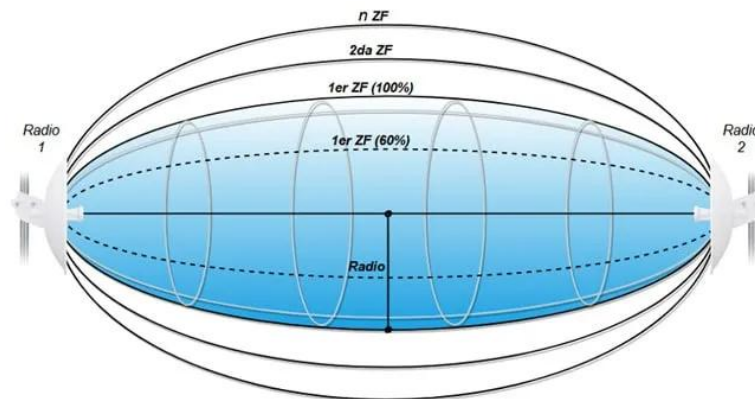


Figura 8: Zona de Fresnel [41]

### Teoría sobre de la propagación de ondas electromagnéticas

Esta teoría explica la manera en que las ondas electromagnéticas, que llevan información en las redes Wi-Fi, se mueven en el espacio. La difusión puede ocurrir de tres formas fundamentales:

- **PROPAGACIÓN EN LÍNEA DE VISTA (LOS):** Las señales se desplazan de manera directa entre el emisor y el receptor sin barreras, asegurando una transmisión ideal [42].
- **PROPAGACIÓN POR REFLEXIÓN, DIFRACCIÓN Y DISPERSIÓN:** Cuando la señal se topa con barreras como murallas, arboledas o construcciones, tiene la capacidad de reflejarse, dispersarse o inclinarse. Esto puede provocar pérdidas de señal o interrupciones, impactando la calidad del enlace [42].

## **Atenuación y pérdida de señal**

La atenuación hace referencia a la reducción de la potencia de la señal mientras se dispersa a través del medio. Tales elementos como la lejanía, interferencia de otras redes y barreras físicas inciden directamente en la calidad de la señal Wi-Fi, en este escenario, se toman en cuenta las soluciones como la mejor configuración de los canales y la utilización de repetidores Access Point (puntos de acceso) extras [43].

## **Teoría del espectro y limitaciones de emisión para Wi-Fi**

### **Teoría del espectro de frecuencia**

Wi-Fi funciona en bandas específicas de frecuencia, tales como 2.4 GHz y 5 GHz. La teoría del espectro de frecuencia como se representa en la **Figura 9** indica que las señales de mayor frecuencia (destacando la 5 GHz) proporcionan velocidades de transmisión superiores, aunque poseen un alcance reducido y son más propensas a ser atenuadas por barreras. En contraposición, las frecuencias más bajas (2.4 GHz) ofrecen un alcance superior, aunque con velocidades inferiores [44].

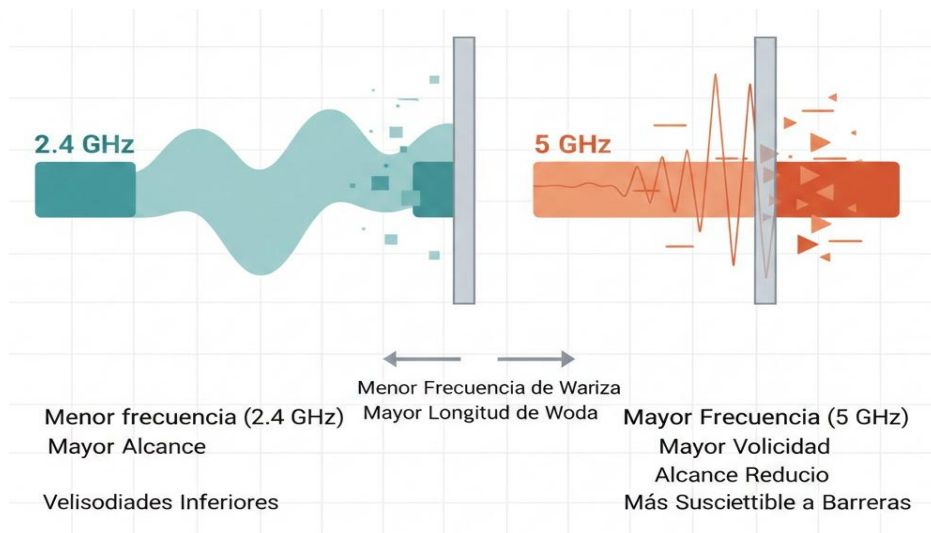


Figura 9: Teoría del espectro de frecuencia [44]

## Teoría de la capacidad del canal

Esta teoría, propuesta por Claude Shannon, sostiene que la máxima capacidad de un canal de comunicación se determina por el ancho de banda disponible y la relación entre SNR (señal/ruido). Para Wi-Fi los sistemas actuales emplean múltiples MIMO (antenas) para optimizar la capacidad del canal, posibilitando la transmisión en forma simultánea de varios flujos de datos [45].

### 2.1.7. Mediciones de potencia en redes Wi-Fi

#### Parámetros de señal inalámbrica: niveles en dBm, RSSI y SNR

Potencia RSSI En las tecnologías WSN y Wi-Fi, los métodos de localización que se fundamentan en la potencia de la señal captada (RSSI) son los más habituales. En una comunicación sin cables, el indicador RSSI facilita la estimación de la distancia entre dos dispositivos o nodos. Uno de los beneficios de emplear este procedimiento es que las mediciones

de RSSI se consiguen directamente a través de los módulos de radio, evitando la necesidad de dispositivos externos o componentes extra. El dBm (decibelios-milivatios) es una unidad de potencia equivalente a un milivatio (mW), empleada para representar la medida absoluta de potencia. Esta es una unidad adimensional cuyo propósito es la cuantificación de datos [46].

Hay una noción denominada relación señal/ruido o SNR, que asegura una funcionalidad inalámbrica superior. La SNR representa la variación entre la señal recibida de manera inalámbrica y el nivel de ruido. El nivel de ruido son simplemente transmisiones de fondo incorrectas que provienen de otros aparatos que se encuentran demasiado distantes para entender la señal, o de dispositivos que de forma inadvertida generan interferencias en la misma frecuencia [47].

EIRP es Potencia isotrópica radiada eficaz, también llamado el Potencia irradiada isotrópica equivalente. En las mediciones de antena, la potencia radiada medida en una sola dirección (es decir, para una dirección fija  $\theta$  y  $\Phi$ ) se conoce como EIRP [48].

## **Criterios de configuración para redes inalámbricas**

### **Selección de canal (2.4 GHz).**

- Realizar un barrido previo (site survey) y fijar el canal entre **1/6/11** con **menor ocupación y ruido**.
- Revisar el canal en cada despliegue/movimiento del prototipo; cambiar solo si la congestión supera ~60 % o el ruido de fondo aumenta >3 dB.

### **Ancho de canal.**

- Mantener **20 MHz** en 2.4 GHz para evitar solapamientos; en 5 GHz (si se usa para pruebas locales) considerar 40 MHz únicamente si el entorno está poco poblado.

### **Potencia de transmisión y EIRP.**

- Partir con  $T_x = 14$  dBm y ajustar en pasos de 3 dB; objetivo: en el borde de la zona útil, RSSI  $-67$  a  $-70$  dBm con  $SNR \geq 20$  dB.
- Asegurar que  $EIRP \leq 20$  dBm en 2.4 GHz (sumando  $T_x$  y ganancia efectiva) para cumplir normativa y reducir interferencias.

### **Ubicación/altura del AP.**

- Montaje elevado (2,5–3,5 m), lo más centrado posible respecto a la cancha, evitando estructuras metálicas y fuentes de ruido eléctrico.
- Mantener separación  $\geq 0,5$  m de superficies metálicas y minimizar longitud de cables RF/DC.
- Cuando se reubique el prototipo, repetir mediciones rápidas (3–5 puntos) para validar que no aparezcan “zonas sombra”.

### **MCS y estabilidad de enlace.**

- Mantener rate adaptation automático; se prioriza estabilidad sobre pico de velocidad.

- Aceptar MCS7 (1×1, 20 MHz) como objetivo estable en 2.4 GHz; si el equipo y los clientes soportan 2×2, buscar MCS15 en zonas centrales con SNR elevada.
- Si la SNR en borde cae por debajo de 18–20 dB, reducir potencia solo si hay solapamiento con otras celdas; en caso contrario, elevar altura u optimizar ubicación antes de ampliar Tx.

### **Seguridad y gestión del espectro.**

- Mantener WPA2-AES o WPA3-SAE, canal fijo, band steering desactivado en 2.4 GHz (activar solo si se añade 5 GHz para usos específicos).
- Evitar coexistencia con dispositivos emisores cercanos (microondas, BT muy congestionado); si aparece interferencia fija en el canal, migrar a otro de 1/6/11.

### **Procedimiento de puesta a punto (resumen operativo)**

- PASO 1: Barrido inicial de canales (app de survey)
- PASO 2: Fijar canal 1/6/11 menos ocupado
- PASO 3: Tx a 14 dBm
- PASO 4: medir RSSI/SNR en malla corta (centro, bandas laterales, cuatro esquinas)
- PASO 5: Ajustar **altura/posición** del AP y repetir medición
- PASO 6: si el borde no cumple (RSSI/SNR), subir Tx a 17 dBm o reubicar AP; nunca exceder **EIRP 20 dBm**
- PASO 7: registrar MCS promedio y pérdidas/reintentos para constatar estabilidad.

## **Herramientas de medición de campo Wi-Fi**

Los dispositivos de medición selectiva de campos electromagnéticos (EMF) posibilitan evidenciar la seguridad y la compatibilidad con el medio ambiente al examinar con gran exactitud intervalos de frecuencia específicos y niveles de exposición hasta el nivel de un canal de comunicaciones individual; adicionalmente, determinan la aportación y la suma total del campo, contrastándolas con los valores límite actuales (ICNIRP, FCC, entre otros). Específicamente, el SRM-3006 permite un análisis rápido, fácil y detallado de la magnitud de la radiación y sus fuentes, gracias a la medición selectiva de frecuencia desde 9 kHz hasta 6 o 29,5 GHz, la identificación exacta de canales de radio de diferentes operadores y la utilización de antenas de medición isotrópicas adaptables a cada necesidad.

El dispositivo incluye rutinas de medición programables que economizan tiempo, funciones de evaluación avanzadas en el equipo y un modo SCOPE para el análisis a corto plazo de señales pulsadas y el registro a largo plazo; además, está diseñado para su uso en ambientes exteriores y adversos, y proporciona alternativas de expansión enfocadas a tecnologías emergentes, como la medición ampliada de 24,25 a 29,50 GHz para señales 5G y NR [49].

## **Normativas sobre radiación electromagnética**

El fenómeno REM o radiación electromagnética es propio de las telecomunicaciones, particularmente en los sistemas inalámbricos como Wi-Fi. Considerando su posible efecto en la salud y el medio ambiente, varias entidades nacionales e internacionales han implementado regulaciones para controlar su liberación y afirmar la seguridad.

En el campo de las telecomunicaciones, la densidad de potencia ( $S$ ) se considera un indicador esencial para medir la exposición a la radiación electromagnética producida por sistemas inalámbricos, como las redes Wi-Fi. Este indicador se conoce como densidad de flujo de potencia, lo que simboliza la potencia por unidad de superficie normal en relación con la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas [50].

$$S = \frac{E^2}{n_0} = n_0 H^2 = E H$$

$E =$  Intensidad del campo eléctrico  $\left(\frac{V}{m}\right)$

$n_0 =$  Impedancia intrínseca del espacio libre, cuyo valor aproximado es  $377 \Omega$

$H =$  Intensidad del campo magnético  $\left(\frac{A}{m}\right)$

La densidad de potencia se mide en unidades de  $W/m^2$ .

En este proyecto, el equipo Narda aplica esta relación para determinar la densidad de potencia en ambientes electromagnéticos, asegurando que las emisiones de radiación se conserven dentro de los parámetros fijados por regulaciones internacionales como las de la ICNIRP (International Commission on Protection against Radiation Not Ionizing), este equipo puede medir directamente los valores de  $E H$ , esto viene a ser crucial para poder derivar  $S$ . Por lo tanto, su puesta en marcha es crucial para valorar el efecto de las redes Wi-Fi en la banda de 2.4 GHz, garantizando que las potencias de radiación horizontales y verticales se adhieran a las regulaciones de seguridad, Esta conjetura también va a permitir argumentar que la frecuencia de 2.4 GHz se alinea con una longitud de onda de cerca de 12.5 cm, lo que resulta importante en el diseño y configuración de los sistemas inalámbricos al establecer patrones de radiación y cobertura. La

incorporación de esta evaluación matemática en el marco regulatorio garantiza un diseño seguro, eficaz y acorde con las normativas actuales [50].

En el análisis FFT (Transformada Rápida de Fourier) utilizado en equipos como el Narda SRM-3006, se realiza la descomposición de una señal en sus componentes de frecuencia. La fórmula matemática general que describe este análisis es la Transformada Discreta de Fourier (DFT), de la cual la FFT es una optimización computacional [50]. La ecuación es:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n * e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$$

$X_k$ : Representa el componente de la frecuencia  $k$  en el dominio de la frecuencia.

$x_n$ : Es el valor de la señal en el dominio del tiempo en el índice  $n$ .

$N$ : Es el número total de muestras en la señal.

$j$ : Es la unidad imaginaria ( $j = \sqrt{-1}$ )

$e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$ : Es el núcleo de la transformada, conocido como la base exponencial compleja.

### **2.1.8. Energías renovables**

#### **Sostenibilidad y autonomía energética**

La sostenibilidad y la autonomía energética son principios esenciales en la puesta en marcha de infraestructuras contemporáneas, particularmente en proyectos tecnológicos que aspiran a disminuir su efecto en el medio ambiente y funcionar de forma autónoma de las redes de

abastecimiento tradicionales. En este escenario, el uso de fuentes de energía renovable, como la solar, posibilita alcanzar estas metas a la vez que se asegura la continuidad del servicio [51].

### **Sostenibilidad energética en telecomunicaciones**

La sostenibilidad energética conlleva la utilización eficaz de recursos energéticos, con un énfasis en disminuir la huella de carbono. En el contexto de las telecomunicaciones, esto implica la incorporación de tecnologías que reduzcan el uso de energía sin afectar la calidad del servicio proporcionado. La energía solar representa una de las alternativas más alentadoras, dado que se beneficia de un recurso natural inagotable, produciendo energía limpia y disminuyendo la necesidad de combustibles fósiles [52].

En este proyecto, la utilización de energía solar no solo favorece la preservación del medio ambiente, sino que también sincroniza el progreso tecnológico con los principios de responsabilidad ecológica fomentados por entidades educativas. La puesta en marcha de este sistema en el campo sintético del campus funcionará como un ejemplo de infraestructura sustentable, evidenciando cómo se puede balancear el avance tecnológico con la conservación del medio ambiente.

### **Beneficios de la sostenibilidad y autonomía en el proyecto**

La mezcla de sostenibilidad e independencia energética en este proyecto brinda varias ventajas:

- Reducción del impacto ambiental: Al incorporar energía solar como fuente primaria, se disminuye significativamente la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo a mitigar la huella ecológica del sistema.

- Bajos gastos operacionales: El uso de energías renovables reduce los gastos vinculados al uso de electricidad en la red.
- Capacitación y portabilidad: La independencia energética posibilita que el sistema se mueva a diversas zonas del campus sin tener en cuenta la presencia de infraestructura eléctrica.
- Modelo de enseñanza: Este proyecto también funciona como un modelo a seguir para alumnos y personal de la universidad, promoviendo la implementación de prácticas sustentables.

### **2.1.9. Tipos de energías renovables**

#### **Energía solar fotovoltaica**

La energía solar, como se ilustra en la **Figura 10**, viene a ser un recurso renovable que utiliza la radiación solar para la producción de energía eléctrica o calor, sobresaliendo por su sostenibilidad y su reducido impacto en el medio ambiente.

Además, es un tipo de energía renovable que es obtenida después de la recepción de las radiaciones electromagnéticas que son emitidas por el sol, creando así, reacciones químicas o una generación de electricidad [53].



*Figura 10: Energía Solar [54]*

### **Energía eólica**

Transforma la energía cinética de los vientos en energía eléctrica mediante aerogeneradores, así como se ve en la **Figura 11**. Se diferencian parques terrestres (onshore) y marinos (offshore); los segundos utilizan sistemas de viento más estables, con factores de capacidad generalmente más elevados, aunque con exigencias de infraestructura más elevadas. La energía eólica proporciona una gran capacidad añadida y demanda una planificación de red debido a su variabilidad [55].



*Figura 11: Energía Eólica [55]*

## **Energía hidroeléctrica**

El aporte de la energía hidroeléctrica ilustrado en la **Figura 12** supera en un 55% al de la energía nuclear y sobrepasa al de todas las otras energías renovables combinadas, incluyendo la eólica, solar fotovoltaica, bioenergía y geotérmica. En 2020, la energía hidroeléctrica aportó el 17% de la producción eléctrica global, posicionándose como la tercera fuente más importante tras el carbón y el gas natural. En las últimas dos décadas, la capacidad total de la energía hidroeléctrica se incrementó en un 70% a nivel global, sin embargo, su aporte en la generación total se conservó constante gracias al desarrollo de la energía eólica, solar fotovoltaica, carbón y gas natural [56].



*Figura 12: Energía Hidroeléctrica [56]*

## **Energía Geotérmica**

La energía geotérmica aprovecha el calor interno de la Tierra para producir electricidad o calefacción. Funciona mediante la perforación de pozos que permiten acceder a reservorios de vapor o agua caliente. El vapor extraído, como se aprecia en la **Figura 13**, impulsa turbinas acopladas a generadores que producen electricidad. En aplicaciones térmicas, el calor se transfiere

por intercambiadores para climatizar edificaciones. Es una fuente constante y confiable, especialmente en regiones con actividad volcánica o tectónica [57]



*Figura 13: Energía Geotérmica [57]*

### **Energía Mareomotriz y Undimotriz**

La energía mareomotriz y undimotriz aprovecha el movimiento natural del océano para producir electricidad, como puede observarse en la **Figura 14**. La mareomotriz funciona mediante turbinas instaladas en zonas donde las mareas suben y bajan con regularidad. La undimotriz captura la energía del oleaje con dispositivos flotantes o articulados que transforman el movimiento en energía eléctrica. Ambas tecnologías convierten la energía mecánica del mar en electricidad limpia y renovable. Aunque aún están en desarrollo, poseen un enorme potencial energético en regiones costeras [58].



*Figura 14: Energía Mareomotriz y Undimotriz [58]*

### **La biomasa o el biogás**

La energía de la biomasa utiliza materia orgánica de origen vegetal, animal o residuos industriales para generar calor, electricidad o biocombustibles. Su funcionamiento consiste en la combustión, gasificación o descomposición anaeróbica de estos materiales para obtener energía aprovechable. El biogás resultante puede alimentar motores o turbinas para generar electricidad de manera sostenible, como se ve en la **Figura 15**. Este tipo de energía promueve el reciclaje de residuos y reduce la dependencia de combustibles fósiles. Su eficiencia varía según el tipo de material y tecnología empleada [59].



*Figura 15: Tanques de Biogás [59]*

El uso de energía fotovoltaica en este proyecto es necesario porque permite alimentar el prototipo de red inalámbrica en zonas de baja cobertura donde no existe una infraestructura eléctrica confiable, la energía solar garantiza autonomía y continuidad del servicio, evitando interrupciones por cortes de luz y permitiendo instalar el sistema en lugares remotos sin costos adicionales de cableado. Además, al utilizar una fuente renovable, se reduce el impacto ambiental y se promueve una solución sostenible y adaptable a diferentes entornos.

#### **2.1.10. Sistema fotovoltaico**

##### **Fundamentos del efecto fotovoltaico**

##### **Principios básicos de la energía fotovoltaica**

- ✓ **ENERGÍA FOTOVOLTÁICA:** Se refiere al procedimiento en el que los paneles solares transforman la radiación solar en energía eléctrica de CC (corriente continua) [60].
- ✓ **ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA:** Tras la producción de energía esta se guarda en baterías para asegurar un abastecimiento constante, inclusive si no hay luz solar [61].

- ✓ **REGULACIÓN Y CONVERSIÓN:** Los reguladores de carga controlan la circulación de energía, en tanto que los inversores transforman la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), que es compatible con la mayoría de los aparatos de telecomunicaciones [62].

### **Conversión de energía luminosa a corriente eléctrica: efecto fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico se basa en la transmisión de energía de las partículas de luz que un material semiconductor absorbe al sistema eléctrico vinculado. Este suceso provoca la creación de pares electrón-hueco, un procedimiento denominado efecto fotovoltaico interno. Es imprescindible la existencia de un campo eléctrico interno para reunir estos portadores de carga en un periodo de tiempo reducido. Esta zona puede ser producida a través de la creación de estructuras particulares como uniones P/N, uniones PIN, o barreras Schottky de tipo MS o MIS, en este escenario, la estructura fundamental de una celda fotovoltaica con una homojuntura P/N juega un rol esencial. En estas celdas, la generación de campo eléctrico en la zona de carga espacial (ZCE) de la homojuntura es esencial para diferenciar las cargas de los portadores de energía fotoeléctrica. Luego, este campo posibilita la transferencia eficaz de las cargas hacia los electrodos, favoreciendo de esta manera la transformación de energía lumínica en energía eléctrica apta para el uso [63].

Este procedimiento se ve representado en la **Figura 16**, haciendo énfasis a la importancia en el diseño como también el funcionamiento de paneles solares y representa el fundamento del uso de la energía solar en sistemas fotovoltaicos contemporáneos.

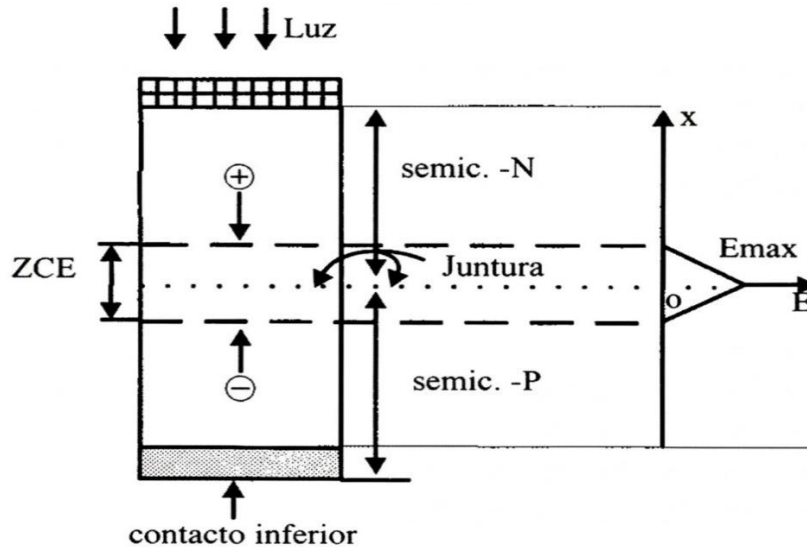


Figura 16: Estructura típica de una celda solar tipo homojuntura [64]

### 2.1.10.1 Radiación solar y unidades: HSP, Wp, iluminación, tipos de radiación

#### Unidades de la radiación solar

Para determinar el espacio del modelo solar, se disponen de dos unidades:

- **Hora de mayor actividad (HSP):** se refiere al número de horas equivalentes en las que la irradiancia solar alcanza un valor de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Las HSP representan la cantidad de energía solar disponible por día en un lugar específico y permiten estimar la producción fotovoltaica con alta precisión [65].
- **Wattios Pico (Wp):** Es la unidad que define la potencia máxima que puede entregar un panel fotovoltaico bajo condiciones estándar de prueba (STC), es decir, una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura de célula de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y un espectro AM 1.5. El valor en Wp permite comparar módulos y dimensionar sistemas solares de manera uniforme [65].

#### Iluminación

Es una adaptación del flujo de luz que impacta en un área o espacio específico y se manifiesta en lux, además, no tan solo ofrece claridad en áreas donde falta luz, sino que también contribuye a una excelente visualización en la oscuridad [66].

## Tipos de radiaciones

Se refiere a la transmisión de energía de forma electromagnética o en una estructura subatómica a través del vacío o por medio de un medio material, y de las cuales se categorizan en [67]

La **Figura 17** ilustra la forma en que la radiación solar interactúa con la atmósfera y la superficie terrestre mostrando sus principales componentes:

- **Radiación directa:** es la que proviene del sol y no presenta ninguna variación alguna.
- **Radiación solar:** se refiere a la combinación de radiaciones electromagnéticas generadas por el sol.
- **Radiación reflejada:** es la energía que se refleja en la superficie del planeta, en la que si coeficiente de reflexión refleja a totalidad de dicha energía.
- **Radiación difusa:** se refiere a los fenómenos de refracción y reflexión solar en el ambiente, en las nubes, entre otros. Y empieza desde los objetivos de la tierra y el espacio.



Figura 17: Tipos de Radiaciones [67]

### 2.1.10.2 Sistema FV: on-grid, off-grid, híbridos

#### Sistemas fotovoltaicos

- **Sistemas on grid o conectado de la red:** También denominados SFVCR, son aquellos que tienen la salida de abastecimiento de energía alterna vinculados al sistema de distribución tradicional, lo que significa que su propósito es proporcionar energía no utilizada por la vivienda a la red. Dentro de sus elementos, es crucial la implementación de un medidor bidireccional [68].
- **Sistema aislados u off Grid:** Estos sistemas poseen como principal característica cubrir la necesidad de energía en el sitio donde se instalarán. Para alcanzar ese propósito, es necesario acumular energía a través del uso de reguladores y baterías para proporcionarla. En la **Figura 18** se muestra el esquema de conexión de este tipo de sistema [68]. Usualmente, estos sistemas se emplean en zonas distantes de la ciudad o donde el costo es considerablemente alto para un sistema de distribución habitual. No obstante, existen los días de autonomía, que son los que se alimentan a través de los bancos de baterías, los cuales proporcionarán energía al sistema cuando no hay una adecuada radiación solar [68].

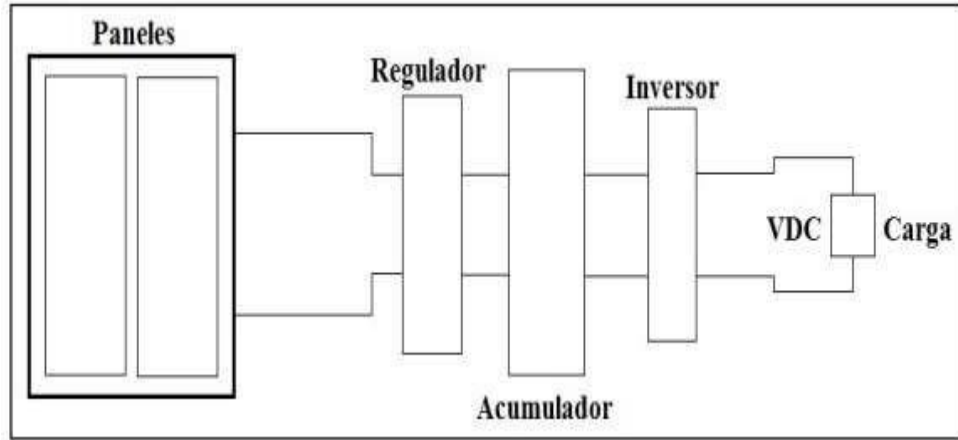


Figura 18: Sistema Fotovoltaico Aislado (Buele) [68]

- Sistemas híbridos: Este sistema, como se representa en la **Figura 19** es la fusión de los sistemas previamente mencionados, es decir, suministra energía tanto a través de la red como a través de los paneles solares instalados, y se emplea principalmente en sitios donde no se debe interrumpir el abastecimiento de electricidad [68].

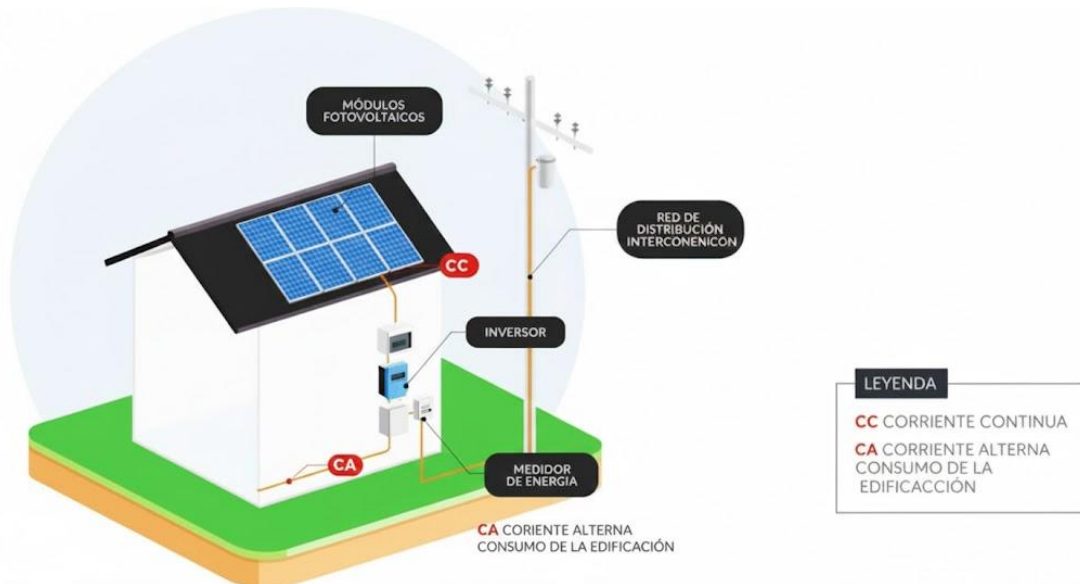


Figura 19: Sistema Híbrido (Clamper)

## **Ventajas en aplicaciones de redes**

Los sistemas solares proporcionan varias ventajas en las redes de telecomunicaciones, particularmente en contextos en que la infraestructura eléctrica es escasa o no existe. Primero sobresalen por su sostenibilidad, dado que emplean una fuente de energía renovable, lo que disminuye considerablemente las emisiones de carbono y el efecto en el medio ambiente. Asimismo, proporcionan independencia energética, posibilitando que los dispositivos de red operen sin interrupciones, incluso en zonas alejadas o en situaciones meteorológicas desfavorables que perjudiquen el abastecimiento eléctrico convencional. También son destacables su adaptabilidad y escalabilidad, dado que los sistemas logran ajustarse con facilidad a distintos grados de demanda energética, desde redes locales pequeñas hasta infraestructuras más sofisticadas. En esencia, la disminución de los gastos operativos de larga durabilidad es otro de los beneficios esenciales, dado que, tras su instalación, los sistemas solares necesitan menos mantenimiento y sustituyen la necesidad de costos generadores de energía o de la red eléctrica tradicional. Esto los hace una opción perfecta para contextos que requieren una conectividad estable y sostenible.

## **CAPÍTULO III**

Este capítulo presenta el progreso técnico y estructural del prototipo de red inalámbrica de las que está trabajando en la banda de 2.4 GHz, alimentado por un sistema fotovoltaico portátil, que suministra energía tanto al punto de acceso WAVLINK AC600 como a una cámara de seguridad IP integrada en la estructura, con el objetivo de proporcionar una conexión en áreas donde la cobertura es restringida en ciertas partes del ambiente académico. La propuesta se basa en los principios teóricos y conceptuales previamente estipulados, utilizando una metodología práctica que fusiona tecnologías inalámbricas con soluciones energéticas sustentables.

Inicialmente, se describen los componentes del marco contextual, que incluyen los elementos esenciales, la condición actual de cobertura, las restricciones del ambiente y la infraestructura existente. Luego, se detallan las bases conceptuales y teóricas que sustentan la selección de tecnologías, reglas técnicas y principios científicos vinculados con las telecomunicaciones, la energía sostenible y renovable.

## **2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

### **3.1. Componentes de la propuesta**

#### **Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo**

##### **Descripción de los componentes físicos seleccionados**

En esta parte, se procede a describir las propiedades técnicas y operativas de los elementos escogidos para la puesta en marcha del prototipo de red inalámbrica. Cada uno de los elementos

ha sido seleccionado meticulosamente para asegurar la eficacia, la sostenibilidad y la portabilidad del sistema en cuestión.

### **Narda**

El equipo Narda, como se lo puede ilustrar en la **Figura 20** es un espectro analizador especialista en la evaluación de la radiación electromagnética. Su papel principal en este proyecto consiste en supervisar la calidad de la señal Wi-Fi en el ambiente de la cancha artificial, esto va a asegurar que los niveles de potencia y frecuencia se conserven en los límites ideales, y se adhieran a las normativas o regulaciones internacionales estipuladas por la ARCOTEL [70].

Función de la Longitud de onda como se la puede observar en la **Ecuación 1**:

$$L_{bf} = 20 * \log\left(\frac{4 * \pi * d}{\lambda}\right) \quad (1)$$

*Ecuación 1: Función de la Longitud de onda*

*L<sub>bf</sub>: Las perdidas en espacio libre*

*D: Distancia*

*λ: Landa o longitud de onda*



*Figura 20 – Narda (Analizador de Espectro en Tiempo Real) [70]*

### **Panel solar**

La selección del panel solar tiene la tarea de recoger energía solar y transformarla en energía eléctrica. Una instalación de paneles solares se puede observar en la **Figura 21**. Con su salida de potencia que varía entre 5 W y 600 W, tiene la capacidad de suministrar el sistema durante el día, al mismo tiempo que carga las baterías para asegurar el funcionamiento en el lapso de la noche. Su elevada eficacia y capacidad de resistir condiciones meteorológicas severas lo convierte en el ambiente perfecto para su ejecución [71].



*Figura 21 - Panel Solar [72]*

## Baterías

Las baterías de litio, como se puede observarse en la **Figura 22** tienen una capacidad de almacenamiento que varía entre 1 Ah y 500 Ah, facilitando así el funcionamiento del sistema durante periodos extensos de baja radiación solar. Cabe recalcar que son elementos esenciales para garantizar la auto sustentabilidad de energía del prototipo [73].

Para calcular la capacidad óptima de las baterías requeridas en la instalación, se utiliza la siguiente relación, tal como se muestran en la **Ecuación 2**:

$$Cb = \frac{Ec * Du}{Vb * Mfd} \quad (2)$$

*Ecuación 2: Formula para el uso de baterías óptimas*

*Cb: Capacidad de las baterías, en Amperios hora, Ah.*

*Ec: Energía consumida por los equipos, en vatios hora, Wh*

*Du: Dias de uso o autonomía.*

*Vb: Voltaje de baterías, voltios DC, Vdc*

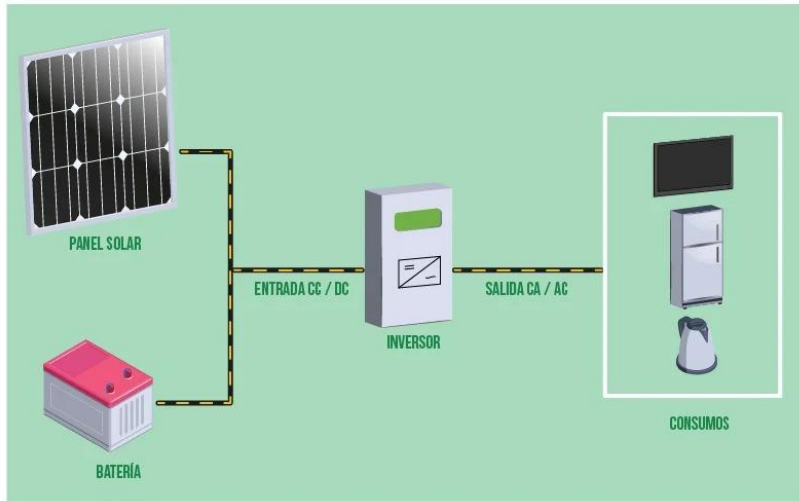
*Mfd: Máximo fondo de descarga de la batería, el valor porcentual, %*



Figura 22: Batería de Litio de 500 Ah [74]

## Inversor

El inversor transforma la energía de CC (corriente continua) producida por el panel solar y que es guardada en las baterías en energía de CA (corriente alterna), requerida para poder alimentar determinados dispositivos del sistema. El proceso y la ubicación del inversor dentro del sistema se puede visualizar en la **Figura 23**, este modelo en particular posee una eficiencia que supera al porcentaje común por lo que se ajusta a las demandas energéticas del prototipo [75].



*Figura 23: Visualización de un Inversor Solar [75]*

### **Wavlink ac600**

La antena externa WAVLIINK AC600, mostrada en la **Figura 24**, es el equipo clave para transmitir y recibir la señal de Wi-Fi. Esta trabaja y funciona con frecuencia en la banda de 2.4 GHz y brinda una velocidad de 600 Mbps, por lo que se convierte en idónea para brindar conectividad a las áreas de escasa cobertura [76]. Tomando en cuenta que su diseño es macizo y de alta resistencia a las condiciones climáticas posibilita su colocación en espacios exteriores, por lo que permite asegurar un mejor desempeño constante y continuo incluso en situaciones difíciles o no favorables.



Figura 24: Antena Waylink ac600 [76]

### Cámara de seguridad IP

La cámara de seguridad que es mostrada en la **Figura 25**, forma parte del subsistema de comunicaciones del prototipo y se instala en la misma estructura portátil que la antena WAVLINK AC600. Es un modelo IP de bajo consumo, con resolución mínima de 1080p y visión nocturna, alojado en carcasa para intemperie [77]. Su función es monitorear el entorno inmediato y el estado físico del prototipo, aportando un nivel básico de videovigilancia y protección del equipamiento durante las pruebas en la cancha natural.



*Figura 25: Cámara de seguridad IP [77]*

### **3.1.1 Comparativa de componentes**

En esta parte se lleva a cabo un estudio en la que se hace una comparación de los componentes escogidos en comparación con otras alternativas existentes en el mercado. La meta es evidenciar la selección de cada componente en los aspectos de adaptabilidad, costos, durabilidad y de eficiencia a las condiciones del proyecto. Los resultados de esta comparación se presentan detalladamente en la **Tabla 1** y **Tabla 2**.

### 3.1.1.1. Comparativa de antenas

Tabla 1: Características de Tipos de Antenas

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>WAVLINK AC600</b>	<b>TP-LINK CEP210</b>	<b>Ubiquiti Na-noStation locoM2</b>
<b>Frecuencia</b>	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
<b>Velocidad máxima</b>	600 Mbps	300 Mbps	150Mbps
<b>Alcance</b>	200 metros	500 metros	400 metros
<b>Resistencia al clima</b>	-30°C a 70°C (-22°F a 158°F)	-30°C a 70°C (-22°F a 158°F)	-30°C a 80°C (-22°F a 176°F)
<b>Portabilidad</b>	Alta	Alta	Alta

### 3.1.1.2. Comparativa de sistemas de energía

Tabla 2: Estadísticas de Voltajes

<b>Características</b>	<b>Monocristalino</b>	<b>Policristalino</b>	<b>Capa Fina</b>	<b>Temp. (Med/Alt)</b>	<b>Híbridas</b>
<b>Potencia salida</b>	240-400 W	240-360 W	50-200 w	N/A	Según diseño
<b>Eficiencia</b>	17-22%	16-18%	6-12%	N/A	12-20%
<b>Durabilidad</b>	25-30 años	25-30 años	25-30 años	15-25 años	25-30 años

### Para este proyecto se deben tomar en cuenta las siguientes propuestas:

- **Objetivo del sistema:** Proveer conectividad Wi-Fi estable en la banda de 2.4 GHz sobre el perímetro y el interior de la cancha natural universitaria, empleando un nodo portátil alimentado por un sistema fotovoltaico autónomo.
- **Alcance geográfico:** Cobertura en la cancha natural ([área objetivo: 5,175 m<sup>2</sup>]), con posibilidad de reubicación del nodo a una ubicación predefinida dentro del campo para optimizar la señal según el uso del espacio.
- **Interfaces y dependencias:** El prototipo tomará backhaul Wi-Fi desde un SSID institucional existente en 2.4 GHz (bloque más cercano) y volverá a distribuir el servicio en el área de baja cobertura. El prototipo no depende de acometida eléctrica fija.

### Requisitos funcionales

- Emitir un SSID de servicio en 2.4 GHz con una amplitud de canal de 20 MHz y elegir de manera fija el canal 1/6/11, conforme a la investigación del espectro.
- Integración como cliente o repetidor del SSID de la universidad para el transporte de datos y la redistribución local.
- Funcionamiento autónomo a través del sistema fotovoltaico-baterías, con una autonomía mínima de 8 horas sin irradiancia.
- **Portátil:** Estructura movable, mástil de 3 a 5 metros y un gabinete IP para la protección contra la intemperie.
- **Monitoreo básico:** en el lugar (estado del controlador/ tensión de batería) y comprobación de calidad de enlace (SNR/RSSI) durante la implementación.

### **3.2. Arquitectura de la red**

#### **Acceso a redes universitarias**

Desde un bloque de la universidad cercano, se encuentra una red WI-FI de 2.4 GHz que ofrece un nivel de conectividad normalmente básico. No obstante, su alcance es limitado y no abarca de manera apropiada el área de la cancha natural. Sin embargo, este punto de red servirá como fuente de señal para la antena WAVLINK AC600, que será responsable de recibir la señal y propagarla de forma eficiente en el área de escasa cobertura.

#### **Acceso limitado a la energía y oportunidades de energía renovable**

A pesar de que la zona no disponga de un suministro eléctrico constante y estable, el entorno abierto brinda la oportunidad perfecta para aprovechar la energía solar. Es suficiente espacio para instalar un sistema de energía solar autónomo, que proporcionará la energía requerida para sustentar la antena y otros aparatos necesarios para la red inalámbrica.

#### **Recursos técnicos universitarios**

La institución universitaria dispone con ciertos recursos y equipos técnicos que pueden aportar a la ejecución del proyecto, como lo es el equipo Narda para el estudio de frecuencias y potencia de la señal. Este equipo facilitará la comprobación y mejora de la configuración de la red, garantizando un desempeño óptimo en el área de poca cobertura.

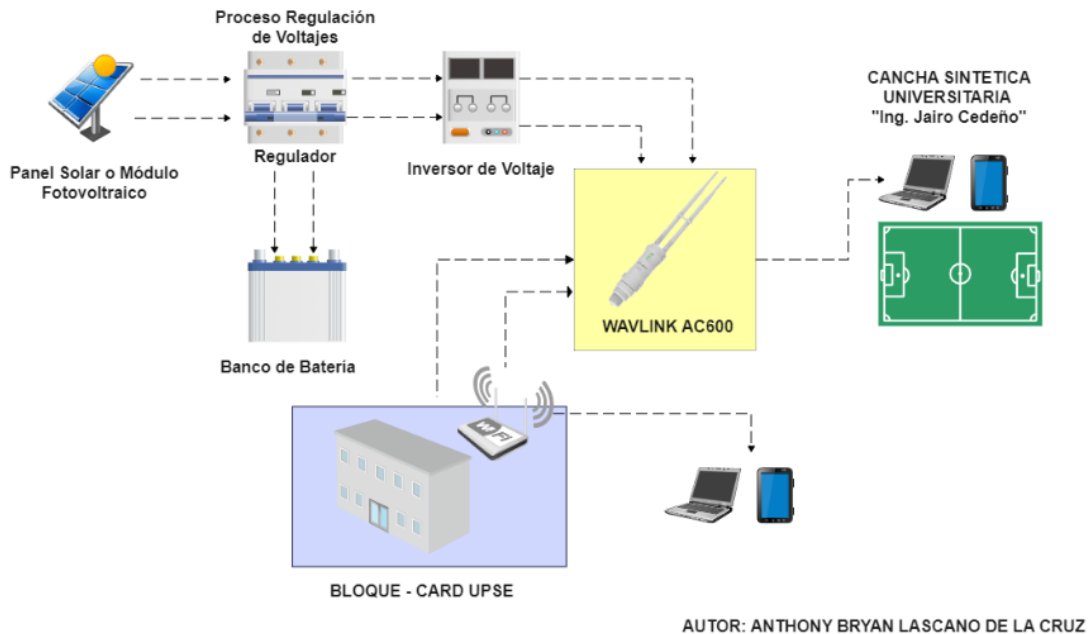
### **3.3. Diseño del prototipo de un sistema fotovoltaico autónomo**

#### **3.3.1 Diseño de la propuesta**

La propuesta se enfoca en la puesta en marcha de un sistema inalámbrico sustentado por energía solar, diseñado con el fin de proporcionar conectividad en áreas de escasa cobertura dentro

de la cancha de la universidad. El diseño como se muestra en la Figura 26 incorpora una perspectiva portátil y modular, posibilitando que los elementos del sistema puedan moverse y ajustarse a distintos lugares de acuerdo a las demandas de conectividad., de las cuales la propuesta se compone de dos elementos clave: el sistema para producir energía solar y el sistema para transmitir y recibir señales Wi-Fi. El primero comprende un panel solar, un regulador de carga, baterías para almacenaje de energía y un inversor, escogidos meticulosamente para dar un funcionamiento constante durante 24 horas. La antena WAVLINK AC600 es el segundo elemento, diseñada para recoger y enviar señales Wi-Fi de manera eficaz en la banda de 2.4 GHz, escogida también con cuidado ya que, a diferencia de otras antenas externas, tiene la opción de transmitir señales Wi-Fi; además, se complementa con una cámara de seguridad IP montada en la misma estructura, alimentada por el sistema fotovoltaico y encargada de registrar visualmente el entorno de operación. Todos estos sistemas se incorporarán en una estructura portátil, que resguardará el equipo y simplificará su traslado.

**“IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO DE UNA RED INALÁMBRICA EN RANGOS DE 2.4 GHZ  
EN ZONAS DE BAJA COBERTURA ALIMENTADA POR ENERGÍA SOLAR”**



*Figura 26: Estructura del Prototipo Fotovoltaico*

### 3.3.2 Dimensionamiento energético del sistema fotovoltaico portátil

Para justificar la selección de los componentes del sistema fotovoltaico portátil se realiza un dimensionamiento energético a partir del perfil de carga del prototipo. El conjunto de comunicaciones está formado por la antena WAVLINK AC600 y una cámara de seguridad IP de bajo consumo. De la fuente de alimentación PoE de la antena se obtiene, en la salida hacia el inyector, una tensión nominal de 54 V y una corriente de 0,3 A, por lo que su potencia de diseño se aproxima utilizando la fórmula de potencia eléctrica tal como se ve en la **Ecuación 3**:

$$P_{AP} = V * I = 54 V * 0,3 A = 16,2 W \quad (3)$$

*Ecuación 3: Potencia del diseño (AP)*

En el caso de la cámara de seguridad, se adopta un valor típico de diseño de  $P_{cam} = 5W$  para un modelo de 1080p con visión nocturna. De este modo, la potencia total demandada por el sistema de comunicaciones se estima en la **Ecuación 4**:

$$P_{tot} = P_{AP} + P_{cam} = 16,2 W + 5 W = 21,2 W \quad (4)$$

*Ecuación 4: Potencia total demandada por el sistema de comunicaciones*

Aunque el prototipo permanecerá instalado de forma continua en cancha, para el dimensionamiento se define una variable  $TH$  (total de horas de uso al día) que representa el número de horas de operación autónoma que deben estar garantizadas sin apoyo de la red eléctrica. Considerando la jornada académica y actividades asociadas, se adopta un escenario de diseño de  $TH = 10 \text{ horas}$ , suficiente para cubrir los periodos de mayor ocupación de la zona. El consumo energético diario se obtiene como se presenta en la **Ecuación 5**:

$$C = P_{tot} * TH = 21,2 W * 10 h = 212 Wh/día \quad (5)$$

*Ecuación 5: Consumo energético diario*

Sobre este valor se aplica un factor de seguridad del 120 % para contemplar pérdidas en el inversor, el controlador de carga, el cableado y las variaciones de irradiancia. La energía requerida de diseño queda definida mediante la **Ecuación 6**:

$$E_r = C * 1,2 = 212 Wh * 1,2 = 254,4 Wh/día \quad (6)$$

*Ecuación 6: Energía necesaria para el prototipo*

Este valor  $E_r$  representa la energía que el sistema fotovoltaico debe ser capaz de suministrar y reponer diariamente.

Para el dimensionamiento del generador FV se considera una irradiancia equivalente a 5 horas sol pico (5 HSP) al día en la zona de estudio. La potencia mínima del panel se calcula mediante la **Ecuación 7**:

$$P_s = \frac{E_r}{5H} = \frac{254,4 \text{ Wh}}{5 \text{ h}} = 50,9 \text{ W} \quad (7)$$

*Ecuación 7: Potencia mínima requerida del panel fotovoltaico*

El resultado teórico se aproxima al valor comercial de 50 Wp, por lo que se justifica la selección de un panel solar de **50 W**, capaz de reponer diariamente la energía consumida por la antena y la cámara en el escenario de diseño.

En cuanto al almacenamiento, se selecciona una batería GEL de **12 V – 55 Ah**. Para analizar su adecuación se parte de la energía requerida  $E_r$  y se limita la profundidad de descarga de diseño a un valor máximo del 50 % (DoD = 0,5), con el objetivo de preservar la vida útil de la batería. La capacidad mínima teórica requerida en amperio-hora se calcula mediante la **Ecuación 8**:

$$B_r = \frac{E_r}{V_{bat} \times DoD} \approx \frac{254,4 \text{ Wh}}{12 \text{ V} \times 0,5} \approx 42,4 \text{ Ah} \quad (8)$$

*Ecuación 8: Capacidad mínima requerida de la batería*

La batería instalada, de 55 Ah, supera este valor mínimo, ya que su energía nominal es calculada con la **Ecuación 9**:

$$E_{bat,nom} = 12 \text{ V} \times 55 \text{ Ah} \approx 660 \text{ Wh} \quad (9)$$

*Ecuación 9: Energía nominal de la batería seleccionada*

La energía útil disponible, considerando el DoD (profundidad de descarga) del 50 %, se obtiene por medio de la **Ecuación 10**:

$$E_{bat,\acute{u}til} = E_{bat,nom} \times 0,5 \approx 330Wh \quad (10)$$

*Ecuación 10: Energía útil disponible de la batería considerando un DoD del 50%*

Valor superior a  $E_r \approx 254,4$  Wh. Esto implica que la batería de 55 Ah proporciona un margen adicional frente a la demanda diaria, mejora la autonomía efectiva y reduce la profundidad de descarga en operación real, lo que resulta coherente con la filosofía de diseño conservador de sistemas GEL.

La corriente máxima que debe gestionar el controlador de carga se estima a partir de la potencia del panel y la tensión del sistema de continua, suponiendo operación en torno a 12 V, la corriente se calcula mediante la **Ecuación 11**:

$$I_{FV} = \frac{P_S}{V_{sist}} \approx \frac{50W}{12V} \approx 4,2 A \quad (11)$$

*Ecuación 11: Corriente máxima estimada proveniente del panel fotovoltaico*

Este valor define la corriente mínima teórica  $C_{carg}$ . No obstante, es práctica habitual sobredimensionar el controlador con un factor de seguridad que permita trabajar lejos del límite nominal y contemplar posibles ampliaciones del generador FV. Por esta razón, en el prototipo se adopta un **controlador de carga PWM de 20 A**, que ofrece un margen amplio frente a los aproximadamente 4,2 A requeridos, contribuye a la robustez del sistema y facilita eventuales incrementos de potencia FV a futuro.

Para el dimensionamiento del inversor se considera la potencia máxima simultánea de las cargas en alterna,  $P_{carga,diseño}$ , que incluye no solo el conjunto de comunicaciones (antena WAVLINK AC600 y cámara IP), sino también cargas auxiliares que pueden conectarse durante las pruebas (ordenador portátil, cargadores, instrumentación ligera, etc.). La potencia nominal del inversor se fija a partir de la expresión mostrada en la **Ecuación 12**:

$$P_{inv,nom} \geq \frac{P_{carga,diseño}}{\eta_{inv}} * F_{seg} \quad (12)$$

*Ecuación 12: Dimensionamiento de la potencia nominal del inversor*

Donde  $\eta_{inv}$  es el rendimiento del inversor y  $F_{seg}$  un factor de seguridad. Adoptando un escenario de diseño de  $P_{carga,diseño} \approx 600 W$ , un rendimiento típico  $\eta_{inv} \approx 0,85$  y  $F_{seg} = 1,2$ , se obtiene la potencia mínima requerida del inversor, como se muestra en la **Ecuación 13**:

$$P_{inv,nom} \geq \frac{600 W}{0,85} \times 1,2 \approx 847 W \quad (13)$$

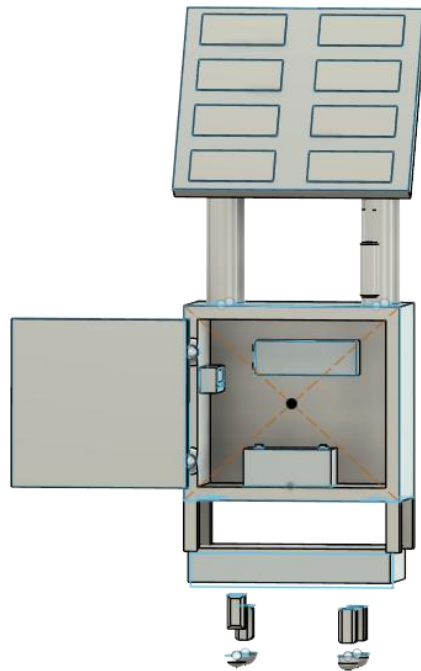
*Ecuación 13: Calculo de la potencia nominal mínima del inversor*

Por lo que la selección de un inversor de **1000 W** resulta coherente con el dimensionamiento, dejando un margen adicional para picos de carga y asegurando que el equipo opere de forma habitual por debajo de su potencia nominal.

### 3.3.3. Modelo 3d del prototipo

Se creó un modelo 3D del prototipo en el software de diseño asistido por ordenador Fusion 360 con el fin de determinar cómo se disponen físicamente los componentes. En esta representación como se muestra en la **Figura 27** se incluyó la estructura portátil con ruedas, el soporte superior para el panel solar y el mástil para la antena WAVLINK AC600, sin alterar las medidas reales de los aparatos elegidos. Gracias al diseño en 3D, se pudo comprobar el espacio necesario para la extensión eléctrica múltiple, el regulador, las baterías y el inversor dentro de un

gabinete seguro. También se logró destinar un soporte frontal para la cámara de videovigilancia. Así, se verificó con antelación la distribución de pesos, la posibilidad de acceso para el mantenimiento y la ventilación interior, lo que disminuyó los trabajos adicionales durante el proceso de construcción física del prototipo.



*Figura 27: Modelo 3D del prototipo elaborado por fusión 360*

### **3.4. Implementación del Prototipo**

En la **Figura 28** se presenta la disposición general del prototipo de red inalámbrica alimentado por energía solar, donde se observa la estructura portátil que integra el panel fotovoltaico, el compartimento de protección y los equipos de telecomunicaciones. En la parte superior se ubica el panel solar encargado de captar la energía, mientras que en el interior del módulo se encuentra el kit solar compuesto por el regulador de carga, las baterías y el inversor o

convertidores DC, junto con una extensión múltiple que distribuye la energía a la antena WAVLINK AC600 y a la cámara de seguridad. Esta configuración permite que todo el sistema funcione de manera autónoma y continua, garantizando la alimentación del punto de acceso inalámbrico y de la cámara durante la jornada de uso, y facilitando al mismo tiempo el traslado del prototipo hacia diferentes zonas de la cancha natural y su perímetro sin depender de tomas de corrientes fijas.



*Figura 28: Prototipo de red inalámbrica alimentado por energía solar*

En el interior del compartimento de conexiones, como se muestra en la **Figura 29**, se ubican los elementos principales del sistema de alimentación: el controlador de carga solar, la batería de almacenamiento, el inversor y un tomacorriente múltiple. El controlador de carga se encarga de regular la energía proveniente del panel hacia la batería, evitando sobrecargas y prolongando su vida útil, mientras que el inversor transforma la energía de corriente continua

almacenada en la batería a corriente alterna de 110 V AC. Esta energía es distribuida a través del tomacorriente múltiple, desde donde se alimenta la antena WAVLINK AC600, la cámara de seguridad y los demás equipos necesarios para el funcionamiento del prototipo, garantizando una distribución ordenada y segura dentro de la estructura portátil.



*Figura 29: Compartimento de conexiones*

En la parte exterior de la estructura, como se aprecia en la **Figura 30**, se encuentran instalados la antena WAVLINK AC600 y la cámara de seguridad, ambos fijados de manera firme para soportar las condiciones del ambiente abierto. La antena WAVLINK AC600 actúa como punto de acceso inalámbrico, recibiendo la señal proveniente del bloque de la universidad y redistribuyéndola hacia la zona de la cancha natural, mejorando la cobertura y la calidad de la conectividad Wi-Fi en el perímetro. Por su parte, la cámara de seguridad se alimenta del mismo

sistema fotovoltaico y permite monitorear el entorno donde se despliega el prototipo, aportando no solo a la vigilancia del equipo, sino también al registro visual de su funcionamiento en campo, lo que resulta útil para el análisis y la documentación del proyecto.



*Figura 30: Instalación de la antena WAVLINK AC600 y de la cámara de seguridad*

### **Suministro de energía**

Para llevar a cabo el diseño del suministro de energía del prototipo de red inalámbrica alimentado por energía solar, es indispensable contar con datos reales que aseguren su correcto funcionamiento en condiciones de campo. Este diseño debe contemplar de forma integral la generación fotovoltaica, el almacenamiento en baterías y la distribución de energía hacia la antena WAVLINK AC600 y la cámara de videovigilancia. Para estimar y dimensionar adecuadamente

los componentes del sistema (panel solar, regulador, baterías e interconexiones), se emplean expresiones y relaciones eléctricas que permiten determinar la energía diaria requerida, la potencia mínima del módulo fotovoltaico y la capacidad del banco de baterías, de manera que el prototipo opere de forma autónoma y estable en la cancha natural y su perímetro.

#### Implementación del prototipo en el entorno universitario

La implementación del prototipo se inició con el armado de la estructura portátil, diseñada para alojar de forma ordenada y segura todos los componentes del sistema, como se puede ver en la **Figura 31**. Esta estructura se construyó con el objetivo de facilitar el transporte dentro del campus y, al mismo tiempo, proteger el kit solar, la electrónica de potencia y los equipos de comunicaciones frente a golpes, humedad y exposición directa. Sobre esta base se definieron los espacios para el panel, el regulador, las baterías, el inversor, la antena y la cámara, de manera que el conjunto funcionara como una unidad compacta y desplazable.



*Figura 31: Armado de la estructura portátil*

Una vez montada la estructura, se procedió a instalar el kit solar, fijando el panel fotovoltaico en la parte superior con la inclinación adecuada para aprovechar la radiación solar disponible en la zona de la cancha. Desde el panel se tendieron las conexiones hacia el regulador de carga, las baterías y el inversor, verificando polaridad, niveles de tensión y condiciones de operación segura, como se aprecia en la **Figura 32**. Con esto se dejó listo el subsistema de energía, capaz de suministrar corriente al resto de los equipos del prototipo.



*Figura 32: Tendido de conexiones hacia el regulador*

Posteriormente se colocó la antena WAVLINK AC600 en un punto elevado de la estructura orientada hacia el área de usuarios, siguiendo los criterios definidos en la etapa de simulación de cobertura. La antena se conectó eléctricamente al inversor, tal como se muestra en la **Figura 33** una vez energizada, se configuró para enlazarse con la red principal de la universidad y redistribuir la señal en la zona de baja cobertura. Para complementar el sistema, se instaló una cámara en la misma estructura, dirigida hacia el área de interés, ocasionando que el prototipo no solo proporcione conectividad Wi-Fi, sino también un nivel básico de videovigilancia del entorno.



*Figura 33: Conexión de la antena hacia el inversor*

Finalmente, se añadió una extensión eléctrica múltiple conectada a la salida del inversor, como puede ilustrar en la **Figura 34**, con el propósito de disponer de puertos de corriente adicionales durante el desarrollo de la tesis. Esta extensión permite alimentar, cuando es necesario, equipos de apoyo como el computador portátil, cargadores o dispositivos auxiliares de medida, sin afectar la alimentación principal de la antena y la cámara. Con estos pasos se completó el montaje físico del prototipo, dejando el sistema listo para las pruebas de funcionamiento y las mediciones que se presentan en secciones posteriores.



Figura 34: Extensión eléctrica múltiple conectada a la salida del inversor

### 3.5. Mediciones de potencia en redes wifi

Las mediciones de potencia en redes Wi-Fi permiten cuantificar de forma objetiva el comportamiento de la señal en la cancha natural y su perímetro, tanto antes como después de la implementación del prototipo. En este apartado se describen los criterios, parámetros y procedimientos utilizados para registrar los niveles de señal en la banda de 2.4 GHz, considerando la configuración del punto de acceso WAVLINK AC600 y el sistema fotovoltaico que lo alimenta. A partir de estos datos será posible identificar zonas de baja, media y buena cobertura, así como evaluar el impacto real del prototipo sobre la calidad de la conectividad inalámbrica en el área de estudio.

#### 3.5.1. Plan de medición (malla de puntos, hora/día, altura)

El plan de medición se diseñó a partir de una malla de 15 puntos distribuidos a lo largo de la cancha natural y su perímetro, seleccionados para cubrir zonas centrales, laterales y esquinas del área de estudio. En cada punto se registraron los niveles de potencia y calidad de señal de la

red Wi-Fi en la banda de 2.4 GHz como también en 5 GHz, manteniendo como condición constante una altura aproximada de 1,5 m respecto al suelo, que representa la posición típica de uso de un dispositivo móvil.

Las campañas de medición se realizaron en horarios representativos de uso académico, evitando condiciones extremas de clima o de afluencia atípica de usuarios, con el fin de obtener valores comparables. Bajo este esquema se levantaron datos tanto del escenario inicial (sin prototipo) como del escenario con el prototipo en funcionamiento, lo que permite contrastar la cobertura y la potencia recibida en cada punto de la malla de forma ordenada y repetible.

### **3.5.2. Parámetros**

Para caracterizar el desempeño del prototipo de red inalámbrica en la cancha natural se consideraron cuatro parámetros principales: nivel de señal en dBm, indicador RSSI, potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) y densidad de potencia electromagnética medida con el equipo Narda SRM-3006. Estos parámetros permiten relacionar la cobertura y calidad de la red Wi-Fi con los niveles de exposición radioeléctrica presentes en el entorno.

El nivel en dBm expresa la potencia de la señal recibida tomando como referencia 1 mW. En las mediciones de Wi-Fi, valores más cercanos a 0 dBm indican mejor intensidad de señal, mientras que por debajo de  $-80$  dBm la recepción se vuelve deficiente. En este estudio, el dBm se utiliza para comparar la intensidad de señal en cada uno de los quince puntos de medición.

El RSSI (Received Signal Strength Indicator) es un indicador relativo de la fuerza de la señal reportado por el dispositivo y el software de análisis Wi-Fi. Aunque su escala varía entre fabricantes, mantiene una relación directa con el dBm: a mayor RSSI, mejor calidad de recepción.

En la tesis se emplea como apoyo al dBm para interpretar de forma práctica la experiencia de conectividad en la cancha.

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (EIRP) relaciona la potencia de transmisión del equipo con la ganancia de la antena, expresando la potencia que radiaría una antena ideal en la dirección de máxima emisión. En el prototipo, la EIRP se considera a partir de la configuración del punto de acceso WAVLINK AC600 y sirve como referencia para justificar la cobertura alcanzada y el cumplimiento de los límites regulatorios.

La densidad de potencia es el parámetro empleado para evaluar la exposición a campos electromagnéticos y se expresa normalmente en  $W/m^2$ . En este trabajo se mide con el analizador Narda SRM-3006 en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, con el fin de verificar que la operación del prototipo se mantenga dentro de los niveles de exposición establecidos por la normativa vigente.

**Parámetros de diseño radio: banda, canal, potencia Tx, ubicación/altura AP, MCS/anchos de canal.**

Se prioriza la banda de 2.4 GHz, debido a su mayor compatibilidad de dispositivos y alcance efectivo, en el diseño radio del prototipo, con el objetivo de optimizar la estabilidad del enlace y la cobertura útil en el campo sintético. Para limitar solapamientos, se escoge un canal fijo de 20 MHz dentro del conjunto no traslapado (1/6/11), y una potencia de transmisión moderada que posibilite alcanzar la meta de cobertura sin aumentar innecesariamente el consumo energético o la interferencia. Para disminuir las sombras de cobertura y mejorar la línea de vista local, se propone que el punto de acceso (AP) esté ubicado en una posición elevada y centrada. La selección de modulación y codificación (MCS) se establece en modo adaptativo, dando prioridad a la

estabilidad del vínculo por encima de la velocidad máxima. Los parámetros de diseño y los parámetros operativos que resumen estas decisiones se presentan en la **Tabla 3** y **Tabla 4**.

*Tabla 3: Parámetros de diseño*

Parámetro	Valor propuesto	Justificación técnica	Verificación en campo
Banda	2.4 GHz (principal) / 5 GHz (opcional)	2.4 GHz ofrece mejor alcance y penetración en espacios semiabiertos; 5 GHz se reserva para escenarios puntuales de alta densidad cercana.	Mapa de calor y % de área con RSSI $\geq -67$ dBm.
Canal	1, 6 u 11 (fijo)	Evitar solapamiento en 2.4 GHz; escoger el de menor ocupación tras el site survey.	Analizador Wi-Fi: ocupación de canal y ruido medio.
Ancho de canal	20 MHz en 2.4 GHz (recomendado)	Minimiza solapamiento e interferencia co-canal; mayor robustez en bordes de celda.	Tasa efectiva estable y SNR $\geq 20$ dB en borde.
Potencia de Tx del AP	Punto de partida: 14 dBm ( $\approx 25$ mW). Ajuste $\pm 3$ dB según borde de cobertura. <b>Límite:</b> EIRP $\leq 20$ dBm en 2.4 GHz	Contener interferencias y consumo; garantizar EIRP dentro de normativa.	RSSI en borde $-67$ a $-70$ dBm; SNR $\geq 20$ dB; registro de consumo.
Antena/ganancia	Antena integrada del AP exterior (omnidireccional). Mantener EIRP $\leq 20$ dBm	Patrón omnidireccional favorece cobertura homogénea; control de EIRP.	Lectura de campo (Narda) y KPIs de cobertura.

Ubicación del AP	Centro geométrico de la zona objetivo, <b>elevación 1,6 m</b> , despejado de metal y muros	Mejora línea de vista local y reduce sombras; baja pérdida por cercanía a usuarios.	Mapa de calor sin “zonas sombra” en el perímetro.
Orientación/polarización	Vertical (clientes portátiles)	Coincidencia de polarización con dispositivos típicos.	Estabilidad de RSSI
Umbrales SNR guía	BPSK $\geq$ 6–8 dB; QPSK $\geq$ 12–14 dB; 16-QAM $\geq$ 18–20 dB; 64-QAM $\geq$ 24–26 dB	Selección de MCS segura según condiciones del canal.	Correlación MCS $\leftrightarrow$ SNR en logs del AP/app survey.

Tabla 4: Parámetros operativos

Parámetro	Valor de diseño	Propósito
Banda	2.4 GHz (principal); 5 GHz opcional para pruebas puntuales	Alcance homogéneo en área abierta
Canal	1, 6 u 11 (fijo, según menor ocupación del entorno)	Evitar solapamiento en 2.4 GHz
Ancho de canal	20 MHz	Robustez y menor interferencia co-canal
Potencia de Tx	14 dBm como punto de partida; ajuste $\pm$ 3 dB según bordes	Cobertura objetivo con consumo contenido
Límite EIRP (guía)	$\leq$ 20 dBm en 2.4 GHz	Contener interferencias y cumplir normativa local
Ubicación/altura del AP	Centro geométrico; 1,6 m sobre el nivel del suelo; despejado de concreto	Cobertura más uniforme y menor sombra
Orientación/polarización	Antena en vertical (clientes portátiles)	Coincidencia con la mayoría de dispositivos
MCS	Adaptativo (auto); objetivo estable: MCS7 (1 $\times$ 1, 20 MHz) o MCS15 (2 $\times$ 2) si la SNR lo permite	Estabilidad de enlace

**Parámetros de diseño energético: perfil de carga (W/Wh), dimensionamiento FV/baterías, protecciones básicas.**

**Perfil de carga (W/Wh).**

El prototipo considera cargas de operación continua (punto de acceso WAVLINK AC600 y cámara de seguridad IP) y cargas puntuales de medición. Para el dimensionamiento se asume operación 24 h del conjunto de acceso y cargas auxiliares mínimas:

- Conjunto de comunicaciones (AP exterior 2.4 GHz + cámara de seguridad IP): potencia media 9 W (rango típico 8–12 W) → 216 Wh/día.
- Controlador/regulador y electrónica auxiliar: 0,5 W → 12 Wh/día.
- (Opcional) Inversor AC para alimentar cargas a 120/230 V: consumo en vacío 8 W y eficiencia de conversión 85 %.

De este modo, se contemplan dos escenarios de diseño:

**Arquitectura DC pura (recomendada).** PV → MPPT → Batería 12 V → AP (vía DC/DC si se requiere regulación fina).

Energía diaria estimada:  $216 + 12 \approx 228$  Wh/día.

**Arquitectura con inversor (si alguna carga debe ser AC).** PV → MPPT → Batería 12 V → Inversor → AP.

Energía diaria estimada:

- Carga AC del AP:  $216 \text{ Wh/día} / 0,85 \approx 254$  Wh/día (pérdida por conversión).
- Consumo en vacío del inversor:  $8 \text{ W} \times 24 \text{ h} \approx 192$  Wh/día.
- Auxiliares: 12 Wh/día.

- Total  $\approx 458$  Wh/día.

Nota: el uso de inversor duplica aproximadamente la energía diaria requerida; por eficiencia y autonomía se prioriza la arquitectura DC.

### **Criterios de dimensionamiento.**

- Local con recurso solar alto; para diseño conservador se adopta **HSP = 4,5 h/día** (horas sol pico) y un factor de degradación/temperatura global **K = 0,75** para el generador FV
- Autonomía objetivo: **1 día**.
- Banco de batería a **12 V**.
- Tipo de batería sugerido: **LiFePO<sub>4</sub>** (DoD admisible 80 %,  $\eta \approx 90$  %). Alternativa: plomo-ácido (DoD 50 %,  $\eta \approx 85$  %).
- Donde  $\eta$  es la eficiencia del sistema de almacenamiento energético.
- Caída de tensión en DC  $\leq 3$  % en tramos críticos.

### **Selección preliminar del regulador.**

- Para **100 Wp a 12 V**, corriente FV máx.  $\approx 8-9$  A  $\rightarrow$  **MPPT de 15-20 A**.
- Para **200 Wp a 12 V**, corriente FV máx.  $\approx 16-18$  A  $\rightarrow$  **MPPT de 20-30 A**.  
Se privilegia MPPT (mejor rendimiento térmico y con irradiancia variable).

### **Criterios de aceptación/KPIs (RSSI/SNR mínimos, área de cobertura, horas de autonomía).**

Se establecen indicadores clave de desempeño (KPIs) y niveles de aceptación para los dominios de energía (recuperación, continuidad y autonomía energética) y radio (calidad de enlace y cobertura) con el propósito de comprobar si se está logrando la meta del prototipo: ofrecer

conectividad Wi-Fi estable en la zona de cancha natural, funcionando de manera autónoma en términos energéticos. Estos criterios son los que conducen tanto la validación como las modificaciones en campo.

### **Alcance del ensayo y condiciones de prueba**

- Área de evaluación: totalidad de la cancha natural y un anillo perimetral de circulación (polígono de prueba).
- Altura de medición: 1,20 m sobre el suelo (uso típico de dispositivos portátiles).
- Configuración del AP: banda 2.4 GHz, canal fijo 1/6/11 (según estudio de interferencias), ancho de canal 20 MHz, potencia Tx nominal, WPA2/WPA3 activado.
- Horario de pruebas: franja de uso habitual para capturar condiciones realistas de ocupación e interferencia.

### **KPIs de radio (cobertura y calidad)**

#### **Intensidad de señal (RSSI)**

- Definición: potencia de señal recibida (dBm).
- Objetivo: RSSI  $\geq -67$  dBm en  $\geq 90$  % de los puntos; se admite  $-70$  dBm en bordes.
- Razonamiento:  $-67$  dBm ofrece margen para modulaciones intermedias y navegación estable.

#### **Relación señal-ruido (SNR)**

- Definición: diferencia entre señal útil y ruido/interferencia (dB).
- Objetivo: SNR  $\geq 20$  dB en  $\geq 90$  % de puntos; mínimo absoluto 15 dB.

- Razonamiento:  $\geq 20$  dB habilita MCS confiables a 20 MHz; 15 dB marca el umbral funcional.

### **Cobertura efectiva del polígono**

- Definición: porcentaje del área con  $\text{RSSI} \geq -70$  dBm y  $\text{SNR} \geq 15$  dB simultáneamente.
- Objetivo: 100 % de la cancha y  $\geq 80$  % del anillo perimetral.

### **Capacidad de enlace**

- Tasa útil (iPerf/HTTP):  $\geq 10\text{--}20$  Mbps sostenidos en  $\geq 80$  % de puntos representativos.
- Latencia/pérdida hacia gateway del campus:  $< 50$  ms /  $< 2$  % (si aplica backhaul).

### **KPIs energéticos (autonomía y continuidad)**

#### **Autonomía sin aporte solar**

- Definición: tiempo de operación continua alimentándose sólo de baterías.
- Objetivo:  $\geq 24$  h sin disparo por baja tensión (LVD).
- Aceptación: AP operativo  $\geq 24$  h con FV inhabilitado.

#### **Recuperación diaria con aporte solar**

- Definición: capacidad de reponer en una jornada la energía consumida en 24 h.
- Objetivo: con HSP de diseño (p. ej., 4,5 h), alcanzar  $\text{SOC} \geq 90$  % al cierre del día.
- Aceptación: balance energético no negativo y SOC objetivo en día típico.

### **Continuidad de servicio (disponibilidad)**

- Definición: porcentaje de tiempo con SSID operativo en semana piloto.
- Objetivo:  $\geq 95$  % de disponibilidad (sin cortes por LVD u otras fallas energéticas).

### **3.6. Hardware propuesto (Ap, Paneles solares, Cámara de seguridad, Narda)**

#### **AP/antena exterior (modelo, banda, ganancia, potencia, protección IP).**

Se sugiere el WAVLINK AERIAL HD2 AC600 (WN570HA1), un punto de acceso exterior de alta capacidad que funciona en condiciones exteriores y tiene PoE pasivo. El equipo presenta compatibilidad con doble banda, operando en 2.4 GHz con una velocidad máxima de 150 Mb/s y en 5 GHz con una velocidad máxima de 433 Mb/s. Además, incorpora dos antenas omnidireccionales de polarización dual con una ganancia de 12 dBi y especifica una potencia de transmisión que puede alcanzar hasta 1000 mW (aproximadamente 30 dBm). La envolvente del dispositivo presenta una clasificación IP65, lo que indica su idoneidad para su uso en condiciones de intemperie. El rango de operación se establece entre  $-30$  °C y  $70$  °C. Este dispositivo es compatible con los modos AP, Router, Repeater y WISP, y permite la alimentación a través de PoE pasivo, lo que facilita su implementación en mástiles.

**Bandas de operación:** A pesar de que el equipo es de doble banda, se le da prioridad a 2.4 GHz en este prototipo debido a su mayor alcance efectivo y penetración fuera del campus; por otra parte, 5 GHz está disponible para situaciones específicas con más capacidad, conforme a la planificación radio y la compatibilidad de clientes. (Confirmadas las especificaciones del equipo de doble banda en la referencia proporcionada por el fabricante).

**Ganancia/antenas:** La portabilidad del prototipo se conserva, al igual que la uniformidad de la señal en torno al punto de montaje, gracias a las antenas omnidireccionales de 2×12 dBi.

**Potencia de transmisión:** La fase RF del WN570HA1 establece hasta 1000 mW; en funcionamiento real, la potencia (Tx) se ajustará para adecuarse a la normativa local de EIRP y optimizar SNR/cobertura conforme al estudio de sitio (Narda).

**Protección ambiental y montaje:** La carcasa IP65 y el rango térmico ampliado posibilitan que se instale en un mástil o estructura portátil en cancha, con alimentación PoE pasivo (con inyector incluido), lo que disminuye la cantidad de cableado y hace más sencillas las reubicaciones del prototipo.

#### **Parámetros iniciales recomendados para el prototipo (se integran con 3.1):**

- **Banda:** 2.4 GHz (20 MHz).
- **Canal:** fijo 1/6/11 según survey en cancha.
- **Tx Power:** calibrada para cumplir EIRP local y alcanzar los KPIs (RSSI/SNR) definidos en 3.1.4.
- **Altura/ubicación:** mástil portátil  $\geq 3$  m, despejado, centrado respecto al área objetivo.
- **Modo:** AP (SSID de servicio, WPA2-AES/WPA3 si está disponible en clientes).

## **Cámara de seguridad del prototipo**

Para la protección física del prototipo y la supervisión del entorno inmediato, se incorpora una cámara de seguridad tipo IP, con resolución mínima de 1080p, visión nocturna por infrarrojos (IR) y envolvente para intemperie con grado de protección IP66 o superior, adecuada para operación en exteriores. Se selecciona un modelo de bajo consumo (del orden de 3–5 W en servicio continuo), que puede alimentarse desde el mismo sistema de 12 V DC mediante un convertidor DC–DC o, en su caso, a través de un inyector PoE, según las especificaciones del fabricante. La cámara se fija a la estructura o al mástil portátil del prototipo, orientada hacia el gabinete y el área de instalación, actuando como elemento disuasorio ante manipulaciones no autorizadas y como medio de registro visual de las condiciones de operación del sistema.

**Sistema FV: panel(es), controlador (indica si PWM/MPPT), baterías (V/Ah, DoD), convertidor/inversor**

**Requerimientos y Dimensionamiento Inicial:** El diseño sugerido es un sistema solar portátil que puede proveer energía a un punto de acceso Wi-Fi la cámara de seguridad de bajo consumo, con una demanda conjunta estimada de 10–15 W, asegurando una autonomía de por lo menos 6 horas sin conexión a la red eléctrica. Esto significa un consumo energético diario de aproximadamente 60 a 90 Wh ( $15 \text{ W} \times 6 \text{ h} \approx 90 \text{ Wh}$ ). Para proporcionar dicha energía con un margen de seguridad, se calcula una batería recargable capaz de ofrecer aproximadamente 120 Wh útiles (teniendo en cuenta las pérdidas e ineficiencias del sistema). Además, se elige un panel solar fotovoltaico portátil de potencia media para recargar la batería todos los días, así como un controlador de carga adecuado y, si es preciso, un inversor o convertidor que permita que la salida se ajuste a lo que necesita el punto de acceso.

A continuación, se detallan los componentes principales y sus especificaciones recomendadas, con base en fuentes técnicas y fabricantes:

### **Panel Solar Portátil (50–150 W)**

Se recomienda usar un panel solar monocristalino portátil de aproximadamente 100 W de potencia nominal, debido a que es un valor intermedio que brinda una buena relación entre costo y beneficio y es fácil de manejar. Un panel de 100 W, en general, genera entre 300 y 600 Wh de energía diariamente bajo condiciones soleadas.

Lo cual es suficiente para cargar baterías pequeñas y proveer energía a aparatos como routers Wi-Fi. Por ejemplo, el panel rígido EcoFlow 100W [78], que está diseñado para ser usado al aire libre, tiene una eficiencia de conversión de la luz solar del 23% y protección ambiental IP68, lo que asegura su capacidad para resistir polvo, agua y condiciones climáticas adversas. Sus dimensiones son, aproximadamente, 59 cm de ancho por 98 cm de largo y pesa cerca de 6 kg, lo que facilita su manejo para aplicaciones portátiles. Este tipo de módulo proporciona voltajes entre 17 y 20 V en su punto de máxima potencia ( $V_{MP} \approx 17.1 \text{ V}$ ), con una corriente de aproximadamente  $\sim 5\text{-}6 \text{ A}$  ( $I_{MP} \approx 5.9 \text{ A}$ ) para generar 100 W, apto para la carga de sistemas de 12 V. Este panel se conectará al controlador de carga para gestionar eficientemente la recarga de la batería.

## Controlador de carga: PWM vs MPPT

El controlador de carga es un dispositivo que regula la corriente de energía que va desde el panel a la batería, como se evidencia en la **Figura 35**, protege el sistema y evita sobrecargas. En el mercado hay, principalmente, dos tipos de tecnologías: MPPT (Maximum Power Point Tracking) y PWM (Modulación por ancho de pulso). Los controladores MPPT tienen el potencial de brindar una mayor eficiencia energética al modificar de manera dinámica el punto operativo del panel, con lo cual se puede alcanzar hasta un 20–30 % adicional de energía útil en condiciones apropiadas respecto a un PWM convencional; No obstante, para la implementación del prototipo en el presente proyecto, se utiliza un controlador de carga PWM (20 A), cuya sencillez, disponibilidad y costo resultan apropiados para la demanda de potencia del sistema y para los objetivos propuestos. Este controlador regula la corriente y la tensión que va hacia la batería, lo cual ayuda a extender su duración e impide el funcionamiento inseguro del sistema portátil fotovoltaico [79].

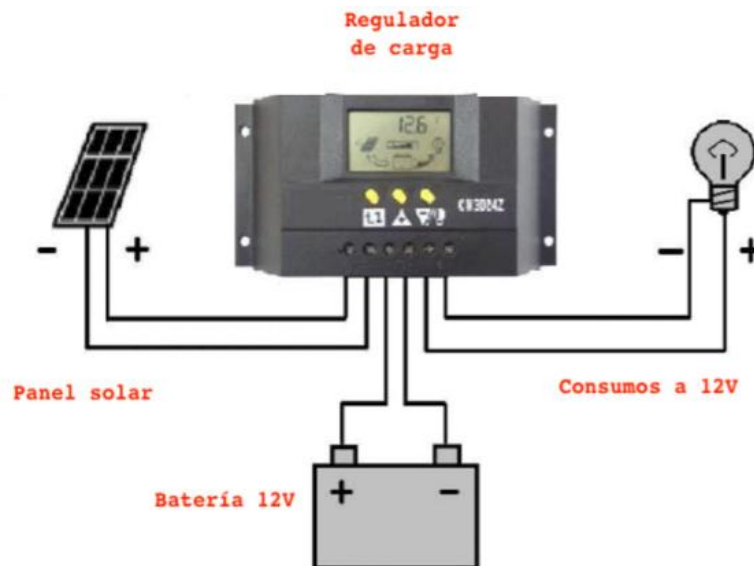


Figura 35: Controlador Solar [79]

## Guía de configuración del controlador de carga PWM

Para la implementación del prototipo se utiliza un controlador de carga solar PWM de 20 A, configurado específicamente para trabajar con un banco de baterías GEL de 12 V y 55 Ah y alimentar de manera continua el conjunto de comunicaciones (punto de acceso WAVLINK AC600 y cámara de seguridad IP). En primer lugar, se selecciona en el menú del equipo el tipo de batería correspondiente a tecnología de plomo-ácido sellada (modo B1), coherente con la batería GEL propuesta, y se fija la tensión nominal del sistema en 12 V. El controlador presenta seis parámetros principales que se muestran de forma secuencial en el display:

- Tensión de mantenimiento o flotación de la batería,
- Tensión de carga principal según el tipo de batería,
- Tensión a partir de la cual la salida de carga permanece activa (umbral de reconexión), (4) tensión de desconexión por baja batería (protección de la salida),
- Modo de tiempo de la salida (horas de funcionamiento o 24 h)
- Selección del tipo de batería.

Las tensiones de carga se ajustan siguiendo las recomendaciones del fabricante de la batería y del propio controlador, adoptando para la batería GEL de 12 V y 55 Ah una tensión de carga principal en torno a 14,0 V y una tensión de flotación próxima a 13,5 V, de modo que se garantice la recarga adecuada sin provocar sobrecarga en el acumulador, tal como se aprecia en la **Figura 36**.



*Figura 36: Pantalla de inicio del controlador de carga*

Para la configuración práctica, con el sistema energizado, el controlador muestra inicialmente en la pantalla la tensión instantánea de la batería. Al pulsar brevemente el botón de menú se accede al parámetro de tensión de carga principal; para modificarlo, se mantiene presionado el botón de menú hasta que el icono de la batería comienza a parpadear, lo que indica que el valor puede ser editado. Mediante el botón de menú se incrementa el valor y con el botón de “reset” se disminuye, hasta fijarlo en 14,0 V, tal como se observa en la **Figura 37**, de acuerdo con el rango recomendado para la batería GEL instalada.



*Figura 37: Tensión para la batería*

A continuación, se vuelve a pulsar el botón de menú para avanzar al siguiente parámetro, correspondiente al umbral de reconexión de la salida que alimenta el inversor y el resto de cargas; repitiendo el mismo procedimiento de edición, se establece un valor de 12,0 V, como podemos ver en la **Figura 38** de manera que la salida vuelva a activarse una vez que la batería haya recuperado parte de su carga.



*Figura 38: Salida de carga activa*

En el parámetro siguiente se configura la protección por baja tensión de la salida de carga (LVD), fijando el nivel de desconexión en 11,5 V, como se ilustra en la **Figura 39**, con el fin de evitar descargas profundas de la batería y prolongar su vida útil.



*Figura 39: Configuración para protección de la batería*

Posteriormente, en la opción de tiempo de uso se selecciona el modo “24 h”, de forma que la salida permanezca activada de manera continua y permita la operación permanente del punto de acceso WAVLINK AC600, así como se aprecia ver en la **Figura 40**, la cámara de seguridad IP y el inversor, salvo cuando actúa la protección por baja tensión.

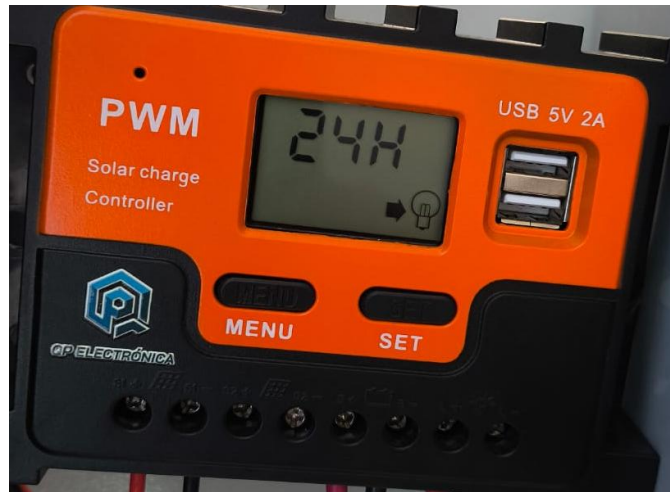


Figura 40: Configuración del tiempo de salida de tensión

Finalmente, en el parámetro de tipo de batería se selecciona la opción B1, correspondiente a baterías de plomo-ácido selladas (AGM/GEL), coherente con la tecnología de la batería instalada en el prototipo. Esta lógica de corte y reconexión (11,5 V para la desconexión y 12,0 V para la reconexión), junto con el modo de funcionamiento continuo de la salida (24 h), contribuye a limitar la profundidad de descarga efectiva y a garantizar la disponibilidad del sistema de comunicaciones y videovigilancia durante las 24 horas del día, tal como se puede observar en la **Figura 41**.



Figura 41: Selección del tipo de batería según el fabricante

## **Batería recargable Gel**

Se eligen baterías GEL debido a que tienen una baja autodescarga, no requieren mantenimiento y son más tolerantes a ciclos moderados que las AGM en usos de descarga lenta. La duración de la vida cíclica está muy influenciada por la profundidad de descarga (DoD): si DoD es más superficial, el número de ciclos acumulables se incrementa; en cambio, si DoD es profundo, la vida disminuye no linealmente (característico de las curvas cíclicas de los fabricantes VRLA). Con el fin de organizar el compromiso autonomía/vida, el proyecto sugiere un DoD de diseño inferior o igual al 50 %, a excepción de situaciones de emergencia.

**Instrumentación: equipo Narda (rango, sondas), accesorios (mástil, gabinete, fusibles, cableado DC/AC).**

## **Equipo principal para mediciones EMF**

Se empleará un medidor selectivo de radiación Narda SRM-3006 para la verificación espectral y la caracterización de niveles de campo en el área donde opera el Wi-Fi. Este equipo incorpora un receptor de frecuencia selectivo con un rango nominal de 9 kHz a 6 GHz (hasta 29.5 GHz, según la configuración) y funcionalidades concretas para el análisis por canal, la identificación de portadoras y el registro georreferenciado (GPS). La instrumentación, que está diseñada para campañas de campo (es robusta y resistente a salpicaduras), proporciona bibliotecas de tecnologías y decodificación de bandas que simplifican el aislamiento de las señales Wi-Fi en comparación con otras fuentes de RF.

Para conservar la trazabilidad metrológica, el fabricante aconseja hacer calibraciones cada 24 meses. Estas propiedades posibilitan que se lleven a cabo mediciones selectivas de la densidad

de potencia, los niveles de campo eléctrico y la potencia en las bandas de 2.4 y 5 GHz con una resolución espectral apropiada.

Para obtener el valor resultante isotrópico, el SRM-3006 se vale de antenas triaxiales (H-field y E-field) que son intercambiables y calibradas, las cuales realizan mediciones en tres ejes al mismo tiempo. En el caso de las redes Wi-Fi, son adecuadas las sondas de campo eléctrico que operan entre 200 MHz y 6 GHz, así como también la opción que cubre entre 420 MHz y 6 GHz. Estas sondas posibilitan el análisis de las bandas de 2.4 y 5 GHz con respuesta isotrópica y factores de corrección incluidos en el certificado de calibración.

Para situaciones de compatibilidad o verificación de emisiones por debajo de 200 MHz (no para Wi-Fi), hay sondas de campo magnético que van desde los 9 kHz hasta los 250 MHz. La documentación técnica del fabricante describe las familias de sondas (3501/3502/3503 para E-field; 3581/3582 para H-field) junto con sus intervalos de frecuencia, sensibilidad y carga máxima permitida.

La sonda debe colocarse a 1.6 m por encima del nivel del suelo en las campañas de evaluación de la exposición y caracterización de cobertura exterior, con el fin de representar el área donde hay presencia humana. Para la evaluación in situ, las normas internacionales sugieren barrido por alturas con 1.1 m, 1.5 m y 1.7 m y aconsejan mantener una distancia de al menos 1 m con respecto a las superficies reflectantes para reducir los errores debidos a multitrayecto. Estas prácticas concuerdan con las metodologías nacionales que se fundamentan en la IEC 62232 y la Recomendación ITU-T K.100 (2024), las cuales estandarizan la localización del punto de máxima exposición (POME) y la altura de referencia.

Los elementos que conforman el prototipo (Elementos del AP, controlador de carga, inversor, batería y distribución DC) se instalarán en un gabinete estanco IP66 o superior para uso exterior. En lugares polvorientos y expuestos a chorreado de agua, es común contar con el grado IP66 (según la norma IEC 60529), que brinda protección contra lluvia y lavado por chorro, así como impermeabilidad al polvo. La selección IP es justificada debido a que la cancha tiene un ambiente abierto y a que se necesita una operación continua.

### **Cableado y conectividad FV.**

El cableado entre el panel fotovoltaico y el controlador de carga se realizará con conductor flexible tipo **THHN** en calibres **#10 AWG** y **#12 AWG**, de acuerdo con la corriente del tramo y la distancia involucrada, con aislamiento termoplástico en PVC y recubrimiento en nylon, apto para tensiones de hasta 600 V en corriente alterna/continua, conforme a la **norma UL 83** y a los criterios del **Código Eléctrico (NEC)** para circuitos de baja tensión. Dado que el prototipo opera en niveles de 12/24 V DC y corrientes dentro del rango admisible del conductor seleccionado, el uso de THHN resulta técnicamente adecuado para la potencia instalada y el entorno de trabajo. En las secciones donde el tendido discurre de forma fija, el cable será instalado en **canalización protegida** (tubo corrugado o conduit), mejorando su protección mecánica y frente a la radiación solar directa; las porciones de conductor que deban quedar **expuestas o fuera del gabinete** se dispondrán de manera ordenada y estética, siguiendo la estructura del prototipo y fijadas mediante abrazaderas o elementos de sujeción, a fin de minimizar esfuerzos mecánicos y riesgos de enganche accidental. Adicionalmente, en el **interior del gabinete** se empleará **tubo termorretráctil** en aquellos tramos donde el cobre quede más expuesto, particularmente en los puntos de conexión del banco de baterías, incrementando el nivel de aislamiento frente a contactos

involuntarios, cortocircuitos y corrosión, y contribuyendo a la seguridad global del sistema fotovoltaico portátil.

### 3.7. Software propuesto

#### 3.7.1. Configuración del AP: utilidad del fabricante

El punto de acceso inalámbrico se configura a través de la interfaz web que está incorporada de fábrica en la antena WAVLINK AC600, a la que se puede acceder desde un navegador cuando el equipo cliente se conecta directamente a la red del dispositivo. Esta utilidad del fabricante posibilita la gestión gráfica de los parámetros fundamentales del prototipo, asegurando que la antena funcione adecuadamente dentro del esquema de conectividad sugerido. La pantalla inicial del panel, donde se puede ver el acceso al entorno de configuración, se muestra en la **Figura 42**.

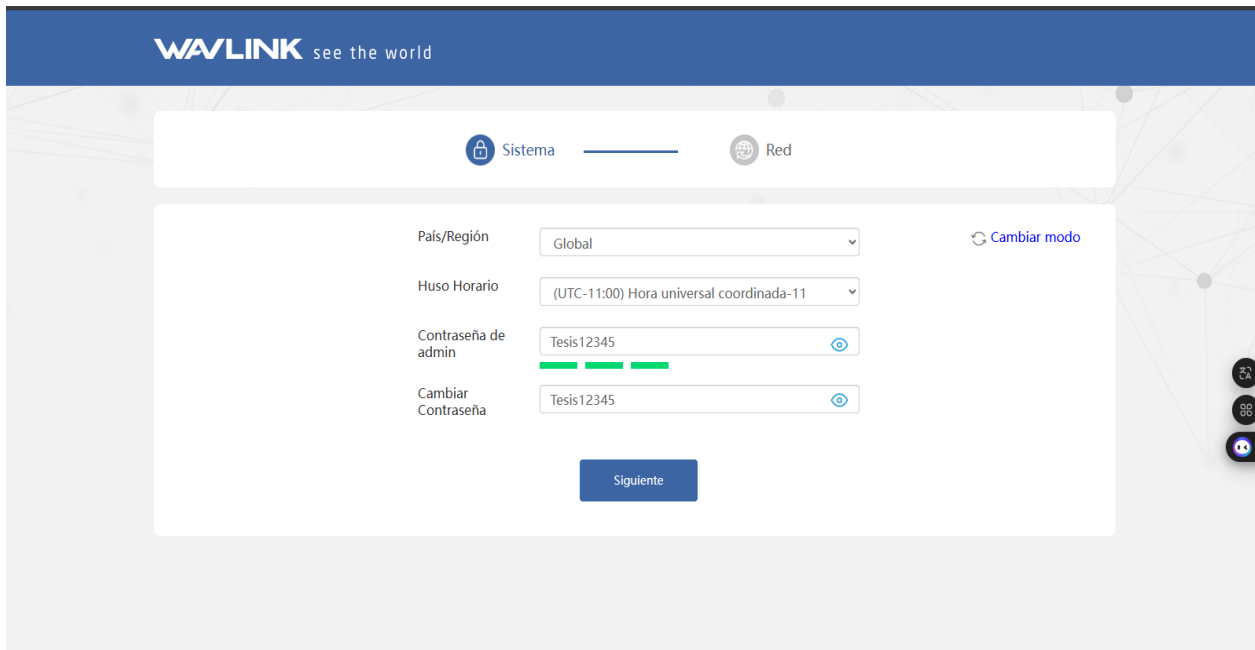
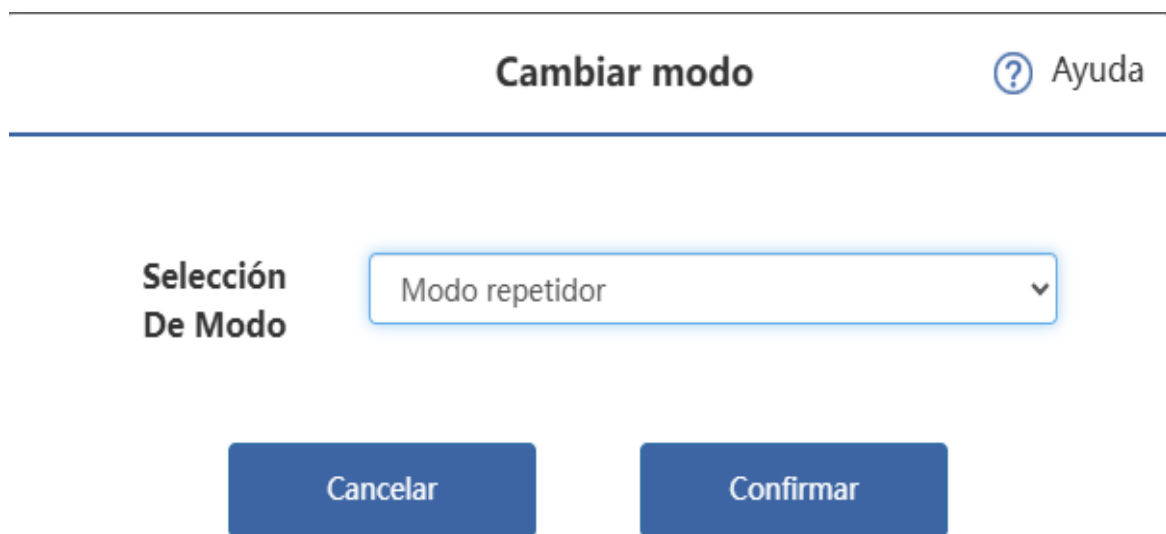


Figura 42: Acceso a la interfaz web del equipo WAVLINK AC600.

El primer ajuste dentro del panel se refiere al modo de funcionamiento del equipo, porque este determina el comportamiento general del dispositivo en la red. La WAVLINK AC600 posibilita el cambio entre modos de red, como AP (punto de acceso) o repetidor, dependiendo de las necesidades para enlazar la señal que llega desde la red universitaria y redistribuirla en áreas con escasa cobertura. La **Figura 43** muestra esta selección, en la que se presentan las opciones de funcionamiento disponibles.



The image shows a web interface for changing the device mode. At the top, there is a header with the title "Cambiar modo" and a help icon labeled "Ayuda". Below the header, there is a section titled "Selección De Modo" which contains a dropdown menu currently set to "Modo repetidor". At the bottom of this section, there are two blue buttons: "Cancelar" and "Confirmar".

*Figura 43: Selección del modo de operación (AP / Repetidor).*

Más adelante, cuando el equipo opera en modo repetidor o enlace hacia la red principal, se escoge la red universitaria de origen, que proporcionará la conexión al prototipo. Este procedimiento es esencial porque establece la conexión inalámbrica con la infraestructura existente en el campus, lo que posibilita que el sistema portátil actúe como una extensión de cobertura. La **Figura 44** ilustra la pantalla de búsqueda y selección de red.

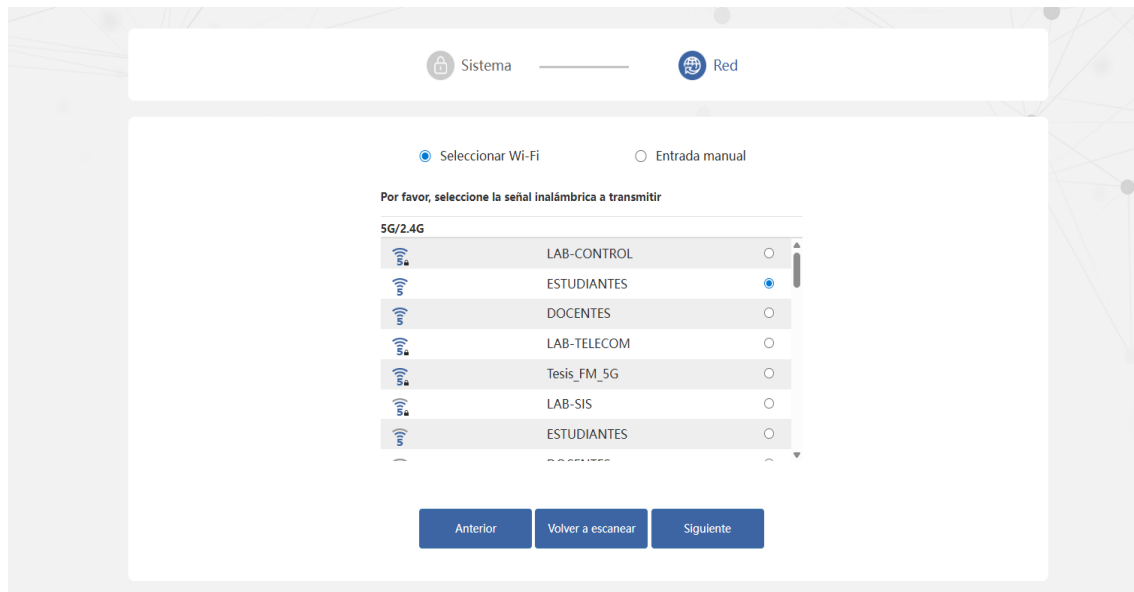


Figura 44: Selección de la red principal universitaria a repetir/enlazar.

Después de establecer el método y la red de origen, se configura el SSID de salida del prototipo junto con su contraseña, que los usuarios finales usarán para acceder al área intervenida. Esta configuración garantiza que únicamente los usuarios con autorización tengan acceso a la red de la cancha natural, y es el principal método de seguridad que tiene el equipo para el proyecto actual. La **Figura 45** muestra la interfaz pertinente.

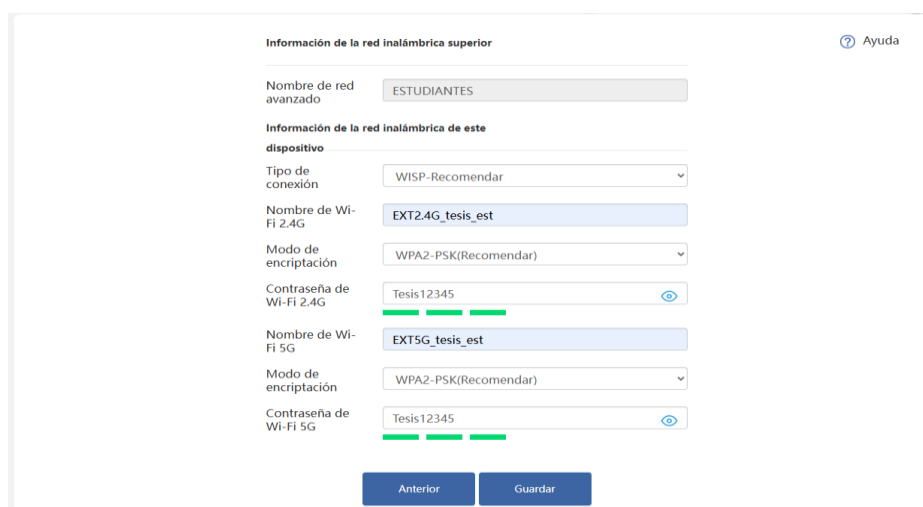


Figura 45: Configuración del SSID y contraseña del prototipo.

Además, la utilidad del productor permite realizar un reinicio programado del aparato. Esta función se empleará para garantizar que el sistema siga funcionando de manera estable, prevenir posibles fallos por saturación o procesos internos que duren mucho tiempo y asegurar que el servicio continúe. La configuración del reinicio automático para las 12:00 p.m. en este proyecto es porque esta hora coincide con el horario pico, que es cuando hay más usuarios en la zona donde se ubicará el prototipo. Esto permitirá que el equipo vuelva a iniciar y funcione de manera óptima durante el período de máxima demanda. La **Figura 46** ilustra esta función.

The screenshot displays the 'Reinicio programado' configuration page in the WAVLINK web interface. At the top, the navigation bar includes 'Inicio', 'Terminal', 'Inalámbricos', 'Avanzados', and 'Dispositivo'. The main content area features a toggle switch for 'Plan De Reinicio' which is currently turned on. Below this, the 'Tiempo actual' is shown as 2025/12/08 13:47:36. The 'Tiempo De Reinicio' is set to 12:00. The 'Fecha De Reinicio' is set to Monday (Mo). A 'Guardar' button is located at the bottom of the configuration section. The footer text reads: 'Sitio web oficial de WAVLINK | Copyright 2024 WAVLINK Technology Co., Ltd. Todos los derechos reservados.'

*Figura 46: Programación de reinicio automático del equipo.*

Cabe destacar que la WAVLINK AC600 no admite establecer controles de acceso por tiempo avanzados, como restringir a ciertos usuarios y dar acceso a otros posteriormente, ni políticas concretas para gestionar sesiones debido a las limitaciones del firmware del equipo elegido. Por lo tanto, en este proyecto, el control de acceso se basa en la autenticación por contraseña y en una selección apropiada del modo de operación y la red origen. Estas configuraciones son adecuadas para lograr los objetivos de conectividad del prototipo portátil que funciona con energía solar.

### 3.7.2. Site survey Wi-Fi: Acrylic Wi-Fi Heatmaps

Acrylic WiFi Heatmaps es un software orientado a la planificación de redes Wi-Fi que permite crear mapas térmicos basados en planos o mapas del área estudiada, emulando el alcance, la intensidad de señal y las interferencias de las redes inalámbricas. Su propósito fundamental es ilustrar de manera gráfica el rendimiento previsto de una red antes de su implementación física, lo que ayuda en la toma de decisiones técnicas relacionadas con la ubicación del punto de acceso, la cobertura proyectada y la elección del canal. En este proyecto se emplea como herramienta de planificación y análisis de cobertura, tanto en la fase preliminar (simulación sobre el plano) como durante la evaluación en campo, para modelar y visualizar la cobertura en la cancha natural y áreas cercanas dentro del rango de 2.4 GHz.

En esta fase del Capítulo 3, los mapas generados se consideran un referente técnico predictivo que guía el diseño lógico y la configuración inicial del prototipo; la validación real del sistema se presenta más adelante, en el Capítulo 4, a partir de las mediciones realizadas en la cancha con y sin el prototipo en operación. La interfaz del software y un ejemplo del mapa simulado se observan en las **Figuras 47 y 48**.

El mapa térmico simulado que se muestra en la **Figura 48** se ha generado sobre el plano satelital de la cancha natural y representa un área delimitada en la que se visualiza la intensidad de la señal mediante una escala de colores, donde cada tonalidad se asocia a un nombre y un nivel distinto de cobertura a 2.4 GHz. En el polígono se muestran puntos numerados (A-O), que simbolizan los puntos de adquisición o referencia que se han ingresado en el software para simular cómo la señal se distribuye espacialmente. Gracias a estos puntos, el sistema puede crear un mapa de calor que representa cómo se espera que actúe la red en las áreas interiores y exteriores del campo.

En el panel derecho de la interfaz se listan las SSID detectadas en el entorno universitario, junto con parámetros como el nivel de señal (RSSI) y la banda de operación. Esta vista permite identificar la presencia simultánea de varias redes activas en la banda de 2.4 GHz y, en menor medida, en otras bandas, lo que sugiere un entorno potencialmente sujeto a interferencias entre puntos de acceso. La gráfica situada en la parte inferior muestra la evolución temporal del RSSI para cada red detectada, de modo que se pueden apreciar tanto señales relativamente estables como otras con mayores oscilaciones. En el contexto de este capítulo, estas representaciones se utilizan principalmente para ilustrar el funcionamiento del software y resaltar la utilidad de una planificación adecuada del canal y de la cobertura antes de desplegar físicamente el prototipo en campo.

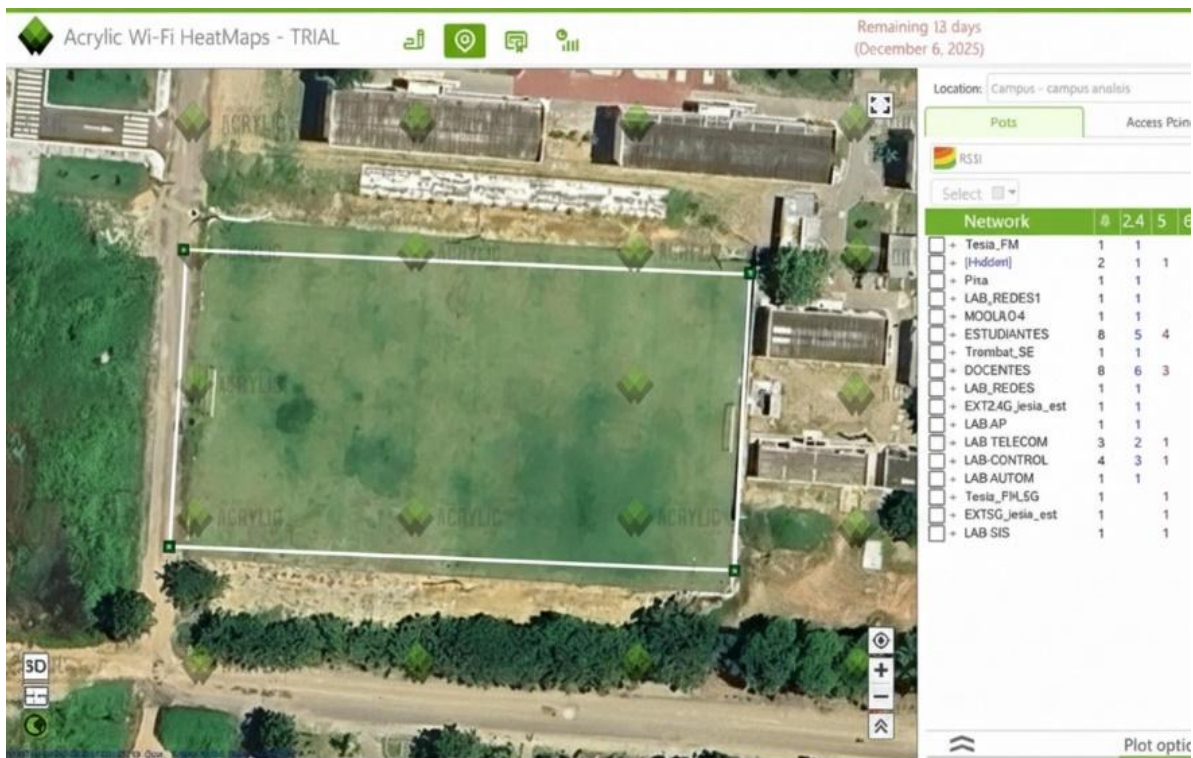


Figura 47: Interfaz de Acrylic Wi-Fi Heatmaps: carga de plano y parámetros de simulación



Figura 48: Ejemplo de mapa e calor simulado de cobertura en 2.4 GHz en la cancha natural

### EMF/Espectro: suite del Narda SRM-3006 para registro y exportación

En las **Figuras 49** a la **Figura 63**, presentan diversas mediciones efectuadas con el analizador de campo Narda SRM-3006 en la banda Wi-Fi de 2.4 GHz en el campus universitario. En los barridos en frecuencia se configuró el equipo para cubrir aproximadamente de 2.3 a 2.5 GHz, observándose la traza de potencia en función de la frecuencia con el marcador situado alrededor de los 2.4 GHz; en esa zona aparecen variaciones que sobresalen ligeramente por encima del nivel de ruido y se asocian a la presencia de redes WLAN cercanas. Otras capturas muestran el campo eléctrico en mV/m y la evolución de la potencia en el tiempo, lo que permite verificar que los niveles registrados se mantienen estables y dentro de los límites de exposición establecidos por la ICNIRP. En conjunto, estas 15 mediciones caracterizan la actividad del espectro en la banda

de 2.4 GHz en el entorno de la cancha y confirman que se trata de un canal con ocupación apreciable y, por tanto, más propenso a interferencias y congestión espectral.

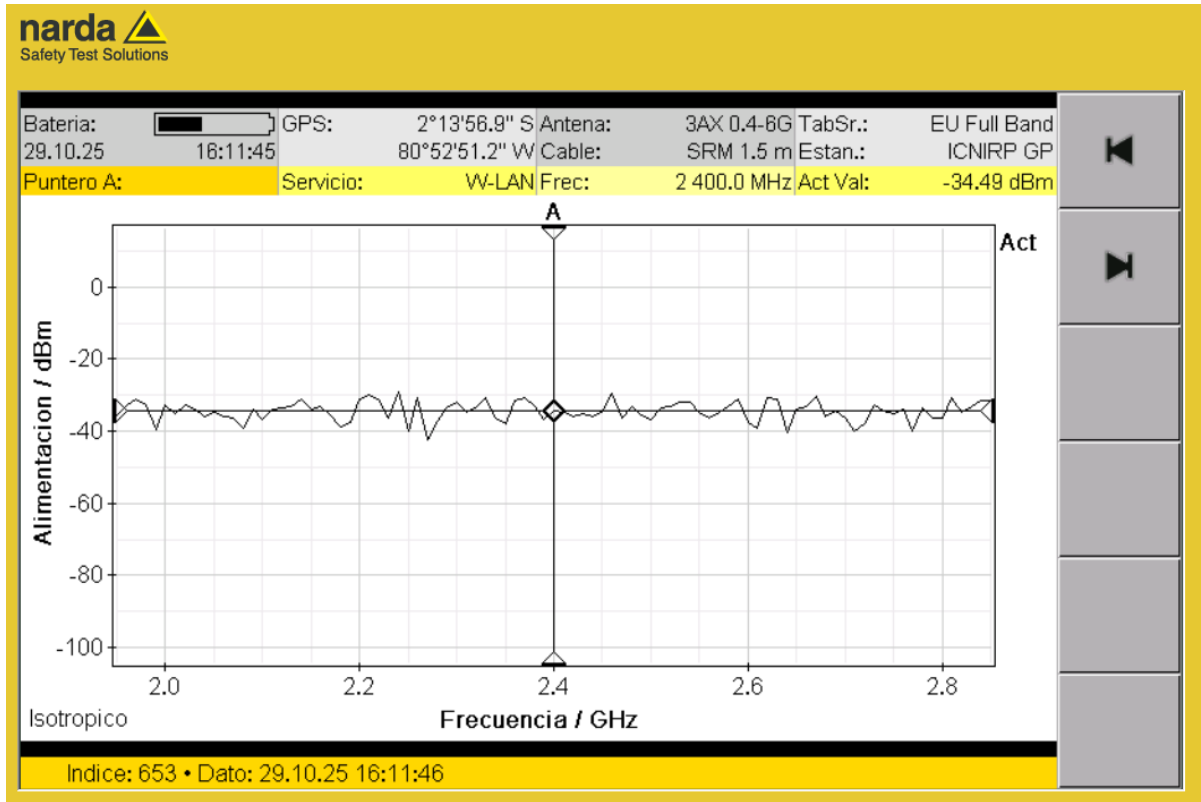


Figura 49: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO A

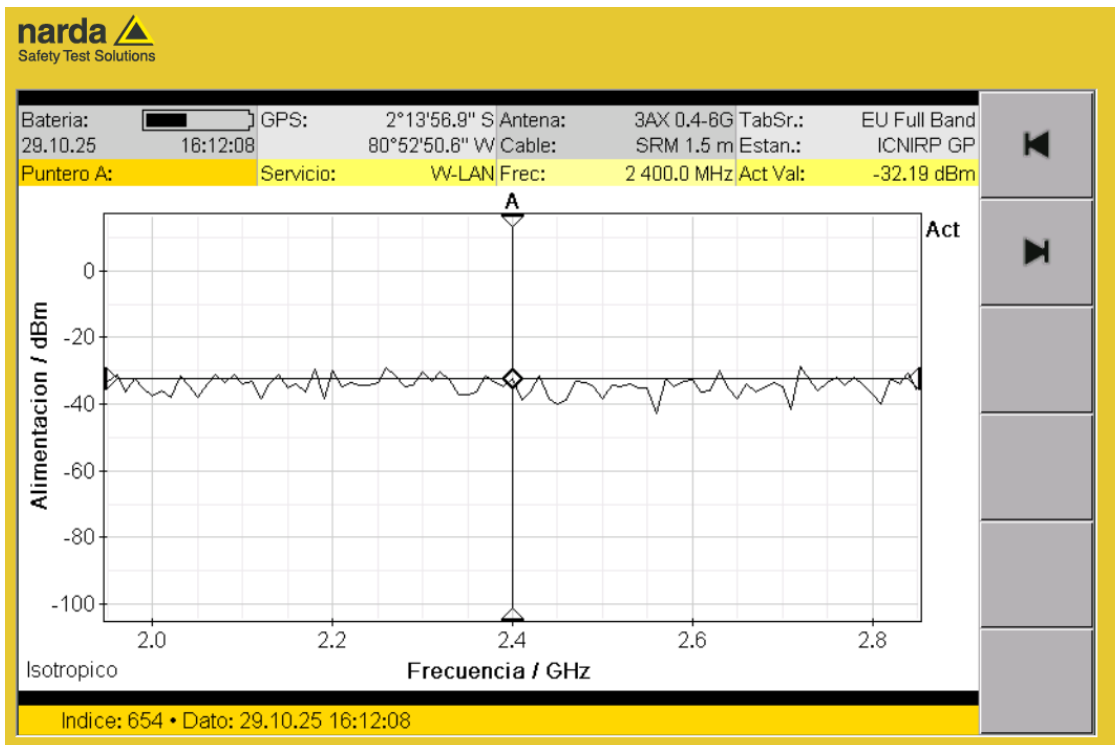


Figura 50: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO B

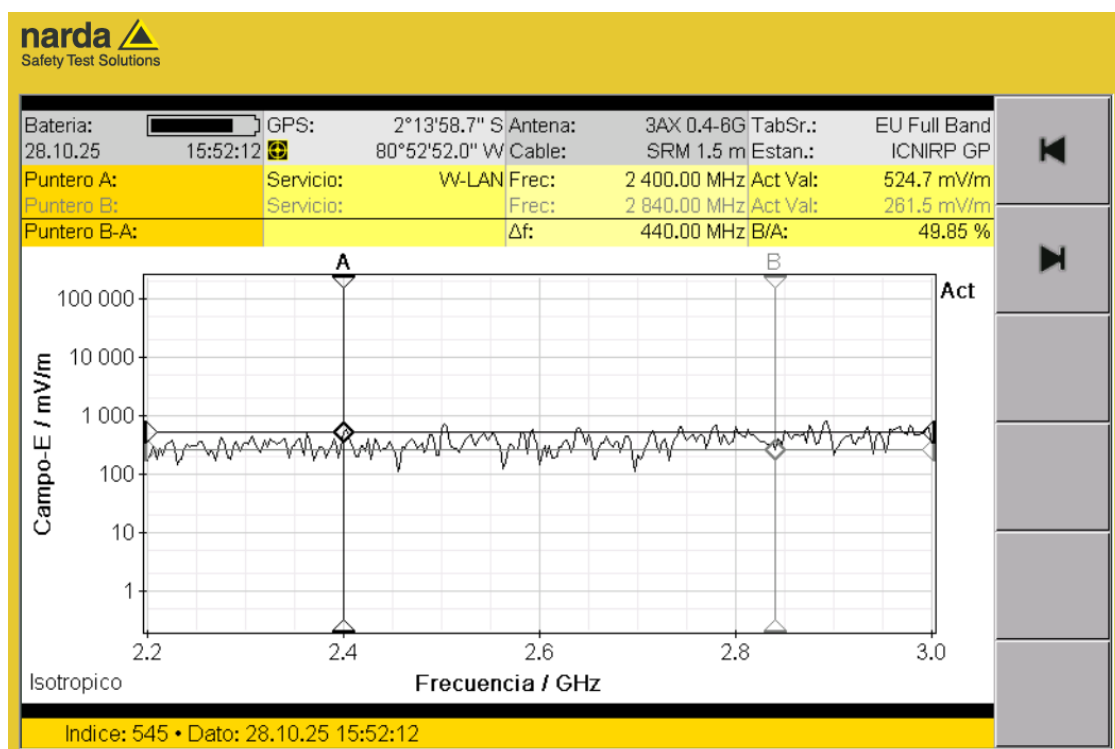


Figura 51: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO C

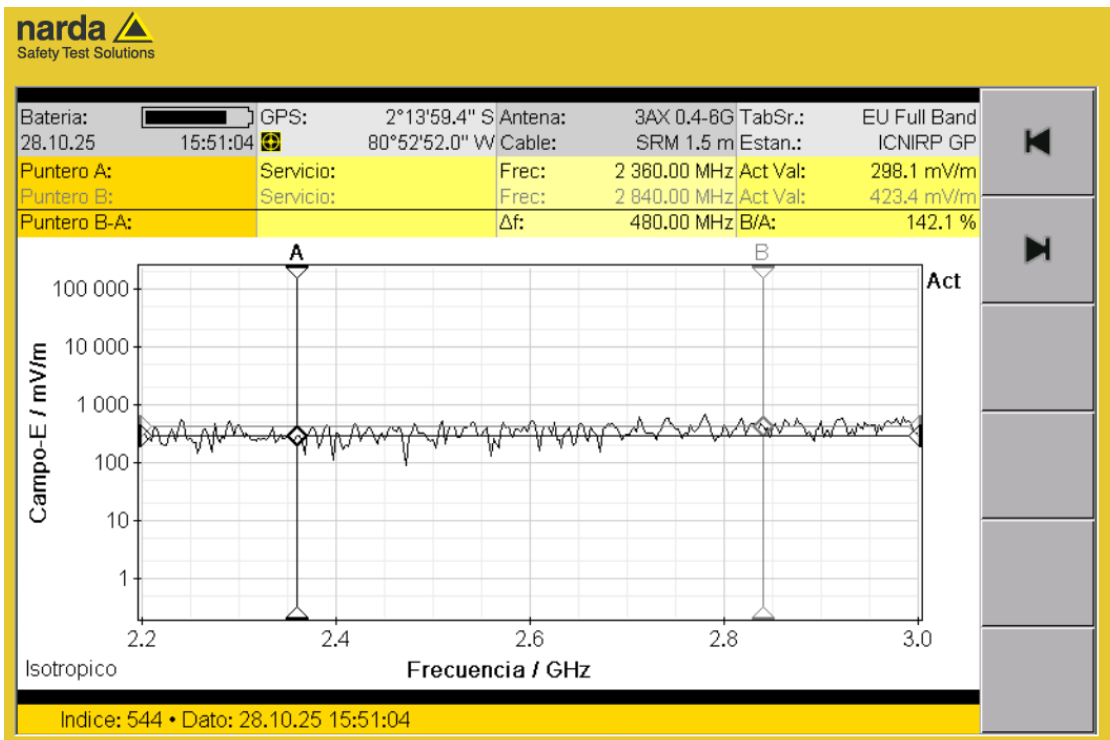


Figura 52: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO D

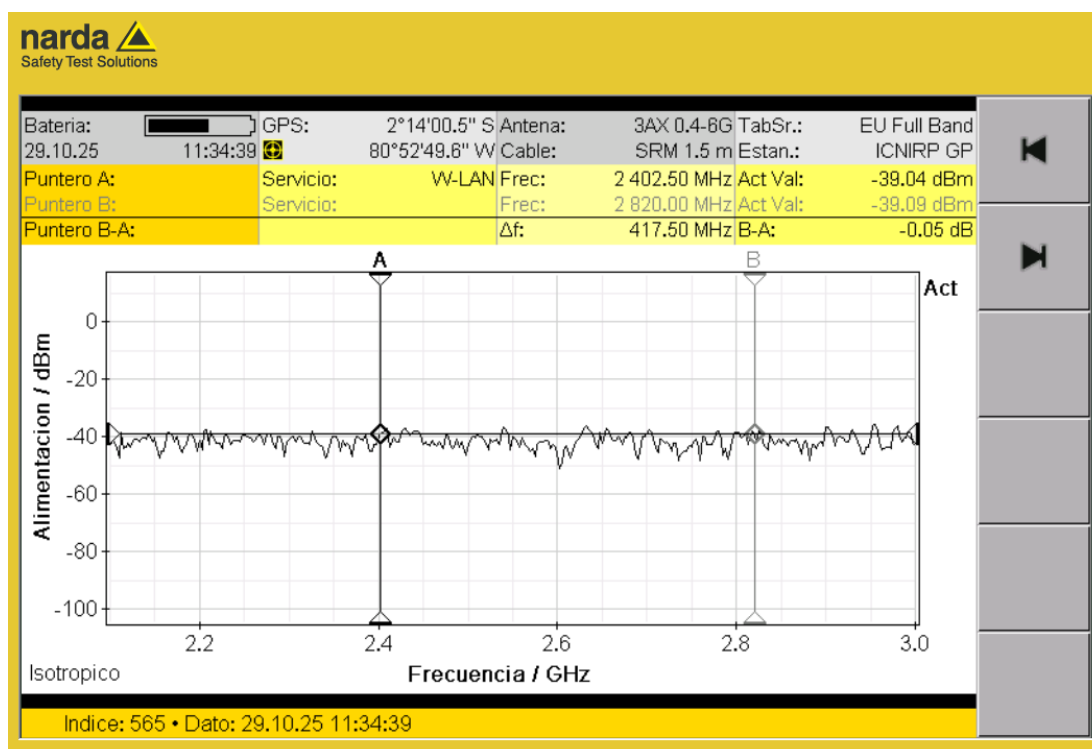


Figura 53: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO E

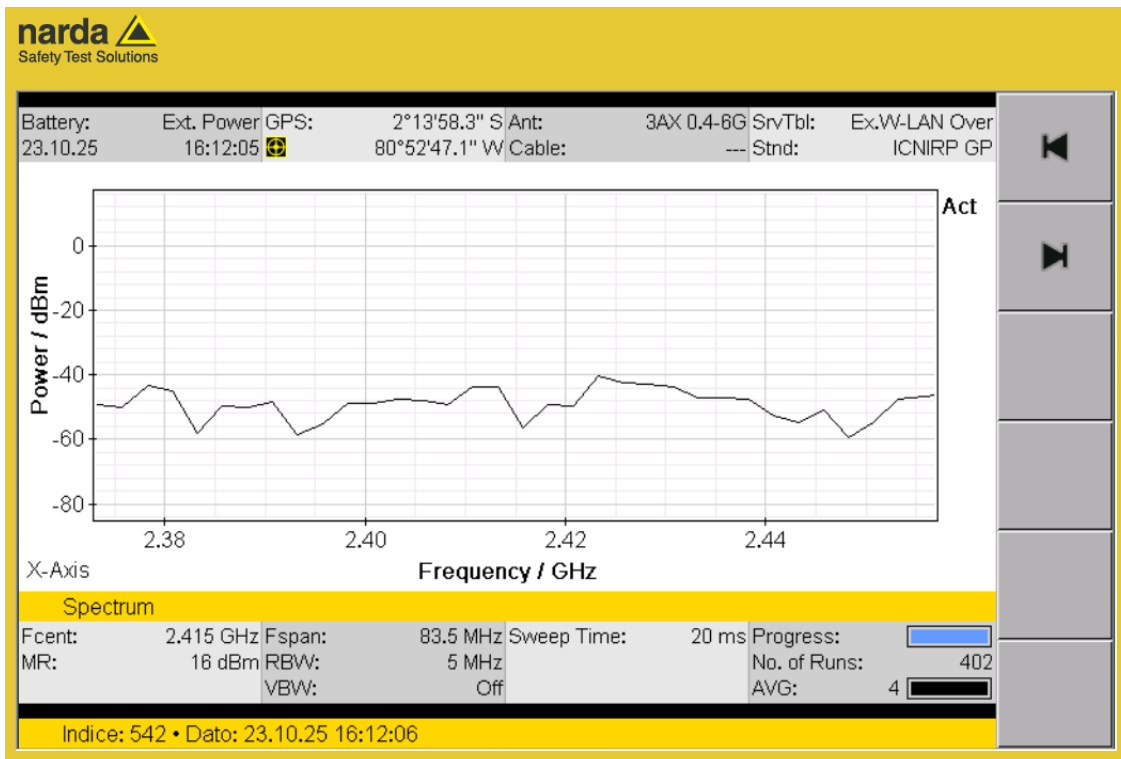


Figura 54: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO F

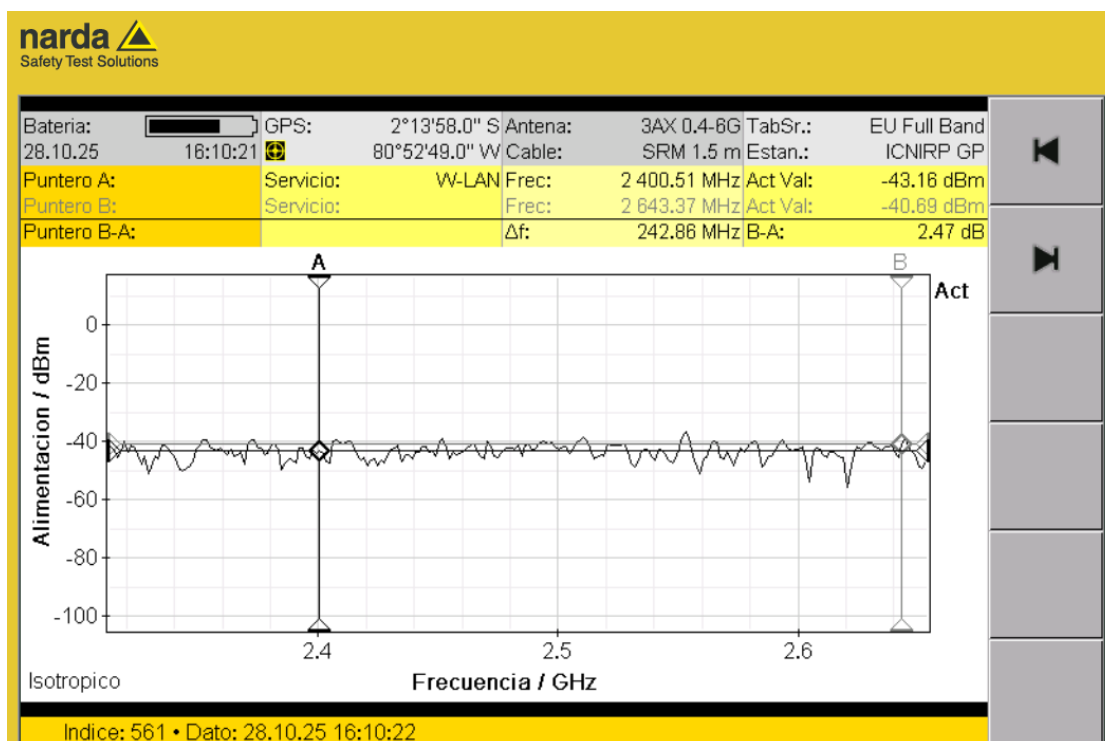


Figura 55: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO G

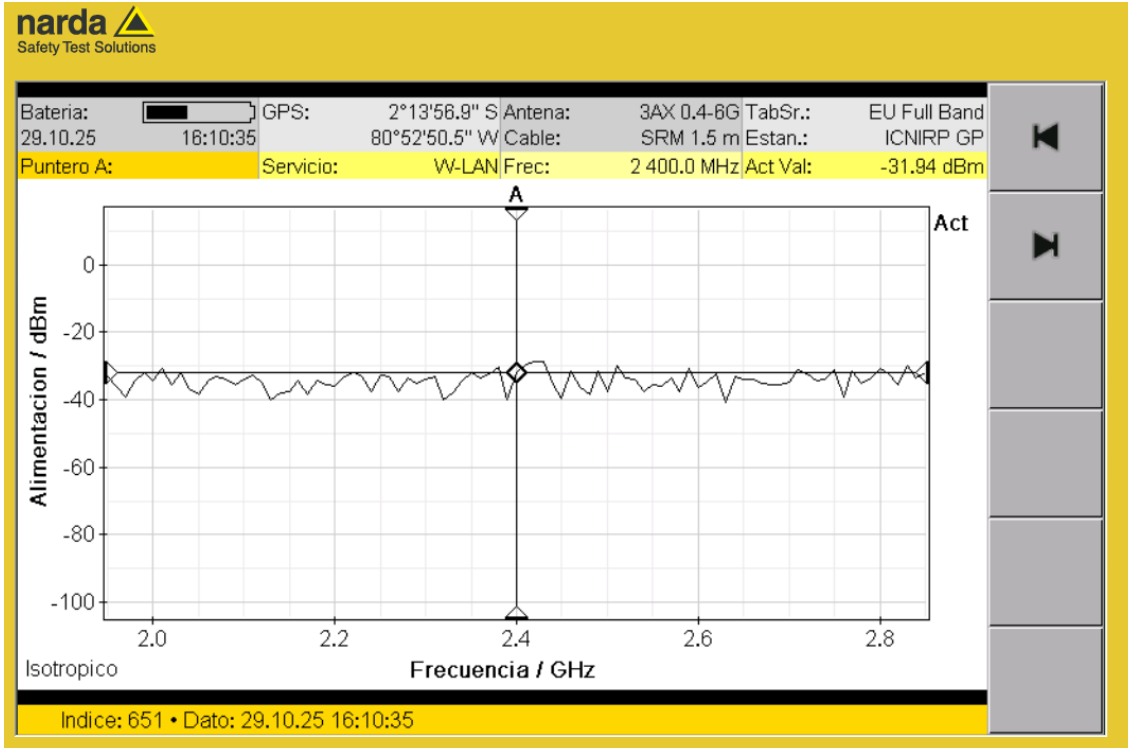


Figura 56: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO H

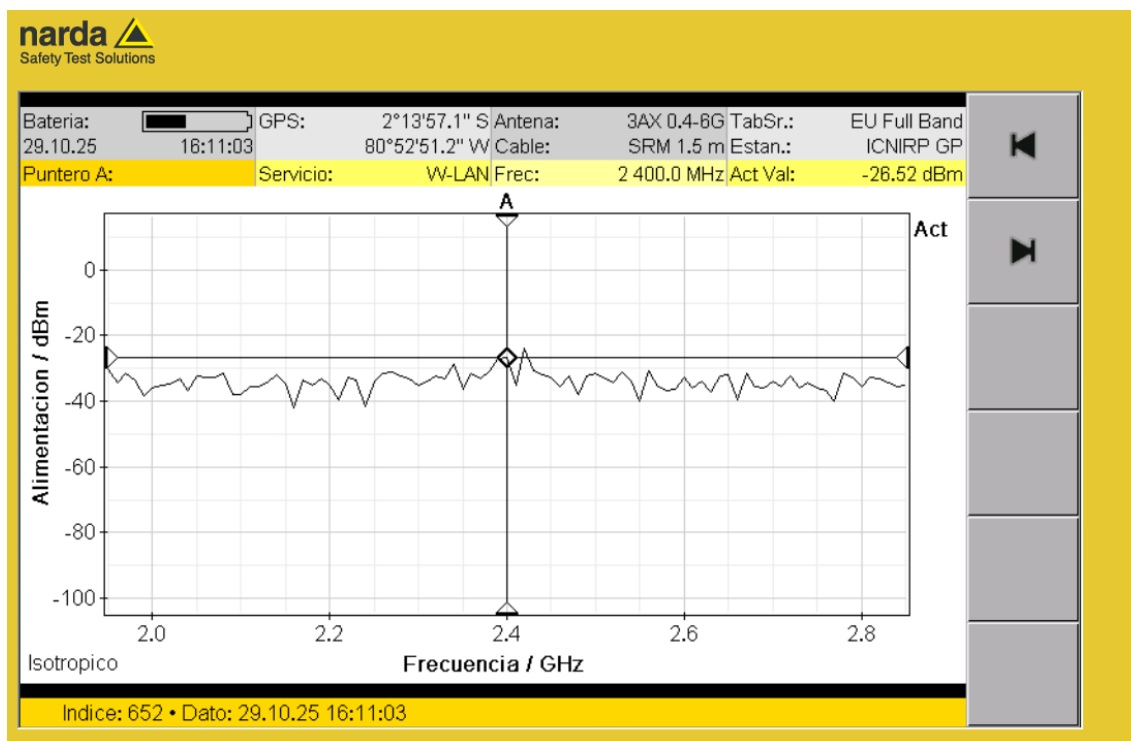


Figura 57: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO I

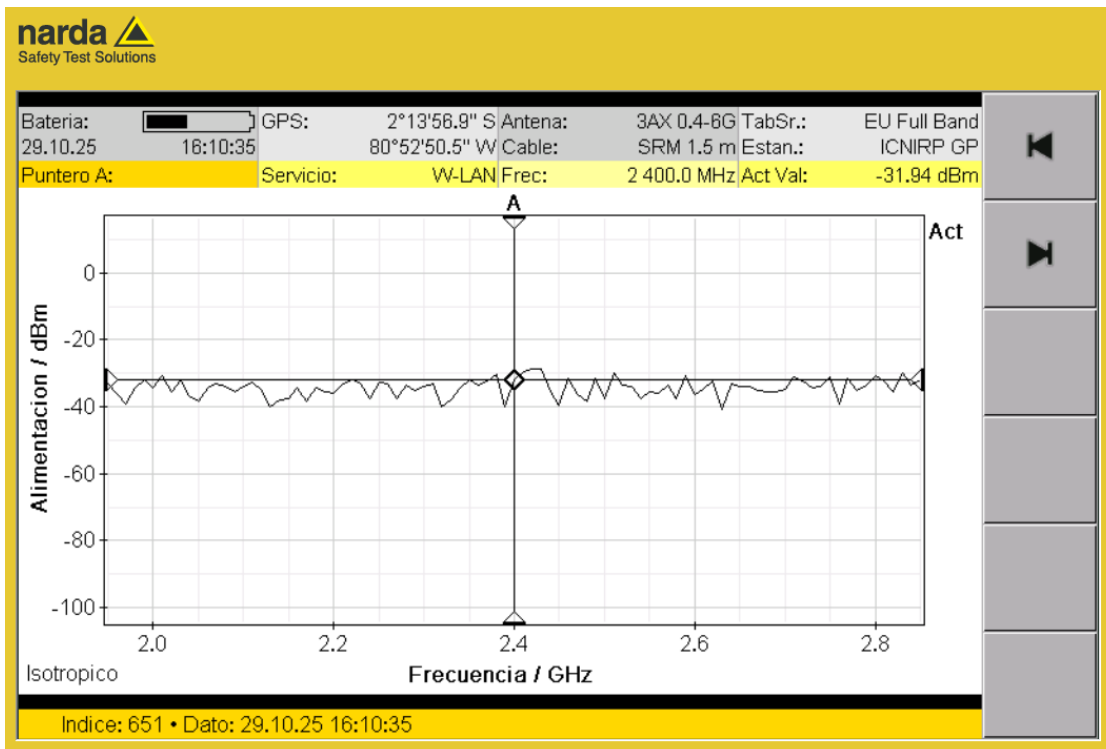


Figura 58: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO J

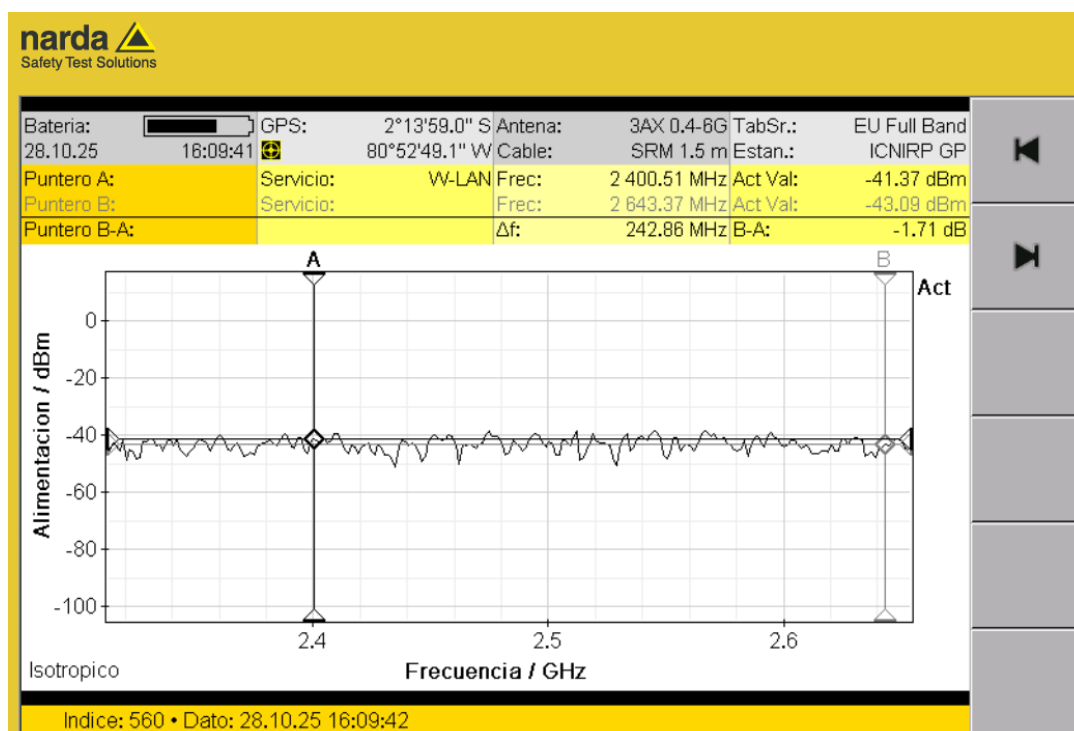


Figura 59: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO K

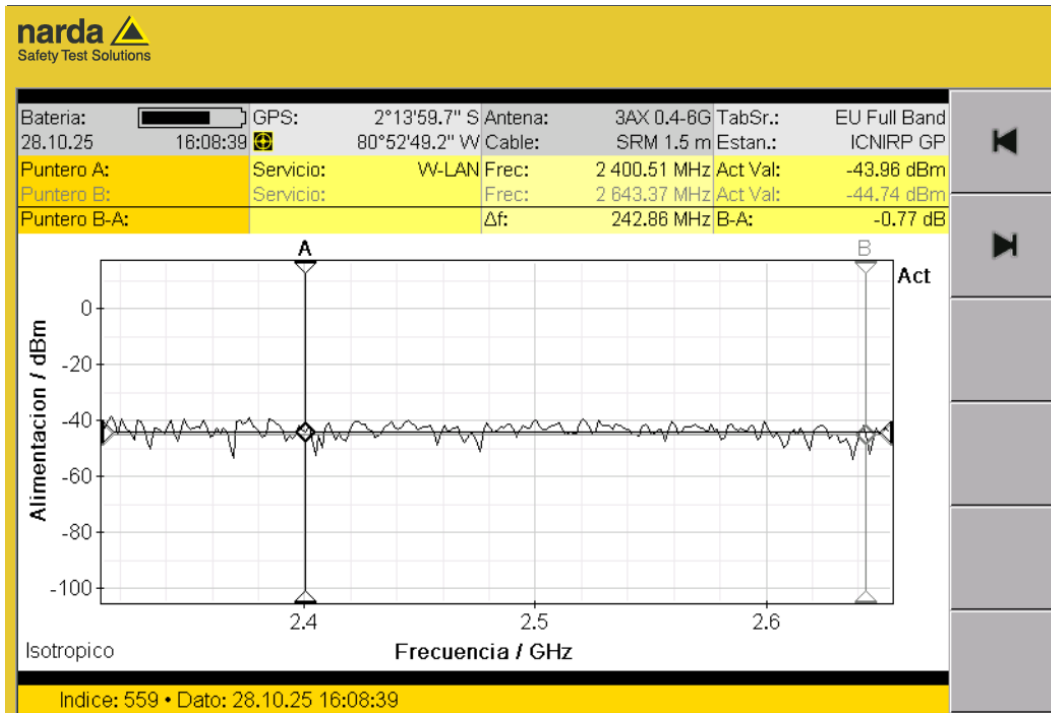


Figura 60: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO L

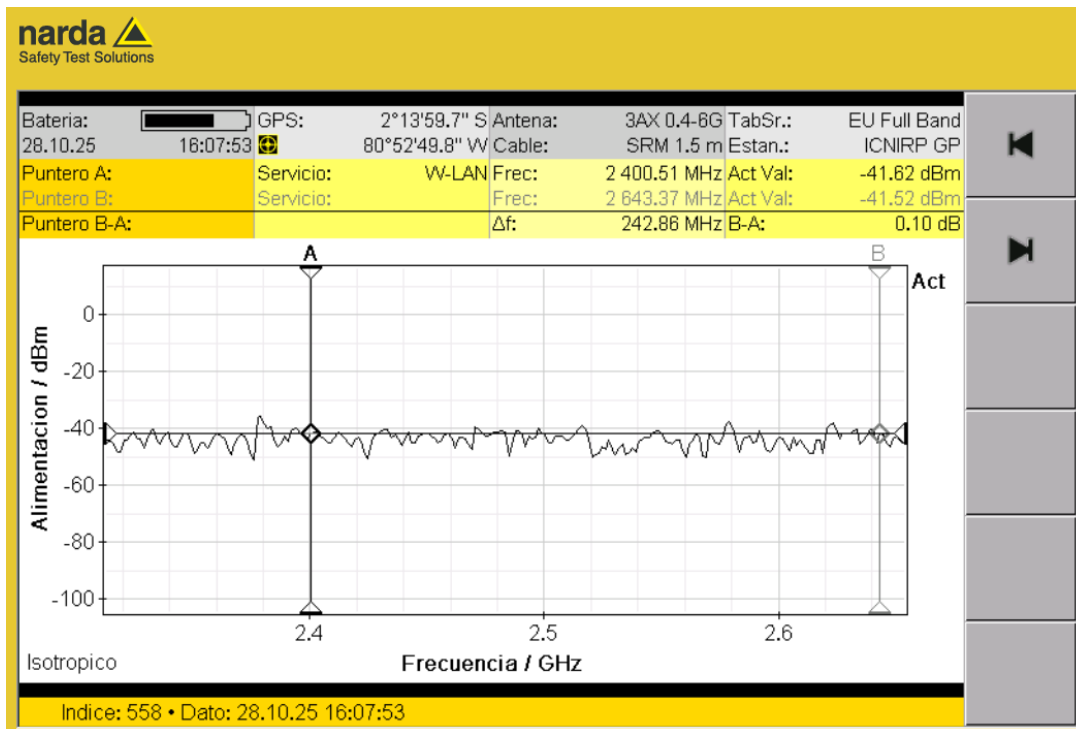


Figura 61: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO M

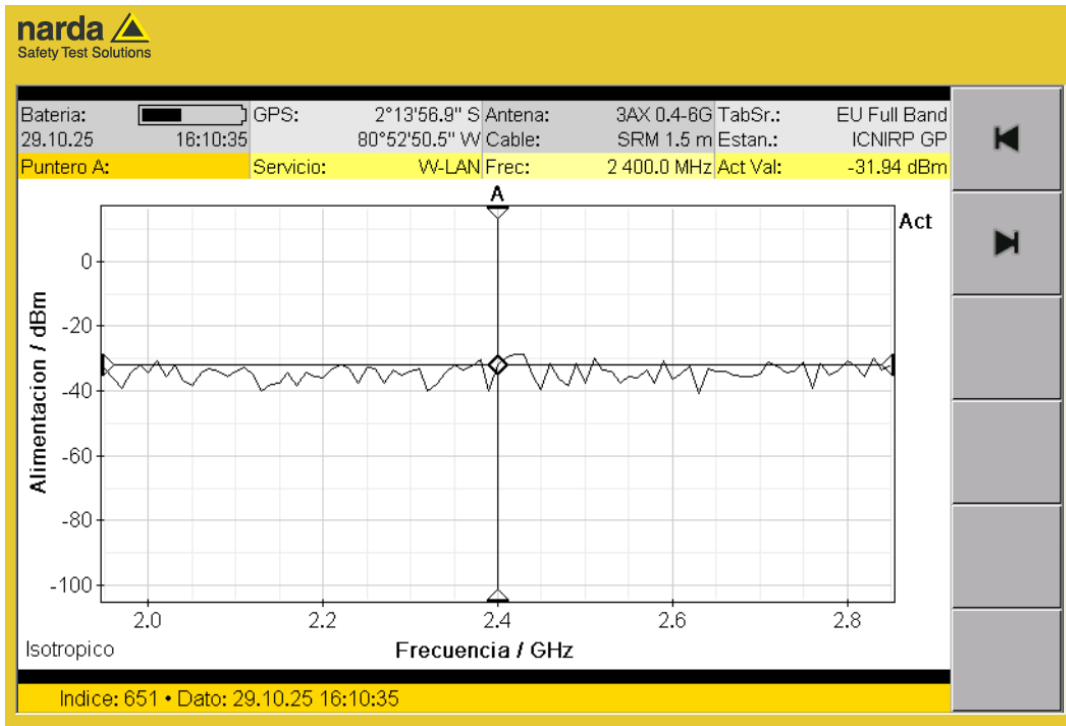


Figura 62: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO N

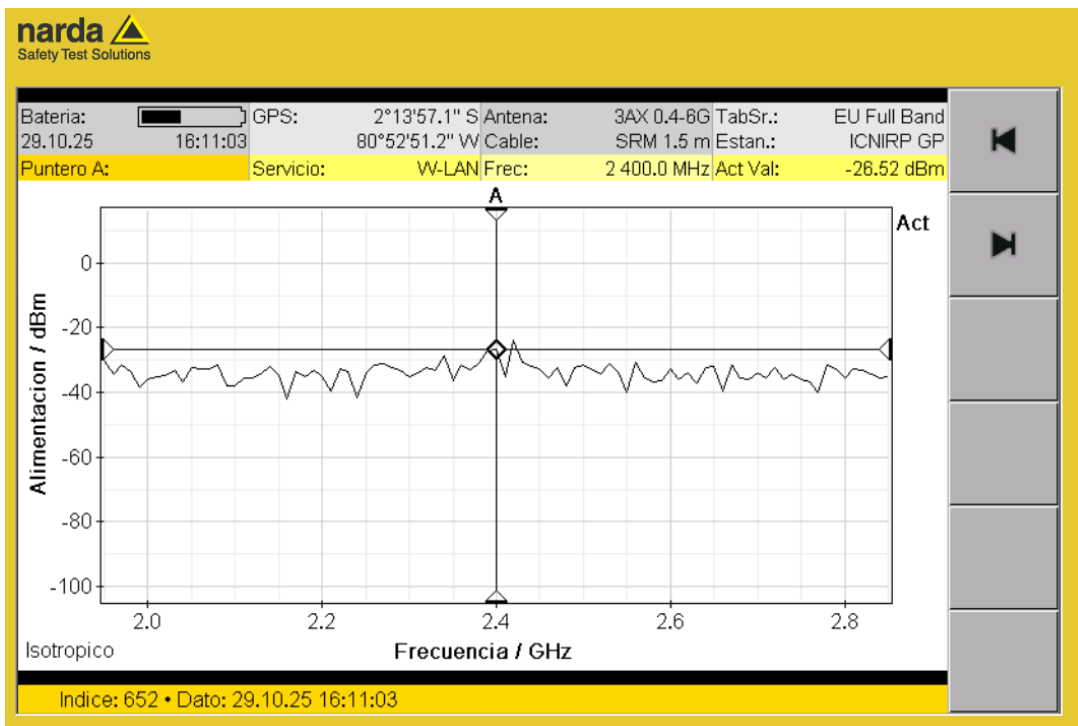


Figura 63: Medición con Narda SRM-3006 en la banda de 2.4 GHz en el PUNTO O

## Encuesta de percepción de usuarios

Con el objetivo de contextualizar la presente investigación dentro de la realidad de conectividad inalámbrica en el campus universitario, se diseñó y aplicó una encuesta dirigida a los usuarios que frecuentan la cancha de césped sintético y su perímetro. Este instrumento de recolección de datos primarios complementa el enfoque experimental del proyecto, ya que permite contrastar los resultados técnicos del prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz alimentada por energía solar con la percepción real de los estudiantes y usuarios sobre la calidad del servicio de conectividad antes y después de su implementación. Para ello, se utilizó el mismo cuestionario en dos momentos: una primera aplicación en el escenario actual (sin prototipo) y una segunda aplicación con el prototipo ya operativo, con el fin de medir cambios en la experiencia de uso.

La aplicación de esta encuesta se fundamenta en los siguientes propósitos:

- Identificar los patrones de uso del espacio y de la conectividad: determinar con qué frecuencia los usuarios utilizan la cancha o su perímetro y en qué medida dependen de la conexión Wi-Fi en esa zona, permitiendo caracterizar el perfil de los encuestados y relacionar su nivel de uso con la percepción de calidad del servicio.
- Diagnosticar la situación actual de la conectividad en la zona de estudio: conocer si los usuarios disponen de acceso a una red Wi-Fi en el área, así como su percepción sobre la intensidad de la señal, la estabilidad de la conexión, la presencia de desconexiones frecuentes y la existencia de “zonas muertas” sin cobertura en el entorno de la cancha.
- Cuantificar el impacto de la calidad de la red en las actividades académicas y cotidianas: establecer, mediante datos concretos, en qué medida la velocidad y la

respuesta de la conexión actual permiten o limitan la realización de videollamadas, clases virtuales, envío de trabajos, navegación en plataformas educativas y uso de aplicaciones académicas e institucionales.

- Evaluar el cambio percibido tras la implementación del prototipo: comparar las respuestas obtenidas antes y después de la puesta en marcha de la red inalámbrica alimentada por energía solar, con el fin de identificar mejoras en términos de cobertura, estabilidad, velocidad y satisfacción general del usuario en la zona de baja cobertura inicialmente identificada.
- Validar la relevancia y pertinencia del proyecto: demostrar, a partir de la percepción de los propios usuarios, la importancia de mejorar la conectividad en la cancha y sus alrededores, justificando la necesidad de contar con soluciones sustentables y portátiles como el prototipo propuesto y fortaleciendo el sustento metodológico y práctico de la investigación.

De esta manera, los resultados de la encuesta proporcionan un contexto claro del estado de la conectividad inalámbrica en el perímetro de la cancha, respaldan los objetivos planteados en la tesis y permiten medir el impacto real del prototipo desde la perspectiva de los usuarios finales.

La encuesta aplicada a los usuarios de la cancha natural y su perímetro se diseñó con el objetivo de medir la percepción de la calidad de conectividad antes y después de la implementación del prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz alimentada por energía solar. Cada ítem del cuestionario responde a una dimensión específica de análisis, vinculada directamente con los objetivos de la investigación.

La encuesta aplicada a los usuarios de la cancha natural y su perímetro se diseñó con el propósito de obtener una percepción directa sobre el estado de la conectividad inalámbrica antes y

después de la implementación del prototipo de red alimentado por energía solar. Cada pregunta fue planteada de forma estratégica para medir aspectos específicos de la experiencia de uso, como frecuencia de permanencia en la zona, acceso a Wi-Fi, intensidad de señal, estabilidad, velocidad, soporte a actividades académicas y nivel de satisfacción general. A continuación, se presenta la justificación de cada ítem considerado en el instrumento, explicando brevemente el motivo de su inclusión y la relación que guarda con los objetivos de la investigación. Con estas justificaciones, cada literal de la encuesta queda directamente vinculado con una dimensión de análisis de la calidad de conectividad y con los objetivos de la tesis, permitiendo que el instrumento sea coherente, pertinente y alineado al problema de investigación.

### **3.8. Comparativa cuantitativa**

En el análisis de este proyecto se fusionan redes inalámbricas con sistemas solares, en el cual permite reconocer parámetros esenciales y factibilidad de este proyecto, en cuanto a la frecuencia de transmisión, la mayor parte de los proyectos evaluados emplean la banda de 2.4 GHz, tales como ocurre con este proyecto en cuestión, ya que esta frecuencia se destaca por su amplio alcance de 200 a 300 metros, por lo que la hace perfecta para áreas de escasa cobertura, por otro lado, en la banda de 5 GHz, pese a proporcionar velocidades superiores, posee un alcance limitado, lo que restringe su utilidad de ambientes abiertos.

Al mencionar la potencia solar instalada, los sistemas estudiados cuentan con capacidades que varían entre 0.8 kW y 2.0 kW, en función de las demandas energéticas de los aparatos conectados, este proyecto, de 0.8 kW de potencia, está concebido para ser compacto y eficaz, consiguiendo suministrar energía a la antena externa que funciona de manera inalámbrica y a otros elementos cruciales, como lo es el inversor y el regulador, teniendo una proyección en este prototipo de una independencia energética de hasta 24 horas, equiparando la independencia de

sistemas de mayor tamaño gracias a un enfoque óptimo en la distribución de energía y el almacenamiento.

Con respecto a la cobertura de Wi-Fi, los proyectos cotejados proporcionan distancias que oscilan entre 150 a 300 metros, en función de beneficios de las antenas y la disposición de los canales de transmisión, el prototipo en cuestión abarcaría entre los 200 metros hasta máximo unos 300 metros de cobertura, lo que es suficiente para poder cubrir zonas abiertas de la universidad.

También se resalta la eficiencia energética como un indicador esencial, las iniciativas evaluadas alcanzan índices de eficiencia que oscilan entre el 80% y 90%, condicionados por la calidad de los paneles solares, reguladores e inversores empleados. Por lo que en este proyecto se pronostica una eficiencia del 87%, y que pueda evidenciar un aprovechamiento eficiente de la energía producida y disminuyendo las pérdidas en los procesos de transformación y almacenaje.

Como última instancia, todos los proyectos evaluados, incluyendo este, se adhieren a las regulaciones internacionales de seguridad electromagnética, como lo dicta la ICNIRP, estas regulaciones aseguran que las emisiones de radiaciones electromagnéticas, detectadas a través del equipo Narda, se conserven dentro de los límites seguros, salvaguardando tanto a los usuarios como al ambiente.

### **3.9. Estudio de Factibilidad**

El Análisis de Factibilidad para el proyecto de establecer una red inalámbrica alimentada por energía solar en áreas de baja cobertura analiza varios factores esenciales para asegurar su factibilidad. Desde un punto de vista técnico, se examina la habilidad de los componentes elegidos, tales como la antena WAVLINK AC600, el sistema de paneles solares, las baterías y el inversor, para colaborar y alcanzar las metas de conectividad y sostenibilidad, además de tener en cuenta

tecnologías existentes que mejoren el diseño. Operacionalmente, se analiza la portabilidad del sistema, requerida para su traslado a diversas zonas de la universidad, y su habilidad para operar en ambientes sin infraestructura eléctrica, utilizando la energía solar existente, en cambio, se analiza la viabilidad normativa, respetando los requisitos legales y las normativas referentes a la radiación electromagnética, abarcando el punto de vista desde el punto de vista ambiental, se destaca el efecto beneficioso de la propuesta al disminuir la dependencia de recursos energéticos no renovables, fomentando así prácticas de sostenibilidad. Este estudio exhaustivo determina que el proyecto no solo es factible en aspectos técnicos, legales y operativos, sino que también constituye una alternativa innovadora y autosustentable para potenciar la conectividad en áreas de escasa cobertura [80].

## **CAPÍTULO IV**

### **4.1. Resultados**

En este capítulo se describen las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en el desarrollo del prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz alimentado por energía solar, instalado en la cancha natural y su perímetro. Se presentan las mediciones de intensidad de señal y cobertura Wi-Fi antes y después de la implementación del prototipo, el comportamiento de la conexión en términos de estabilidad y calidad percibida, así como el desempeño del sistema fotovoltaico encargado de alimentar la antena WAVLINK AC600 y la cámara de seguridad. Además, se incluyen los resultados de las mediciones de campo electromagnético realizadas con el equipo Narda SRM-3006 y el análisis de las encuestas aplicadas a los usuarios, con el fin de evaluar el impacto de la propuesta en la mejora de la conectividad en una zona de baja cobertura.

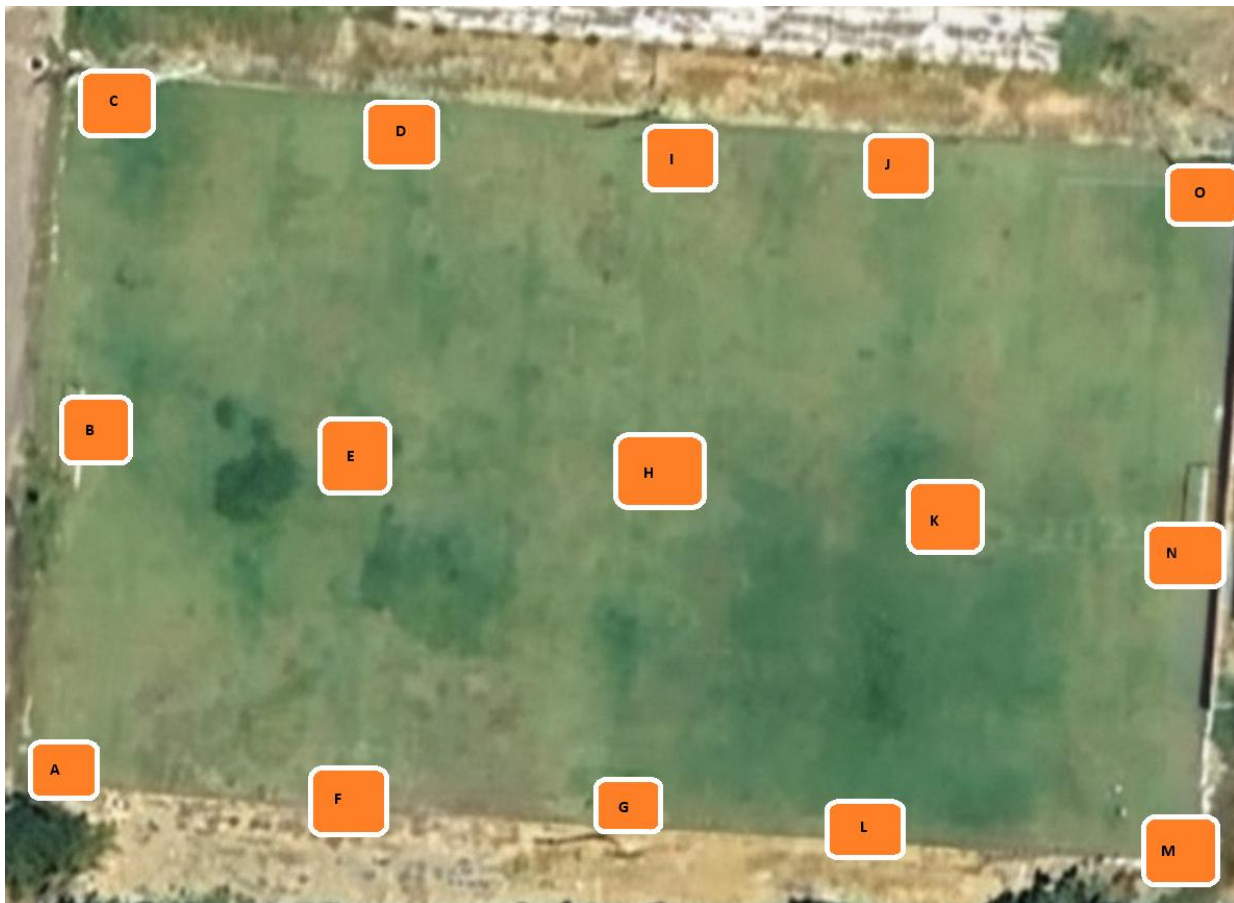
#### **4.1.1. Evaluación de cobertura e intensidad de la señal Wi-Fi**

En esta sección se analizan los resultados de cobertura e intensidad de señal Wi-Fi obtenidos en la cancha natural y su perímetro, comparando el escenario sin prototipo (condiciones iniciales de la red del campus) frente al escenario con el prototipo de red inalámbrica alimentado por energía solar en operación. Para ello se utilizaron quince puntos de medición distribuidos en el área de estudio, identificados de la A a la O, donde se registraron parámetros como nivel en dBm, RSSI y calidad de enlace, y se generaron mapas de calor mediante el software Acrylic WiFi Analyzer, lo que permitió visualizar de manera gráfica las zonas con buena señal, señal débil y ausencia de cobertura.

## 4.2. Análisis Comparativo de la conectividad en la cancha natural

### 4.2.1. Escenario sin prototipo

En primera instancia se realizó una campaña de mediciones sin la presencia del prototipo, así como se ve en la **Figura 64**, con el fin de establecer la línea base de cobertura e intensidad de señal Wi-Fi en la cancha natural y su perímetro. Para ello se definió una malla de quince puntos de evaluación, identificados de la A a la O, distribuidos a lo largo del campo y en los bordes donde se concentran los usuarios. En cada punto se efectuaron registros utilizando un equipo cliente portátil y el software Acrylic WiFi Analyzer, obteniendo valores de intensidad de señal en dBm, RSSI y calidad general del enlace de la red inalámbrica proveniente del bloque de la universidad.



*Figura 64: Mediciones sin la presencia del prototipo*

A partir de estos datos se generó un mapa de calor de cobertura que evidencia una señal más intensa en los sectores cercanos a la infraestructura del campus y una degradación progresiva hacia los extremos de la cancha, donde se identificaron zonas con señal débil o intermitente e incluso puntos sin detección estable de la red.

En la **Figura 65** se presenta la vista del software Acrylic WiFi HeatMaps durante la campaña de mediciones en la cancha natural, donde se observan los 15 puntos de adquisición sobre la imagen satelital y, en el panel derecho e inferior, las redes detectadas y la variación temporal del RSSI asociada a cada una de ellas.



Figura 65: Mediciones en la cancha natural

En la **Figura 66** se muestra el mapa de calor en 3D generado con Acrylic WiFi HeatMaps, donde se visualiza la distribución espacial del RSSI sobre la cancha natural a partir de los 15 puntos de medición. Las zonas de mayor intensidad de señal se representan con colores cálidos, mientras que las áreas con menor nivel de cobertura se aprecian en tonos más fríos.

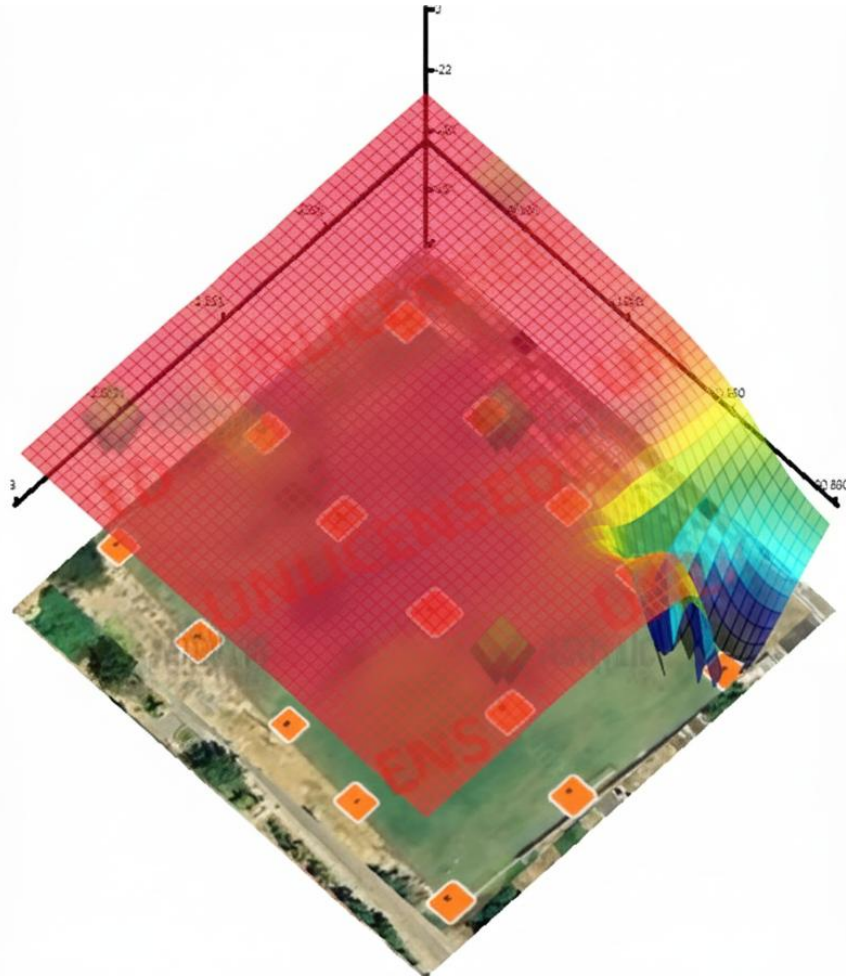
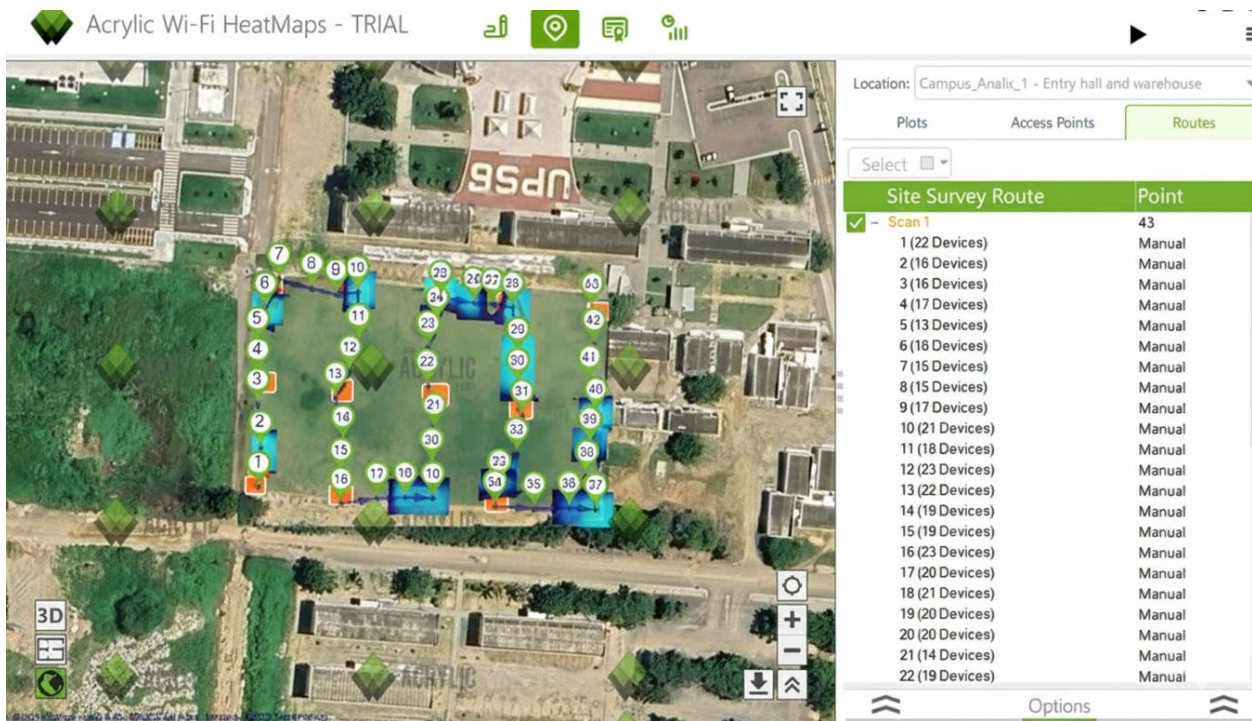


Figura 66: Mapa de calor en 3D generado con Acrylic WiFi HeatMaps

#### 4.2.2. Escenario con prototipo en operación

En esta situación, se examinó la cobertura Wi-Fi con el prototipo de red inalámbrica en funcionamiento, que es alimentada por energía solar y tiene instalada la antena WAVLINK AC600 en la estructura portátil; para ello, se emplearon los quince puntos distribuidos a lo largo del perímetro e interior de la cancha natural y a una altura parecida a la del dispositivo cliente. Además, se utilizó un horario parecido al del escenario sin prototipo con el fin de asegurar que los resultados fueran comparables.

En las **Figura 67** y **Figura 68** se presentan los mapas de calor 2D generados con Acrylic WiFi Heatmaps para el escenario con el prototipo en operación. Sobre la imagen satelital de la cancha natural se muestran los quince puntos de medición y las zonas coloreadas que representan la intensidad de la señal Wi-Fi emitida por el punto de acceso EXT2.4G\_tesis\_est, permitiendo visualizar de forma rápida las áreas con mejor cobertura y aquellas donde la recepción es más débil.

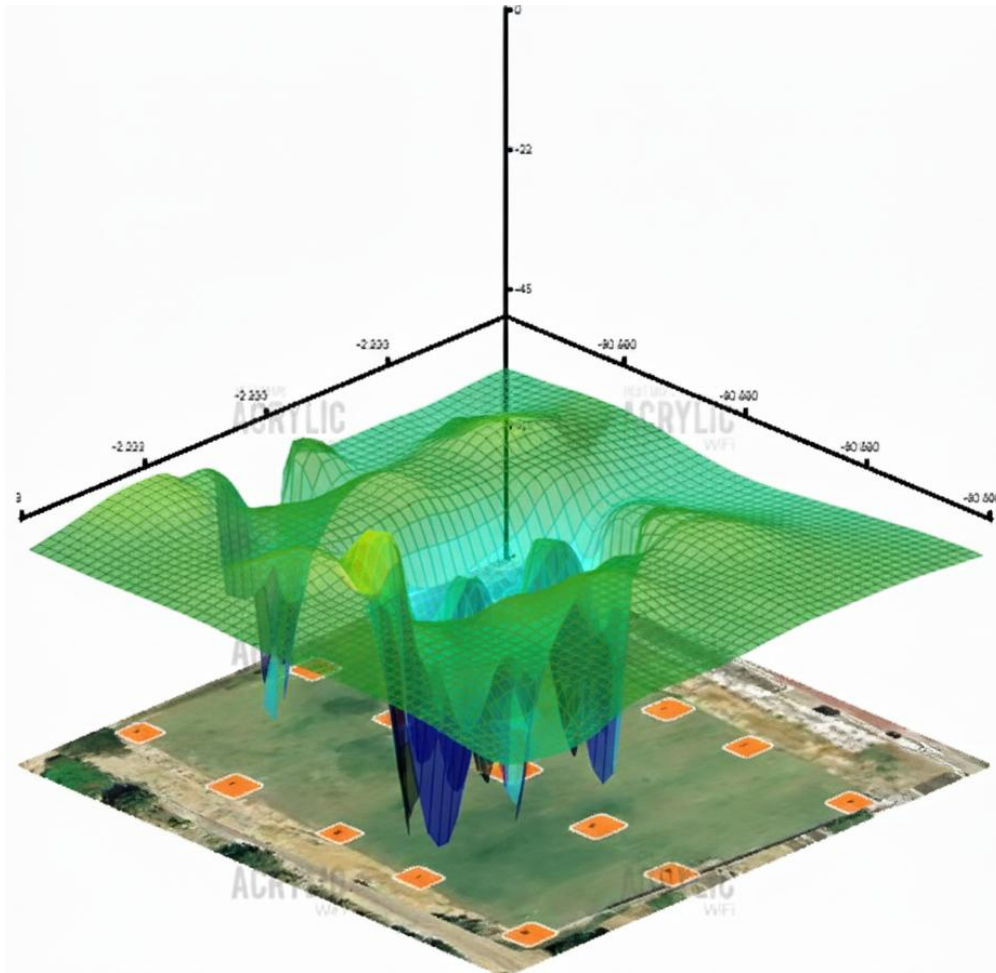


*Figura 67: Trayectoria con el prototipo en la zona de estudio*



Figura 68: Mapa de calor con el prototipo

Mostrando la **Figura 69** está la representación 3D generados con Acrylic WiFi Heatmaps para el escenario con el prototipo en operación. Estas imágenes representan la distribución espacial del nivel de señal (RSSI/dBm) sobre los quince puntos de medición, evidenciando cómo el punto de acceso WAVLINK AC600 extiende la cobertura en la cancha natural. La vista tridimensional complementa al mapa 2D al mostrar las variaciones de intensidad como una superficie, facilitando la identificación de zonas con mejor y peor recepción.



*Figura 69: Distribución espacial del nivel de señal (RSSI/dBm)*

#### 4.2.3. Análisis de resultados obtenidos Comparación de indicadores de desempeño y mapas de calor.

Esta sección muestra el análisis cuantitativo de las mediciones hechas en los 15 puntos de la malla (A-O) para situaciones con y sin el prototipo funcionando. Se registraron los valores de la potencia recibida en dBm y el RSSI suministrados por Acrylic WiFi Heatmaps para cada punto. Luego, se determinaron las diferencias entre ambos contextos, que se expresaron como  $\Delta$ dBm y  $\Delta$ RSSI.

En la **Figura 70** se muestran datos de la red de ESTUDIANTES donde nos muestra que el punto A y el punto J son los más afectados



Figura 70: Datos de la red de ESTUDIANTES

Tabla 5: Tabla de valores comparativos

PUNTOS	SSID: ESTUDIANTES	RSSI	RSSI
		CASO 1	CASO 2
A	C8:84:8C:7F:70:92	-79 dBm	-50 dBm
	C8:84:8C:7F:88:22		
B	C8:84:8C:BF:88:02	-63 dBm	-59 dBm
C	C8:84:8C:7F:67:42	-72 dBm	-71 dBm
D	D8:38:FC:BA:DC:5C	-50 dBm	-51 dBm
E	4C:B1:CD:04:D2:46	-71 dBm	-72 dBm

F	34:8F:27:42:06:B8 D8:38:FC:3A:D5:2C	-62 dBm	-60 dBm
G	D8:38:FC:78:D2:DC	-61dBm	-61 dBm
H	84:79:C8:06:10:4C	-69 dBm	-68 dBm
I	D8:38:FC:7A:DD:28	-54 dBm	-56 dBm
J	A8:08:FB:89:72:88 5C:DF:89:51:F0:48	-87dBm	-89 dBm
K	18:7C:D8:AA:87:B8	-53 dBm	-55 dBm
L	18:7C:0B:6A:82:F8	-52 dBm	-51 dBm
M	18:7C:D8:6A:82:F8	-51 dBm	-52 dBm
N	D8:38:FC:3A:D5:28	-72 dBm	-70 dBm
O	A8:0B:F8:A3:C2:58	-50 dBm	-51 dBm

En la **Tabla 5** se observa que, en el escenario sin prototipo (Caso 1), los puntos A y J presentan los niveles de RSSI más débiles de toda la malla de mediciones de la red ESTUDIANTES, con valores de  $-79$  dBm y  $-87$  dBm respectivamente, mientras que el resto de puntos se mantienen en un rango menos crítico. Esta condición identifica a A y J como las zonas más afectadas de la cancha, coherente con las áreas donde los usuarios reportan mayor inestabilidad y donde los mapas de calor muestran niveles de señal deficientes. Por esta razón, al momento de definir la ubicación del prototipo se priorizó la zona A, situada en uno de los bordes más desfavorecidos, de manera que la estructura portátil y la antena WAVLINK AC600 actuaran directamente sobre un punto que se encontraba en el límite de cobertura. El efecto de esta decisión se refleja en el Caso 2, donde el RSSI en A mejora de  $-79$  dBm a  $-50$  dBm, es decir, alrededor de

29 dB de incremento, una variación significativamente mayor que la observada en el resto de posiciones, lo que confirma que la intervención en ese sector fue efectiva.

#### 4.3. Mediciones de campo electromagnético con el Narda SRM 3006

##### 4.3.1. Resultados en la banda de 2.4 GHz

En la banda de 2.4 GHz se realizaron mediciones puntuales en N=15 posiciones distribuidas en el perímetro de la cancha natural, con la sonda de campo eléctrico del Narda SRM-3006 situada a una altura aproximada de 1,6 m sobre el nivel del suelo, representativa de la zona de presencia de usuarios. La **Tabla 6** resume los niveles de campo eléctrico medidos en cada punto de evaluación (A–O) y su distribución espacial en forma de gráfico o mapa sobre el área de estudio. En el escenario sin prototipo, los niveles registrados en 2.4 GHz se asocian principalmente a las redes Wi-Fi existentes en el campus y presentan un patrón relativamente homogéneo, con valores moderados y sin máximos claramente definidos en la zona de la cancha.

*Tabla 6: Niveles de campo eléctrico medidos en cada punto de evaluación*

<b>Punto</b>	<b>Tipo de medición</b>	<b>Frecuencia (MHz)</b>	<b>Valor</b>
A	Potencia isotrópica	2400.0	-34.49 dBm
B	Potencia isotrópica	2400.0	-32.19 dBm
C	Potencia isotrópica	2400.0	-35.02 dBm
D	Potencia isotrópica	2400.0	-36.20 dBm
E	Potencia isotrópica	2400.0	-34.64 dBm
F	Potencia isotrópica	2400.0	-31.94 dBm
G	Potencia isotrópica	2400.0	-26.52 dBm
H	Potencia isotrópica	2400.0	-31.94 dBm
I	Potencia isotrópica	2400.0	-35.58 dBm
J	Potencia isotrópica	2400.0	-37.25 dBm
K	Potencia isotrópica	2400.0	-33.00 dBm
L	Potencia isotrópica	2400.0	-36.14 dBm
M	Potencia isotrópica	2400.0	-33.18 dBm
N	Potencia isotrópica	2400.0	-31.94 dBm
O	Potencia isotrópica	2400.0	-26.52 dBm

#### 4.3.2. Comparación con límites normativos de exposición

Los niveles de campo electromagnético medidos en la cancha natural mediante el Narda SRM-3006 se comparan con los límites de referencia establecidos para exposición del público en el rango de frecuencias correspondiente a los servicios Wi-Fi (alrededor de 2.4 y 5 GHz). En particular, las recomendaciones internacionales vigentes como las guías de la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y los criterios recogidos en normas técnicas aplicables al despliegue de estaciones radioeléctricas fijan valores máximos admisibles de campo eléctrico y densidad de potencia para garantizar que la exposición de la población general se mantenga en niveles seguros. A partir de las campañas realizadas en los escenarios sin prototipo y con el prototipo en operación, se observa que los valores de campo

eléctrico registrados en los puntos de evaluación se sitúan ampliamente por debajo de dichos límites de referencia, tanto en la banda de 2.4 GHz como en la de 5 GHz, incluso en las posiciones más próximas a la antena del sistema portátil. En consecuencia, puede afirmarse que la operación del prototipo no introduce condiciones de exposición que comprometan la seguridad de los usuarios ni modifica de forma significativa el marco de cumplimiento normativo del entorno, sino que se mantiene dentro de los márgenes considerados aceptables para entornos de uso público, como es el caso de una instalación universitaria.

#### 4.4. Resultado de las encuestas a usuarios

Con el propósito de examinar las modificaciones que se percibieron en la calidad de la conectividad Wi-Fi, se entrevistó a 50 usuarios del campo sintético y su perímetro, los cuales fueron seleccionados por conveniencia. Se utilizó el mismo cuestionario antes y después de introducir el prototipo. El instrumento constaba de diez ítems en la escala Likert de 1 a 5, con el propósito de evaluar la estabilidad, la velocidad percibida, la disponibilidad de red y la intensidad de señal, además del uso de aplicaciones académicas y el grado global de satisfacción. También se buscaba medir cuán importante consideran los alumnos que es mejorar la conectividad en este lugar.

En la fase inicial de las encuestas, se realizaron con el prototipo apagado, empleando solo la infraestructura Wi-Fi existente; en la etapa posterior, se repitió la recolección de datos con el prototipo funcionando continuamente y conservando las mismas áreas de estudio.

##### 4.4.1 Caracterización de la muestra y aplicación del cuestionario

La encuesta se llevó a cabo entre un grupo de 50 usuarios que emplean regularmente la cancha natural y su perímetro, sobre todo alumnos y miembros de la comunidad universitaria que están en esa área con fines académicos, deportivos o recreativos. Los sujetos participantes fueron seleccionados a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, que consistía en contactar a los usuarios presentes en el área durante los periodos de recolección de datos. El cuestionario, diseñado en formato digital, contenía preguntas cerradas con respuestas de tipo "sí/no/a veces" y opciones múltiples. El objetivo era entender la percepción acerca del acceso a Wi-Fi, la estabilidad de la conexión y la existencia de áreas sin cobertura.

El mismo instrumento se utilizó en dos momentos diferentes: una vez antes de la implementación del prototipo, denominada "Encuesta inicial de conectividad Wi-Fi", para determinar el estado de referencia de la conectividad en la región; y otra vez después de que se instalaron el sistema fotovoltaico y la antena WAVLINK AC600, como "Encuesta secundaria de conectividad Wi-Fi", con el objetivo de reconocer las variaciones notadas por los usuarios. La participación fue anónima y voluntaria, y las respuestas que se obtuvieron se emplearon únicamente con propósitos académicos para el análisis de los resultados del trabajo de titulación actual.

#### 4.4.2. Resultados antes de la implementación del prototipo

La encuesta inicial de conectividad Wi-Fi se realizó antes de la implementación del prototipo y sirvió para establecer una línea base sobre las condiciones de la cancha natural y su perímetro. De acuerdo con las respuestas, se determinó que un número significativo de los usuarios no cuenta con un acceso Wi-Fi apropiado en el área o lo considera insuficiente para sus actividades académicas, informando problemas de estabilidad, velocidad limitada para videollamadas y clases virtuales, así como la existencia de "zonas muertas" sin cobertura. Asimismo, varios encuestados

reportaron dificultades para usar la plataforma académica desde esta parte del campus y manifestaron un nivel medio o bajo de satisfacción general con el servicio de conectividad disponible.

En la **Figura 71** se presenta el resumen porcentual de las respuestas obtenidas en cada ítem del cuestionario inicial, lo que permite visualizar de manera sintética la percepción de los usuarios respecto al acceso, calidad y estabilidad del servicio Wi-Fi antes de la implementación del prototipo. Estos resultados constituyen la referencia de comparación para el análisis de la encuesta posterior, donde se evaluará el impacto del sistema inalámbrico alimentado por energía solar sobre la experiencia de conectividad en la zona de estudio.

	¿Con qué frecuencia...? (Actualmente tiene acceso a una red Wi-Fi)	¿La calidad de servicio Wi-Fi en esta zona es...	¿La conexión actual se mantiene estable...	¿La velocidad de la conexión actual le permite...	En esta zona... ¿Puede utilizar un problema? (En general... ¿El(s) estudiante(s) con el servicio...)	¿Considera importante que la universidad...
1	menos de diez por se No	No	No	No	No	Si
2	Todos los días No	A veces	No	No	Si	No
3	3-4 veces por semana No	A veces	No	No	No	No
4	1-2 veces por semana Si	A veces	A veces	No	No	No
5	3-4 veces por semana No	No	No	No	Si	No
6	3-4 veces por semana Si	A veces	Si	Si	A veces	Si
7	Todos los días No	A veces	A veces	No	Si	A veces
8	menos de diez por se No	No	No	No	A veces	No
9	1-2 veces por semana No	No	No	No	A veces	No
10	3-4 veces por semana No	A veces	A veces	No	No	No
11	1-2 veces por semana No	No	No	No	Si	No
12	menos de diez por se No	No	No	No	No	No
13	menos de diez por se No	No	No	No	No	No
14	1-2 veces por semana Si	A veces	A veces	No	A veces	No
15	menos de diez por se No	No	No	No	Si	A veces
16	menos de diez por se No	No	A veces	No	A veces	No
17	Todos los días No	A veces	A veces	A veces	A veces	A veces
18	menos de diez por se No	No	No	No	No	No
19	3-4 veces por semana No	A veces	A veces	No	Si	A veces
20	menos de diez por se Si	No	A veces	No	No	No
21	1-2 veces por semana No	A veces	No	No	Si	A veces
22	menos de diez por se No	No	A veces	A veces	Si	A veces
23	Todos los días No	No	No	No	No	No
24	3-4 veces por semana No	No	No	No	Si	A veces
25	Todos los días Si	Si	Si	Si	Si	Si
26	3-4 veces por semana Si	Si	Si	Si	Si	Si
27	1-2 veces por semana No	No	A veces	A veces	A veces	A veces

Figura 71: Resumen porcentual de las respuestas del cuestionario inicial

La distribución porcentual de las respuestas de la encuesta inicial se ilustra con claridad en las **Figuras 72 a la Figura 80**, lo que permite observar con precisión cómo valoran los usuarios la disponibilidad de red Wi-Fi, la calidad del servicio, la estabilidad de conexión, la existencia de "zonas muertas", el empleo de la plataforma académica y su satisfacción general con respecto al estado presente del perímetro y cancha. Esta representación es la línea de base para evaluar la

situación de conectividad antes de que se aplicara el prototipo y, después, será utilizada para hacer la comparación entre lo que había antes y lo que hay ahora en el análisis de los resultados.

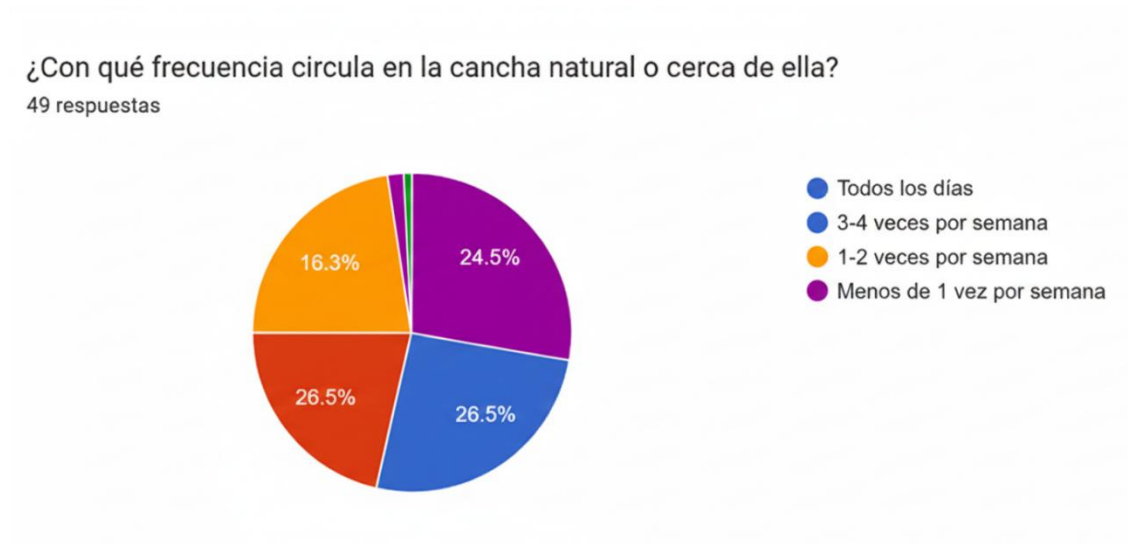


Figura 72: ¿Con que frecuencia circula en la cancha natural o cerca de ella? – Encuesta Inicial



Figura 73: ¿Actualmente tiene acceso a una red Wi-Fi en esta zona? - Encuesta Inicial

¿La calidad de servicio Wi-Fi en esta zona es suficiente para sus actividades?

50 respuestas

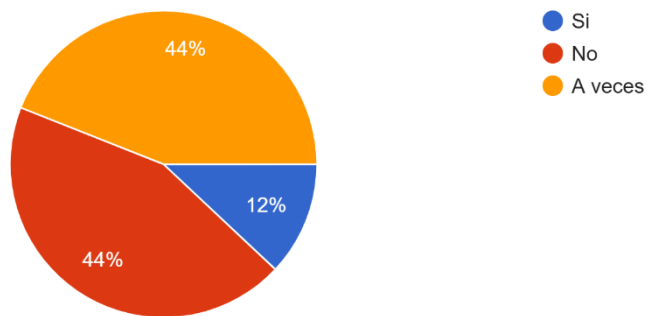


Figura 74: ¿La calidad de servicio Wi-Fi en esta zona es suficiente para sus actividades?

¿La conexión actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes?

50 respuestas

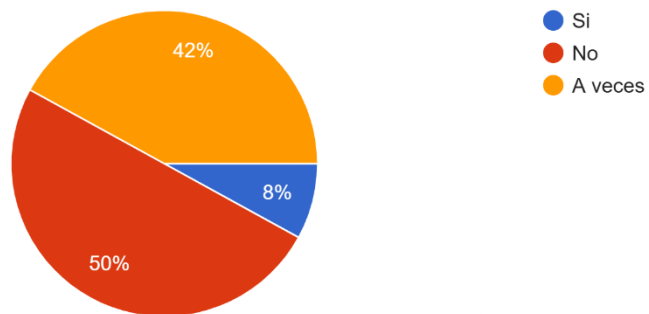


Figura 75: ¿La conexión actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes? - Encuesta Inicial

¿La velocidad de la conexión actual le permite realizar videollamadas, clases virtuales o envío de trabajos sin problema?

50 respuestas

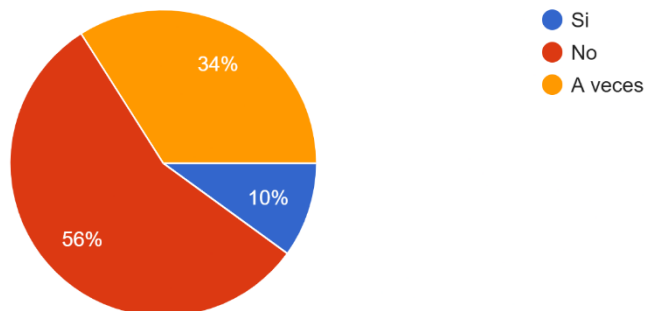


Figura 76: ¿La velocidad de la conexión actual le permite realizar videollamadas, clases virtuales o envío de trabajos sin problema? - Encuesta Inicial

En esta zona, ¿Rara vez pierde la conexión o tiene "zonas muertas" sin cobertura?

49 respuestas

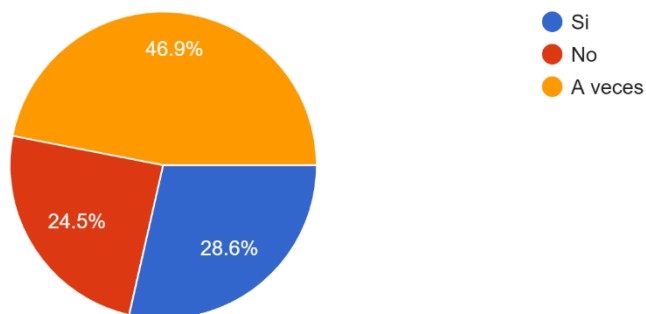


Figura 77: En esta zona, ¿Rara vez pierde la conexión o tiene "zonas muertas" sin cobertura?- Encuesta Inicial

En esta zona, ¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica?

50 respuestas

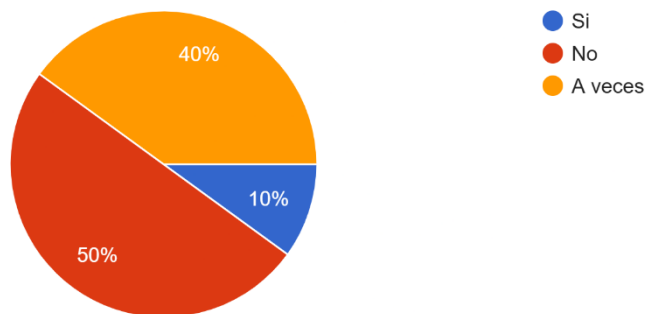


Figura 78: En esta zona, ¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica? - Encuesta Inicial

En general, ¿Está satisfecho(a) con el servicio de conectividad actual en la cancha natural y su perímetro?

49 respuestas

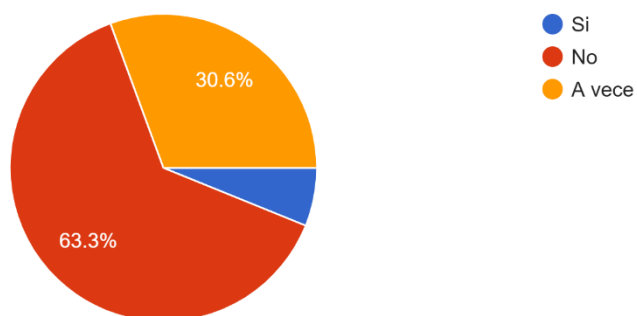


Figura 79: En general, ¿Está satisfecho(a) con el servicio de conectividad actual en la cancha natural y su perímetro? -

Encuesta Inicial

¿Considera importante que la universidad mejore la conectividad en la cancha natural y sus alrededores?

50 respuestas

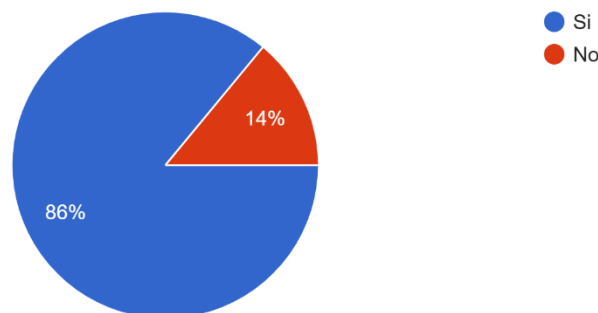


Figura 80: ¿Considera importante que la universidad mejore la conectividad en la cancha natural y sus alrededores? - Encuesta Inicial

#### 4.4.3. Resultados después de la implementación del prototipo

Los resultados de la encuesta se muestran en esta sección. Esta encuesta fue realizada tras aplicar el prototipo de red inalámbrica alimentado con energía solar en el campo y su alrededor. Se empleó el mismo cuestionario de la fase inicial, así que se pueden confrontar directamente las respuestas obtenidas sobre lo que piensan los usuarios acerca de la estabilidad de la conexión, la calidad del servicio, la frecuencia con que utilizan el espacio, la disponibilidad de red Wi-Fi, el uso de plataformas académicas y el grado general de satisfacción después de que se puso en marcha el sistema.

La distribución de respuestas a la encuesta posterior a la implementación, organizada por pregunta y opción de respuesta (Sí, No, A veces), se resume en la **Figura 81**. Con base en estos resultados, podemos determinar si creció la cantidad de usuarios que afirman tener acceso a Wi-Fi en el área, si mejoró la sensación de estabilidad de la conexión y si se redujeron los informes sobre "zonas muertas" sin cobertura en el campo y su alrededor. Asimismo, se examina la conducta

de las respuestas vinculadas con la utilización de la plataforma académica y con el grado de satisfacción total con el servicio de conectividad tras la implementación del prototipo.

Puntajes de la escala con el prototipo instalado. ¿La calidad de la conexión (o si actual se mantiene esa) ¿La velocidad de la conexión actual se mejoró el prototipo. ¿Ha vuelto a tener? ¿Puede utilizar sin problema la plataforma a su general. ¿Esta conforme con el servicio. ¿Considera que la implementación es							
Mala	Insuficiente	No	No	Si	No	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	A veces	A veces	No	Si	Si	Mucho
Igual	Suficiente	No	A veces	Si	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	Si	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	A veces	A veces	No	A veces	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	A veces	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Igual	Suficiente	Si	Si	Si	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	A veces	Si	No	Si	Si	Mucho
Mala	Insuficiente	No	No	No	No	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	A veces	Si	Si	Mucho
Mala	Insuficiente	No	No	No	No	No	Empeoró
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Igual	Insuficiente	A veces	A veces	A veces	A veces	No	Igual
Mejor	Suficiente	Si	Si	Si	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	Si	No	Si	Si	Mucho
Mejor	Suficiente	Si	A veces	Si	Si	Si	Mucho

Figura 81: Distribución de respuestas a la encuesta posterior a la implementación

La distribución porcentual de las respuestas de la encuesta subsiguiente se muestra en las Figuras 82 a la Figura 88, lo que permite una comparación visual entre los diferentes aspectos evaluados (calidad, estabilidad, velocidad, uso académico y satisfacción). Esta representación posibilita una vista sintética del impacto que los usuarios experimentaron después de implementar el prototipo y proporciona la base para el análisis comparativo entre antes y después, que se lleva a cabo en la sección siguiente.

Después de la instalación del prototipo, ¿Cómo califica la calidad del servicio Wi-Fi en la cancha natural en comparación con antes?

59 respuestas

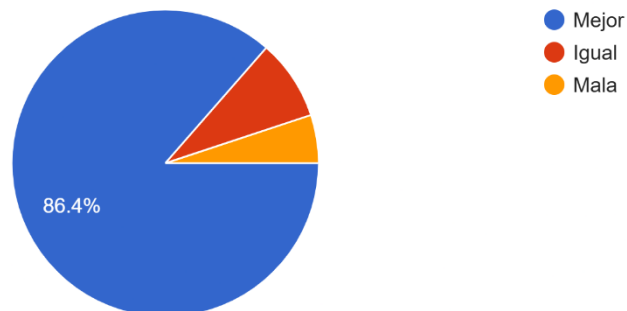


Figura 82: Después de la instalación del prototipo, ¿Cómo califica la calidad del servicio Wi-Fi en la cancha natural en comparación con antes? - Encuesta Final

¿La conexión Wi-Fi actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes?

59 respuestas

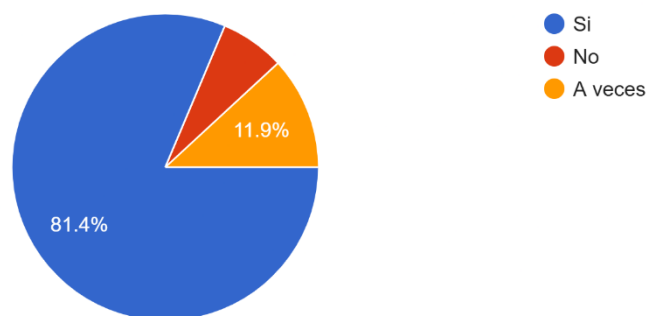


Figura 83: ¿La conexión Wi- Fi actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes? - Encuesta Final

¿La velocidad de la conexión actual me permite realizar videollamadas o clases virtuales sin problemas?

59 respuestas

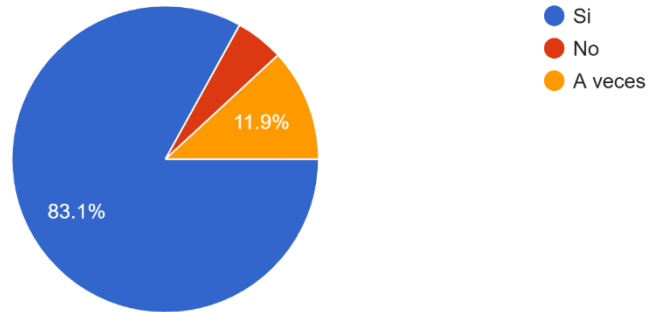


Figura 84: ¿La velocidad de la conexión actual me permite realizar videollamadas o clases virtuales sin problemas? - Encuesta

Final

Instalado el prototipo, ¿Ha vuelto a tener "zonas muertas" sin cobertura en la cancha natural o cerca de ella?

59 respuestas

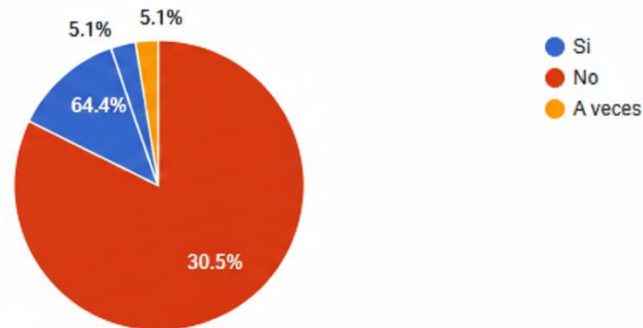


Figura 85: Instalado el prototipo, ¿Ha vuelto a tener "zonas muertas" sin cobertura en la cancha natural o cerca de ella? -

Encuesta Final

¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica con la conexión actual?

58 respuestas

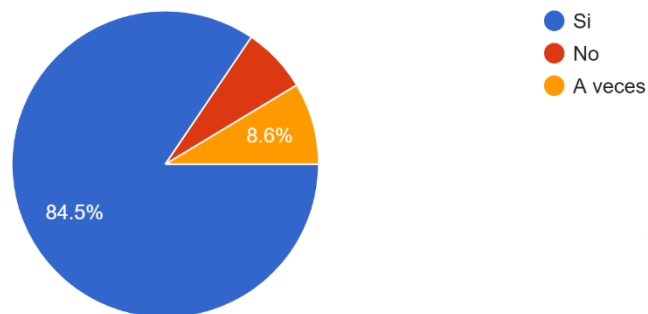


Figura 86: ¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica con la conexión actual? – Encuesta Final

En general, ¿Está conforme con el servicio de conectividad actual en la cancha natural y su perímetro?

59 respuestas

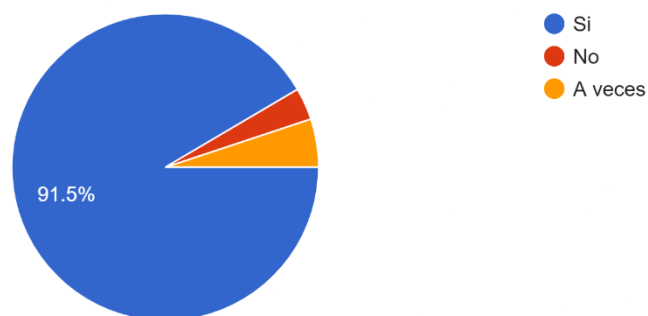


Figura 87: En general, ¿Está conforme con el servicio de conectividad actual en la cancha natural y su perímetro? - Encuesta Final

¿Considero que la implementación del prototipo mejoró la conectividad en esta zona?  
59 respuestas

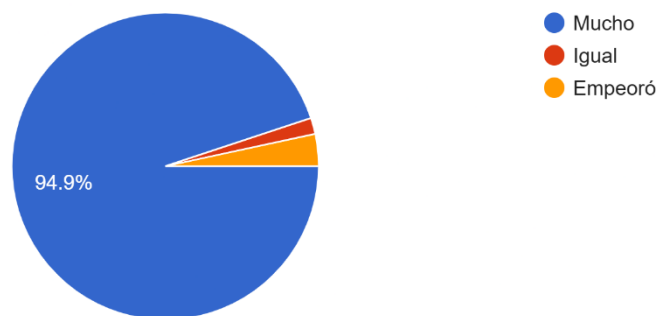


Figura 88: ¿Consideró que la implementación del prototipo mejoró la conectividad en esta zona? - Encuesta Final

#### 4.4.4. Comparación de percepciones antes y después

Se realiza la comparación entre los resultados de la encuesta inicial y la encuesta posterior a la implementación del prototipo, con el fin de identificar de manera explícita los cambios percibidos por los usuarios en la calidad de la conectividad en la cancha natural y su perímetro. Al contrastar los porcentajes de respuesta de ambas mediciones se observa, en primer lugar, un incremento en la proporción de usuarios que declaran contar con acceso a una red Wi-Fi funcional en la zona, así como una reducción de quienes manifestaban no disponer de servicio o considerarlo insuficiente. De igual forma, las respuestas asociadas a la calidad del servicio muestran una transición desde valores predominantes de “No” y “A veces” en la situación inicial, hacia una mayor presencia de respuestas afirmativas en la encuesta posterior, lo que indica una mejora percibida en términos de cobertura efectiva y desempeño general de la red.

En cuanto a la estabilidad y la velocidad de la conexión, la comparación antes–después evidencia que, tras la puesta en marcha del prototipo, disminuye el porcentaje de usuarios que

reportan desconexiones frecuentes y problemas para realizar actividades académicas en línea, mientras que aumentan las respuestas que señalan una conexión estable y con capacidad suficiente para videollamadas, clases virtuales y envío de trabajos. De manera coherente, las preguntas relacionadas con la existencia de “zonas muertas” y el uso de la plataforma académica muestran una reducción de las dificultades reportadas y una mayor facilidad de acceso a los servicios institucionales. Finalmente, la satisfacción global con la conectividad y la percepción sobre la importancia de mejorar el servicio se alinean con estos resultados: la encuesta posterior refleja un incremento en el nivel de satisfacción general y confirma que la implementación del prototipo de red inalámbrica alimentado por energía solar responde a una necesidad real de los usuarios, validando así el cumplimiento del objetivo de mejorar la conectividad en un área identificada previamente como de baja cobertura.

## CONCLUSIONES

- La implementación del prototipo de red inalámbrica en la banda de 2.4 GHz alimentada por energía solar demostró ser una solución técnicamente viable para mejorar la conectividad en zonas de baja cobertura dentro del campus universitario.
- El sistema fotovoltaico diseñado (panel, controlador, batería e infraestructura de gabinete portátil) proporcionó la autonomía energética necesaria para mantener operativos el punto de acceso WAVLINK AC600 y la cámara de seguridad IP durante 24 horas, cumpliendo con el objetivo de independencia de la red eléctrica convencional.
- Las mediciones de cobertura y nivel de señal realizadas antes y después de la puesta en marcha del prototipo evidenciaron una mejora significativa en la intensidad de la señal Wi-Fi en el perímetro de la cancha, reduciendo zonas de baja o nula conectividad.
- El análisis espectral y de campo electromagnético con el equipo Narda SRM-3006 confirmó que los niveles de exposición se mantuvieron por debajo de los límites establecidos por las normativas internacionales, garantizando la operación segura del sistema para los usuarios y el entorno.
- La incorporación de una cámara de seguridad IP alimentada por el mismo sistema fotovoltaico permitió añadir una capa de supervisión y resguardo del prototipo, demostrando que es posible integrar servicios de conectividad y videovigilancia en una misma plataforma energéticamente autónoma.
- Los resultados de las encuestas aplicadas a los usuarios antes y después de la implementación del prototipo reflejaron una percepción positiva de mejora en la

calidad, estabilidad y disponibilidad del servicio de conectividad en la zona intervenida.

- El diseño portátil del prototipo, montado en una estructura móvil con gabinete de protección, facilita su traslado a diferentes áreas del campus, lo que lo convierte en una solución flexible y replicable para otros escenarios con características similares de baja cobertura.
- En conjunto, el proyecto contribuye al fomento de prácticas sostenibles en el ámbito de las telecomunicaciones, evidenciando que es posible complementar la expansión de redes inalámbricas con el uso de energías renovables, alineándose con tendencias actuales de eficiencia energética y reducción del impacto ambiental.

## RECOMENDACIONES

### Protecciones básicas y cableado.

- **Protección en strings fotovoltaicos (lado DC):** incorporar fusibles o breakers DC certificados IEC/UL dimensionados al menos a  $1,25 \times I_{sc}$  del panel, junto con un seccionador DC accesible para maniobras y mantenimiento.
- **Banco de baterías:** instalar un fusible lo más cercano posible al borne positivo, dimensionado a un valor  $\geq 1,25 \times I_{max}$  del regulador de carga, y disponer de una función de desconexión por baja tensión (LVD) ajustada a la química de la batería para evitar descargas profundas.
- **Sobretensiones:** utilizar descargadores de tipo II en el lado DC (entre FV–tierra y batería–tierra) y, en caso de existir inversor, un SPD tipo II en el lado AC de la salida.
- **Puesta a tierra y apantallamiento:** asegurar la conexión equipotencial del chasis del gabinete, del mástil y/o antena y del marco del panel fotovoltaico mediante un único bajante y una pica de tierra dedicada.
- **Protección RF en mástiles expuestos:** incorporar descargadores RF en la línea del punto de acceso cuando se emplee cable coaxial.
- **Sección de conductores y conectores:** dimensionar la sección de los conductores en función de la corriente y de una caída de tensión inferior al 3 %; como referencia, para corrientes del orden de 10 A en distancias de 5–10 m usar secciones de al menos  $4 \text{ mm}^2$  (12 AWG) y para corrientes cercanas a 18 A secciones de al menos  $6 \text{ mm}^2$  (10 AWG), empleando conectores MC4 certificados en las conexiones desmontables.
- **Gabinete y aspectos ambientales:** utilizar un gabinete con grado de protección mínimo IP65, con respiradero anti condensación y gestión térmica pasiva, así como

prensaestopas adecuados para las entradas de cable, organización interna del cableado y rotulado claro de los circuitos, a fin de garantizar la durabilidad y seguridad del prototipo en intemperie.

## REFERENCIAS

- [1] M. Gervais, L. Philippe Lebel y J. Sebastien Plante, «ieeexplore,» ieeexplore, 2024.
- [2] «ISO/TS,» Diciembre 2 2021. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/62996.html>.
- [3] B. Y. Pratama, «Mejora de la comunicación colaborativa entre robots y máquinas de descarga eléctrica mediante la integración TCP de Modbus: un estudio de viabilidad y aplicación,» Issue 14, Artículo 4, 2023.
- [4] D. J. J. Castro, «Control de trayectoria basado en on/off, lógica difusa y redes neuronales convolucionales para un brazo robótico industrial: una comparación experimental,» *Transacciones IEEE Améric Latina*, vol. Vol. 22, nº 7, pp. 529-538, 2024.
- [5] A. Cherubini, «Evaluación interdisciplinaria de un robot que colabora físicamente con los trabajadores,» *PLOS ONE*, vol. vol 18, nº 10, 2023.
- [6] D. Cabrera, «Clínica de Lesiones Deportivas incorpora el Robot Adamo para rehabilitación robótica de columna,» Edición Medica, 2023.

- [7] D. T. Alcusón, «Implantación de robots colaborativos en línea de producción,» UVA Doc, 2017.
- [8] «Una breve historia de los robots colaborativos,» 26 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.mhlnews.com/technology-automation/article/21124077/a-brief-history-of-collaborative-robots>.
- [9] R. Galin y R. Meshcheryakov, «Research,» Junio 2019. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/333840890\\_Automation\\_and\\_robotics\\_in\\_the\\_context\\_of\\_Industry\\_40\\_the\\_shift\\_to\\_collaborative\\_robots](https://www.researchgate.net/publication/333840890_Automation_and_robotics_in_the_context_of_Industry_40_the_shift_to_collaborative_robots).
- [10] L. Pérez, S. R. Jiménez, N. Rodríguez, R. Usamentiaga, D. García y L. Wang, «Enfoque colaborativo simbiótico entre humanos y robots para aumentar la productividad y mejorar la seguridad en la industria de fabricación aeroespacial.,» vol. 106, pp. 851-863, 2020.
- [11] J. Canción, Q. Chen y Z. Es, «Un sistema de ensamblaje de robot de clavija en orificio basado en un modelo de mezcla gaussiana,» *Computadoras e ingeniería industrial*, n° 101996, 2021.
- [12] R. Galin y R. Meshcheryakov, «Automatización y robótica en el contexto de la Industria 4.0: el cambio hacia robots colaborativos,» vol. 537, n° 3, 2019.
- [13] F. L. Paz, A. S. F. Manuri y C. Fornaro, «Una revisión sistemática de interfaces de Realidad Aumentada para robots industriales colaborativos.,» *Computadoras e ingeniería industrial*, vol. 149, 2020.

- [14] A. Pérez, «tesisdoctorales,» 28 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://tesisdoctoralesonline.com/tipos-de-metodologias-de-investigacion-y-como-identificarlas/>.
- [15] M. Ruiz, «github.io,» 6 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://marcosruiz.github.io/posts/clasificacion-de-redes/#:~:text=,utilizando%20medios%20como%3A%20sat%C3%A9lites%2C%20cables>.
- [16] «PENETICS/ADALTRA,» [En línea]. Available: <https://www.openetics.com/co.326.325.830.1.1-diferencias-entre-las-redes-lan-man-y-wan.html>.
- [17] «HelpDigital,» 30 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://helpdigitalti.com.br/o-que-e-uma-rede-lan-e-uma-rede-wan/>.
- [18] I. Cisco Sistemas, «CISCO,» [En línea]. Available: [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/solutions/small-business/resource-center/networking/wireless-network.html#~introduction](https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/small-business/resource-center/networking/wireless-network.html#~introduction).
- [19] «HEXAGON,» [En línea]. Available: [https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/adams?utm\\_easyredir=www.mssoftware.com](https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/adams?utm_easyredir=www.mssoftware.com).

- [20] S. Malik, «wevolver,» 26 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.wevolver.com/article/a-comprehensive-guide-to-understanding-star-topology-in-computer-networks>.
- [21] «Área Tecnología,» [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/informatica/topologias-de-red.html>.
- [22] A. Ramirez, 2024. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/red-en-estrella-y-en-rbol/33878986>.
- [23] «Redes Inalámbricas,» 29 Mayo 2024. [En línea]. Available: <https://www.redesinalambricas.es/conexiones-inalambricas/>.
- [24] E. Yandun y M. Robert, «Diseño de una red satelital de telecomunicaciones con tecnología VSAT para la parroquia Columbe del cantón Colta.,» Chimborazo, 2024.
- [25] minas, «MINEW,» 27 Diciembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.minew.com/es/lorawan-vs-zigbee/>.
- [26] U. d. Sevilla. [En línea]. Available: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70218/fichero/2.Tecnolog%C3%ADas+Inal%C3%A1mbricas.pdf>.
- [27] P. Recargo D, «Ingeniería LibreTexts,» [En línea]. Available: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Computer\\_Science/Networks/An\\_Introduction\\_to\\_Computer\\_Networks\\_\(Dordal\)/03%3A\\_Other\\_LANs/3.07%3A\\_Wi-](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Computer_Science/Networks/An_Introduction_to_Computer_Networks_(Dordal)/03%3A_Other_LANs/3.07%3A_Wi-)



- [35] CISCO, «CISCO,» 2014. [En línea]. Available: [https://connectedtech.org/wp-content/uploads/2014/01/Cisco-802-11ac-white\\_paper\\_c11-713103.pdf](https://connectedtech.org/wp-content/uploads/2014/01/Cisco-802-11ac-white_paper_c11-713103.pdf)(2014).
- [36] CISCO, «CISCO,» 3 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.html>.
- [37] CISCO, «Libro blanco sobre gestión de recursos de radio (RRM) para el controlador LAN inalámbrico Cisco,» CISCO, 2016.
- [38] MetaGeek, «¿Por qué los canales 1, 6 y 11?,» [En línea]. Available: <https://www.metageek.com/training/resources/why-channels-1-6-11/>.
- [39] «Wireless RF Reference Guide,» 18 Abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/9800/technical-reference/wireless-rf-reference-guide.html>.
- [40] CISCO, «Mesh Deployment Guide for Cisco Catalyst 9800 Series Wireless Controllers, Cisco IOS XE Amsterdam 17.1,» 2025.
- [41] «abcxperts,» [En línea]. Available: <https://abcxperts.com/importancia-de-la-zona-de-fresnel-en-la-implementacion-de-enlaces-inalambricos/>.
- [42] J. Sog, «Robots de élite,» 3 Junio 2019. [En línea]. Available: J. sog, «Elite robots,» 3 junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.eliterobots.com/applications/cooking>. [Último acceso: 8 abril 2024].

- [43] I. F. Mafl, Aportes para la ingeniería, Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte UTN., 2018.
- [44] I. TIC. [En línea]. Available: <https://impactotic.co/tecnologia/espectro-electromagnetico/>.
- [45] L. Mercuri, «studocu,» 1 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es/messages/question/4233843/que-dice-el-teorema-de-shannon-hartley-en-cuanto-a-la-capacidad-del-canal>.
- [46] F. Flores García , R. Sandoval, H. Moreno Casillas y F. Álvarez Vélez, «Estudio Corporativo de Potencia del Indicador de Fuerza de la Señal Recibida (RSSI) para la distancia entre Nodos en Redes Inalámbricas de Sensores (WSN)),» *Avances en Tecnología y Sistemas*, vol. 12, n° 1, pp. 121-135, 2021.
- [47] Meraki, «Meraki Documentation,» [En línea]. Available: [https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi\\_Basics\\_and\\_Best\\_Practices/Signal-to-Noise\\_Ratio\\_%28SNR%29\\_and\\_Wireless\\_Signal\\_Strength..](https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi_Basics_and_Best_Practices/Signal-to-Noise_Ratio_%28SNR%29_and_Wireless_Signal_Strength..)
- [48] Antenna-Theory, «Antenna-Theory.com,» [En línea]. Available: <https://www.antenna-theory.com/definitions/eirp.php>.
- [49] N. S. T. Solutions, «Narda-STS.com,» [En línea]. Available: <https://www.narda-sts.com/en/products/emf-selective-measuring-devices/srm-3006/>.
- [50] Tubuensitio, «Tubuensitio,» 2020. [En línea]. Available: <https://tubuensitio.com/campos-electromagneticos-alta-frecuencia/>.

- [51] M. Global, «Sostenibilidad y autonomía energética: claves para la competitividad industrial en España y Portugal.,» 2025.
- [52] Telmasur, «Telmasur,» 5 Febrero 2025. [En línea]. Available: <https://www.telmasur.com/telecomunicaciones-sostenibles-en-2025/>.
- [53] EXPRESO, «expreso,» 6 Noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.expreso.ec/actualidad/universidades-cuenca-impulsan-eficiente-energia-solar-220306.html>.
- [54] G. Images, «Getty Images,» Fotos de energía solar, [En línea]. Available: <https://www.gettyimages.com.mx/fotos/solar-energy>.
- [55] Repsol, «Repsol,» 11 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.repsol.com/es/energia-avanzar/energia/energia-eolica/index.cshtml>.
- [56] IEA, «IEA,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report/executive-summary>.
- [57] ¡Stockphoto, «¡Stockphoto,» [En línea]. Available: [https://www.istockphoto.com/es/search/2/image-film?phrase=central+el%C3%A9ctrica+geot%C3%A9rmica&tracked\\_gsrp\\_landing=https%3A%2F%2Fwww.istockphoto.com%2Fes%2Ffotos%2Fcentral-el%C3%A9ctrica-geot%C3%A9rmica](https://www.istockphoto.com/es/search/2/image-film?phrase=central+el%C3%A9ctrica+geot%C3%A9rmica&tracked_gsrp_landing=https%3A%2F%2Fwww.istockphoto.com%2Fes%2Ffotos%2Fcentral-el%C3%A9ctrica-geot%C3%A9rmica).
- [58] Y. Energía, «Yoigo Energía,» [En línea]. Available: <https://www.yoigoluziygas.com/blog/energia-mareomotriz-undimotriz-se-diferencian/>.

- [59] Fundeen, «Fundeen,» [En línea]. Available: <https://www.fundeen.com/blog-energias-renovables/biomasa-que-es-y-como-se-aplica-en-la-actualidad>.
- [60] B. Energy, 2025. [En línea]. Available: <https://www.basengreen.com/es/what-is-the-principle-of-photovoltaic-effect/>.
- [61] J. Velasco Solis, «Scribd,» 2022. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/546702524/FUNDAMENTOS-BASICOS>.
- [62] CIEMAT, Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica., Dialnet, 2004.
- [63] Autosolar, «Autosolar,» 2025. [En línea]. Available: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/efecto-fotovoltaico>.
- [64] [En línea]. Available: <https://es.hignonsolar.com/n-type-or-p-type-solar-panel>.
- [65] Efimarket, «Efimarket,» 2025. [En línea]. Available: <https://efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/>.
- [66] ferrovial, «ferrovial.com,» 16 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.ferrovial.com/es/stem/iluminacion/>.
- [67] J. A. Alonso Lorenzo, «SunFields Europe,» 18 Noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>.

- [68] «Eastech,» 17 Marzo 2025. [En línea]. Available: <https://eastech.es/sistemas-solares-on-grid-y-off-grid/>.
- [69] [En línea]. Available: <https://energiasdelpacifico.com.mx/paneles-solares-para-casa/>.
- [70] A.-M. Scientific, «Air-Met Scientific,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.airmet.com.au/about-us/suppliers-and-partners/narda-safety-test-solutions>.
- [71] William, «Onesto,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.onesto-ep.com/es/blog/what-are-the-best-conditions-for-solar-panels-to-reach-top-efficiency/>.
- [72] iStock, «iStockphoto,» [En línea]. Available: <https://www.istockphoto.com/photo/solar-panels-with-sky-reflection-isolated-on-white-background-gm2161430645-581876530?afsrc=1&cid=IS&clickid=2BdyOVQytxycRFnSgi0VzbpUkpR8HXHF3hK3U0&irpid=246195>.
- [73] M. B. Co, «MANLY Battery,» 2025. [En línea]. Available: <https://manlybattery.com/es/herramientas-y-recursos-de-bater%C3%ADa/calculadora-de-banco-de-bater%C3%ADas-solares/>.
- [74] R. Power, «Redway Power,» [En línea]. Available: <https://es.redwaypower.com/product/12v-500ah-lithium-battery/?g=1>.
- [75] AutoSolar, «AutoSolar,» [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-es-un-inversor-de-corriente>.



## ANEXOS

- Encuesta antes del prototipo

**¿Con qué frecuencia circula en la cancha natural o cerca de ella?**

Todos los días  
3-4 veces por semana  
1-2 veces por semana  
Menos de 1 por semana

**¿Actualmente tiene acceso a una red Wi-Fi en esta zona?**

Si  
No

**¿La calidad de servicio Wi-Fi en esta zona es suficiente para sus actividades?**

Si  
No  
A veces

**¿La conexión actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes?**

Si  
No  
A veces

**¿La velocidad de la conexión actual le permite realizar videollamadas, clases virtuales o envío de trabajos sin problema?**

Si  
No  
A veces

**En esta zona, ¿Rara vez pierde la conexión o tiene "zonas muertas" sin cobertura?**

Si  
No  
A veces

**En esta zona, ¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica?**

Si

No  
A veces

**En general, ¿Está satisfecho(a) con el servicio de conectividad actual en la cancha natural y su perímetro?**

Si  
No  
A vece

**¿Considera importante que la universidad mejore la conectividad en la cancha natural y sus alrededores?**

Si  
No

➤ Encuesta después el prototipo

**Después de la instalación del prototipo, ¿Cómo califica la calidad del servicio Wi-Fi en la cancha natural en comparación con antes?**

Mejor  
Igual  
Mala

**Con el prototipo instalado, ¿La calidad de la señal Wi-Fi actual en esta zona es suficiente para mis actividades?**

Suficiente  
Insuficiente

**¿La conexión WiFi actual se mantiene estable, sin desconexiones frecuentes?**

Si  
No  
A veces

**¿La velocidad de la conexión actual me permite realizar videollamadas o clases virtuales sin problemas?**

Si  
No  
A veces

**Instalado el prototipo, ¿Ha vuelto a tener "zonas muertas" sin cobertura en la cancha natural o cerca de ella?**

Si  
No  
A veces

**¿Puede utilizar sin problema la plataforma académica con la conexión actual?**

Si  
No  
A veces

**En general, ¿Está conforme con el servicio de conectividad actual en la cancha natural y su perímetro?**

Si  
No  
A veces

**¿Considero que la implementación del prototipo mejoró la conectividad en esta zona?**

Mucho  
Igual  
Empeoró