

**Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Diseño de la red de comunicaciones del Proyecto Eólico Valle Central (EVCSA), para enlazar el centro de mando en Santa Ana con el Centro de Control de Energía en La Uruca.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura.**

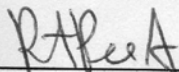
**Jose William Sánchez Campos.**

**Cartago, Junio de 2011**

TECNOLOGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
PROYECTO DE GRADUACIÓN  
TRIBUNAL EVALUADOR

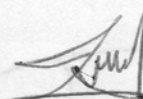
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



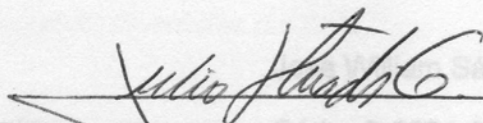
Ing. Roberto Pereira Arroyo

Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor lector



Ing. Julio Stradi Granados

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, 9 de Junio de 2011

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.



Cartago, 9 de Junio de 2011

Firma del autor

Jose William Sánchez Campos

Céd: 2-0631-0397

## RESUMEN

Es un hecho que en la época en que vivimos los sistemas inalámbricos nos rodean por todas partes. Es muy habitual que lo primero que se relacione cuando se menciona sistema inalámbrico, sean los ya muy conocidos sistemas de telefonía celular, no obstante, a esto se le abona otras aplicaciones como las redes inalámbricas domésticas, empresariales o poblaciones, así como el tema tratado en este trabajo, los radioenlaces punto a punto.

Tal como se tratará más adelante, para el correcto funcionamiento de los radioenlaces, resulta de suma importancia un diseño adecuado, en donde se involucran toda una serie de cuestiones como la elección del rango de frecuencias, equipo de comunicación y tipo de antena, cálculo del presupuesto de enlace tomando en cuenta aspectos muy específicos de la región en donde se desarrolla, cálculo de la ganancia del sistema, entre otras cosas. Además, como complemento al diseño, se pretenderá también simular el sistema en aras de tener un medio adicional que sirva de verificación y validación del mismo.

Debido a los fines para los cuales se requiere el radioenlace, dentro del diseño se añaden temas referentes a protocolos de comunicación y seguridad en el enlace, dentro del cumplimiento de estándares internacionales, así como normas establecidas por los entes gubernamentales del país.

**Palabras claves:** radioenlaces, presupuesto de enlace, ganancia del sistema, atenuaciones y/o pérdidas, margen de desvanecimiento, UIT-R, espectro de frecuencias inalámbricas.

## ABSTRACT

The times that we live, it's a fact that the wireless systems are around us everywhere. It's very common that the first thing that relates to mention wireless system, are the already well-known system cell phone, however, there're other applications such as home, business or populations wireless networks, and the subject matter of this work, the point to point radio-links.

As discussed below, for the proper functioning of the radio-links, it's extremely important the proper design, where they involve a range of issues such the choice of frequency range, communications equipment and the antenna type, link budget calculation taking into account specific aspects of the region where it's develops, system gain calculation, among others things. Moreover, in addition to the design, simulate the system in order to have an additional means to serve as verification and validation.

Due to the purposes for which the radio-link is required, is added into the design issues relating to communication and security protocols on the link within the compliance with the international standards and rules established by the government agencies in the country.

**Keywords:**radio-links, link budget, system gain, attenuations and/or losses, vanish margin, UIT-R, wireless spectrum.

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a todas aquellas personas allegadas con las que pude compartir a lo largo de la carrera, de quienes aprendí demasiado tanto en las buenas como en las malas, en especial a mis padres, quienes en los momentos más difíciles no permitieron que desfalleciera en el intento, por complicado que este hubiese sido.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia quiero agradecerle a Dios por acompañarme a lo largo de mis estudios, y permitirme realizarme como profesional y alcanzar esta meta tan anhelada.

En segundo lugar, a mis padres William e Isabel, así como a mis hermanos Andrés, Allan y Esteban, por haberme brindado su apoyo en todo momento y puesto su confianza en mí.

A mi grupo de amigos más cercanos en la carrera, con quienes pude compartir muchos momentos frustrantes, pero también muchos momentos llenos de alegrías y risas.

A las empresas Schneider Electric y Soati, por permitirme desarrollar mi proyecto de graduación en sus instalaciones, en especial a la señorita Laura Hernández, y a los ingenieros Eric Campos, Wilder Sequeira y Eddy Morales, de quienes aprendí cosas muy valiosas.

Finalmente, a mi profesor asesor, el Ingeniero Julio Stradi, por sus valiosas acotaciones y recomendaciones a lo largo del desarrollo de este proyecto.

## INDICE GENERAL.

Capítulo 1: Introducción. ....	12
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	12
1.2 Solución seleccionada. ....	13
Capítulo 2: Meta y Objetivos. ....	16
2.1 Meta.....	16
2.2 Objetivo general. ....	16
2.3 Objetivos específicos. ....	16
Capítulo 3: Marco teórico. ....	18
3.1 Descripción del sistema. ....	18
3.2 Antecedentes Bibliográficos. ....	19
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.....	20
3.3.1 Ondas de Radio.....	20
3.3.2 Zonas de Fresnel.....	27
3.3.3 Potencia de transmisión. ....	28
3.3.4 Pérdidas en los Cables. ....	29
3.3.5 Pérdidas en el espacio libre (FSL). ....	29
3.3.6 Atenuación debida a obstrucciones. ....	30
3.3.7 Atenuación causada por gases atmosféricos y meteorológicos. ....	31
3.3.8 Ganancia de las Antenas.....	37
3.3.9 Sensibilidad del receptor. ....	37
3.3.10 Margen de desvanecimiento.....	38
3.3.11 Presupuesto de enlace. ....	39
3.3.12 Ganancia del sistema. ....	41
3.3.13 Ancho de Banda y Velocidad de transmisión de datos. ....	42
3.3.14 Protocolos de comunicación. ....	43
3.3.15 Seguridad en una red inalámbrica. ....	44
3.3.16 Puesta a tierra. ....	46
Capítulo 4: Procedimiento metodológico. ....	53
4.1 Reconocimiento y definición del problema. ....	53



4.2	Obtención y análisis de información.....	53
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	54
4.4	Implementación de la solución.....	54
4.5	Reevaluación y rediseño.....	55
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.....		56
5.1	Análisis de soluciones y selección final.....	56
5.1.1	Ubicación geográfica.....	56
5.1.2	Espectro de frecuencia Inalámbrica.....	58
5.1.3	Dispositivos de comunicación.....	60
5.1.4	Zonas de Fresnel.....	64
5.1.5	Tipos de Torres.....	65
5.1.6	Seguridad en el enlace.....	69
5.1.7	Protocolo de comunicación.....	71
5.1.8	Presupuesto de enlace.....	75
5.2	Descripción del hardware.....	88
5.3	Descripción del software.....	93
Capítulo 6: Análisis de Resultados.....		101
6.1	Resultados.....	101
6.2	Análisis.....	105
Capítulo 7: Conclusiones.....		117
Capítulo 8: Recomendaciones.....		119
Bibliografía.....		120
Apéndices.....		122
A.1	Glosario.....	122
A2.	Abreviaturas.....	124
A.3	Manual de usuario.....	125
A.4	Información sobre la empresa.....	162
Anexos.....		163
B.1	Hoja de datos equipo Aironet 1400.....	163
B.2	Intensidad de lluvia de acuerdo a la recomendación UIT-R PN.837-1 ...	171

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. 1. Estaciones del enlace. ....	14
Figura 3.1. Reflexión de ondas de radio. ....	23
Figura 3.2. Principio de funcionamiento de antena parabólica. ....	24
Figura 3.3. Refracción de ondas de radio. ....	25
Figura 3.4. Difracción de ondas de radio. ....	26
Figura 3.5. Reflexión, refracción y difracción de ondas de radio. ....	26
Figura 3.6. Diagrama de la primera zona de Fresnel. ....	28
Figura 3.7. Parámetros de la atenuación debida a obstrucciones. ....	31
Figura 3.8. Atenuación total específica. ....	33
Figura 3.9. Coeficiente k de polarización horizontal. ....	34
Figura 3.10. Coeficiente $\alpha$ de polarización horizontal. ....	35
Figura 3.11. Coeficiente k de polarización vertical. ....	35
Figura 3.12. Coeficiente $\alpha$ de polarización vertical. ....	36
Figura 3.13. Diagrama de potencias. ....	40
Figura 3.14. Puesta a tierra de la estación. ....	48
Figura 3.15. Puesta a tierra de torre auto-soportada. ....	49
Figura 3.16. Puesta a tierra de torre arriostrada. ....	50
Figura 3.17. Puesta a tierra de pararrayo. ....	51
Figura 5.1. Ubicación de las estaciones en el mapa. ....	57
Figura 5.2. Despeje del 100% de la zona de Fresnel en el enlace. ....	65
Figura 5.3. Torre Arriostrada. ....	67
Figura 5.4. Torre Auto-soportada angular de cuatro patas. ....	67
Figura 5.5. Torre Monoposte. ....	68
Figura 5.6. Manejo de la seguridad en Aironet 1400. ....	70
Figura 5.7. Trama Modbus con transmisión TCP/IP. ....	74
Figura 5.8. Esquema general del radioenlace, y para lo que se quiere desarrollar. .....	75

Figura 5.9. Antena tipo plato. ....	83
Figura 5.10. Patrón de onda para la antena tipo plato. ....	84
Figura 5.11. Inyector de corriente LR. ....	88
Figura 5.12. Radio.....	88
Figura 5.13. Antena tipo plato. ....	89
Figura 5.14. Cables coaxiales dobles con conectores tipo F. ....	89
Figura 5.15. Cable coaxial con conectores tipo N. ....	89
Figura 5.16. Bloque para puesta a tierra. ....	90
Figura 5.17. Conexión de cable UTP categoría 5 entre Inyector de corriente y el switch.....	91
Figura 5.18. Conexión de cables coaxiales dobles con conectores tipo F entre radio y el inyector de corriente. ....	91
Figura 5.19. Asociación de cables coaxiales dobles mediante bloque para puesta a tierra.....	92
Figura 5.20. Conexión de cable coaxial con conectores tipo N. ....	92
Figura 5.21. Diagrama de conexión del sistema.....	92
Figura 5.22. Implementación del sistema. ....	93
Figura 5.23. Ubicación de los sitios con Radio Mobile.....	95
Figura 5.24. Alineación de las antenas con Radio Mobile. ....	96
Figura 5.25. Simulación del enlace respecto a sub-estación EVCSA. ....	97
Figura 5.26. Simulación del enlace respecto a sub-estación CNFL Lindora. ....	98
Figura 5.27. Resultado de simulación sentido EVCSA - CNFL Lindora. ....	99
Figura 5.28. Resultado de simulación sentido CNFL Lindora - EVCSA.....	100

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Resumen de protocolos de seguridad inalámbrica. ....	46
Tabla 5.1. Ubicación de las estaciones utilizando GPS. ....	57
Tabla 5.2. Comparación entre bandas de frecuencias libres. ....	60
Tabla 5.3. Comparación entre la serie 1300 y serie 1400 de Cisco Aironet. ....	63
Tabla 5.4. Características físicas del cable. ....	80
Tabla 5.5. Características eléctricas del cable. ....	81
Tabla 5.6. Pérdidas debidas al cable y conectores. ....	81
Tabla 6.1. Datos geográficos de las estaciones. ....	101
Tabla 6.2. Frecuencia de operación. ....	101
Tabla 6.3. Equipo de comunicaciones. ....	102
Tabla 6.4. Datos de las torres. ....	102
Tabla 6.5. Protocolos de comunicación y seguridad. ....	102
Tabla 6.6. Características del protocolo de seguridad. ....	102
Tabla 6.7. Resultados para la primera zona de Fresnel. ....	103
Tabla 6.8. Parámetros utilizados en el presupuesto de enlace. ....	103
Tabla 6.9. Viabilidad del enlace. ....	104
Tabla 6.10. Confiabilidad del enlace. ....	104
Tabla 6.11. Comparación ente resultados calculados y simulados para la estación en EVCSA. ....	104
Tabla 6.12. Comparación ente resultados calculados y simulados para la sub-estación de la CNFL en Lindora. ....	105

## Capítulo 1: Introducción.

---

### 1.1 Problema existente e importancia de su solución.

En los últimos años, Costa Rica ha demostrado un gran interés en la necesidad del establecimiento de nuevas fuentes de energía limpias, tal como lo podemos apreciar en varios proyectos hidroeléctricos, geotérmicos y eólicos. Estos proyectos han sido una realidad gracias al interés nacional de vivir en armonía con el ambiente y al gran potencial con el que cuentan los profesionales de este país.

A inicios de 2011, Schneider Electric en conjunto con Soati, iniciaron con el desarrollo de un nuevo proyecto para la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), el cual consiste en la primera Planta Eólica del Valle Central, ubicado en Pabellón de Santa Ana.

Para establecer el Parque Eólico Valle Central (EVCSA) como tal, el tiempo estimado para su realización es de 1.5 a 2 años, por lo que se ha definido un plan de desarrollo el cual consiste en atender diversas áreas en diferentes etapas, de manera tal que al unir las todas se llegue a la conformación total del proyecto. Dentro de dichas áreas se pueden mencionar las de construcción, control y monitoreo, potencia, seguridad ocupacional, comunicaciones, entre otras.

Dentro de estas áreas mencionadas, la que compete a este proyecto es la correspondiente a las telecomunicaciones, donde se tiene la necesidad de lograr establecer un enlace de comunicación digital que deberá permitir la conexión entre dos puntos, uno de ellos es el EVCSA en Pabellón, y el otro es la Sub-estación de la CNFL ubicada en Lindora (separados por una distancia de 20 Km), la cual se comunica a su vez con el Centro de Control de Energía (CCE) de la CNFL en La Uruca.

Debido a la distancia de separación entre los dos puntos se requerirá buscar la forma más adecuada para que los mismos puedan ser enlazados. A esto se le suma la limitante dada de antemano por el usuario final, la cual establece que en caso de optar por la instalación de una conexión de tipo inalámbrica, solamente se deberá trabajar bajo el estándar de comunicación inalámbrica con equipos enteramente de la marca Cisco.

Es importante mencionar además, que dichos equipos requieren de otros elementos adicionales para su correcto funcionamiento, que deberán ser instalados con el propósito de brindar el enlace. Inicialmente no se cuenta con todo el conjunto de dispositivos necesarios, por lo cual se debe buscar el adecuado tanto en funcionamiento como en presupuesto.

En otras palabras, desde un inicio no se cuenta con una comunicación acorde a los requerimientos y/o limitaciones del usuario final, en este caso la CNFL, que le permita en un futuro tener un control y monitoreo de la Planta Eólica en Santa Ana, y así operar las turbinas de manera que estas se puedan habilitar y/o deshabilitar de su funcionamiento.

Es por esto que tomando en cuenta lo expuesto, la síntesis del problema radica en que no existe un enlace de comunicación entre el Proyecto Eólico Valle Central y la Sub-estación de la CNFL ubicada en Lindora (ver figura 1.1), por lo que la importancia recae en diseñar un sistema que cumpla con las expectativas del usuario final.

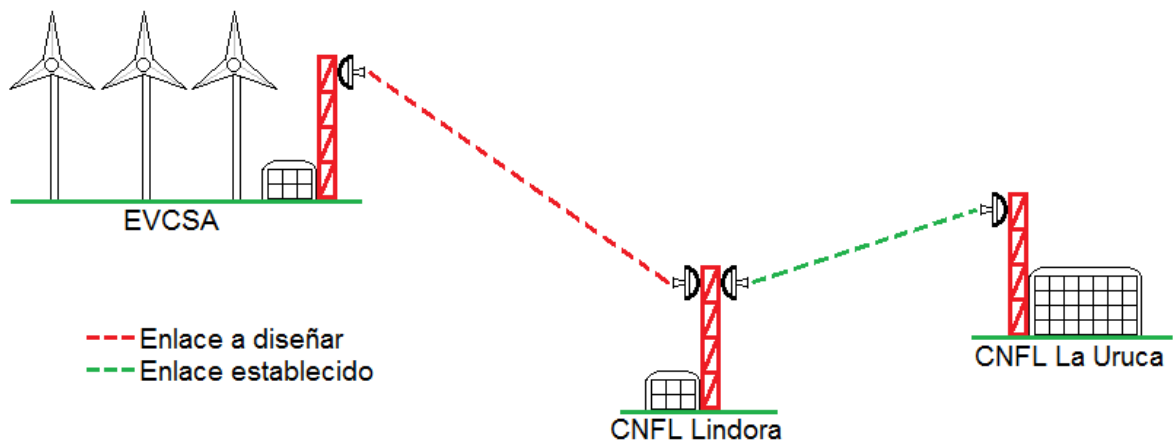
## **1.2 Solución seleccionada.**

La solución seleccionada pretende proveer del diseño de un enlace digital, que le permita en un futuro al usuario final tener el control remoto a larga distancia de la primera planta eólica del Valle Central.

Existen dos maneras de diseñar el enlace, uno de forma cableada y otra inalámbrica, sin embargo la idea de hacer un enlace cableado (en el mejor de los casos con fibra óptica por su alta velocidad de transmisión y bajas pérdidas de la señal), resulta complejo puesto que habría realizar una conexión de alrededor de 20 Km entre las estaciones mencionadas.

Por tal razón, un enlace inalámbrico resulta ser la forma adecuada en términos de flexibilidad y escalabilidad, puesto que se evitaría el proceso engorroso expuesto para la conexión cableada. Sin embargo, no por ser más flexible y escalable es más óptimo, puesto que este tipo de enlaces tienden a contar con más pérdidas de la señal, problema que tendrá que ser solucionado con mecanismos de seguridad propios de este tipo de comunicación.

Para esto se debe tener en cuenta las limitantes planteadas desde un principio por el usuario final, que consiste en basar el desarrollo del enlace bajo un estándar de comunicación mediante el uso equipos de la marca Cisco.



**Figura 1.1.** Estaciones del enlace.

A fin de contar con el diseño deseado, y de validar la funcionalidad del sistema propuesto, es necesario realizar un estudio general que sirva

comobase de conocimientos para la propuesta final. Estos estudios son sustentados mediante el uso de herramientas de simulación que funcionan como complemento a los cálculos obtenidos matemáticamente, tomando las consideraciones propias del proyecto.

Dentro de este estudio general, se contemplan aspectos como la etapa de transmisión, recepción y propagación, protocolos de comunicación, seguridad del enlace, ancho de banda y velocidad de transmisión de datos, asignación de la frecuencia de radio, puesta a tierra, entre otros. Se considera además, realizar la asignación geográfica de la ubicación de los puntos de acceso, parte de la información necesaria para el diseño del radioenlace.

A manera de contribuir con la seguridad del enlace, se realizan cálculos de diferentes tipos de interferencia que se puedan presentar, donde dichos parámetros son ajustados hasta contar con los requerimientos necesarios para un buen desempeño. Abonado a esto, se toma en cuenta el tipo de encriptación de los datos presente en el estándar de seguridad para enlaces inalámbricos, con el fin de asegurar que la información llegue a su destino libre de cualquier tipo de anomalía del tipo intruso que ésta pueda sufrir.



## Capítulo 2: Meta y Objetivos.

---

### 2.1 Meta.

Diseñar y simular el enlace de comunicación inalámbrico entre el Proyecto Eólico Valle Central en Santa Ana con el Centro de Control de Energía (CCE) en La Uruca.

Indicador: los usuarios del Centro de Control de Energía cuentan con la facilidad de controlar y monitorear el Proyecto Eólico Valle Central remotamente.

### 2.2 Objetivo general.

Diseño del enlace de comunicación que se debe establecer entre la Estación del Proyecto Eólico Valle Central y la Sub-estación de la CNFL ubicada en Lindora.

Indicador: el diseño cumple con los requerimientos y/o limitaciones dadas en un principio por el usuario final, así como con las características propias del tipo de comunicación.

### 2.3 Objetivos específicos.

Determinar las características de la capa física para definir la estructura que ésta requiera con el fin de confeccionar los puntos de acceso.

Indicador: los dispositivos escogidos cumplen con las características establecidas en la investigación.

Especificar las particularidades de la capa de red para seleccionar el protocolo de comunicación que mejor se adapte a sus necesidades.

Indicador: el protocolo es apto para cumplir aspectos establecidos en la investigación, tales como velocidad, seguridad, calidad de servicio, entre otros.

Justificar mediante cálculos matemáticos las cualidades con las que debe contar el enlace entre las estaciones con la finalidad de tener los valores teóricos mediante los cuales se basa el proyecto.

Indicador: aplicación de los conceptos de comunicaciones eléctricas correspondiente a enlaces inalámbricos.

Determinar los parámetros del enlace inalámbrico para garantizar la fiabilidad de los datos, como también la viabilidad del enlace mediante el cálculo del presupuesto de enlace.

Indicador: la potencia de recepción resultante del presupuesto de enlace es mayor o igual a la sensibilidad del receptor a utilizar.

Estimar la efectividad del enlace a desarrollar mediante el uso de software especializado.

Indicador: “capturas de pantalla” obtenidos del paquete de simulación, donde los valores que se indiquen cuenten con un porcentaje de error igual o menor al 10% con respecto a los valores obtenidos mediante cálculos matemáticos.

## Capítulo 3: Marco teórico.

---

### 3.1 Descripción del sistema.

Dentro de las tecnologías de transmisión de datos vía inalámbrica, los principales aspectos a tratar son los correspondientes a la transmisión, recepción, y radio frecuencia (RF), que en este caso es el tipo específico de tecnología inalámbrica a implementar.

La transmisión y recepción son producidas en las estaciones o puntos de acceso del enlace, mismos que permiten realizar la función esencial que es el manejo de los datos a través del puente inalámbrico.

Para llevar a cabo dicha tarea, es necesario contar con una red de transporte que juega un rol muy importante puesto que los medios primordiales que lo conforman son el medio físico y radioeléctrico.

Con la instalación del radioenlace y mediante el uso del dominio radioeléctrico, se busca contar con la facilidad de poder transportar señales de información entre dos puntos separados por una larga distancia.

Los enlaces inalámbricos vía radio (conocidos como radioenlaces), cuentan con características variadas dependiendo de sus frecuencias de operación. Su funcionamiento es "full dúplex", es decir, cada enlace está formado por una pareja de frecuencias, denominada multiplexación de frecuencias, permitiendo canales de transmisión y recepción simultáneos.

Las frecuencias utilizadas para los radioenlaces son en su mayoría de las que se denominan microondas, mismas que se encuentran dentro de un rango de entre los 300 MHz y 300 GHz.

### **3.2 Antecedentes Bibliográficos.**

Para el desarrollo de este proyecto, es necesaria la consulta a varias fuentes de información, con el fin de tener la base a partir de la cual se realice tanto el marco teórico (a desarrollar en la siguiente sección), así como la solución al problema que da origen a este proyecto.

Es por esto que fue necesaria la consulta a diversos medios, tales como libros, sitios en internet, recomendaciones de entes nacionales e internacionales, reportes, y documentación técnica.

Tal como se podrá apreciar en el resto de este informe, para poder dar una solución, se tiene la necesidad de contar con información referente a diversos temas.

Dentro de estos temas se encuentran las recomendaciones dadas por entes nacionales, como estudios de factibilidad que respaldan la existencia de este proyecto, encontrado en [3] y [4], atribución de frecuencias de operación dadas en [2], y datos imprescindibles a tomar en cuenta para la puesta a tierra en radioenlaces, expuesto en [9].

De la misma manera, recomendaciones internacionales dadas por la UIT-R que hablan de temas relacionados pérdidas dadas en los enlaces debido a factores atmosféricos, mismos que pueden ser consultados en [13], [14] y [15].

Sin embargo, por el tema tratado en este proyecto, la mayor parte de la información es recopilada de aquellas fuentes que tratan temas acerca de la teoría de comunicaciones eléctricas y redes de computadores. Para el caso de las comunicaciones eléctricas, se tratan específicamente aquellos temas relacionados con enlaces inalámbricos, expuestos en [5], [6], [8], [10] y [12],

mientras que para el caso de las redes de computadoras, se abordan temas relacionados con protocolos de comunicación, mostrados en [1], [7] y [11].

### **3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.**

#### **3.3.1 Ondas de Radio.**

Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética. Sus longitudes de onda van desde unos cuantos milímetros y pueden llegar a ser tan extensas que alcanzan cientos de kilómetros. En comparación, la luz visible tiene longitudes de onda en el rango de 400 a 700 nm (nanómetros), aproximadamente 5000 menos que la longitud de onda de las ondas de radio.

Las ondas de radio oscilan en frecuencias entre unos 3KHz y unos 300 GHz. La radiación infrarroja lejana sigue las ondas de radio en el espectro electromagnético, las cuales tienen un poco más de energía y menor longitud si se compara con una onda de radio.

Las microondas, que usualmente son utilizadas tanto para cocinar como para las comunicaciones, cuentan con longitudes de onda de radio cortas, desde unos cuantos milímetros a cientos de milímetros.

Tanto la longitud así como la frecuencia de onda electromagnética se relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = c / f \text{ [m]} \tag{3.1}$$

Dónde:

$\lambda$ : longitud de onda [m].

c: velocidad de la luz =  $3 \times 10^8$  [m/s].

f:frecuencia [Hz].

Las ondas de radio se pueden propagar de diferentes maneras, dependiendo de las condiciones meteorológicas y topográficas, dando como resultado la generación de varias atenuaciones que de alguna manera afectan a la señal. Dichas atenuaciones se deben tener muy en cuenta en el diseño de radioenlaces, puesto que una buena atención a esta problemática, se traduce en buenos resultados en cuando a la fiabilidad del enlace.

Los mecanismos de propagación de la señal son diversos y complejos, entre los que se destacan la absorción, reflexión, difracción y refracción.

#### **3.3.1.1 Absorción.**

Las ondas electromagnéticas al atravesar algún material, sufren debilitaciones o atenuaciones que se traducen en pérdidas de potencia, mismas que dependen de la frecuencia de la onda y del tipo de material que atraviesan.

Para este fenómeno, se utiliza el coeficiente de absorción que describe el impacto de un material en la radiación; en el caso de las microondas, los dos materiales más absorbentes son:

- Metal, debido a que en este los electrones pueden moverse libremente y son capaces de oscilar, dando como resultado la absorción de la energía de una onda que lo atraviesa.
- Agua, ya que captura algo de la energía de las ondas, debido a la agitación de las moléculas del agua producida por las microondas.

A pesar que en el caso del agua, finas capas de esta suelen permitir el paso de parte de la potencia, en la práctica tanto al metal como al agua se les considera como absorbentes perfectos (no pueden ser atravesados).

Se debe tener en cuenta que el agua puede presentarse a lo largo del enlace de diferentes maneras, tales como el vapor, niebla, nubes bajas, lluvia, entre otros, mismas que tienen mucha influencia, puesto que pueden llegar a un punto tal que puedan hacer caer un radioenlace.

Así como hay diferentes maneras de presentarse el agua, también hay diferentes lugares en donde influya la cantidad del agua. Este es el caso de los árboles y la madera, ya que la cantidad de absorción va a depender de la cantidad de agua que contienen, es decir, la madera vieja y seca es más o relativamente transparente y casi no va a absorber; en cambio la madera fresca y húmeda va a absorber mucho de la potencia de las microondas.

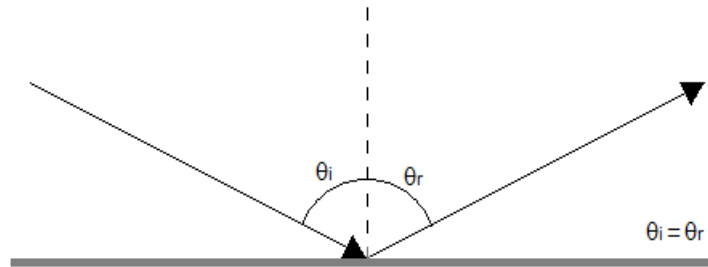
Por otra parte, como cualquier otro animal, el ser humano se encuentra compuesto en su mayoría por agua, lo cual en términos de los radioenlaces, se traduce a que pueden ser descritos como grandes bolsas llenas de agua, con la misma fuerte absorción. Es por esto que orientar un punto de acceso en una oficina de manera que la señal deba pasar a través de mucha gente es un gran error cuando de instalar redes en oficinas se trata.

En el caso de los plásticos, vidrios y otros materiales similares, generalmente no absorben mucha energía de radio pero esto varía dependiendo de la frecuencia y el tipo de material.

### **3.3.1.2 Reflexión.**

Al igual que en el caso de la absorción, el metal y las superficies de agua son las principales fuentes que hacen que las ondas de radio sean

reflejadas. En la reflexión el ángulo con el cual una onda incide en una superficie es el mismo ángulo con el cual es desviada. A la luz de las ondas de radio, una reja densa de metal actúa de igual forma que una superficie sólida, siempre que la distancia entre las barras sea pequeña en comparación con la longitud de onda.



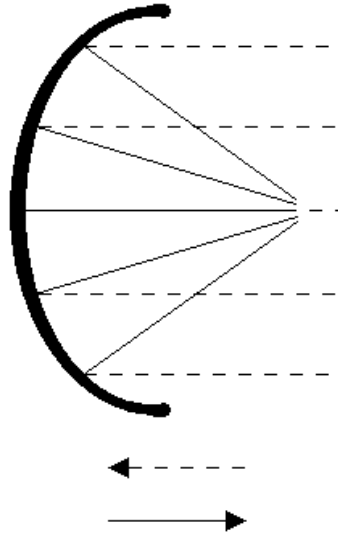
**Figura 3.1.** Reflexión de ondas de radio.

A pesar que el concepto de la reflexión es simple, esto puede complicarse al imaginar lo que sucede en situaciones urbanas, puesto que al prestar atención, se pueden lograr ubicar en la ciudad una gran cantidad de objetos de metal, lo cual explica la razón del efecto multitraectoria (las señales llegan al receptor mediante diferentes caminos, y en tiempos diferentes), que cumple un papel importante en las redes inalámbricas.

Otro punto a tomar en cuenta es la polarización de las antenas, debido a que las ondas de diferente polarización en general van a ser reflejadas de forma diferente.

Un ejemplo claro de utilizar la reflexión como una ventaja en vez de desventaja, es el principio con el cual funcionan las antenas parabólicas, ya que estas gracias a su confección, reflejan la señal haciendo posible la concentración de la misma en un punto.





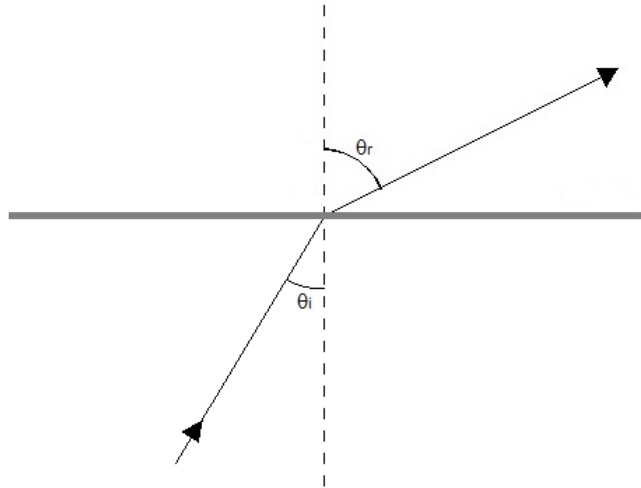
**Figura 3.2.** Principio de funcionamiento de antena parabólica.

### **3.3.1.3 Refracción.**

La refracción es el cambio en la dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Para que se produzca, la onda incidente debe ingresar oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y además, estos deben tener índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda.

En el caso de las ondas de radio, la refracción es especialmente importante en la ionosfera, en la que se producen una serie continua de refracciones que permiten a las ondas de radio viajar de un punto del planeta a otro.

El índice de refracción es la relación que existe entre la velocidad de propagación de la onda en un medio de referencia (por ejemplo el vacío para las ondas electromagnéticas) y su velocidad en el medio del que se trate.



**Figura 3.3.** Refracción de ondas de radio.

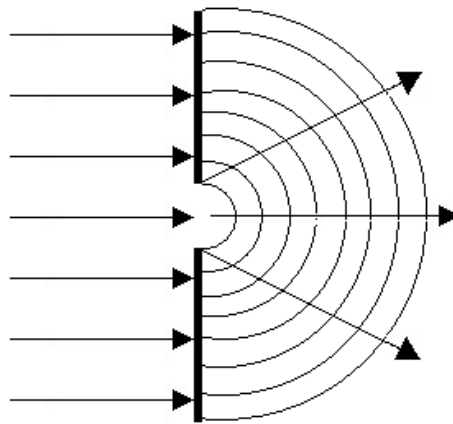
Para este caso, la UIT-R en su recomendación P.453-9 establece la fórmula para el cálculo del índice de refracción radioeléctrica de la atmósfera, que se encuentra en función de la presión atmosférica, la presión de vapor de agua y la temperatura. Sin embargo, en la práctica, el parámetro de la refractividad puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente  $4/3$  (1.333).

#### **3.3.1.4 Difracción.**

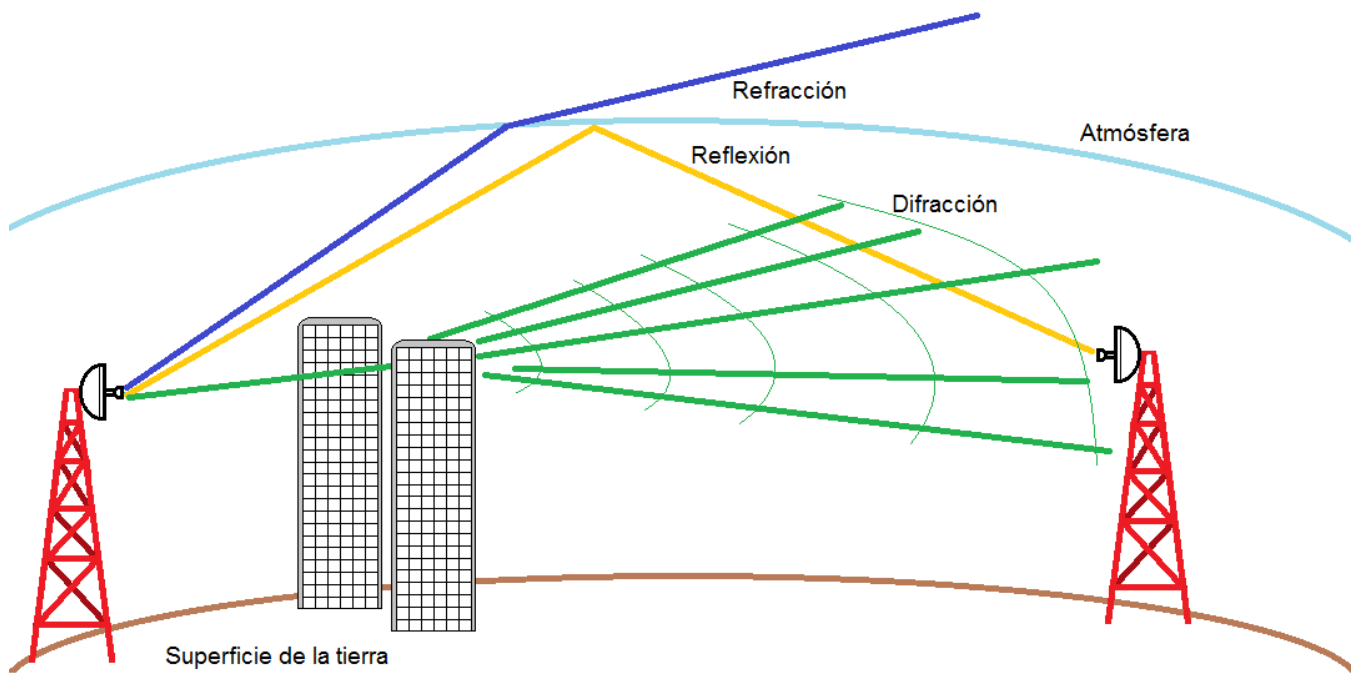
El fenómeno de la difracción trata del comportamiento que presentan las ondas cuando inciden sobre un objeto dan la impresión de doblarse.

La difracción puede incrementar las pérdidas en la transmisión cuando el tamaño de un obstáculo entre el transmisor y el receptor es grande en comparación con la longitud de onda de radio transmitida. De hecho, los efectos son más frecuentes con un aumento de los obstáculos para frecuencias superiores a 1 GHz, lo cual puede imposibilitar el uso de un camino para propósitos de comunicación normal de radio.

Es necesario crear un camino de comunicación lo suficientemente despejado para evitar las pérdidas debidas a la difracción, puesto que las mismas dependen tanto de las propiedades difractoras del obstáculo así como el área del haz obstruido en comparación con el área total del frente de onda.



**Figura 3.4.** Difracción de ondas de radio.



**Figura 3.5.** Reflexión, refracción y difracción de ondas de radio.

### 3.3.2 Zonas de Fresnel.

La zona de Fresnel es una región de despeje adicional que se debe tener en consideración siempre que se trabaje con radioenlaces punto a punto, además de la visibilidad directa entre las dos antenas. Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas, respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo, dando como resultado un aumento o disminución en el nivel de intensidad de la señal recibida.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es del 66% de la primera zona de Fresnel; por el contrario, la obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para establecer las zonas de Fresnel inicialmente se debe determinar la línea de vista, que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. De esta manera, la región que rodea a la línea de vista es la que se conoce como zonas de Fresnel.

La fórmula que permite el cálculo de la primera zona de Fresnel, a lo largo de la línea de vista, es la siguiente:

$$r = 17,32 \sqrt{(d_1 d_2) / (f d)} [\text{m}] \quad (3.2)$$

Dónde:

r: radio de la zona de Fresnel [m].

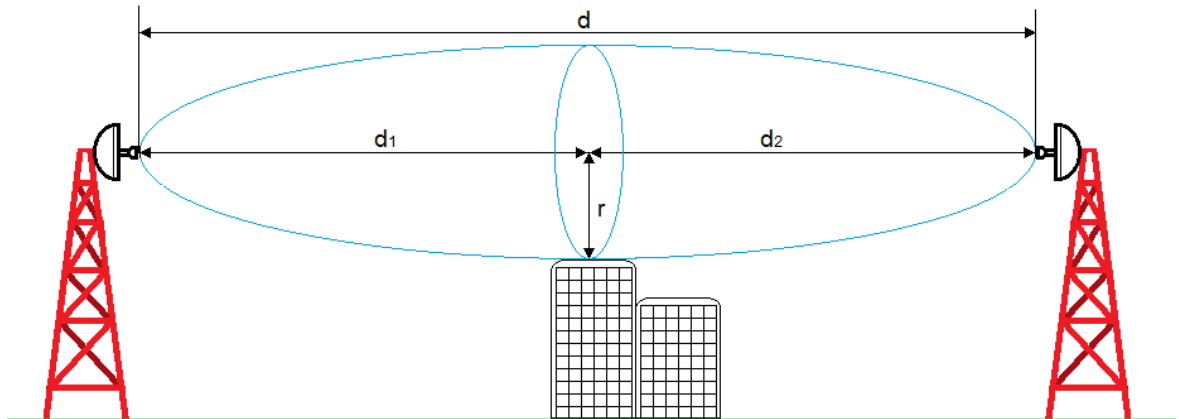
$d_1$ : distancia desde el transmisor al objeto [Km].

$d_2$ : distancia desde el objeto al receptor [Km].

d: distancia total del enlace [Km].

f: frecuencia de operación [GHz].

En la figura 3.6 se muestra un diagrama con los parámetros en particular para el radio de la primera zona de Fresnel.



**Figura 3.6.** Diagrama de la primera zona de Fresnel.

A partir de estos cálculos, es posible empezar a definir la altura con la que deben contar las torres ubicadas en ambos extremos del enlace, de manera que se logre tener en el mejor de los casos, un 100% de cobertura de la primera zona de Fresnel, o sino, al menos un 66% de la misma.

### 3.3.3 Potencia de transmisión.

Para lograr la transmisión hacia otros puntos, el dispositivo que cuenta con esta tarea debe contar con una potencia de transmisión, misma que trata de la potencia de salida del dispositivo, la cual hace posible la transmisión de la información. Su límite superior depende de las regulaciones vigentes en cada país, y de la frecuencia de operación. En general, los transmisores con mayor potencia de salida tienen un costo muy elevado.

Se expresa en miliwatts (mW) o en dBm y suele depender de la tasa de transmisión. Usualmente en el caso de un dispositivo dado, dicha potencia es especificada en los manuales provistos por el fabricante, sin embargo, se debe tomar en cuenta que las especificaciones técnicas darán valores ideales, y no reales, los cuales pueden variar con factores como la temperatura y la tensión de alimentación.

### **3.3.4 Pérdidas en los Cables.**

Usualmente, parte de la energía de la señal es perdida en los cables, conectores y otros dispositivos que se encuentren entre los radios y las antenas. Ésta pérdida depende del tipo de cable utilizado, su longitud y frecuencia de operación. La pérdida de señal para cables coaxiales cortos incluyendo los conectores es bastante baja, del rango de 2 a 3 dB. Lo mejor es tener cables lo más cortos como sea posible.

Sin embargo, independientemente de lo bueno que sea el cable, siempre tendrá pérdidas. Por lo que el cable de la antena debe ser lo más corto posible. La pérdida típica en los cables está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. Generalmente, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará.

Las pérdidas en los cables dependen mucho de la frecuencia, por esto, al calcular dicha pérdida, se debe asegurar el uso correcto de valores para el rango de frecuencia a utilizar.

### **3.3.5 Pérdidas en el espacio libre (FSL).**

Las pérdidas ocasionadas en el espacio libre son las más frecuentes entre el transmisor y el receptor. Estas pérdidas se pueden calcular mediante las ecuaciones 3.4 o 3.5, lo que conlleva a establecer un precedente que permita conocer el valor mínimo con el que se pueda transmitir una señal, y así asegurar que la información sea recibida correctamente.

La pérdida de trayectoria de espacio libre se define como la pérdida ocurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta a través de un vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía producida por los objetos cercanos. La expresión en decibeles (dB) es:

$$FSL = 20\log( ( 4\pi fd ) / c )$$

$$FSL = 20\log((4\pi) / c) + 20 \log(f) + 20 \log(d) \text{ [dB]} \quad (3.3)$$

Si la frecuencia es expresada en GHz, y la distancia en Km, la ecuación es:

$$FSL = 92,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \text{ [dB]} \quad (3.4)$$

Pero si es el caso en el que la frecuencia es expresada en MHz, y la distancia en Km, se utiliza la siguiente ecuación:

$$FSL = 32,44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \text{ [dB]} \quad (3.5)$$

Dónde, para las tres ecuaciones anteriores:

c: velocidad de la luz =  $3 \times 10^8$  [m/s].

f: frecuencia [MHz].

d: distancia [Km].

### 3.3.6 Atenuación debida a obstrucciones.

El fenómeno debido a la atenuación de una señal, producto de las obstrucciones es la difracción. La manera en la que varían sus cálculos va a depender del tamaño, forma y propiedades eléctricas del obstáculo, por lo que la geometría del enlace así como su frecuencia de operación, son los dos parámetros a utilizar en este cálculo.

Para las obstrucciones en medio del enlace, la atenuación causada se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$A_{OBST} = 16 + 20\log(v) \text{ [dB]} \quad (3.6)$$

Dónde:

$A_{OBST}$ : atenuación debida a las obstrucciones [dB].

v: penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel.

Para el cálculo de la penetración relativa por obstrucción en el radio de la zona de Fresnel, se utiliza la siguiente ecuación:

$$v = h_{\text{LOS}} / r \quad (3.7)$$

Dónde:

$h_{\text{LOS}}$ : altura del obstáculo por encima de la línea de vista [m].

r: radio de la primera zona de Fresnel en el punto de obstrucción [m].

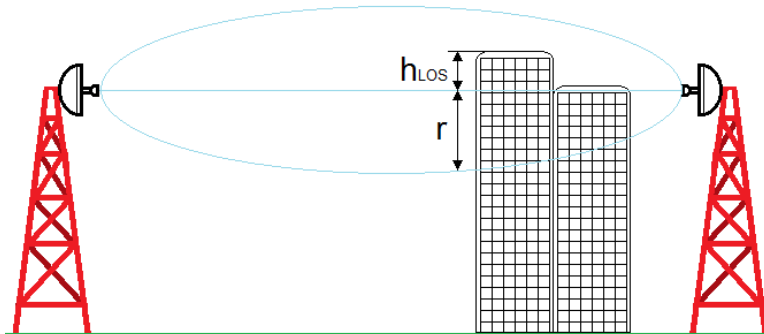


Figura 3.7. Parámetros de la atenuación debida a obstrucciones.

### 3.3.7 Atenuación causada por gases atmosféricos y meteorológicos.

Tal como se ha explicado anteriormente, en los radioenlaces se producen atenuaciones de la señal durante su propagación; una de las causas son la absorción y dispersión en hidrometeoros como la lluvia, la nieve, el granizo o la niebla. Estos efectos son especialmente importantes en el caso de sistemas que trabajan en frecuencias milimétricas. Aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de los 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño de frecuencias superiores donde su importancia aumenta rápidamente. La atenuación específica debida por la lluvia puede calcularse a partir de la recomendación UIT-R P.838-3. Dicha atenuación es ligeramente superior para la polarización horizontal que para la vertical, debido a la forma que



adquieren las gotas de lluvia por el rozamiento experimentado durante la caída.

Las atenuaciones por causa de la niebla se obtienen de la misma manera que en el caso de la lluvia, con la principal diferencia que la niebla puede modelarse como un conjunto de gotas de agua muy pequeñas en suspensión.

Por otra parte, la atenuación de las microondas al atravesar nieve en polvo es al menos un orden de magnitud inferior que para la lluvia considerando la misma tasa de precipitación.

Las pérdidas por gases atmosféricos se deben al efecto que causan el oxígeno y el vapor de agua, las cuales se calculan de manera separada y luego se suman para dar la atenuación específica total  $A_G$ .

$$A_G = d (\gamma_O + \gamma_W) \text{ [dB]} \quad (3.8)$$

Dónde:

$A_G$ : atenuación total por gases [dB].

$d$ : distancia línea vista [Km].

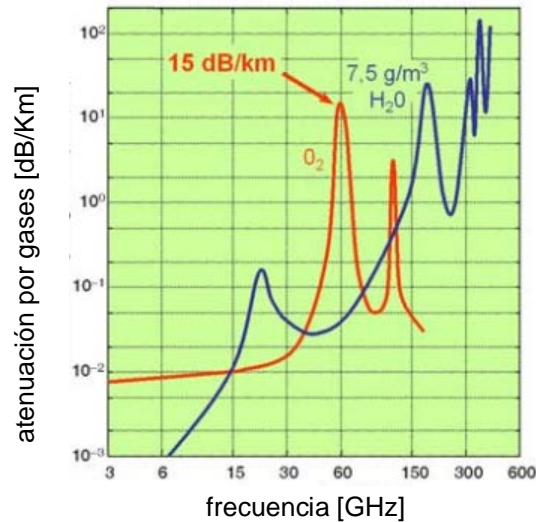
$\gamma_O$ : absorción específica debida a los efectos del oxígeno [dB/Km].

$\gamma_W$ : absorción específica debida a los efectos del vapor de agua [dB/Km].

A la suma de las absorciones específicas debidas al oxígeno y vapor de agua se le conoce como atenuación total específica por gases ( $\gamma_G$ ):

$$\gamma_G = \gamma_O + \gamma_W \text{ [dB/Km]} \quad (3.9)$$

La atenuación total específica depende fuertemente de la frecuencia, temperatura y humedad en la atmósfera.



**Figura 3.8.** Atenuación total específica.

Por otra parte, la atenuación total debida a la precipitación es calculada de la siguiente manera:

$$A_R = d_{\text{eff}}\gamma_R \text{ [dB]} \quad (3.10)$$

Dónde:

$A_R$ : atenuación total debida a la precipitación [dB].

$d_{\text{eff}}$ : distancia efectiva del enlace [Km].

$\gamma_R$ : atenuación específica debida a la lluvia [dB/Km].

Para calcular la atenuación específica debida a la lluvia, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\gamma_R = kR^\alpha \text{ [dB]} \quad (3.11)$$

Dónde:

$\gamma_R$ : atenuación específica debida a la lluvia [dB/Km].

$k, \alpha$ : coeficientes de polarización [dB].

R: intensidad de la lluvia [mm/h].

Los coeficientes de polarización se calculan de la siguiente manera:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V)\cos^2\theta\cos(2\tau)] / 2 \quad (3.12)$$

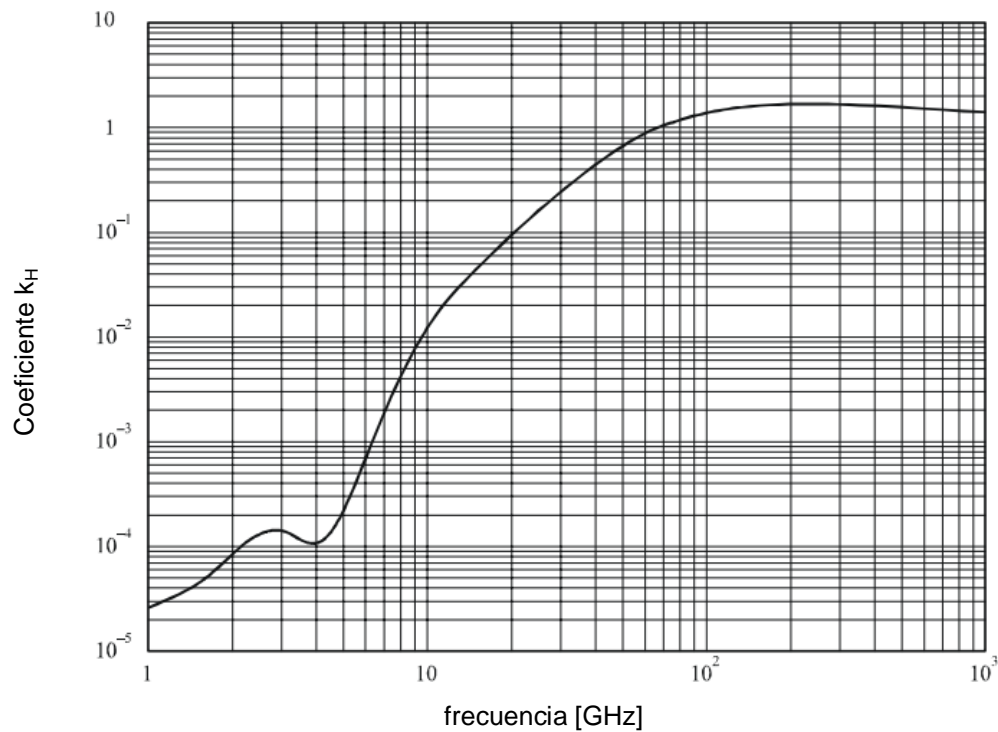
$$\alpha = [k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta\cos(2\tau)] / 2k \quad (3.13)$$

Dónde:

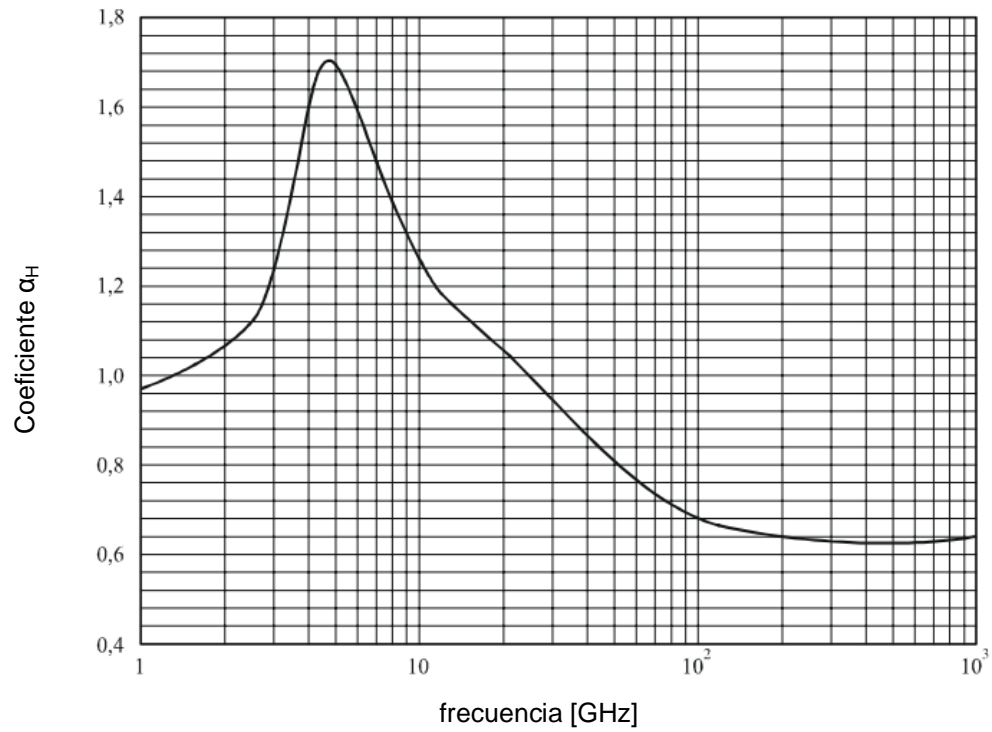
$\theta$ : ángulo de elevación del trayecto.

$\tau$ : ángulo de inclinación de polarización con respecto a la horizontal.

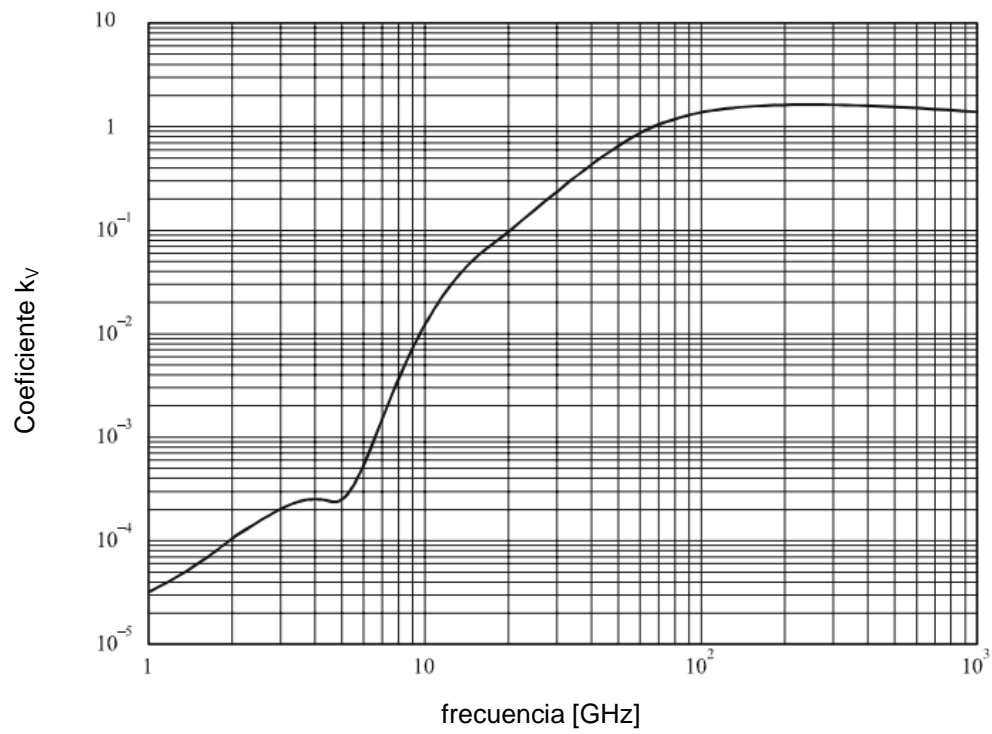
No obstante, las siguientes figuras muestran la manera de obtener gráficamente los valores de  $k_H$ ,  $\alpha_H$ ,  $k_V$  y  $\alpha_V$  con respecto a los valores de frecuencia.



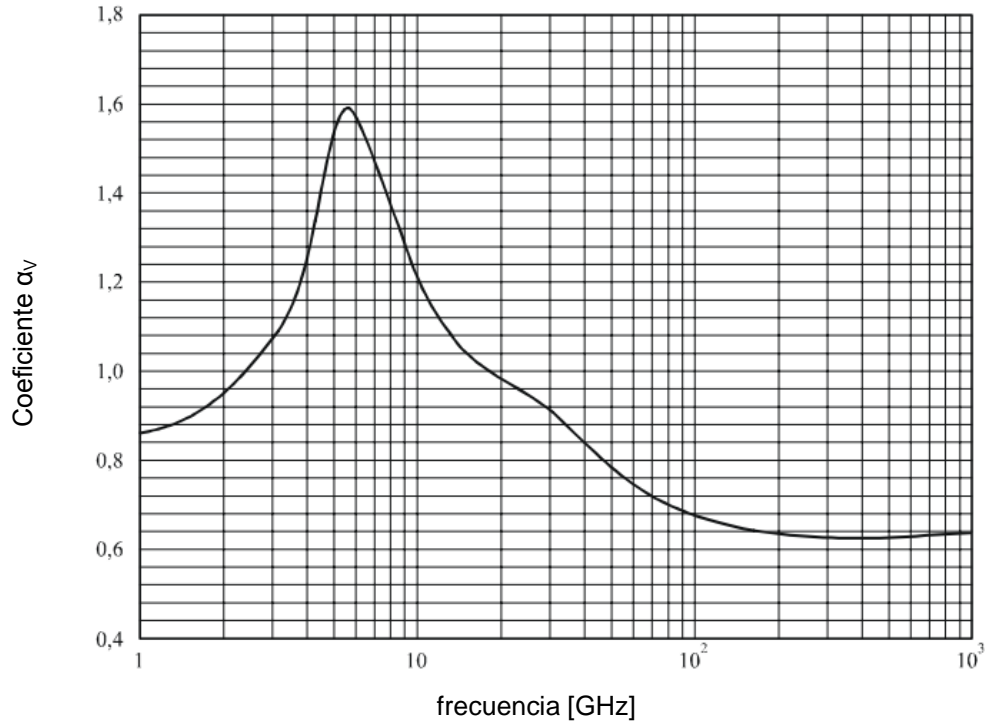
**Figura 3.9.** Coeficiente k de polarización horizontal.



**Figura 3.10.** Coeficiente  $\alpha$  de polarización horizontal.



**Figura 3.11.** Coeficiente  $k$  de polarización vertical.



**Figura 3.12.** Coeficiente  $\alpha$  de polarización vertical.

Por otra parte, para poder obtener el valor de la distancia efectiva del enlace, se utiliza la siguiente fórmula:

$$d_{\text{eff}} = dr \text{ [Km]} \quad (3.14)$$

Dónde:

$d_{\text{eff}}$ : distancia efectiva del enlace [Km].

$d$ : distancia real del enlace [Km].

$r$ : factor de reducción.

A su vez, el factor de reducción se calcula de la siguiente manera:

$$r = 1/(1 + d/d_0) \quad (3.15)$$

Donde  $d_0$  se relaciona con un nivel de referencia de intensidad de lluvia al 0,01%, de la siguiente forma:

$$d_0 = 35 e^{-0,015R} \text{ [Km]} \quad (3.16)$$

### 3.3.8 Ganancia de las Antenas.

Las antenas son dispositivos pasivos que crean el efecto de amplificación debido a su forma física. Las antenas cuentan con las mismas características ya sea para transmitir o recibir. Por lo tanto, una antena para la cual se especifica que cuenta con una ganancia de 12 dBi, simplemente indica que cuenta con tal ganancia ya sea para el modo de transmisión o de recepción.

En cuanto a valores típicos de ganancias, en las antenas omnidireccionales van desde 5 dBi hasta los 12 dBi, para las antenas sectoriales, de entre 12 dBi y 15 dBi, y en las antenas parabólicas entre 19 dBi y 24 dBi aproximadamente.

Se debe tener en cuenta que hay muchos factores que disminuyen la ganancia real de una antena. Las pérdidas pueden ocurrir por muchas razones, principalmente relacionadas con una incorrecta instalación (pérdidas en la inclinación, en la polarización, objetos metálicos adyacentes). Esto significa que sólo se puede esperar una ganancia completa de antena, si está instalada en forma óptima.

### 3.3.9 Sensibilidad del receptor.

La sensibilidad del receptor es el nivel más bajo de señal que la red inalámbrica puede distinguir, y se expresa como dBm negativos (-dBm). La sensibilidad del receptor mínimo depende de la tasa de transmisión, y como regla general la tasa más baja (1 Mbps) tiene la mayor sensibilidad. El mínimo va a ser generalmente en el rango de -75 a -95 dBm. Al igual que la

potencia de transmisión, las especificaciones de la sensibilidad del receptor deben ser provistas por el fabricante del equipo.

Éste es un parámetro que requiere especial atención puesto que identifica el valor mínimo de potencia necesario para poder decodificar/extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de los mismos.

Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio. Un valor típico es de -82 dBm para un enlace de 11 Mbps y de -94 dBm para uno de 1 Mbps.

### **3.3.10 Margen de desvanecimiento.**

En los radioenlaces es inevitable que la señal sufra de algunas fluctuaciones, a las cuales se les denomina desvanecimiento de la señal; estas son producto de varios aspectos, tales como la precipitación, refracción o propagación multitrayectoria, los cuales dependen del tipo de fenómeno atmosférico, así como la frecuencia de operación del enlace.

El margen de desvanecimiento puede ser calculado a partir de la ecuación 3.17.

$$M = 30\log(d) + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70 \quad [\text{dB}] \quad (3.17)$$

Dónde:

M: margen de desvanecimiento [dB].

d: distancia del enlace [Km].

A: factor de rugosidad

= 4: sobre agua o sobre terreno muy lizo.

= 1: sobre terreno promedio.

= 0,25: sobre un terreno áspero y montañoso.

B: factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual.

= 1: para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual.

= 0,5: para áreas calientes y húmedas.

= 0,25: para áreas continentales promedio.

= 0,125: para áreas muy secas o montañosas.

f: frecuencia de operación del enlace [GHz].

1 – R: objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 Km en un sentido.

R: confiabilidad en un tanto por uno (es decir 99,99% = 0,9999 de confiabilidad).

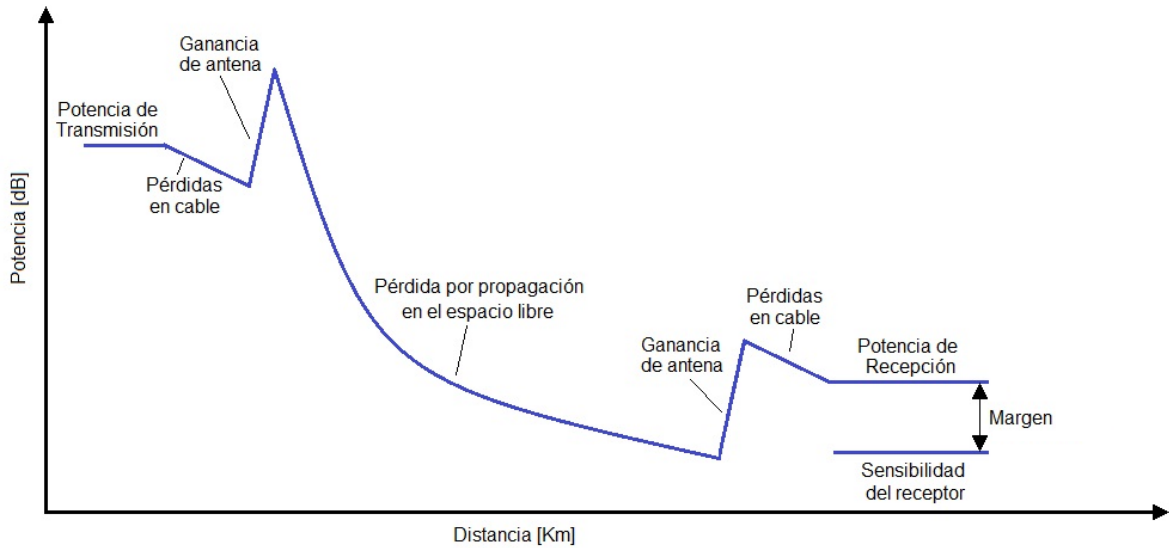
### **3.3.11 Presupuesto de enlace.**

En un sistema de comunicaciones, lo ideal es que la señal enviada desde el transmisor hasta el receptor tenga un nivel aceptable después de sufrir todas las pérdidas a las que estará sometida. Como se ha demostrado en puntos anteriores, no todo son pérdidas, puesto que las antenas tienen la función de actuar como un tipo de amplificadores de la señal.

Por lo tanto, para analizar si una instalación es viable, es necesario realizar el cálculo del enlace, el cual consiste en tomar la potencia de transmisión en términos de ganancia absoluta, sumarle las ganancias, restarle las pérdidas y ver si el resultado alcanza sensibilizar al receptor.

Este presupuesto de enlace puede ser representado mediante un diagrama de potencia como el mostrado en la siguiente figura:





**Figura 3.13.** Diagrama de potencias.

Tomando en cuenta todas las pérdidas expuestas en puntos anteriores, así como las ganancias presentes en las antenas, el cálculo del presupuesto de enlace se realiza de la siguiente manera:

$$P_{RX} = P_{TX} - FSL - A_{OBST} - A_G - A_R - L_{CT} - L_{CR} - M + G_{AT} + G_{AR} \quad [dBm] \quad (3.18)$$

Dónde:

$P_{RX}$ : potencia de recepción [dBm].

$P_{TX}$ : potencia de transmisión [dBm].

FSL: pérdidas por propagación en el espacio libre [dB].

$A_{OBST}$ : pérdidas debidas a obstáculos en el enlace [dB].

$A_G$ : atenuación total debida a gases [dB].

$A_R$ : atenuación total debida a precipitaciones [dB].

$L_{CT}$ : pérdidas en cable en el transmisor [dB].

$L_{CR}$ : pérdidas en cable en el receptor [dB].

M: margen de desvanecimiento [dB].

$G_{AT}$ : ganancia de la antena en el transmisor [dBi].

$G_{AR}$ : ganancia de la antena en el receptor [dBi].

De esta manera, lo que se busca con este cálculo es obtener un valor para la potencia de recepción que sea mayor al valor de la sensibilidad del receptor, lo cual asegura que el enlace es viable. De no ser viable, se deberá proceder a variar parámetros como la distancia, frecuencia de operación, potencias, tipos de antenas, tipo de cables, etc; con la finalidad de buscar la viabilidad del enlace.

### 3.3.12 Ganancia del sistema.

La ganancia del sistema se define como la diferencia entre la potencia de transmisión y la potencia mínima de entrada requerida por el receptor, es decir, la sensibilidad del receptor. Esta ganancia de sistema deberá ser mayor o igual a la suma de todas las ganancias o pérdidas sufridas por la señal, conforme la misma se propaga desde el transmisor hasta el receptor.

En esencia, representa la pérdida neta de un sistema de radio. La ganancia del sistema se utiliza para predecir la confiabilidad de un sistema para determinados parámetros del sistema. Matemáticamente, se expresa de la siguiente manera:

$$G_S = P_{TX} - P_{SEN}[\text{dB}] \quad (3.19)$$

Dónde:

$G_S$ : ganancia del sistema [dB].

$P_{TX}$ : potencia de transmisión [dBm].

$P_{SEN}$ : sensibilidad del receptor [dBm].

Y en donde, se debe cumplir que:

$$P_{TX} - P_{SEN} \geq \text{pérdidas} - \text{ganancias} \quad (3.20)$$

Pérdidas:

FSL: pérdidas por propagación en el espacio libre [dB].

$A_{\text{OBST}}$ : pérdidas debidas a obstáculos en el enlace [dB].

$A_{\text{G}}$ : atenuación total debida a gases [dB].

$A_{\text{R}}$ : atenuación total debida a precipitaciones [dB].

$L_{\text{CT}}$ : pérdidas en cable en el transmisor [dB].

$L_{\text{CR}}$ : pérdidas en cable en el receptor [dB].

$M$ : margen de desvanecimiento [dB].

Ganancias:

$G_{\text{AT}}$ : ganancia de la antena en el transmisor [dBi].

$G_{\text{AR}}$ : ganancia de la antena en el receptor [dBi].

Así, definir matemáticamente todos los parámetros comprendidos en la ganancia del sistema, queda de la siguiente manera:

$$G_{\text{S}} = P_{\text{TX}} - P_{\text{SEN}} \geq \text{FSL} + A_{\text{OBST}} + A_{\text{G}} + A_{\text{R}} + L_{\text{CT}} + L_{\text{CR}} + M - G_{\text{AT}} - G_{\text{AR}} \quad (3.21)$$

### 3.3.13 Ancho de Banda y Velocidad de transmisión de datos.

El ancho de banda es una medida de rango de frecuencia para señales analógicas, es decir, en un caso en el que un dispositivo utiliza un rango de 2400 MHz a 2480 MHz, el ancho de banda corresponde a 80 MHz.

Esta manera de definir el ancho de banda se encuentra muy relacionado con la cantidad de datos que se pueden transmitir dentro de él, es decir, mientras se cuente con más lugar en el espacio de frecuencia, más son los datos que caben en un momento dado.

Debido a esta relación, es común denominar ancho de banda digital a la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo, pero esto en realidad se trata de la tasa de transferencia máxima permitida por el

sistema, que depende del ancho de banda analógico, de la potencia de la señal, de la potencia de ruido y de la codificación de canal.

La velocidad de transmisión es simplemente el número de bits transmitidos por segundo cuando se envía un flujo continuo de datos, y para lograr una transmisión de datos con éxito, es esencial que tanto el equipo transmisor como receptor trabajen a la misma velocidad.

### **3.3.14 Protocolos de comunicación.**

Los protocolos de comunicaciones se encargan de definir las reglas a cumplir en la transmisión y recepción de la información entre los nodos de una red, de manera que dos nodos se puedan comunicar entre sí, siempre y cuando ambos empleen la misma configuración de protocolos.

Entre los protocolos propios de una red de área local se pueden distinguir dos principales grupos. El primero corresponde a los protocolos de nivel físico y de enlace de datos, correspondiente a los niveles 1 y 2 del modelo OSI. Estos definen las funciones asociadas con el uso del medio de transmisión, es decir, envío de los datos a nivel de bits y trama, y el modo de acceso de los nodos al medio.

El segundo grupo de protocolos trata a aquellos que realizan las funciones de los niveles de red y de transporte, correspondientes a los niveles 3 y 4 del modelo OSI, en otras palabras, estos se encargan del enrutamiento de la información y garantizar una comunicación origen-destino sin errores. Estos protocolos transmiten la información a través de la red en pequeños segmentos llamados paquetes. Si una computadora o dispositivo desea transmitir un fichero grande a otro, dicho fichero es dividido en varios paquetes en el origen y vueltos a ensamblar en el destino.

Cada protocolo define su propio formato de los paquetes en el que se especifica el origen, destino, longitud y tipo del paquete, así como la información redundante para el control de errores.

Los protocolos de los niveles 1 y 2 dependen del tipo de red, mientras que los de niveles 3 y 4 cuentan con diferentes alternativas, siendo TCP/IP la configuración más extendida, lo que la convierte en un estándar de facto, puesto que es la base de Internet, debido a que sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos sobre redes de área local (LAN) y área extensa (WAN).

El conjunto TCP/IP está diseñado para encaminar conexiones y tiene un grado muy elevado de fiabilidad, es adecuado para redes grandes y medianas, así como en redes empresariales. Tal como se mencionó, es utilizado a nivel mundial para poder conectarse tanto a Internet como a los servidores web.

La desventaja que presenta este protocolo es que tiene una baja velocidad de transferencia de datos en redes con un volumen de tráfico medio o bajo; sin embargo, esto no se cumple en aquellas redes que cuenten con un volumen de tráfico grande donde se requiera redirigir un gran número de tramas, ya que este caso TCP/IP puede ser más rápido.

### **3.3.15 Seguridad en una red inalámbrica.**

Con la instalación final de una red se procura buscar que la misma sea confiable, puesto que de cierta manera habrá gente que dependerá de ella. Por lo general, la mayoría de las redes sufren algún tipo de interrupción en su servicio producto de alteraciones hechas por las personas, ya sean de forma accidental o no.

En el caso de las redes inalámbricas, una de las principales desventajas se podría decir que la seguridad, de ahí el hecho de buscar que la misma esté bien configurada, y así evitar muchos disgustos y proporcionar una red segura.

Estas inseguridades generalmente radican en:

- Configuración de los puntos de acceso.
- Infiltración en la comunicación del envío de paquetes.
- Sistema de encriptación, el cual depende del uso que se la vaya a dar a la red.

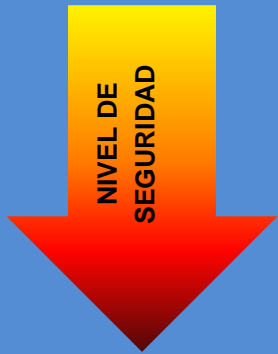
En los enlaces inalámbricos, una de las últimas cosas que se desea es compartir la información con cualquier persona ajena a las que realmente interesa; a diferencia de los medios de comunicación cableados, la información está viajando de un medio no controlado, por lo cual queda expuesto a que personas con el mismo equipo reciban la información; para ello, algunas medidas de seguridad a implementar serían las siguientes:

- Cambiar el nombre por defecto de la red (SSID).
- Inhabilitar la opción de la difusión del SSID.
- Cambiar la contraseña por defecto utilizada para tener acceso a un dispositivo inalámbrico.
- Activar la filtración del "Mac Address".

A estos puntos se le pueden añadir ideas nuevas sobre una mejora de la seguridad. Tal es el caso del estándar IEEE 802.11i, que está dirigido a batir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación. Este estándar abarca los protocolos 802.1x, TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) y AES (Advanced Encryption Standard), y se implementa en WPA 2 (Wi-Fi Protected Access 2).

Una forma fácil de apreciar el nivel de seguridad dada por cada protocolo de seguridad, se puede apreciar en la tabla 3.1, donde WPA 2 es el mejor escenario de cara a proveer de un enlace seguro.

**Tabla 3.1.** Resumen de protocolos de seguridad inalámbrica.



	Tipo de seguridad
Encriptación	WEP 128
	TKIP
Autenticación 802.1x	LEAP
	PEAP-MSCHAPv2
	PEAP-GTC
	EAP-FAST
WPA	WPA-PSK
	LEAP (WPA)
	PEAP-MSCHAPv2 (WPA)
WPA 2	AES

### 3.3.16 Puesta a tierra.

La puesta a tierra trata de un sistema de protección dirigida al usuario cuando este se encuentra interactuando con los aparatos conectados a la red eléctrica. Básicamente lo conforma una pieza metálica (por lo general de cobre) con poca resistencia (también conocida simplemente como tierra), que es enterrada en el suelo y debe estar conectada a todas las partes metálicas de la estructura, en este caso, la torre donde se ubicará la antena. Además de conectarse a la torre, también debe conectarse y distribuirse por la instalación de la estación mediante un cable que debe acompañar en todas sus derivaciones a los cables de tensión eléctrica, y debe llegar a través de los enchufes a cualquier aparato eléctrico.

De esta forma, lo que se busca con este sistema de protección y/o seguridad, es prevenir que en el caso de cualquier contacto directo producido en el interior del aparato eléctrico o algún tipo de descarga eléctrica, encuentre en la tierra un camino de poca resistencia, evitando a

su vez que dicha descarga pase al suelo a través del cuerpo del usuario que entre en contacto con el aparato.

Propiamente para los radioenlaces, este sistema de puesta a tierra se ha diseñado para proteger al equipo de las subidas de tensión provocadas por descargas eléctricas. En cuanto al cable dirigido a tierra, se coloca en serie con el cable de antena y tiene una conexión para puesta a tierra. De esta manera, un edificio de telecomunicaciones deberá contar con tres puestas o redes de tierra:

- Puesta a tierra de la estación.
- Puesta a tierra de la torre.
- Puesta a tierra de pararrayos.

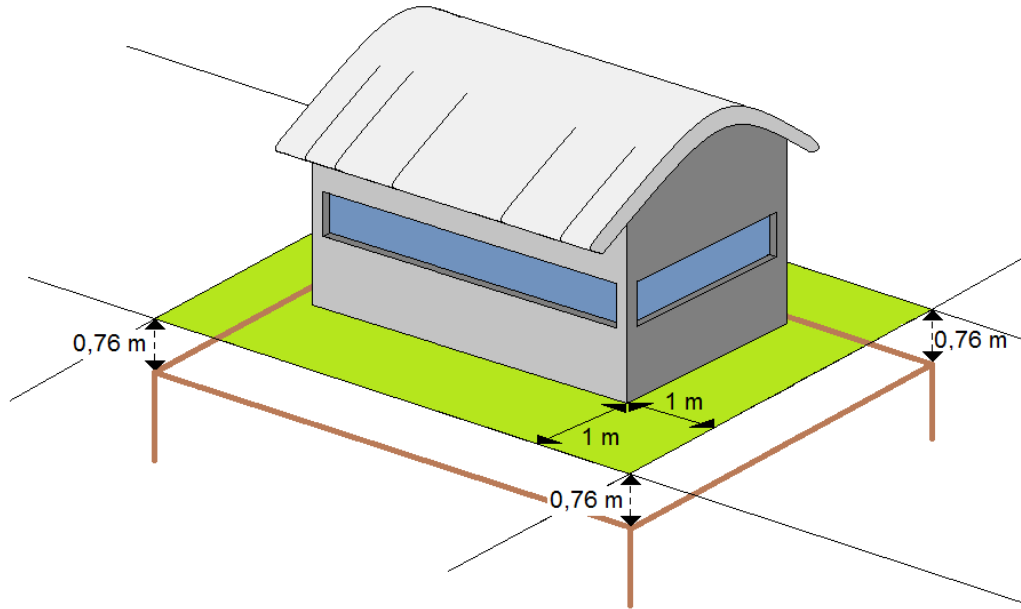
#### **3.3.16.1 Puesta a tierra de la estación.**

La idea para la puesta a tierra de la estación es la utilización de un anillo perimetral de tierra, integrado con electrodos de tierra. Idealmente, el anillo perimetral debe rodear exteriormente la estación a proteger, sin embargo no siempre es posible debido a las características o disposiciones de algunas edificaciones.

El anillo perimetral estará formado por un cable de cobre desnudo, que rodea perimetralmente al edificio. Este conductor enterrado deberá ser continuo, sin ningún tipo de empalme y con entradas directas a la placa de tierra interna del edificio. Integradas al anillo mencionado se instalan barras de cobre, hincadas al terreno y distribuidas a lo largo del dispersor.

Específicamente el anillo perimetral estará enterrado a una profundidad de 0,76 m formando un anillo cerrado instalado a 1 metro de distancia de las paredes laterales de la edificación, tal como se muestra en la siguiente figura.





**Figura 3.14.** Puesta a tierra de la estación.

### **3.3.16.2 Puesta a tierra de la torre.**

Tal como se ha mencionado, se debe considerar que tanto las partes metálicas de la torre así como del edificio deben ser interconectadas adecuadamente a las partes metálicas de los equipos. Para el caso de los equipos de telecomunicaciones, estos se podrán colocar ya sean en la estación (que deberá estar preferiblemente cerca de la torre), o sino en la propia torre.

En sí, en todas las torres se pueden encontrar los siguientes elementos a proteger con la puesta a tierra:

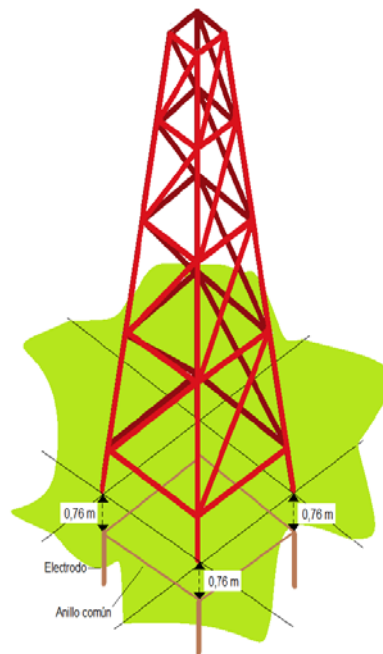
- Antenas.
- Cables de bajada de antenas (guías de onda, cables coaxiales)

La toma a tierra de las torres, tienen el objetivo de canalizar las descargas que pudiesen entrar por éstas, así como aquellas provenientes de cualquier otro elemento vinculado eléctricamente a éstas.

En la práctica, usualmente para la implementación de radioenlaces, se suelen utilizar dos tipos de torres, las autosoportadas y las arriostradas, difiriendo básicamente en su forma de construcción, provocando que el sistema de puesta a tierra sea también diferente.

En el caso de la torres autosoportadas, son estructuras metálicas piramidales de tres o cuatro aristas, y con un pie de apoyo por cada arista. Cada pie descansa sobre una fundación de concreto independiente del resto. En estas estructuras, las descargas son canalizadas por la bajada del pararrayos y por la propia estructura.

Por este motivo, las torres tendrán una toma de tierra específica, por lo que se debe garantizar que todas y cada una de las patas de la torre cuenten con una puesta a tierra sólida, mediante la conexión con un electrodo y éstos a su vez deben formar un anillo común en la base de la torre. Estas vinculaciones equipotenciales serán realizadas bajo tierra a una profundidad no inferior a 0,76 m.

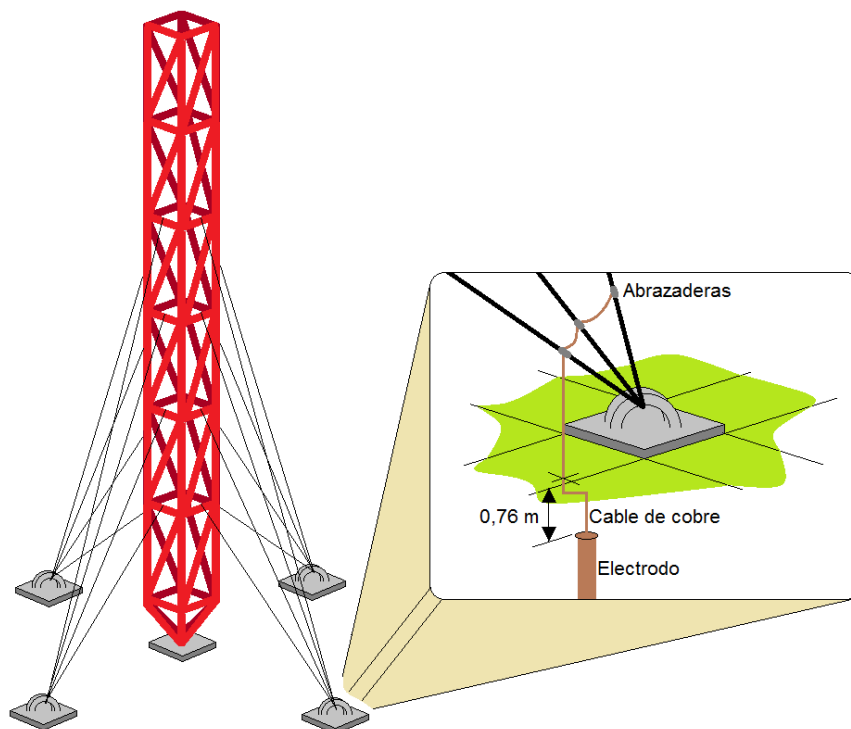


**Figura 3.15.** Puesta a tierra de torre auto-soportada.

Por otra parte, en el caso de la puesta a tierra de las torres arriostradas, que son estructuras cuyo único pie de apoyo descansa sobre una fundación de concreto. La estabilidad de esta estructura es conseguida mediante alambres que vinculan mecánicamente la torre a diferentes alturas con puntos de fijación terrestres denominados anclote.

En este tipo de torre, la mayor parte de la descarga del rayo fluirá a través de los alambres. La primera medida consiste en vincular eléctricamente todas las riendas que convergen a un mismo anclote con un conductor adecuado a cada caso.

Sobre la superficie, las riendas se interconectarán con cable de acero, unidos entre sí con abrazaderas de acero, así, del alambre más bajo partirá una vinculación con el electrodo que estará a un mínimo de 0,76 m por debajo del nivel del suelo. Esta toma a tierra se implementa en todos los anclotes.

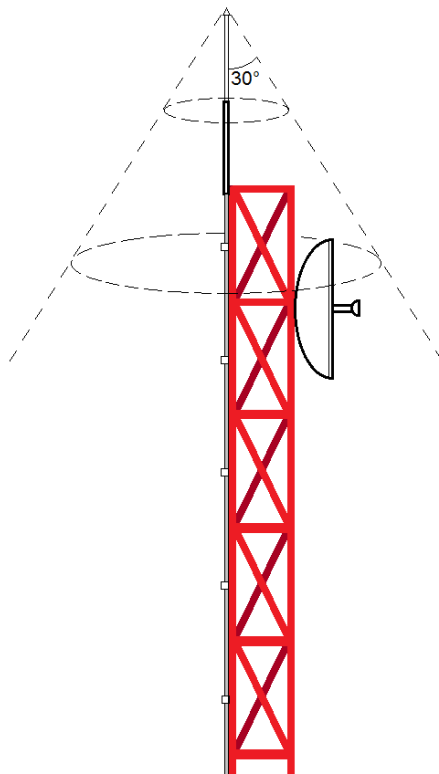


**Figura 3.16.** Puesta a tierra de torre arriostrada.

### 3.3.16.3 Puesta a tierra de pararrayos.

Con la instalación de los pararrayos se garantiza la protección de los edificios y equipos de comunicación contra descargas atmosféricas directas.

Para tal fin, se debe contar con elementos de captura de una sola punta. Este elemento provee de un área de protección delimitada por un cono imaginario cuya punta coincide con la punta del pararrayos, y que cuenta con un ángulo de  $30^\circ$  con vértice en el extremo superior del elemento, tal como se muestra en la figura 3.17. De esta manera, la o las antenas a ubicar en la torre, deberán estar dentro del cono de protección, como se muestra a continuación.



**Figura 3.17.** Puesta a tierra de pararrayo.

Por otra parte, se debe contar con conductores de bajada que deberán soportar el flujo de corriente desde el pararrayo hasta los terminales de

tierra. Los conductores de descenso deberán ser instalados fuera de la estructura y por la cara más alejada a la sala de equipos.

Finalmente, los sistemas de pararrayos son aterrizados mediante un campo para tierra dedicado individual.

La instalación del pararrayos prevista para canalizar las descargas directas deberá estar preparada para hacer fluir las corrientes instantáneas a través de conductores de baja impedancia, disponiéndose del lado más alejado a las instalaciones. De esta manera se logrará que el impacto directo de un rayo sobre cualquier componente de la instalación se canalice adecuadamente a tierra.

## Capítulo 4: Procedimiento metodológico.

---

### 4.1 Reconocimiento y definición del problema.

Las actividades del reconocimiento y la definición del problema, las constituyen el contacto realizado con expertos en el campo, mediante entrevistas y recomendaciones. Para tal efecto, se coordinaron varias visitas tanto a Schneider Electric como a Soati, ambas empresas encargadas del desarrollo de todo el proyecto, lugares en los que se tuvo la oportunidad de conversar con los ingenieros a cargo. Es así como se logró definir tanto el entorno como el marco del problema que se pretende atacar con desarrollo del presente proyecto.

### 4.2 Obtención y análisis de información.

Tal como se mencionó antes, gracias a la buena disposición por parte de las empresas encargadas, gran parte de la obtención de la información preliminar relevante fue gracias a entrevistas con el respectivo personal, específicamente los ingenieros a cargo, y complementado con información presente en diferentes medios como el internet, diarios de circulación nacional, material técnico y didáctico.

Para poder evaluar la información obtenida, se recurrió a la utilización de métodos de análisis, tales como un diagrama de causa efecto con el fin de tener un panorama más claro del problema en sí, y comparación de expertos sobre soluciones similares para obtener una idea más amplia de lo que se debe tener en cuenta a la hora de proponer una solución.

En dicha valoración no solo se contempló características técnicas o de desempeño, sino también presupuestales, con el fin de poder tener una

mejor apreciación de estos aspectos y su papel en el desarrollo del proyecto.

#### **4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.**

Para la resolución del problema descrito, se desarrollan varias alternativas producto de la investigación bibliográfica y consulta con personal entendido en el campo de las telecomunicaciones. Sin embargo, los requerimientos y/o restricciones del proyecto establecidas por el usuario final constituyen el principal parámetro en la evaluación de las alternativas de solución.

Gran parte del proyecto está dirigido al desarrollo de la investigación para establecer las características necesarias con las que debe contar el diseño del enlace a proponer, así como las tecnologías para tal propósito.

Por esto, para elegir una solución se consideraron los resultados de las sugerencias por parte de los asesores, la investigación bibliográfica, el resultado de las estimaciones a partir de cálculos matemáticos, disposición de equipos y análisis del costo de los mismos.

#### **4.4 Implementación de la solución.**

El proceso requerido para la implementación de la solución consistió inicialmente en una etapa de investigación con la idea de tener los conceptos claros y a partir de ello, dar paso a la etapa de generación de criterios bajo los cuales se diseña la idea de un radioenlace.

Para evaluar la propuesta de solución, se recurrió a mecanismos de obtención de información, precisamente mediante simulaciones y pruebas de laboratorio.

Mientras que para evaluar el desempeño y validez de la solución, se recurrió al procedimiento analítico correspondiente a la evaluación del desempeño obtenido contra el desempeño esperado, esto mediante comparación entre resultados obtenidos mediante simulación y los obtenidos a través de cálculos matemáticos.

En cuanto al medio de difusión, se cuenta con la documentación solicitada por las empresas, donde se indican principalmente los resultados obtenidos, restricciones, recomendaciones y material de uso técnico. Puesto que el desarrollo de este proyecto constituye apenas una parte del proyecto total, este informe pasa a ser documento de las empresas mencionadas. Además, a manera de complemento de este informe, se facilita como documento adicional, y solicitado de antemano, un manual de usuario que sirva de medio de información y capacitación, que trate sobre el manejo adecuado que deberá tener el enlace una vez que este se implemente de manera definitiva.

#### **4.5 Reevaluación y rediseño.**

El contexto bajo el cual se encuentra el desarrollo de este proyecto deja abierta la posibilidad de aplicar mejoras futuras a la solución alcanzada con este trabajo. Precisamente, se sugiere realizar pruebas en donde el equipo se vea expuesto a situaciones extremas, como exposición a altas temperaturas, fuertes precipitaciones, equipos trabajando en el mismo rango de frecuencias, entre otros. Con esto se podría saber la eficiencia máxima del equipo, y si sería necesario de algún otro equipo adicional en caso que no cumpla con lo esperado, que es proveer un manejo de datos adecuado.



## Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.

---

### 5.1 Análisis de soluciones y selección final.

Para llegar a la selección final de la solución implementada, primero se procede con el tratamiento de varios temas propios de este proyecto, con lo que se busca la comparación y/o análisis de entre las diferentes opciones presentes en cada caso, y con esto formar un criterio que permita escoger la que mejor se adecúe.

Entre los temas a tratar se encuentra el análisis geográfico para la ubicación de los puntos, la frecuencia de operación, los tipos de torres, seguridad del enlace, velocidad de transmisión, ancho de banda, dispositivos de comunicación, el presupuesto del enlace, protocolo de comunicación, entre otros.

#### 5.1.1 Ubicación geográfica.

Para llevar a cabo el planteamiento y estudio que al final dé como resultado el diseño y simulación del enlace inalámbrico que se desea, el paso inicial y fundamental a realizar es la ubicación exacta de los puntos que conforman dicho enlace, esto mediante el uso de mapas brindados por herramientas tecnológicas dedicadas para tal fin, mismas que se pueden acceder a través de internet. El propósito es tener una idea clara de la distribución de la red a establecer.

La razón por la cual la comunicación entre el EVCSA y el CCE se realiza mediante dos tramos (ver figura 5.1), recae en el hecho que la sub-estación de la CNFL ubicada en Lindora de Santa Ana ya se encuentra comunicada

con el CCE de la CNFL en La Uruca, por lo tanto, el enlace a establecer es el que se debe ubicar entre la planta eólica en Pabellón de Santa Ana y la sub-estación en Lindora.



● EVCSA                      ● CNFL Lindora                      ● CNFL La Uruca

**Figura 5.1.** Ubicación de las estaciones en el mapa.

**Tabla 5.1.** Ubicación de las estaciones utilizando GPS.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Separación en línea vista
Sub-estación CNFL Lindora	9° 57' 38,2" N	84° 12' 44,4" O	849,8 m	7,82 Km
EVCSA	9° 53' 30,5" N	84° 11' 51,0" O	1654 m	

Con la finalidad de tener datos precisos, y a raíz que las estaciones del enlace se encuentran muy distanciadas, se recurre al uso de equipo de posicionamiento global para la ubicación de las mismas. Para ello se coordina con las empresas a cargo para realizar una gira con destino a la

sub-estación de la CNFL en Lindora, así como a Pabellón de Santa Ana, lugar donde se establece el Parque Eólico Valle Central.

### **5.1.2 Espectro de frecuencia Inalámbrica.**

Un aspecto muy importante en cuanto al diseño de un enlace inalámbrico es elegir el espectro de frecuencia más adecuado. La elección de frecuencia inalámbrica puede alterar los atributos y capacidades de la red. Cabe destacar que cada espectro posee sus ventajas y desventajas, pero al ir conociéndolas se podrá determinar mejor donde implementar determinado equipamiento en la solución inalámbrica.

El gobierno de Costa Rica, a través del MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones), ha establecido reglas y guías para la utilización de equipos dedicados a la radiofrecuencia con la finalidad de mejorar el control del "tráfico" de sus respectivas frecuencias inalámbricas. Mientras exista un mayor "tráfico" inalámbrico, las transmisiones a través de las señales inalámbricas contarán con el inconveniente de volverse menos efectivas. Para evitar mayor interferencia de radiofrecuencia la SUTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) ha permitido a las empresas comprar asignaciones de espectro de frecuencia con las cuales puedan trabajar sin ninguna interferencia exterior por parte de otros que se encuentren usando la misma frecuencia. Esta es la situación ideal para las redes inalámbricas, sin embargo, este tipo de "compra" de frecuencia no es barata, puesto que es casi imposible para la mayoría de personas, desde el punto de vista financiero, licenciar un espectro de frecuencia privado.

Esta es la razón por la cual la mayoría de empresas o cualquier persona se alejan de las bandas de frecuencia licenciadas. Por tal motivo, existen las frecuencias no-licenciadas, que son una plataforma amplia, barata y rápida para construir soluciones inalámbricas.

A pesar del gran uso del espectro de licencia libre, sigue siendo una excelente plataforma para construir enlaces inalámbricos de bajo precio, rápidos y confiables.

El MINAET ha proporcionado varias bandas de licencia libre para que puedan ser utilizadas por la comunidad inalámbrica:

- 6765 - 6795 KHz.
- 13553 - 13567 KHz.
- 40,66 – 40,70 MHz.
- 2400 – 2483,5 MHz.
- 5150 – 5350 MHz.
- 5470 – 5825 MHz.
- 5725 – 5875MHz.
- 24 – 24,25 GHz.
- 61 – 61,5 GHz.
- 122 – 123 GHz.
- 244 – 246 GHz.

Las señales inalámbricas cuentan con características que pueden variar, tales como la frecuencia, longitud de onda, amplitud y otros atributos principales.

Cuando la frecuencia se incrementa:

- Resulta más fácil de atenuar (no puede viajar tan fácil a través de obstáculos como copas de árboles, muros, etc).
- Es capaz de transmitir mayor ancho de banda.

Cuando la frecuencia disminuye:

- Es más efectiva al transmitir a través de obstáculos, por lo tanto presenta menor atenuación (cuando es comparada con señales de frecuencias altas).

- No puede transmitir tanto ancho de banda.

Las bandas de frecuencias más bajas (2,4GHz y menores), están mucho más congestionadas que las bandas de frecuencia alta como las de 5GHz.

**Tabla 5.2.** Comparación entre bandas de frecuencias libres.

Banda	2,4 GHz	5 GHz
Popularidad	Ampliamente usadas	En proceso de volverse ampliamente usadas
Velocidad	Alto Throughput	Alto Throughput
Costo	No caro	No caro
Frecuencia	Abarrotado	No abarrotado
Alcance	Promedio	Promedio
Aplicación	Mesh, ptp, ptmp	Backhaul, ptp, ptmp

De esta manera y de acuerdo a lo expuesto hasta el momento, se decide que dentro de las frecuencias no licenciadas, los rangos candidatos son los expuestos en la tabla 5.2, por lo que para definir un rango en definitivo se estudiará primero el equipo de comunicaciones.

### 5.1.3 Dispositivos de comunicación.

Los dispositivos de comunicación a elegir deben cumplir con las restricciones dadas desde un principio por parte del usuario final. Las mismas tratan de basar de manera estricta el enlace de comunicación bajo un estándar de comunicación que conlleve el desarrollo del mismo mediante la utilización de equipo de la marca Cisco. Para tal motivo se produjo una investigación acerca de las facilidades que esta marca brinda con respecto a enlaces inalámbricos.

Dentro de los productos y servicios brindados por Cisco, cuentan con una sección dedicada a las redes inalámbricas, donde se encuentra una gran gama de productos, los cuales a su vez se dividen de acuerdo al área de desarrollo.

Para este proyecto, el área que compete es el de tecnologías inalámbricas para exteriores, sección donde se destaca la tecnología “Cisco Aironet”. En dicha tecnología relucen dos tipos de series: Cisco Aironet serie 1300 y Cisco Aironet serie 1400, las cuales se explican a continuación.

El dispositivo Cisco Aironet serie 1300, es una plataforma flexible con la capacidad de trabajar como punto de acceso, puente inalámbrico o puente inalámbrico de grupo de trabajo. Provee una alta velocidad y conectividad inalámbrica efectiva entre varias redes fijas o móviles. Dentro de sus aplicaciones típicas, se encuentran las siguientes:

- Conexión a una red dentro del área de un campus.
- Infraestructura exterior para redes móviles y/o fijas.
- Acceso público en áreas exteriores.
- Redes temporales para operaciones militares.

Cisco Aironet serie 1300 soporta el estándar 802.11b/g, proveyendo una tasa de transmisión de datos de hasta 54 Mbps con una tecnología probada y segura. Las características más destacadas son:

- Configurable como punto de acceso, puente inalámbrico o puente inalámbrico de grupo de trabajo.
- Soporta las configuraciones punto a punto y punto a multipunto.
- Intercambia mecanismos de seguridad basado en los estándares 802.1x.
- El encapsulado del dispositivo está optimizado para entornos exteriores hostiles con un rango extendido de temperaturas de funcionamiento.
- Se puede dar uso de su antena integrada o adherirle otra exterior para proveer una implementación flexible.
- Trabaja dentro de la banda de frecuencia de los 2,4 GHz.

Para el caso de Cisco Aironet serie 1400, su funcionamiento es en parte similar a la serie 1300, con la variante que la serie 1400 crea un nuevo punto de referencia para los puentes inalámbricos, puesto que provee un alto rendimiento y una solución rica en características para conectar varias redes de área local (LAN), en un área metropolitana.

Las características más destacadas son:

- Soporta las configuraciones punto a punto y punto a multipunto.
- Intercambia mecanismos de seguridad basado en los estándares 802.11.
- Soporta velocidades de hasta 54 Mbps.
- El encapsulado del dispositivo está optimizado para entornos exteriores hostiles con un rango extendido de temperaturas de funcionamiento.
- Se puede dar uso de su antena integrada o adherirle otra exterior para proveer una implementación flexible.
- Trabaja dentro de la banda de frecuencia de los 5 GHz.

Como se puede notar, ambos dispositivos trabajan dentro de las bandas de frecuencia designadas como de uso libre, lo cual para términos de este proyecto es un punto a favor puesto que primero, no se deberá recurrir a un proceso para poder adquirir el derecho de una banda de frecuencia de uso privado, y segundo, significa una gran ayuda al presupuesto económico con el que se cuenta.

Las principales diferencias radican en cuanto a sus especificaciones técnicas, como lo es la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, y distancia de separación entre los puntos versus la velocidad de transmisión de datos. En la siguiente tabla se realiza un resumen de las principales diferencias entre los Cisco Aironet serie 1300 y serie 1400; cabe destacar que dentro de estas series, el dispositivo a escoger es el *AIR-BR1310G-A-*

*K9-R* por parte de la serie 1300, y el *AIR-BR1410A-A-K9-N* por parte de la serie 1400.

**Tabla 5.3.** Comparación entre la serie 1300 y serie 1400 de Cisco Aironet.  
(Se exponen valores máximos para cada parámetro).

	AIR-BR1310G-A-K9-R	AIR-BR1410A-A-K9-N
Potencia Transmisión	20 dBm (100 mW)	24 dBm (250 mW)
Sensibilidad de recepción	-72 dBm	-70 dBm
Banda de frecuencia	2412 a 2462 MHz	5725 a 5825 MHz
Velocidad de transmisión	54 Mbps	54 Mbps
Distancia punto a punto	7 Km @ 54 Mbps	21 Km @ 54 Mbps

Para poder obtener valores como los expuestos en la tabla 5.3, específicamente para los valores de la distancia entre los puntos y su velocidad de transmisión datos, es necesario el uso de una antena tipo plato, con una ganancia de 21a 28 dBi, tanto en el transmisor como en el receptor.

Este tipo de antena es facilitada por parte de Cisco, y está determinada dentro del grupo de antenas que se pueden adicionar al equipo de comunicación aparte de la antena integrada que el mismo trae. Con la antena de tipo plato, lo que se logra es tener una mejor cobertura a larga distancia, ya que su patrón de onda sale hacia una sola dirección, lo que hace concentrar mayor parte de la onda de información hacia un punto en específico.

Así, basado en lo expuesto en esta sección, ambos equipos se adecuan a las necesidades, sin embargo, con el *AIR-BR1410A-A-K9-N* se tiene una mayor velocidad de transmisión de datos a una distancia más larga, lo cual lo convierte en el equipo a utilizar, y con esto se define el rango de frecuencia utilizar, el cual para el equipo va desde los 5725 hasta los 5825 MHz, y de acuerdo a entes regulatorios del país, este rango es entre los 5725 y 5875MHz, lo cual garantiza el funcionamiento óptimo del equipo en Costa Rica



Sin embargo para efectos de cálculos, se utilizará la frecuencia central de este rango, el cual es de 5800 MHz (5,8 GHz).

#### **5.1.4 Zonas de Fresnel.**

Las zonas de Fresnel, tal como se comentó en el marco teórico, es un parámetro para asegurar que a lo largo de la trayectoria del enlace la señal no se vea muy afectada producto de obstrucciones que la misma pueda sufrir por parte de montañas, edificios, vegetación, etc. El objetivo a alcanzar con este cálculo es el de poder asegurar el despeje de la primera zona de Fresnel en al menos un 66% de la misma, aunque un caso ideal sería tener un despeje de un 100%.

Como se trata de un proyecto que se realiza desde cero, se cuenta con la libertad de realizar este cálculo y partir del mismo determinar la altura a la cual estarán ubicadas las antenas, de manera tal que la altura mencionada permita un porcentaje adecuado de despeje de la primera zona de Fresnel en lo largo del trayecto de la señal en el enlace.

Teniendo en cuenta lo expuesto hasta el momento, y considerando los datos de distancia y frecuencia de operación, el cálculo se realiza para el peor de los casos, que es cuando el obstáculo se encuentra justo en la mitad de la trayectoria de línea vista. Esto se debe a que justo en este punto es donde se encuentra la mayor región comprendida por la primera zona de Fresnel. Para este cálculo se utiliza la ecuación 3.2:

$$r = 17,32 \sqrt{(d_1 d_2) / (fd)} \quad [m]$$

Dónde:

r: radio de la zona de Fresnel [m].

$d_1$ : distancia desde el transmisor al objeto [Km].

$d_2$ : distancia desde el objeto al receptor [Km].

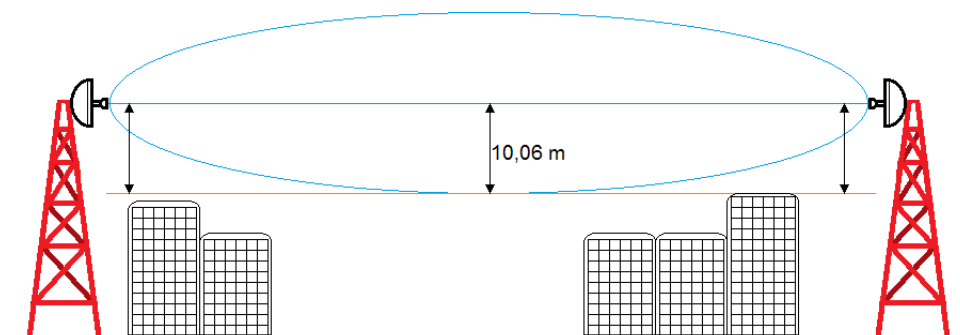
$d$ : distancia total del enlace [Km].

$f$ : frecuencia de operación [GHz].

Así, con una distancia de 7,82 Km y frecuencia de 5,8 GHz, se tiene:

$$r = 17,32 \sqrt{(3,91 \cdot 3,91) / (5,8 \cdot 7,82)}$$

$$r = 10,06 \text{ m}$$



**Figura 5.2.** Despeje del 100% de la zona de Fresnel en el enlace.

Este resultado no solo indica que a la mitad de la trayectoria se debe tener una distancia de 10,06 m entre el obstáculo y la línea de vista para asegurar un despeje del 100% de la primera zona de Fresnel, sino también que es una distancia que se puede tomar como el valor por defecto a respetar a lo largo de toda la trayectoria, es decir, procurar en todo punto de la trayectoria del enlace, una distancia de separación de 10,06 m entre la línea de vista y cualquier obstáculo, tal como se muestra en la figura 5.2.

### 5.1.5 Tipos de Torres.

Para asegurar que el enlace esté siempre en buen funcionamiento, es importante tener en cuenta un aspecto esencial como lo es el tipo de torre a

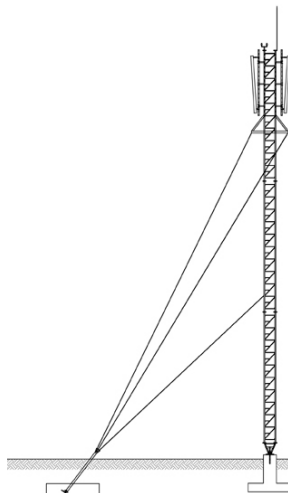
utilizar. Estas estructuras varían según las necesidades y las condiciones del sitio en donde se vaya a ubicar.

En cuanto a la variedad de torres, se encuentran las torres Arriostradas (torres con tirantes), torres Autosoportadas, Monopostes, Mástiles, entre otras. Estas suelen estar compuestas por perfiles y ángulos de acero unidos por tornillos, remaches o soldadura. Además, la geometría de un estilo de torre puede variar dependiendo del fabricante.

#### **5.1.5.1 Torres Arriostradas.**

Estas torres cuentan con tirantes o arriostres a diferentes distancias para asegurar su estabilización. Generalmente son ubicadas sobre edificaciones existentes, puesto que el peso que genera esta torre sobre la estructura existente no es muy grande, lo cual evita adicionarle mucho peso al edificio, sin embargo, se debe colocar el apoyo de la torre y sus arriostres sobre columnas y elementos que sean resistentes, de lo contrario, la instalación de la misma podría fallar. La base de la torre transmite un esfuerzo de compresión en donde esté apoyada, y los arriostres generalmente transmitirán esfuerzos de tensión.

Estas torres son diseñadas para alturas de hasta 150m y mantener cargas livianas o medianas, lo cual las hace adecuadas para sitios celulares, TV y estaciones de radio de AM/FM.

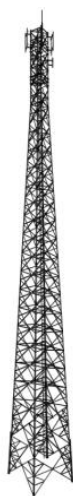


**Figura 5.3.** Torre Arriostrada.

#### **5.1.5.2 Torres Auto-soportadas.**

Por lo general, este tipo de torres son construidas sobre terrenos, en áreas urbanas o cerros, y deben de contar con una adecuada cimentación para poder resistir las fuerzas a las que se someten. La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y del fabricante de la torre.

En el caso de estas torres, se encuentran diseñadas para alturas de hasta 120m y mantener cargas medianas o pesadas, lo cual las hace adecuadas para sitios celulares principales, sitios de redes troncales o concentradoras de comunicaciones centrales.



**Figura 5.4.** Torre Auto-soportada angular de cuatro patas.

### 5.1.5.3 Torres Tipo Monoposte.

Las torres tipo Monoposte son instaladas en lugares donde se requiere conservar la estética, puesto que ocupan menos espacio. Al igual que en el caso de las torres Auto-soportadas, estas estructuras están sobre terrenos, por lo que se debe construir los cimientos respectivos para resistir los efectos de la misma.

Estas torres son diseñadas para alturas de hasta 60m y mantener cargas medianas o pesadas, lo cual las hace adecuadas para sitios celulares únicos o sitios multi-operador de uno o más sitios celulares.



**Figura 5.5.** Torre Monoposte.

Así, teniendo una idea clara de los tipos de torres que por lo general se utilizan en los radioenlaces, la torre a utilizar debe ser liviana y funcional, lo cual hace que la torre arriostrada sea la que mejor se adecue a las necesidades de este proyecto.

Además, como se expuso en la sección 5.1.4, le idea es que la altura de esta torre provea de un despeje de la señal de 10,06 m, y tomando en cuenta que este tipo de estructura el distribuidor la proporciona por tramos

de 3 m, la altura mínima sería de 12 m (4 tramos), cumpliendo así con lo establecido por la primera zona de Fresnel.

#### **5.1.6 Seguridad en el enlace.**

En cuanto al tema de la seguridad del enlace, tal como se mencionó en el marco teórico, el estándar dirigido a batir la vulnerabilidad en la seguridad para protocolos de autenticación y de decodificación, es el estándar de la IEEE 802.11i.

El estándar 802.11i se implementa en el protocolo de autenticación en la capa de enlace de datos, denominado Acceso Protegido Wi-Fi o WPA, mismo que fue creado específicamente para lidiar con los problemas de WEP, mismos que radican en el hecho de que la clave WEP se comparte entre todos los usuarios, y si la misma es comprometida (en conocimiento de un usuario ajeno), cambiar la contraseña puede ser extremadamente difícil, ya que todos los puntos de acceso y los dispositivos cliente deben cambiarla.

En este caso, WPA brinda un esquema de encriptación significativamente más fuerte, ya que puede utilizar alguna de estas opciones:

- Una clave privada compartida.
- Claves únicas asignadas a cada usuario.
- Un certificado SSL (proporciona comunicaciones seguras por una red) para autenticar el punto de acceso y el cliente.

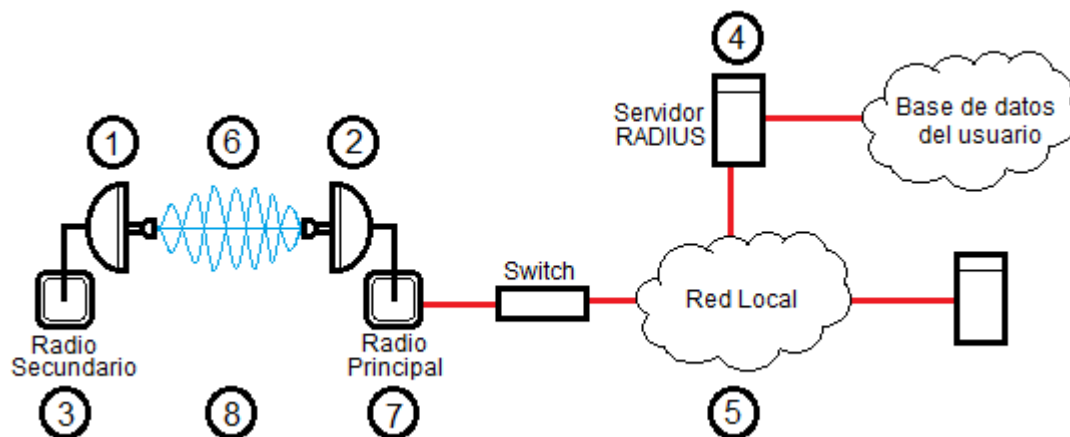
Mediante el uso de un Protocolo de Integridad Temporal de la Clave (TKIP), las claves se pueden rotar rápidamente, reduciendo la posibilidad de que una sesión en particular sea descifrada. En general, WPA provee una autenticación y privacidad significativamente mejor que el estándar WEP.

En cuanto al proceso bajo el cual trabaja TKIP, comienza con una clave temporal de 128 bits que se comparte entre los puntos de acceso y los clientes. Luego, combina dicha clave temporal con la dirección MAC del cliente. Así, se da paso al agregado de un vector de inicialización de 16 octetos (grupos de 8 bits), y de esta manera se produce la clave que cifrará los datos. Este procedimiento asegura que cada estación utilice diferentes tramas claves para cifrar los datos. El TKIP protege a los vectores de inicialización (IVs) débiles para que no sean expuestos haciendo particiones del IV por cada paquete.

TKIP realiza el cifrado, y cambia las claves temporales cada 10000 paquetes, lo cual proporciona un método de distribución dinámico, que mejora significativamente la seguridad de la red.

Específicamente, el equipo seleccionado cuenta con características importantes en cuanto a la seguridad, como autenticación IEEE 802.1X y encriptación TKIP. Además, para proporcionar seguridad y protección se puede implementar una gestión centralizada a través de un servidor RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service).

La forma en que se maneja la seguridad en el Aironet 1400 se ilustra en la siguiente figura, y se explica a continuación:



**Figura 5.6.** Manejo de la seguridad en Aironet 1400.

1. A la hora de intercambiar información entre el radio principal y el radio secundario, el radio secundario se asocia con el radio principal.
2. Luego el radio principal atiende la petición realizada por parte del radio secundario, para que este tenga acceso a la red local.
3. Así, el radio secundario proporciona las credenciales de inicio de sesión de autenticación.
4. Después, el servidor RADIUS se encarga de autenticar al radio secundario, y a su vez, el radio secundario autentica al servidor RADIUS.
5. El servidor RADIUS entrega una clave maestra de pares (PMK) al radio principal.
6. De esta manera, el radio principal y secundario intercambian mensajes para obtener la clave de encriptación.
7. El radio principal cifra la clave de encriptación de "broadcast" y se la entrega al radio secundario.
8. Finalmente, los radios activan la encriptación.

### **5.1.7 Protocolo de comunicación.**

Un tema sumamente importante a tratar como parte de la solución de este proyecto es lo referente al protocolo de comunicación a establecer en el sistema. La selección del protocolo apropiado da la oportunidad de que los equipos que conforman dicho sistema tengan la capacidad de poder comunicarse entre ellos.

El aspecto a tomar en cuenta a la hora de decidirse por un determinado protocolo de comunicación, es la función que el mismo deba cumplir. Para este proyecto en específico, el cometido en un futuro es poder controlar y monitorear remotamente las turbinas de la planta eólica.



Dentro de los protocolos que mejor se adecuan a dichas especificaciones está el DNP3 (Distributed Network Protocol, versión 3), puesto que es un protocolo industrial para comunicaciones entre equipos inteligentes (IED) y estaciones controladoras, así como con componentes de sistemas SCADA, que a pesar de los alcances de este trabajo no contemplan involucrarse con un SCADA, si se contempla la oportunidad de brindar algunas bases a partir de las cuales se le dé desarrollo al área de la adquisición de datos para su respectivo control.

DNP3 se diseñó para establecer comunicaciones fiables en medios y entornos desfavorables a los cuales los equipos de automatización del sector eléctrico suelen estar sometidos. Por ello, fue diseñado para superar las distorsiones producidas en las comunicaciones por parte de la inducción electromagnética, la antigüedad de los componentes, y medios de transmisión poco potentes.

Otro protocolo que se adecúa a las necesidades es Modbus, que es un protocolo de comunicaciones de gran uso en la industria debido a que brinda mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. Las razones por las cuales el uso de este protocolo es superior a otros son:

- Uso público.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

A lo anterior se le agrega la característica de permitir un control de una red de dispositivos y comunicar los datos con un ordenador. Además, al igual que el DNP3, se utiliza para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA). En este caso del protocolo Modbus, cuenta con versiones para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP).

Una variante o extensión de Modbus, es el protocolo Modbus TCP/IP que permite ser utilizado sobre la capa de transporte TCP/IP. En cuanto a las principales ventajas que este protocolo presenta para los instaladores o empresas de automatización, se pueden mencionar las siguientes:

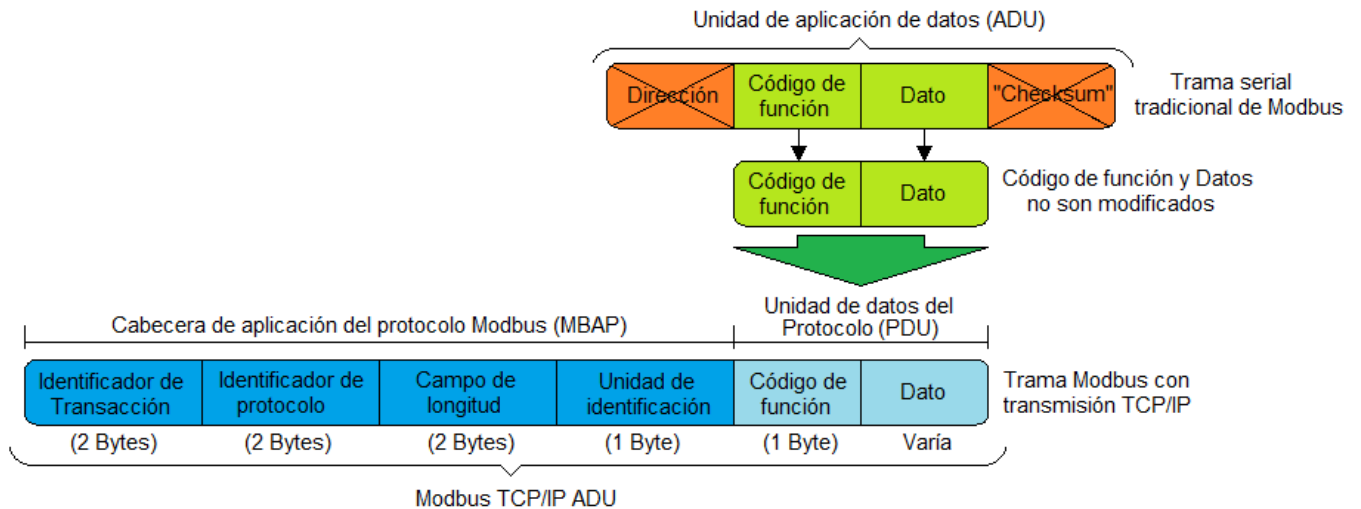
- Realización de reparaciones o mantenimiento remoto desde una oficina o estación utilizando una computadora, reduciendo así los costos y mejoramiento del servicio.
- Permitir mediante el empleo de las tecnologías de internet o intranet actualmente disponibles, realizar la gestión de sistemas distribuidos geográficamente.

Modbus TCP/IP se ha convertido en un estándar industrial ampliamente utilizado debido a su simplicidad, bajo costo, necesidades mínimas en cuanto a componentes de hardware, y sobre todo a que se trata de un protocolo abierto. Además, y quizá lo más importante para fines de este proyecto, Modbus TCP/IP se emplea para intercambiar información entre dispositivos, así como monitorizarlos y gestionarlos.

En síntesis, Modbus TCP/IP es una red abierta y accesible para el intercambio de datos de proceso, que resulta de la combinación de:

- Ethernet: red física versátil y escalable.
- TCP/IP: estándar universal de inter-redes.
- Modbus: representación de datos independiente del fabricante.

Modbus/TCP básicamente encapsula una trama Modbus dentro de una trama TCP en una manera simple como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 5.7.** Trama Modbus con transmisión TCP/IP.

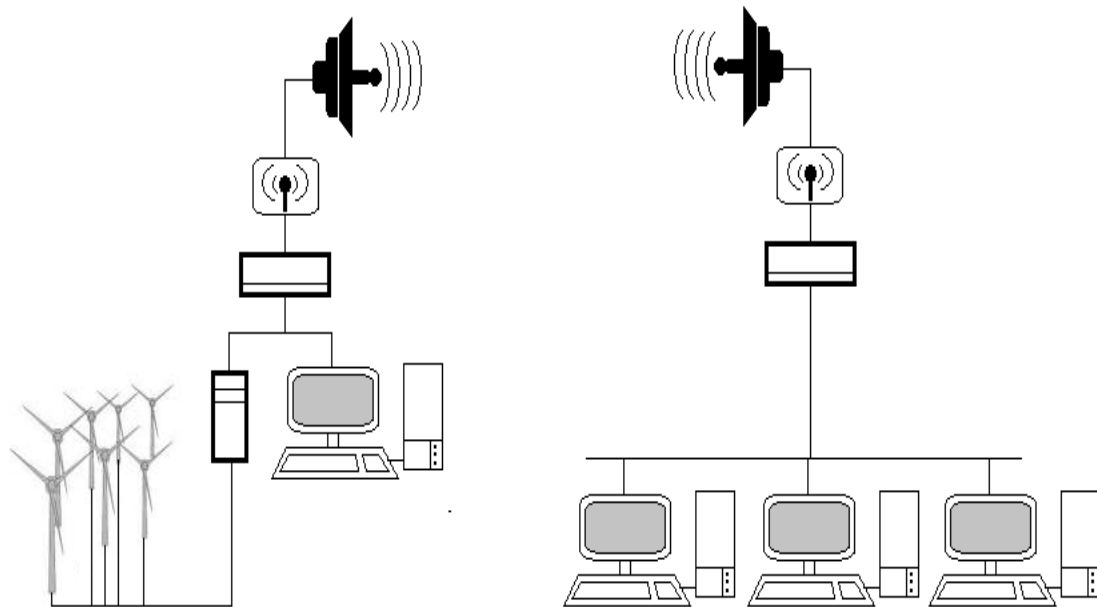
Tal como se muestra en la figura 5.7, el código de función y el dato son tomados en su forma original, de esta manera la unidad de aplicación de datos Modbus TCP/IP toma la forma de una cabecera de 7 bytes (conformados por identificador de transacción, identificador de protocolo, campo de longitud e identificador de unidad), y la unidad de datos del protocolo (código de función y datos). Los campos que componen la cabecera se explican a continuación:

- Identificador de transacción (2 Bytes): se utiliza para la operación de emparejamiento cuando varios mensajes son enviados a lo largo de la misma conexión TCP por parte de un cliente, sin la necesidad de esperar una respuesta antes.
- Identificador de protocolo (2 bytes): este campo siempre es 0 para los servicios de Modbus y otros valores se reservan para futuras ampliaciones.
- Campo de longitud (2 bytes): este campo es un número de bytes de los campos restantes incluye el byte identificador de la unidad, el byte del código de la función y los campos de datos.
- Identificador de la unidad (1 byte): este campo se utiliza para identificar un servidor remoto ubicado fuera de la red TCP/IP.

Es así como de acuerdo a lo expuesto se decide que Modbus TCP/IP sea el protocolo a utilizar para el enlace, puesto lo que se quiere proveer, es que en un futuro cuando el sistema sea implementado como tal, se tengan presentes las consideraciones a tomar en cuenta para el protocolo de comunicación, ya que este deberá cumplir con la tarea de permitir el control y monitoreo remoto de la planta eólica.

### 5.1.8 Presupuesto de enlace.

El concepto sobre el cual se analiza la viabilidad de un enlace inalámbrico, en este caso un radioenlace, es mediante el cálculo del presupuesto del enlace, donde se toman en cuenta varios aspectos que intervienen en la trayectoria de comunicación, tales como la potencia de transmisión, ganancia de las antenas, pérdidas en los cables, pérdidas en el espacio libre, potencia de sensibilidad, entre otros, los cuales son tratados a continuación, en la forma en que intervienen en el diseño del enlace desarrollado.



**Figura 5.8.** Esquema general del radioenlace, y para lo que se quiere desarrollar.

#### **5.1.8.1 Potencia de transmisión.**

Para poder determinar la potencia de transmisión con la que debe operar el equipo de comunicación, primero hay que tener en cuenta y definir la frecuencia de operación del sistema. Esto se debe a que el ente regulador en el país, el MINAET, a través del decreto ejecutivo N° 35.257-MINAET, Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), estipula las normas que se deben tener en cuenta para poder montar un radioenlace.

Tal como se mencionó en el apartado dedicado a la explicación del espectro de frecuencia inalámbrica, se decide dirigir la asignación de la banda de frecuencia dentro de los grupos que se consideran de uso libre. Aclarado este aspecto, queda por poner atención a las regulaciones dadas por el PNAF.

Partiendo del hecho que el enlace se desarrollará sobre la banda de frecuencia de los 5 GHz, específicamente, las frecuencias comprendidas entre los 5725 y 5850 MHz, el valor máximo de la potencia de transmisión que se permite utilizar es de 30 dBm(1000 mW). Haciendo referencia a la tabla 5.3, se puede apreciar que el equipo de comunicación cumple con la normativa nacional al utilizar como máximo de potencia de transmisión 24 dBm (250 mW).

#### **5.1.8.2 Pérdidas por propagación en el espacio libre (FSL).**

Al igual que la seguridad del enlace, las pérdidas por propagación en el espacio libre y otros tipos de pérdidas, son temas que deben ser tomados con mucha atención y delicadeza, puesto que el buen tratamiento de ellos representa gran parte de la viabilidad y fiabilidad del enlace.

Para obtener el valor numérico de las pérdidas por propagación en el espacio libre, se recurre al uso de los valores de la distancia de separación en línea vista entre la subestación de la CNFL en Lindora, y el Parque Eólico Valle Central, así como la frecuencia de operación. Para este caso la frecuencia corresponde a 5800 MHz y la distancia es de 7,82 Km (ver tabla5.1).

$$\begin{aligned} \text{FSL} &= 32,44 + 20\log(f) + 20\log(d) \\ \text{FSL} &= 32,44 + 20\log(5800) + 20\log(7,82) \\ \text{FSL} &= 125,57\text{dBm} \end{aligned}$$

### 5.1.8.3 Pérdidas por gases en la atmósfera.

Para el cálculo de este parámetro, se utiliza la ecuación3.8:

$$A_G = d(\gamma_O + \gamma_W) \text{ [dB]}$$

Dónde:

$A_G$ : atenuación total por debido a los gases.

$\gamma_O$ : absorción específica debida a los efectos del oxígeno.

$\gamma_W$ : absorción específica debida a los efectos del vapor de agua.

$d$ : distancia del enlace.

Sin embargo, la suma de las absorciones específicas puede ser representada por la ecuación 3.9. Además, con la ayuda de la figura 3.8 se conoce que el valor de este parámetro depende de la frecuencia, temperatura y humedad en la atmósfera, a la vez que permite obtener de manera gráfica y sencilla el valor de la atenuación total específica por gases.

Si seguimos tomado una frecuencia de operación de 5,8 GHz, mediante la figura 3.8, el valor de  $\gamma_G$  es 0,007 dB/Km. De esta manera utilizando una distancia de 7,82 Km, el resultado de la ecuación 3.8 es:

$$A_G = d (\gamma_O + \gamma_W) = d\gamma_G$$

$$A_G = (7,82)(0,007)$$

$$A_G = 0,0547 \text{ dB}$$

#### 5.1.8.4 Pérdidas por precipitaciones.

Para el cálculo de este parámetro, se utiliza la ecuación 3.10:

$$A_R = d_{\text{eff}}\gamma_R \text{ [dB]}$$

Dónde:

$A_R$ : atenuación total debida a la precipitación [dB]

$d_{\text{eff}}$ : distancia efectiva del enlace [Km]

$\gamma_R$ : atenuación específica debida a la lluvia [dB/Km]

Para obtener el valor numérico de este dato, es necesaria la utilización de las ecuaciones 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16, y la información presente en las figuras 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12.

Puesto que la atenuación específica debida a la lluvia (ecuación 3.11) depende del tipo de polarización con el que contará la antena, se realizan los cálculos tanto para polarización vertical como horizontal, a fin de tener como respaldo un valor numérico en la escogencia de éste parámetro presente en las antenas.

Como se muestra en las ecuaciones 3.12 y 3.13, los valores de los coeficientes  $\alpha$  y  $k$  a partir de cálculos matemáticos, sin embargo, las figuras 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 presentan una forma más asequible para la obtención de estos parámetros, los cuales dependen de la frecuencia de operación del radioenlace.

Así, obteniendo los datos gráficamente, se tienen los siguientes valores a 5,8 GHz:

$$k_H = 0,0005 \text{ dB}$$

$$\alpha_H = 1,64 \text{ dB}$$

$$k_V = 0,0004 \text{ dB}$$

$$\alpha_V = 1,6 \text{ dB}$$

En cuanto al valor de R (intensidad de lluvia), se obtiene a partir de anexo B.2, y tomando como nivel de referencia al 0,01%, entonces  $R = 145$ . Así:

$$\gamma_{RH} = 1,75 \text{ dB}$$

$$\gamma_{RV} = 1,15 \text{ dB}$$

Lo que resta calcular ahora es el valor de la distancia efectiva del enlace, para lo cual se utilizan las ecuaciones 3.14, 3.15 y 3.16, de modo que:

$$d_0 = 3,98 \text{ Km}$$

$$r = 0,337$$

$$d_{\text{eff}} = dr = (7,82)(0,337)$$

$$d_{\text{eff}} = 2,64 \text{ Km}$$

De esta manera, la atenuación total debida a la precipitación es:

$$A_{RH} = (2,64)(1,75) = 4,62 \text{ dB}$$

$$A_{RV} = (2,64)(1,15) = 3,04 \text{ dB}$$

#### **5.1.8.5 Pérdidas en cables y conectores.**

Para este caso, lo que se pretende es buscar un tipo de cable y conector tal que las pérdidas causadas por los mismos sea la menor posible. Para el cable se toman en cuenta aspectos como el largo y la calidad frente a la



cantidad de pérdidas presentes por cada metro. Como se mencionó en el marco teórico, la idea es trabajar con un cable que sea relativamente corto, sin embargo también se le puede apostar a la calidad del mismo.

Para tal propósito, se estudian varias opciones presentes en el mercado con el fin de evaluar cuál es el más adecuado tanto en su funcionalidad como en el aspecto presupuestal.

Sin embargo, a pesar de que en el mercado existen una gran variedad de cables que se ajustan a las necesidades de este proyecto, dentro de los implementos con los que cuentan los dispositivos de comunicación seleccionados, se brinda el cable apropiado para el sistema, puesto que tiene el largo y calidad necesaria para asegurar un enlace de buena calidad.

De primer plano, el cable cuenta con una serie de características importantes que lo hacen ser un implemento de calidad, en donde su alta rigidez se convierte en un indicio para pensar que es de alta calidad.

No obstante, a manera de tener una referencia más técnica acerca de sus características tanto físicas como eléctricas, se presenta la información correspondiente en las siguientes tablas.

**Tabla 5.4.** Características físicas del cable.

Característica	Valor
Tipo RG	8/U
Tipo de Serie	RF 400
AWG	10
Trenzado	Sólido
Diámetro conductor	0,108"
Material conductor	BCCA (cobre descubierto con revestimiento de aluminio)

**Tabla 5.5.** Características eléctricas del cable.

Característica	Valor
Impedancia	50 Ω
Inductancia	0,196 μH/m
Capacitancia	75,463 pF/m
Velocidad de propagación	86%
Retraso	3,838 ns/m
Resistencia del conductor a 20° C	0,0044 Ω/m
Resistencia de la capa exterior	0,0092 Ω/m
Máxima atenuación a 5,8 GHz	0,394 dB/m

De esta manera, se puede obtener la cantidad total de atenuación presente para cada estación, tomando en cuenta el efecto causado por los conectores tipo N y el cable a ubicar entre la antena y el radio.

**Tabla 5.6.** Pérdidas debidas al cable y conectores.

Sitio	Longitud del cable [m]	Atenuación [dB]
EVCSA	1,6	0,64
CNFL-Lindora	1,6	0,64

#### 5.1.8.6 Margen de desvanecimiento.

Para el cálculo de este tipo de pérdida, se utiliza la ecuación 3.17:

$$M = 30\log(d) + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70[\text{dB}]$$

Dónde:

M: margen de desvanecimiento [dB].

d: distancia del enlace [Km].

A: factor de rugosidad

= 4: sobre agua o sobre terreno muy lizo.

= 1: sobre terreno promedio.

= 0,25: sobre un terreno áspero y montañoso.

B: factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual.

= 1: para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual.

= 0,5: para áreas calientes y húmedas.

= 0,25: para áreas continentales promedio.

= 0,125: para áreas muy secas o montañosas.

f: frecuencia de operación del enlace [GHz].

1 – R: objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 Km en un sentido.

R: confiabilidad en un tanto por uno (es decir 99,99% = 0,9999 de confiabilidad).

De esta manera lo que resta en este caso es la asignación numérica de las variables que intervienen en el cálculo. Para tal fin, es necesario tomar en cuenta aspectos físicos de los sitios, así como que tan confiable se desea que sea este parámetro.

Para el caso de la variable A, debido a que la estación del EVCSA se encuentra en un sector montañoso se le asigna el valor de 0,25, mientras que para el lugar donde se ubica la sub-estación de la CNFL, es un terreno dentro de la categoría promedio, puesto que no es un terreno ni lizo ni montañoso, por lo tanto, A asume el valor de 1.

La variable B sin duda alguna asume el valor de 0,125 para el sitio donde se ubica la planta eólica, mientras que para Lindora, por su posición geográfica, el valor es 0,25.

Con respecto a la variable R, se desea obtener un valor confiable, por lo tanto, a R se le asume un valor de 0,9999.

Así, dadas las acotaciones del caso, se procede con el cálculo respectivo para el punto donde se ubica el EVCSA:

$$M = 30\log(7,82) + 10\log(6 \cdot 0,25 \cdot 0,125 \cdot 5,8) - 10\log(1 - 0,9999) - 70$$

$$M = -2,839 \text{ dB}$$

De igual manera, para el sitio donde se ubica la sub-estación de la CNFL:

$$M = 30\log(7,82) + 10\log(6 \cdot 0,25 \cdot 0,25 \cdot 5,8) - 10\log(1 - 0,9999) - 70$$

$$M = 6,191 \text{ dB}$$

### 5.1.8.7 Ganancias en las antenas.

En cuanto a lo relacionado con las ganancias de las antenas, primero se debe decidir qué tipo de antena es la seleccionada para el enlace, lo cual no resulta complicado puesto que en el apartado donde se trata el tema de los dispositivos de comunicación, dentro de las restricciones para poder brindar un enlace a larga distancia, se especifica que es necesario el uso de una antena tipo plato, como la que se muestra en la figura 5.9. Este tipo de antena cuenta con la facilidad de propagar la señal en un punto específico, lo cual la hace ideal para el tipo de enlace bajo estudio.

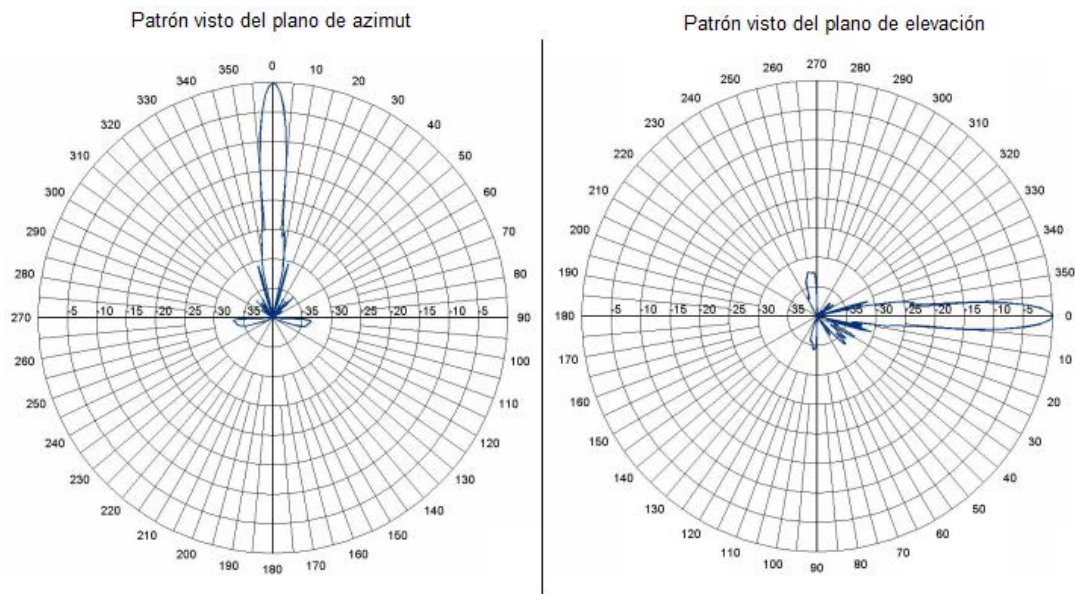


**Figura 5.9.** Antena tipo plato.

El modelo específico de la antena casi que está dado desde el momento en que se decide por cual modelo de radio es el seleccionado (ver apartado

5.1.3), puesto que para lograr los alcances de transmisión, se deberá contar con una antena de 28 dBi de ganancia, misma que Cisco pone a disposición dentro de su gran gama de productos, por lo tanto se escoge el modelo de antena *AIR-ANT58G28SDA-N*, por tres razones, la primera es que cuenta con la ganancia necesaria, segundo, su patrón de onda, y tercero, para procurar cumplir con las restricciones dadas por el usuario final.

En cuanto a su patrón de onda, cuenta con la característica que este irradia la mayor cantidad de una señal en una sola dirección, permitiendo tener un mejor control de la transmisión y así llegar a un receptor ubicado a larga distancia.



**Figura 5.10.** Patrón de onda para la antena tipo plato.

Este tipo de antena se utilizará tanto en la estación de la EVCSA, así como en la sub-estación de CNFL, por lo que en ambos lugares se contará con una ganancia de 28 dBi para las antenas.

### 5.1.8.8 Cálculo del presupuesto de enlace y ganancia del sistema.

Gracias a la explicación dada en los apartados anteriores, en este punto se ya se cuenta con todos los parámetros a tomar en cuenta para proceder con el cálculo matemático del presupuesto de enlace, el cual se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{RX} = P_{TX} - FSL - A_G - A_R - L_{CT} - L_{CR} - M + G_{AT} + G_{AR} \text{ [dBm]}$$

Dónde:

$P_{RX}$ : potencia de recepción [dBm].

$P_{TX}$ : potencia de transmisión [dBm].

FSL: pérdidas por propagación en el espacio libre [dB].

$A_G$ : atenuación total debida a gases [dB].

$A_R$ : atenuación total debida a precipitaciones [dB].

$L_{CT}$ : pérdidas en cable en el transmisor [dB].

$L_{CR}$ : pérdidas en cable en el receptor [dB].

M: margen de desvanecimiento [dB].

$G_{AT}$ : ganancia de la antena en el transmisor [dBi].

$G_{AR}$ : ganancia de la antena en el receptor [dBi].

Ahora, sustituyendo por los valores obtenidos anteriormente, se realiza el cálculo para ambos sitios, y para ambas polarizaciones de la antena. Así, situados en el EVCSA y utilizando la antena con polarización vertical, se obtiene:

$$P_{RX} = 24 - 125,13 - 0,0547 - 3,04 - 0,64 - 0,64 + 2,84 + 28 + 28$$

$$P_{RX} = -46,67 \text{ dBm}$$

Mientras que para cuando la antena utiliza polarización horizontal, se obtiene:

$$P_{RX} = 24 - 125,13 - 0,0547 - 4,62 - 0,64 - 0,64 + 2,84 + 28 + 28$$

$$P_{RX} = -46,25\text{dBm}$$

Ahora, situados en la sub-estación de la CNFL, y utilizando polarización vertical en la antena, se obtiene:

$$P_{RX} = 24 - 125,13 - 0,0547 - 3,04 - 0,64 - 0,64 - 6,19 + 28 + 28$$

$$P_{RX} = -55,70\text{dBm}$$

De igual manera, pero ahora utilizando polarización horizontal en la antena:

$$P_{RX} = 24 - 125,13 - 0,0547 - 4,62 - 0,64 - 0,64 - 6,19 + 28 + 28$$

$$P_{RX} = -57,28\text{dBm}$$

Con este cálculo, la condición que se busca cumplir es que el valor de la potencia de recepción ( $P_{RX}$ ) sea mayor al valor de la sensibilidad del receptor ( $P_{SEN}$ ), que en este caso es de  $-70\text{dBm}$  (@ 54 Mbps). El cumplimiento de dicha condición establece la viabilidad del enlace

Sin embargo a pesar de la viabilidad del enlace, tal como se explicó en el marco teórico, la ganancia del sistema es el parámetro que indica la confiabilidad del enlace en la etapa de diseño, y se puede obtener matemáticamente de la siguiente manera:

$$G_S = P_{TX} - P_{SEN} \geq FSL + A_{OBST} + A_G + A_R + L_{CT} + L_{CR} + M - G_{AT} - G_{AR}$$

Dónde:

$G_S$ : ganancia del sistema [dB].

Así, haciendo un cálculo similar al del presupuesto de enlace, se toman en cuenta el sitio y la polarización de la antena. Entonces, utilizando la antena con polarización vertical en el EVCSA:

$$G_S = 24+70 \geq 125,13 + 0,0547 + 3,04+ 0,64 + 0,64 - 2,84 - 28 - 28$$
$$G_S = 94 \geq 70,67 \text{ [dB]}$$

Mientras que utilizando la antena con polarización horizontal:

$$G_S = 24+70 \geq 125,13 + 0,0547 + 4,62+ 0,64 + 0,64 - 2,84 - 28 - 28$$
$$G_S = 94 \geq 72,25 \text{ [dB]}$$

De igual manera, utilizando la antena con polarización vertical en la sub-estación de la CNFL:

$$G_S = 24+70 \geq 125,13 + 0,0547 + 3,04+ 0,64 + 0,64+ 6,19- 28 - 28$$
$$G_S = 94 \geq 79,70 \text{ [dB]}$$

Ahora, con polarización horizontal:

$$G_S = 24+70 \geq 125,13 + 0,0547 + 4,62 + 0,64 + 0,64+ 6,19 - 28 - 28$$
$$G_S = 94 \geq 81,28 \text{ [dB]}$$

Basados en los resultados anteriores, se asegura que el diseño aparte de asegurar la viabilidad, asegura confiabilidad, no obstante, este tema será tratado con más profundidad en la parte de resultados y análisis de este documento.



## 5.2 Descripción del hardware.

Puesto que el alcance de este proyecto es realizar un estudio y a partir de ello determinar el equipo de comunicaciones que mejor se adecue a las necesidades, en esta sección se mencionarán los elementos que conforma el Cisco Aironet 1400 y sus funciones, no obstante, en la parte de anexos, propiamente en el manual de usuario, se podrá encontrar información más detallada al respecto.

Los principales elementos que conforman el equipo de comunicaciones Cisco Aironet 1400 son:

- Inyector de corriente LR.



Figura 5.11. Inyector de corriente LR.

- Radio.



Figura 5.12. Radio.

- Antena.



**Figura 5.13.** Antena tipo plato.

- Dos cables coaxiales dobles (6,1 y 15,2 m de longitud) con conectores tipo F, para energizar y comunicar al radio.



**Figura 5.14.** Cables coaxiales dobles con conectores tipo F.

- Un cable coaxial (1,6 m de longitud) con conectores tipo N.



**Figura 5.15.** Cable coaxial con conectores tipo N.

- Bloque para puesta a tierra de cables coaxiales dobles.



**Figura 5.16.** Bloque para puesta a tierra.

De los elementos mencionados, resulta fácil tener una idea de la función que cumple cada uno de ellos, a excepción del inyector de corriente LR. Específicamente, este dispositivo (con la ayuda de los cables coaxiales dobles), cuenta con dos funciones:

- Convertir del estándar 10/100BaseT con interfaz cable Ethernet UTP categoría 5 (conveniente para áreas protegidas del clima) con conector RJ-45, a una interfaz de cable Ethernet coaxial (adecuado para entornos exteriores hostiles) con conectores de tipo F. En otras palabras, proporcionar un estándar 10/100BaseT al radio mediante interfaz coaxial.
- Proporcionar energía al radio sobre los mismos cables coaxiales dobles. Esto es posible gracias a que el inyector de corriente LR cuenta con Auto-MDIX integrado, lo cual permite que los cables coaxiales dobles al ser conectados en un orden diferente, se intercambien internamente en el dispositivo y mantengan la misma funcionalidad (uno para energizar el radio, y otro para comunicación Ethernet).

Si se desea emplear cables de una mayor longitud a los provistos por Cisco, el inyector de corriente puede llegar a soportar entre la infraestructura de red (switch, router, etc) y el inyector (ver figura 5.17), una distancia máxima de 100 m de cable UTP categoría 5 (solo para interiores),

y de otros 100 m como máximo, entre el inyector y el radio (ver figura 5.18), mediante cable coaxial, lo que provocaría contar con una distancia máxima entre la infraestructura de red del edificio y el radio, de 200 m.



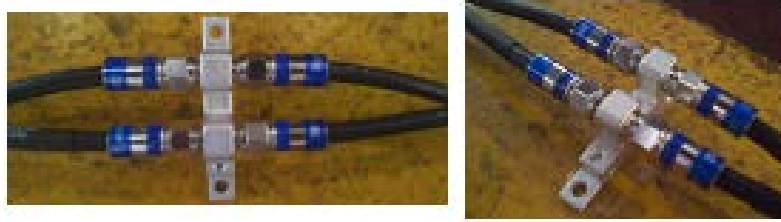
**Figura 5.17.** Conexión de cable UTP categoría 5 entre Inyector de corriente y el switch.



**Figura 5.18.** Conexión de cables coaxiales dobles con conectores tipo F entre radio y el inyector de corriente.

También se incluye para la interfaz del conector tipo F, protección contra rayos y sobretensiones (ver figura 5.16), con el fin de brindar protección adicional a los dispositivos de la infraestructura de red. De hecho, los cables coaxiales dobles de 6,1 y 15,2 m de longitud se asocian mediante el bloque para puesta a tierra, como se muestra en la figura 5.19. Estos cables se

ubican entre el inyector de corriente y el radio, como se muestra en la figura 5.18.



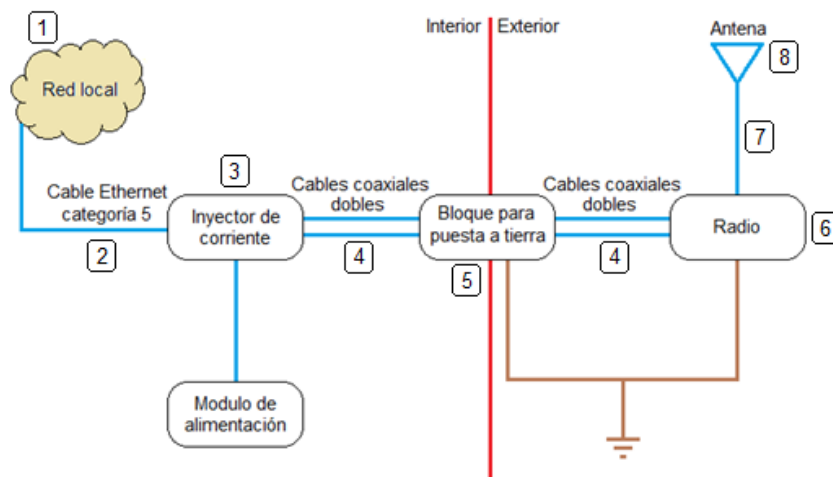
**Figura 5.19.** Asociación de cables coaxiales dobles mediante bloque para puesta a tierra.

Por otra parte, el cable coaxial de 1,6 m de longitud con conectores de tipo N se ubica entre el radio y la antena, como se muestra en la figura 5.20.



**Figura 5.20.** Conexión de cable coaxial con conectores tipo N.

En síntesis, la conexión del sistema debe seguir el siguiente esquema:



**Figura 5.21.** Diagrama de conexión del sistema.

De esta manera, y siguiendo la enumeración empleada en la figura 5.21, el sistema implementado se muestra en la figura 5.22.

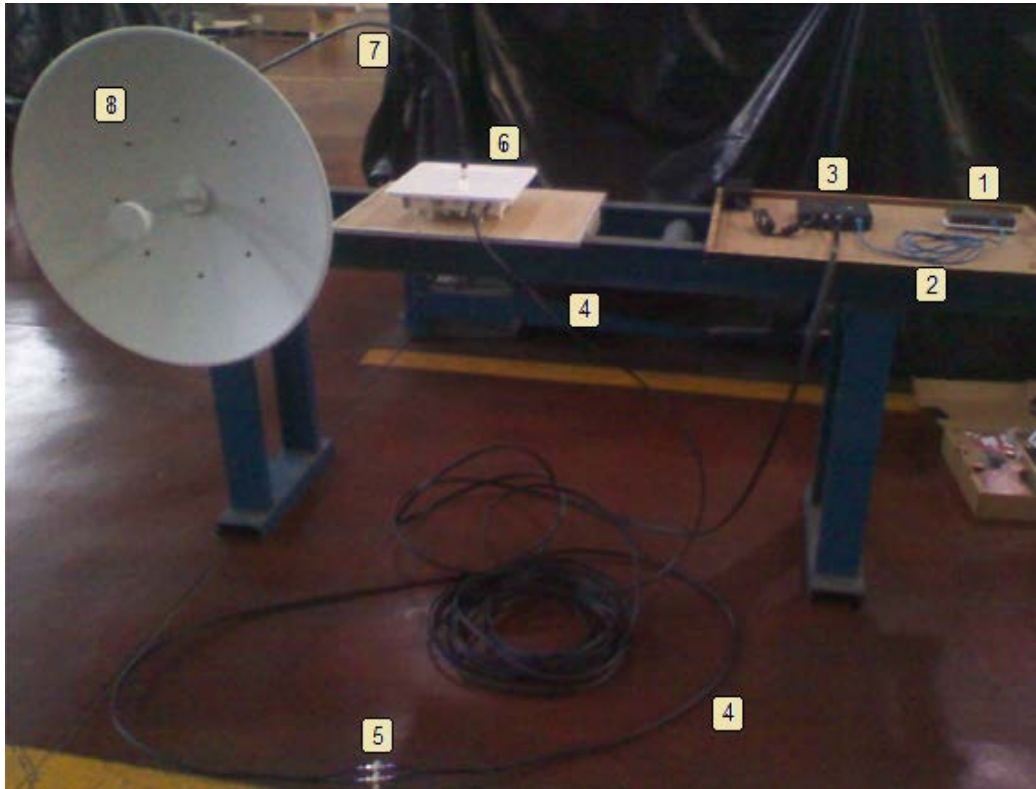


Figura 5.22. Implementación del sistema.

### 5.3 Descripción del software.

Una etapa fundamental para verificar la viabilidad del desarrollo del enlace, tomando en cuenta el equipo y las características geográficas de las zonas, es recurrir al uso de herramientas de software que permitan simular el sistema.

El programa utilizado en este proyecto se llama *Radio Mobile*, que es un software de libre distribución para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia de transmisión,

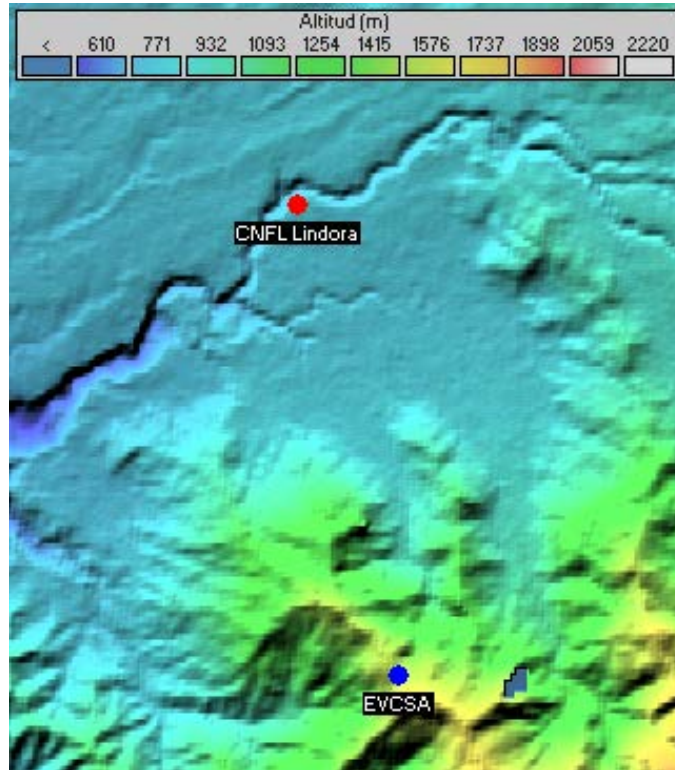
sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) que quieren simularse.

Este software implementa un modelo de predicción troposférica para transmisión de radio sobre terreno irregular en enlaces de medio o largo alcance, además de tener múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones. Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación para la que estarán destinados.

*Radio Mobile* utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas fue realizada directamente desde la descarga de unos tipos de mapas disponibles con formato SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), los cuales son el producto de una misión por obtener una completa base de cartas topográficas digitales de alta resolución de la Tierra. Dicha misión fue realizada entre la NGA y la NASA.

Como toda herramienta de software, al programa se le debe ingresar la información necesaria para ejercer su tarea. Específicamente, las coordenadas geográficas de los sitios (dadas en la tabla 5.1), así como parámetros como el rango de frecuencias (5725 a 5875 MHz), potencia de transmisión (24 dBm), sensibilidad del receptor (-70 dBm), pérdidas en el cable (0,4 dB), tipo de antena (tipo plato), ganancia de la antena (28 dBi), polarización de la antena (polarización vertical), y altura a la cual ubicar la antena (12 m).

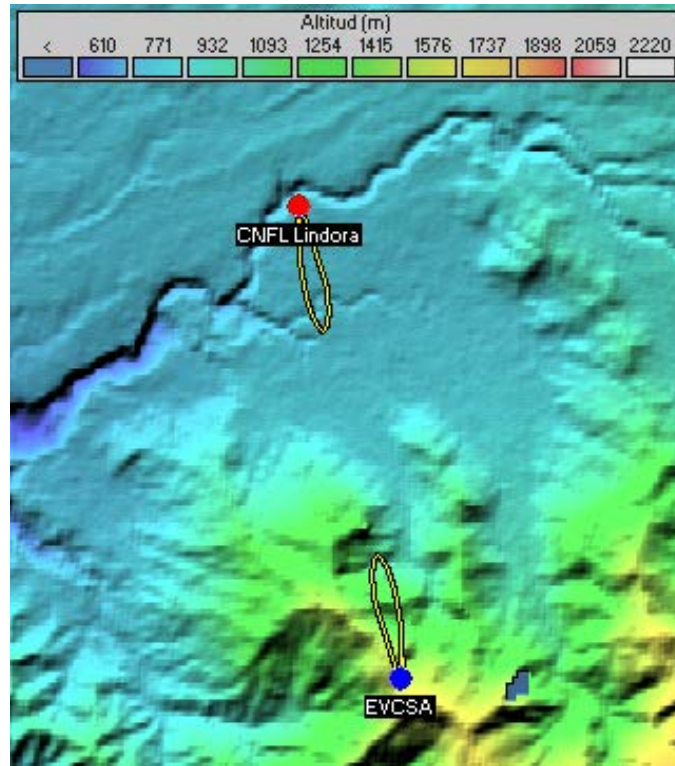
De esta manera, solo resta que el programa haga su trabajo. Para fines de dar una idea clara de cómo funciona la herramienta, primero se presenta una imagen de la ubicación de los puntos en un mapa de formato SRTM.



**Figura 5.23.** Ubicación de los sitios con Radio Mobile.

Además de ubicar los puntos y de ingresar los datos antes mencionados, es necesario asociar las antenas, es decir, hacia que punto debe apuntar la antena de cada sitio, para lo cual, dentro de los parámetros a ingresar está este proceso. Al final, el mismo software ilustra este proceso mediante el patrón de onda de la antena, tal como se muestra en la siguiente figura.





**Figura 5.24.** Alineación de las antenas con Radio Mobile.

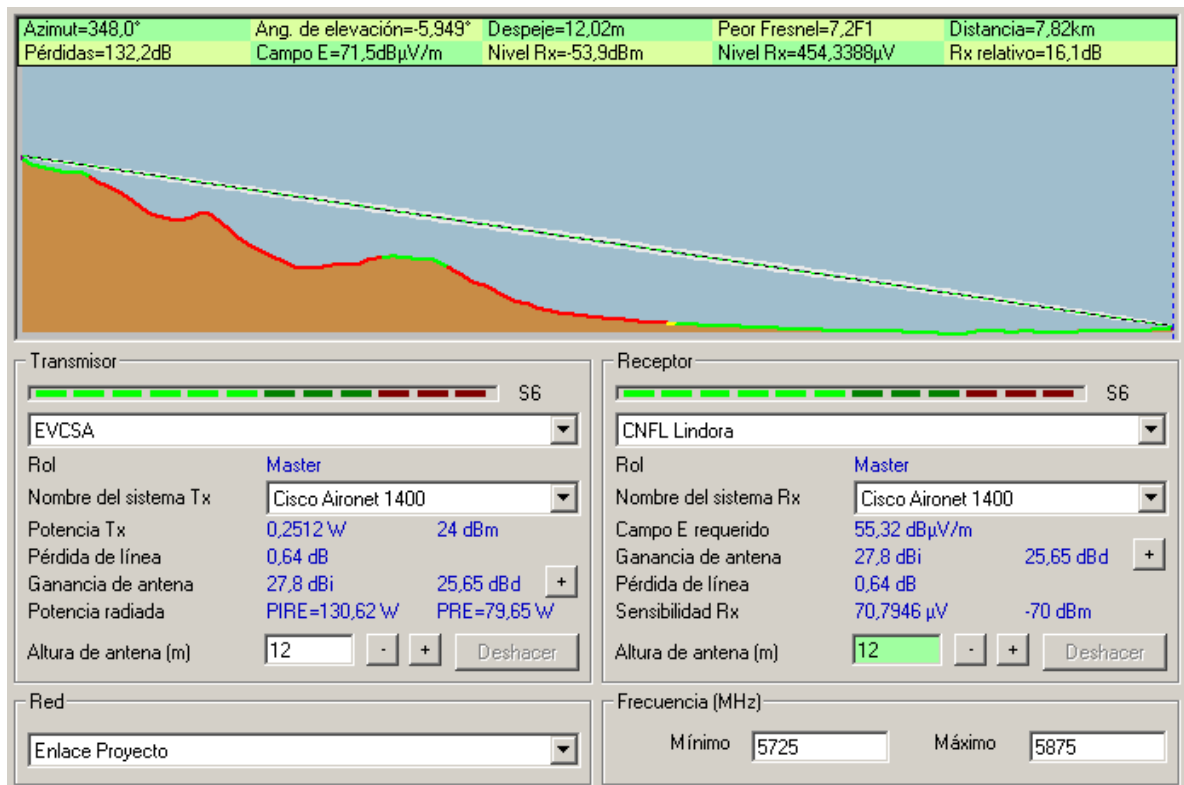
De esta manera, lo que queda por mostrar es la imagen del radioenlace simulado, sin embargo, debe tenerse en cuenta ciertos datos presentes para sacar el mayor provecho de la herramienta.

El resultado de la simulación es obtenido a partir de uno de los dos puntos en estudio, por lo que los datos que se presentan son en base a dicha condición. Por tal motivo, se presentarán dos resultados, uno obtenido en base a la estación EVCSA, y el otro en base a la CNFL Lindora.

Dentro de los datos brindados por la simulación, en la fila superior se presentan resultados tales como:

- Ángulo de elevación y azimut con el que está orientada la antena.
- Despeje de la señal en el otro extremo del enlace

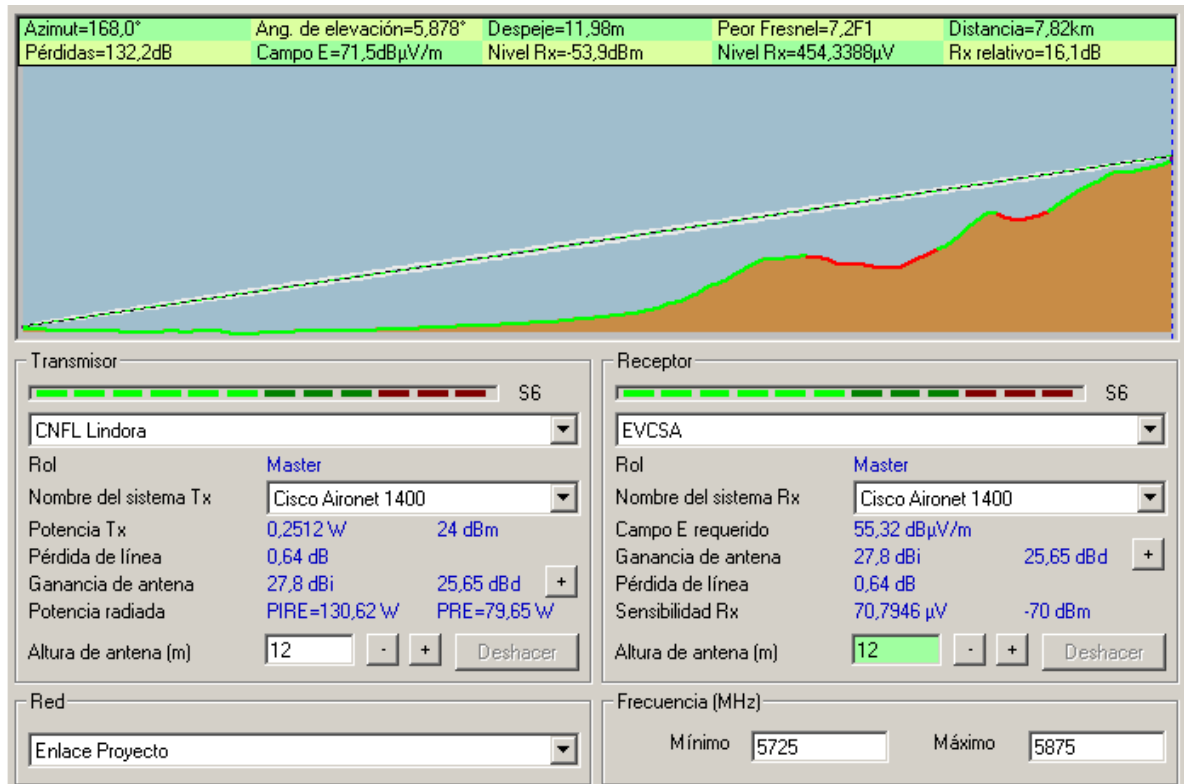
- Peor despeje de la primera zona de Fresnel obtenido a lo largo del enlace.
- Distancia de separación entre los sitios.
- Pérdidas (involucra todas las clases de pérdidas).
- *Nivel Rx*: potencia de recepción obtenida
- *Rx Relativo*: valor de margen respecto a la sensibilidad del receptor con que llega la potencia de la señal recibida.



**Figura 5.25.** Simulación del enlace respecto a sub-estación EVCSA.

Tal como se aprecia en la figura anterior, la simulación también brinda el perfil topográfico del enlace. Además, se muestran los parámetros con los que se configuraron los sistemas.

De forma complementaria, y tomando en cuenta la consideración que el software simula con respecto a un punto, se muestra a continuación el resultado obtenido en base al otro sitio.



**Figura 5.26.** Simulación del enlace respecto a sub-estación CNFL Lindora.

No obstante, *Radio Mobile* cuenta con una opción para mostrar los resultados de la simulación del enlace de una manera más adecuada, ya que permite apreciar información muy puntual acerca de:

- Nombre de los sitios.
- Altura sobre de mar para los sitios.
- Altura desde el suelo a la que se ubica la antena.
- Distancia de separación entre los sitios.
- Índice de refracción (1,333 para Costa Rica).
- Frecuencia central del rango de frecuencias (misma cifra que se utilizó para los cálculos antes mostrados en este informe).
- Pérdidas en el espacio libre (a diferencia del dato de pérdidas presentadas en la pantalla anterior, la cifra de esta pantalla no incluye pérdidas adicionales debidas a cables, precipitaciones, gases, entre otras).

Gráficamente se puede apreciar mejor la cobertura de las zonas de Fresnel, en especial el 66 o 100% de la primera zona, según se seleccione. Para este caso como se muestra en las siguientes dos figuras, se decidió mostrar la zona comprendida por el 100% de la primera zona de Fresnel (línea negra alrededor de la línea azul que representa la línea vista).

Abonado a esto, se muestra un pequeño recuadro que muestra la ubicación del punto donde se presenta el peor Fresnel, es decir, el punto donde se da la mayor cantidad obstrucción de las zonas de Fresnel

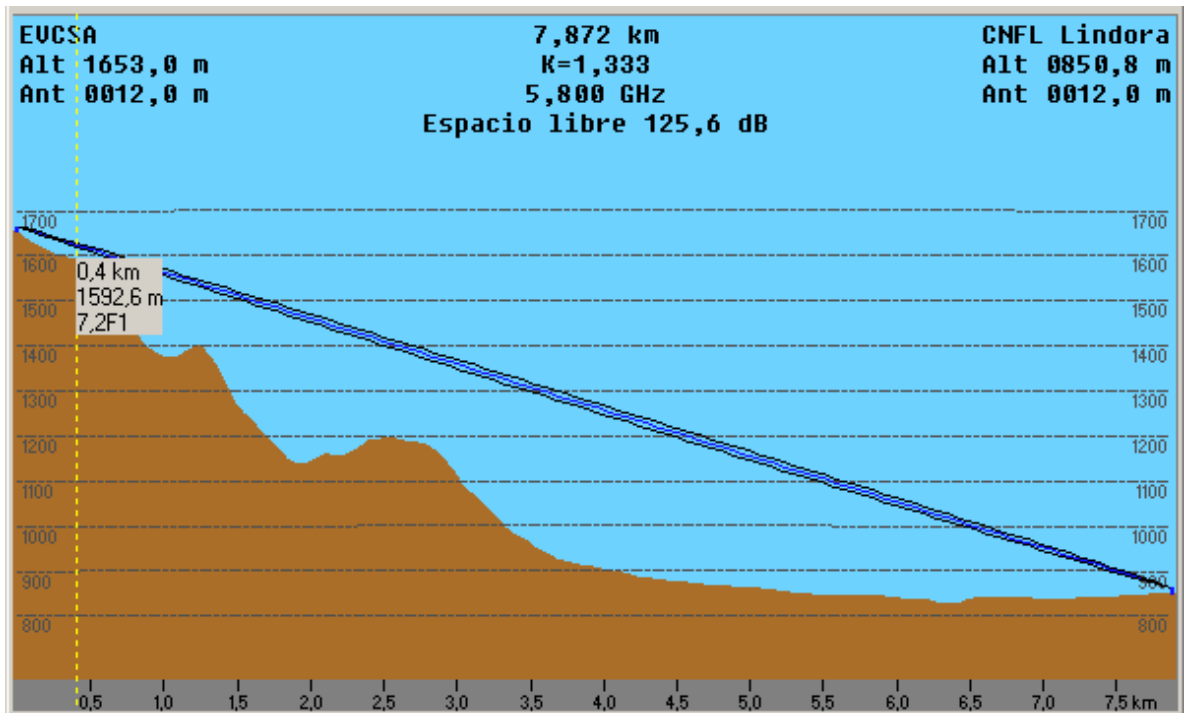
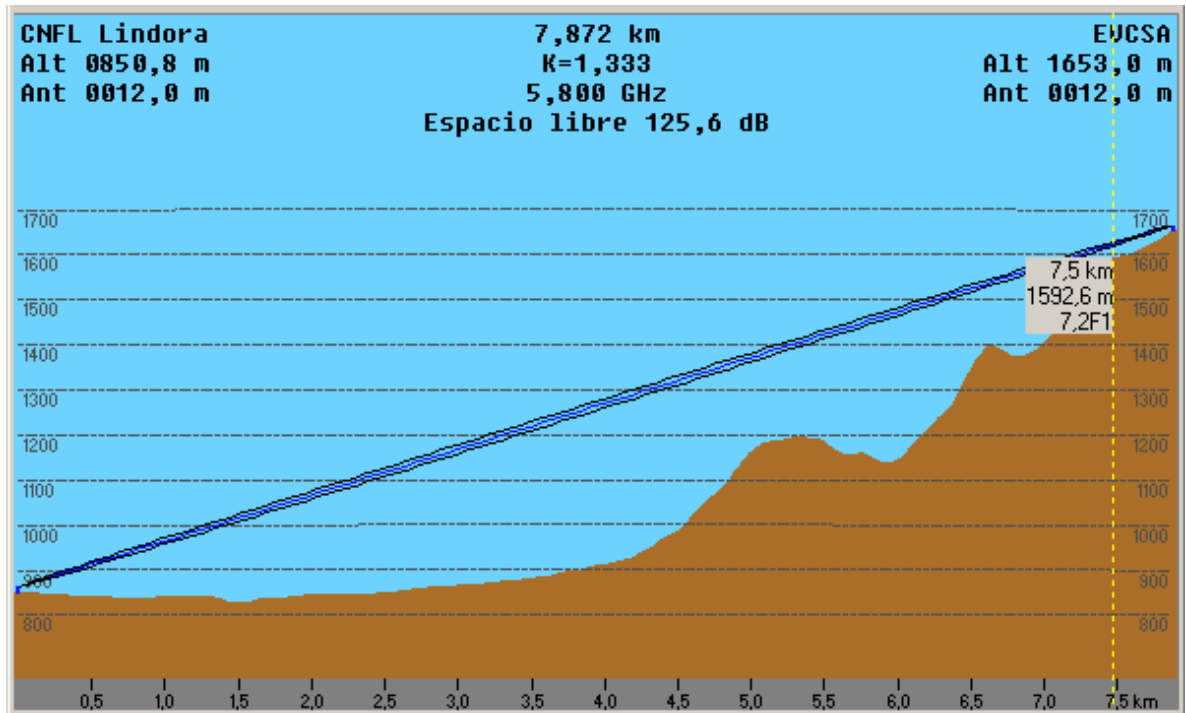


Figura 5.27. Resultado de simulación sentido EVCSA - CNFL Lindora.



**Figura 5.28.** Resultado de simulación sentido CNFL Lindora - EVCSA

De esta manera se puede apreciar de una forma muy clara el enlace en tratamiento, lo cual complementa lo que se ha obtenido mediante los cálculos matemáticos, y a partir de todo esto, se verifica y confirma la viabilidad del enlace.

## Capítulo 6: Análisis de Resultados.

---

### 6.1 Resultados.

A pesar que los fines de esta sección es presentar los resultados obtenidos en este proyecto, como se ha podido observar, muchos de ellos ya han sido mostrados en la sección referente a la solución dada en el proyecto, sin embargo por cuestiones meramente de orden y de contar con una sección que trate este tema en específico, se presentan las siguientes tablas con los resultados obtenidos, ya sean de tipo investigación o matemático.

En cuanto a la ubicación de los puntos, se hace uso de equipo de posicionamiento global para obtener las coordenadas correspondientes a los lugares a ubicar las torres respectivas.

**Tabla 6.1.**Datos geográficos de las estaciones.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Separación en línea vista [Km]
Sub-estación CNFL Lindora	9° 57' 38,2" N	84° 12' 44,4" O	849,8	7,82
EVCSA	9° 53' 30,5" N	84° 11' 51,0" O	1654	

Por otra parte, en cuanto al rango de frecuencia de operación, se decide utilizar frecuencias no licenciadas o de uso libre, descrito a continuación:

**Tabla 6.2.** Frecuencia de operación.

Banda [GHz]	Rango [MHz]	Ancho de Banda [MHz]
5,8	5725 – 5875	150

Gran parte de la decisión del rango de frecuencia de operación se vincula directamente con la escogencia del equipo de comunicación inalámbrica. El

mismo trata de un radiotransmisor y una antena tipo plato, junto con el conjunto de equipos adicionales para su instalación y funcionamiento.

**Tabla 6.3.** Equipo de comunicaciones.

Equipo	Modelo
Radiotransmisor	AIR-BR1410A-A-K9-N
Antena tipo plato	AIR-ANT58G28SDA-N

Como complemento al equipo de comunicación, la torre cumple otro papel importante, puesto que trata de la estructura en la cual se ubicará el equipo en los dos sitios donde se ubican las estaciones.

**Tabla 6.4.** Datos de las torres.

Sitio	Tipo de torre	Altura [m]
Sub-estación CNFL Lindora	Arriostrada	12
EVCSA		

Dejando de lado la parte física, y entrando en aspectos relacionados con las redes de sistemas, los protocolos tanto de comunicación como de seguridad son partes esenciales del desarrollo de este proyecto, por esto se ha decidido utilizar los descritos en la siguiente tabla.

**Tabla 6.5.** Protocolos de comunicación y seguridad.

Tipo	Protocolo
Comunicación	Modbus TCP/IP
Seguridad	IEEE 802.11i

En cuanto al protocolo de seguridad implementado por el equipo de comunicaciones adquirido, cuenta con las características expuestas a continuación.

**Tabla 6.6.** Características del protocolo de seguridad.

Autenticación	Encriptación
IEEE 802.1X	TKIP

En cuanto a los resultados de índole matemática, el primer parámetro calculado se refiere a lo estipulado por las zonas de Fresnel. Dichos resultados se exponen a continuación.

**Tabla 6.7.** Resultados para la primera zona de Fresnel.

Despeje [%]	Radio [m]
100	10,06
66	6,64

Por otra parte, los parámetros necesarios para el cálculo del presupuesto de enlace, son obtenidos a partir de cálculos matemáticos, los cuales se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 6.8.** Parámetros utilizados en el presupuesto de enlace.

Símbolo	Parámetro	Condición	Valor
$P_{TX}$	Potencia de transmisión	Valor máximo	24 dBm
FSL	Pérdidas por propagación en el espacio libre	$d=7,82\text{Km}; f=5,8\text{ GHz}$	125,57 dBm
$A_G$	Pérdidas por gases en la atmósfera	$d=7,82\text{Km}; f=5,8\text{ GHz}; \gamma_G = 0,007\text{ dB/Km}$	0,0547 dB
$A_{RH}$	Pérdidas por precipitaciones polarización horizontal	$d=7,82\text{Km}; f=5,8\text{ GHz}; R = 145; \gamma_{RH} = 1,75\text{ dB}; d_0 = 3,98\text{ Km}; r = 0,337; d_{eff} = 2,64\text{ Km}$	4,62 dB
$A_{RV}$	Pérdidas por precipitaciones polarización vertical	$d=7,82\text{Km}; f=5,8\text{ GHz}; R = 145; \gamma_{RV} = 1,15\text{ dB}; d_0 = 3,98\text{ Km}; r = 0,337; d_{eff} = 2,64\text{ Km}$	3,04 dB
$L_C$	Pérdidas por cable y conectores	$f = 5,8\text{ GHz}$	0,64 dB
$M_{EVCSA}$	Margen de desvanecimiento para EVCSA	$d=7,82\text{Km}; f=5,8\text{ GHz}; A=0,25; B=0,125; R=0,99$	-2,839 dB
$M_{CNFL}$	Margen de desvanecimiento para CNFL Lindora	$d=7,82\text{Km}; f=5,8\text{ GHz}; A=1; B=0,25; R=0,99$	6,191 dB
$G_A$	Ganancia de la antena	Valor máximo	28 dBi



De esta manera, se cuenta con todos los aspectos necesarios para hacer el cálculo específico de presupuesto de enlace, mismo que se resume en la siguiente tabla, y tomando en consideración varias condiciones.

**Tabla 6.9.** Viabilidad del enlace.

Estación	Polarización de antena	$P_{RX}$ [dBm]	$P_{SEN}$ [dBm]	Resultado
EVCSA	Horizontal	- 48,25	- 70	Enlace viable
	Vertical	- 46,67		Enlace viable
CNFLlindora	Horizontal	- 57,28		Enlace viable
	Vertical	- 55,70		Enlace viable

Sin embargo, para aumentar la confianza puesta en los resultados presentados en la tabla anterior, el grado de confiabilidad del enlace está dado por la ganancia del sistema, resultados que se exponen a continuación.

**Tabla 6.10.** Confiabilidad del enlace.

Estación	Polarización de antena	Ganancia del sistema	Diferencia entre pérdidas y ganancias	Resultado
EVCSA	Horizontal	94	72,25	Enlace confiable
	Vertical		70,67	Enlace confiable
CNFLlindora	Horizontal		81,28	Enlace confiable
	Vertical		79,70	Enlace confiable

Ahora bien, solo queda por tomar los resultados antes expuestos y compararlos con los obtenidos mediante la simulación del sistema, por lo cual se exponen las siguientes tablas.

**Tabla 6.11.** Comparación ente resultados calculados y simulados para la estación en EVCSA.

Polarización de antena	Parámetro	Calculado	Simulado	Error [%]
Horizontal	Pérdidas	128,25	132,2	2,99
	$P_{RX}$	-48,25	-53,9	9,65

	FSL	125,13	125,6	0,37
Vertical	Pérdidas	126,67	132,2	4,18
	P <sub>RX</sub>	-46,67	-53,9	12,61
	FSL	125,13	125,6	0,37

**Tabla 6.12.** Comparación ente resultados calculados y simulados para la sub-estación dela CNFL enLindora.

Polarización de antena	Parámetro	Calculado	Simulado	Error [%]
Horizontal	Pérdidas	137,28	132,2	3,84
	P <sub>RX</sub>	-57,28	-53,4	7,26
	FSL	125,13	125,6	0,37
Vertical	Pérdidas	135,70	132,2	2,65
	P <sub>RX</sub>	-55,70	-53,4	4,30
	FSL	125,13	125,6	0,37

## 6.2 Análisis.

Presentados los resultados, ahora lo que resta por realizar es el análisis correspondiente a cada uno de ellos.

Este análisis se presenta siguiendo el mismo orden en que se establecieron los objetivos específicos en la sección 2.3, es decir, primero se analizará la parte referente al equipo de comunicaciones, seguido del protocolo de comunicación y seguridad, luego la parte correspondiente a los cálculos matemáticos de parámetros involucrados en enlaces inalámbricos, para así pasar al cálculo del presupuesto de enlace, y luego culminar con la simulación del sistema.

No obstante, antes de entrar en detalles con el análisis de los temas mencionados, es necesario analizar en primera instancia aspectos referentes a la ubicación geográfica y a la atribución de frecuencias de operación, puesto que estos temas influyen en el tratamiento de las demás secciones.

Para el caso de a ubicación geográfica, puesto que se trata de un enlace con una gran distancia de separación, se decide hacer uso de equipo de posicionamiento global y dirigirse hasta los lugares en cuestión (ver figura 5.1), con la finalidad de obtener los datos expuestos en la tabla 6.1. El hecho de que se haya optado por este mecanismo recae en la exactitud de los datos que se obtienen, traduciéndose en un aspecto a favor a la hora de tratar otros temas en donde se vea involucrado el dato de la ubicación de las estaciones, así como su distancia de separación.

Por otra parte, el análisis que entra en juego para la escogencia del rango de frecuencias de operación gira en torno a dos factores, el primero es el cumplimiento de las reglas establecidas por Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF); y el segundo es la frecuencia a la que opera el equipo de comunicaciones.

En cuanto a lo estipulado por el PNAF, se especifican dos grupos de frecuencias, las licenciadas o de uso privado, y las no licenciadas o de uso libre. La ventaja que presentan las de uso privado está en que solo cuentan con un dueño o ente a cargo, lo cual se traduce en desentenderse de problemas debidos a la interferencia causada por parte de usuarios ajenos al derecho del uso del espectro, sin embargo, la desventaja que esto presenta a la vez, está en que para poder optar por una frecuencia de este tipo, se debe desembolsar una gran cantidad de dinero. Así, la oportunidad del uso de este tipo de frecuencias queda descartada.

A diferencia del espectro licenciado, las frecuencias de uso libre no requieren el pago de ningún derecho para su utilización, sin embargo, muchos usuarios pueden hacer uso del mismo rango de frecuencia (expuestas en la sección 5.1.2) al mismo tiempo, lo cual conlleva a tener que contrarrestar problemas de interferencia mediante mecanismos fuertes de seguridad y encriptación.

El otro aspecto mencionado en la escogencia del espectro inalámbrico, es la frecuencia de operación del equipo. Como se puede apreciar en la tabla 5.2, normalmente las bandas de frecuencia de 2,4 y 5 GHz son las que usualmente son utilizadas para radioenlaces, por lo que la escogencia del equipo se hace en relación a este criterio, tomando en cuenta que la banda de los 5 GHz es la que en este momento se encuentra menos congestionada. Es así como se llega a optar por un rango de frecuencia específico, expuesto en la tabla 6.2.

Continuando con el análisis, en la sección 5.1.3 se muestran las opciones de los equipos de comunicación que se adaptan a los requerimientos de frecuencia de operación así como al alcance de la señal en el enlace. Particularmente para esta parte se realizó un cuadro comparativo (tabla 5.3) entre los equipos, con el fin de apreciar de una manera más fácil las características de cada uno de ellos.

Los datos expuestos en la tabla 5.3 se presentan cuando se realizan transmisiones de datos a 54 Mbps (velocidad máxima de transmisión), provocando que la distancia de alcance no sea la máxima, es decir, de acuerdo a las funciones de los equipos, para ambos se cumple que a mayor velocidad de transmisión se cubre una menor longitud de separación, mientras que para menor velocidad de transmisión, se alcanza una mayor distancia.

Esto se convierte en la principal característica a tener en cuenta para la selección del equipo, siendo así el modelo *AIR-BR1410A-A-K9-N*, que cumple a cabalidad las características, puesto que con este se puede alcanzar una distancia de hasta 21 Km, tres veces más de lo que se puede lograr con el *AIR-BR1310G-A-K9-R*, el cual alcanza hasta 7 Km (ver tabla 5.3).

No obstante, para poder brindar un alcance de hasta 21 Km de distancia, la antena juega un papel muy importante e indispensable debido a sus características radioeléctricas, justamente a su patrón de onda (ver figura 5.10). La razón está en que la señal podrá llegar a lugares más lejanos a causa de la irradiación presentada por la antena, ya que esta se concentra en un punto y en una dirección en específico, de ahí la razón por la cual las antenas de ambas estaciones se deben alinear entre sí (ver figura 5.24).

En la sección 5.1.4 se encuentra el tratamiento brindado a las zonas de Fresnel, que a pesar de ser un tema de índole matemática, juega un papel importante en la toma de decisiones respecto a la altura de la antena.

Básicamente, tal como se mencionó en el marco teórico, el concepto de las zonas de Fresnel radica en una región alrededor de la línea vista la cual debe estar lo más despejada posible, es decir, en cualquier punto a lo largo de la línea vista, al menos un 66% de la primera zona de Fresnel deberá estar libre de obstáculos, para que esto se traduzca en otro factor a favor de la factibilidad y funcionalidad del enlace. En la tabla 6.7 se muestran los resultados tanto para un despeje del 66% como para el 100%.

La finalidad de estos cálculos es asegurar que a lo largo del trayecto de línea vista se presente un despeje del 100%, es decir, idealmente debe existir en cualquier punto, una distancia de separación de 10,06 m, o al menos 6,64 m entre cualquier obstáculo y la trayectoria del enlace.

Gracias a la topología por la cual se pretende establecer el enlace (ver topografía simulada en figura 5.25), brinda la facilidad de despreocuparse por montañas que atraviesen el enlace, quedando por analizar cualquier otro tipo de obstáculos, como árboles y/o edificios. No obstante, el tema referente a las pérdidas por obstáculos (sección 3.3.6), no se considera

dentro del capítulo de la solución, debido a que los lugares presentados en el análisis geográfico, no cuentan con problemas de obstrucciones que merezcan tratamiento, quedando así como único parámetro a tomar en cuenta para determinar la altura de las torres, que estas deban superar los 10,06 m de altura.

De esta manera, se pasa a la sección 5.1.5, donde se exponen varios tipos de torres que comúnmente son utilizadas en radioenlaces. El factor a tener en cuenta en la decisión de un tipo en específico, radica en la función para la cual es diseñada, de ahí que la torre auto-soportada y monoposte quedan descartadas, puesto que para ambos casos, son diseñadas para soportar cargas medianas o pesadas, convirtiéndolas en torres adecuadas para sitios celulares y/o concentradoras de comunicaciones centrales.

En sí, el hecho no está en que estas torres no sirvan para los fines de este proyecto, sino que por la función para las que fueron diseñadas, resulta pequeño el papel que cumplirían en este proyecto.

Lo que se pretende es tener una carga pequeña y entablar un enlace punto a punto, para lo cual son diseñadas las torres arriostradas. De ahí la razón que se seleccione este tipo de torre, tal como se menciona en la tabla 6.4, donde la altura es de 12 m debido a que el fabricante pone a disposición este tipo de torre por tramos de 3 m, y para cumplir con lo expuesto por las zonas de Fresnel, se decide optar por cuatro tramos.

Dejando de lado la parte física, y entrando a aspectos propiamente de protocolos de seguridad y comunicación, en la sección 5.1.6 se habla sobre la seguridad del enlace, requisito a tomar en cuenta desde que se concibe la idea de establecer el enlace mediante un espectro de frecuencia no licenciado, esto por las interferencias que el mismo pueda tener por parte de usuarios desautorizados.

Particularmente la seguridad del enlace gira en torno al estándar de la IEEE 802.11i, contando con protocolos de autenticación y encriptación mencionados en la tabla 6.6, con el propósito de batir la vulnerabilidad a la que puede estar expuesta la seguridad. Lo que se busca con el protocolo de autenticación IEEE 802.1X es eliminar el acceso no autorizado a la red a nivel de capa de enlace de datos. Esta autenticación es llevada a cabo por el servidor RADIUS, tal como se explica en la figura 5.6, permitiendo solamente la autenticación de los miembros autorizados de la red.

En cuanto al protocolo de encriptación TKIP, se encarga de mejorar el cifrado de datos inalámbricos, a la vez que mejora significativamente la seguridad de la red. Lo que se busca con este protocolo de encriptación es que entre los dispositivos del enlace se creen claves temporales combinadas con las direcciones MAC, adicionando largos vectores de inicialización para producir una clave final que se encargará de cifrar los datos. Este procedimiento asegura que cada punto del enlace utilice diferentes claves de cifrado de datos.

Por otra parte, siguiendo ahora con la sección 5.1.7 se aborda el tema del protocolo de comunicación, donde se manejan dos opciones en primera instancia, no obstante la decisión recae sobre el protocolo Modbus TCP/IP, principalmente por permitir que entre dispositivos sea posible el monitoreo e intercambio de información. Esto es posible debido a que Modbus TCP/IP combina a tres estándares y/o protocolos en uno solo, es decir, a Ethernet, TCP/IP y Modbus. Ethernet actúa como el estándar de acceso al medio por contienda CSMA/CD, es decir, si un nodo desea enviar datos, primero debe determinar si los medios de red están ocupados o no. Por su parte, TCP/IP actúa como el estándar universal de inter-redes, permitiendo la transmisión de datos entre redes. Por último, Modbus, que actúa como el protocolo

encargado de representar los datos independientemente del fabricante, en otras palabras, permitir el control de una red de dispositivos.

Para comprobar la factibilidad de este protocolo de comunicación, se instala el equipo de comunicación, y en un extremo del enlace se conecta una pantalla táctil *Magelis XBTGT4230* con un proceso para controlar las funciones de un PLC *TWDL CDE40DRF* ubicado en el otro extremo. Así lo que se realiza es transmitir los datos brindados por la pantalla mediante el equipo de comunicación, y el PLC actúa de acuerdo a la información recibida, lo que da como resultado, un tratamiento adecuado de los datos.

Pasando ahora a temas relacionados con los cálculos matemáticos, en la sección 5.1.8 se expone lo referente al presupuesto de enlace, propiamente a los parámetros que intervienen en su desarrollo, resultados de los mismos que se pueden consultar en la tabla 6.8.

Iniciando con la potencia de transmisión, la definición de su valor final rige en torno a lo estipulado por el PNAF, el cual establece que para el rango de frecuencias de 5725 a 5850 MHz se permite un valor máximo de 30 dBm para potencia de transmisión, aspecto que no se viola puesto que el equipo puede transmitir a un máximo de 24 dBm, siendo este, el valor utilizado.

Del mismo modo, para la ganancia de las antenas, el PNAF estipula valores mínimos para distintos rangos de frecuencia. De esta manera, para el rango descrito en el párrafo anterior, las antenas deben contar con una ganancia superior a los 6 dBi, y como se puede ver en la sección 5.1.8.7, la antena seleccionada cumple con esta normativa.

Siguiendo ahora con las pérdidas, las producidas en el espacio libre van a estar dadas de acuerdo a la distancia y frecuencia de operación, que para efectos de cálculos de este y otros parámetros, se decide utilizar la



frecuencia central del rango de frecuencias seleccionado, es decir, 5800 MHz (5,8 GHz), mientras que para la distancia, se utilizará la obtenida del análisis geográfico. Para este tipo de pérdida, tal como se muestra en la ecuación 3.5, la relación con la distancia y la frecuencia es directamente proporcional, por lo que un aumento a alguno de ellos dos, se traduce en un aumento en el valor de las pérdidas en el espacio libre.

Par el caso de las pérdidas debidas a gases atmosféricos, su valor numérico es obtenido a partir de un análisis gráfico con ayuda de la figura 3.8, de donde se obtiene la suma de las absorciones específicas debidas al oxígeno y al vapor de agua (parámetros dependientes de la frecuencia, temperatura y humedad), para que en conjunto con la distancia, devenen un valor para las pérdidas por gases en la atmósfera.

Del mismo modo, para las pérdidas debidas a las precipitaciones, el cálculo de este parámetro se explica en la sección 5.1.8.4, que para poder llegar a un valor numérico resulta algo tedioso, sin embargo, lo que interesa en este punto es observar como para diferentes polarizaciones de la antena, se obtienen mayores pérdidas para la polarización horizontal que para la vertical. Este resultado se debe a que para la polarización horizontal, las gotas de agua durante la caída, atraviesan gran parte de la señal, aspecto que no sucede con la polarización vertical.

A pesar que tanto las pérdidas debidas a los gases atmosféricos y a las precipitaciones no afectan el 100% de las veces al enlace, si es necesario tenerlos en cuenta, puesto que en Costa Rica casi el 50% del año cuenta con estación lluviosa, por lo que resulta inconcebible ignorar el efecto de dichas pérdidas. De hecho, para estos dos tipos de pérdidas, la UIT-R es el ente internacional que estipula las pautas a seguir para la obtención de estos datos, a través de sus recomendaciones, mismas que se encuentran citadas en la bibliografía de este documento.

Siguiendo con el tema de pérdidas o atenuaciones, se encuentra el parámetro del margen de desvanecimiento. Se recurre a su cálculo debido a que éste considera condiciones no ideales y difíciles de predecir, como lo son la propagación multitrayectoria, sensibilidad a superficies rocosas y cambios climáticos debidos a la temperatura y humedad.

El margen de desvanecimiento está en función de la distancia del enlace, la frecuencia de operación y las características tanto geográficas como climatológicas del sitio en que se encuentra ubicada cada estación. Por esta razón, la diferencia entre los resultados expuestos en la sección respectiva de la tabla 6.8, va a estar dada por las características mencionadas de los sitios.

En cuanto a las pérdidas debidas a los cables, no resulta tedioso lograr obtener el valor de las pérdidas, y además, que las mismas sean bajas, ya que el cable a utilizar entre la antena y el radio es de poca longitud y de gran rigidez, traduciéndose en más factores a favor de la viabilidad del enlace, a pesar que este parámetro se trate de una pérdida más.

La tabla 5.6 expone el valor de la atenuación debida a cables y conectores, mismo que no logra superar 1 dB. No obstante, tal como se expone en la sección 5.2, es necesario el uso de un cable coaxial doble, el cual no es tomado en cuenta dentro de las pérdidas puesto que cumple con dos funciones, energizar al radio, y entablar la comunicación entre el radio y la red local de la estación, en otras palabras, no interfiere en el presupuesto de enlace debido a que su función es meramente de comunicación.

De esta manera se obtienen los parámetros que entran en juego para obtener los valores del presupuesto de enlace dados en la tabla 6.9, que tienen como fin determinar la viabilidad del enlace. Como se puede

observar en la tabla mencionada, se dan varios resultados en función al sitio y a la polarización de la antena.

Es sumamente notable, que a pesar de basar los cálculos en varias condiciones, la potencia de recepción no logra superar el valor de la sensibilidad de receptor, lo que significa que para los casos de estudio expuestos, el enlace es viable. Otro punto a rescatar, es que el valor de la potencia de recepción tiende a disminuir al utilizar polarización horizontal en la antena, producto de las pérdidas por precipitaciones, fenómeno que concuerda con lo establecido en el marco teórico.

Semejante al presupuesto de enlace, la ganancia del sistema (que busca predecir la confiabilidad del enlace), utiliza los mismos parámetros, con la diferencia que estos se agrupan en dos grupos, ganancias y pérdidas, resultados que son expuestos en la tabla 6.10, en función del sitio y la polarización de la antena.

Para asegurar la confiabilidad del enlace, la diferencia entre la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor, debe ser mayor a la diferencia entre las pérdidas y las ganancias, que para los casos expuestos en la tabla 6.10, esta condición se cumple a cabalidad, asegurando así que el enlace es confiable. En este caso, la diferencia ente pérdidas y ganancias, tienden a aumentar utilizando polarización horizontal en la antena, esto debido a la manera en que se calcula (ver ecuación 3.20).

Tanto para el caso del presupuesto de enlace y la ganancia del sistema, los valores obtenidos para un mismo sitio (EVCSA o CNFL Lindora) difieren a causa de la polarización de la antena, pero, la diferencia entre los valores para un sitio diferente se deben tanto a la polarización de la antena, como a las características geográficas y climatológicas de cada uno de ellos. Esta es la razón por la cual el cálculo del presupuesto de enlace y la ganancia

del sistema se deben hacer para ambos extremos del enlace, asegurando así, que el radioenlace, visto desde EVCSA o CNFL Lindora, es viable y confiable.

Dejando de lado la parte de cálculos, y pasando a la etapa correspondiente de simulaciones, éstas se realizan para ambos puntos del enlace. Así, para EVCSA, se muestran en las figuras 5.25 y 5.27, mientras que para CNFL Lindora, en las figuras 5.26 y 5.28. Para ambos lugares, la herramienta de software brinda datos importantes que se explican en la sección 5.3, y los resultados se muestran en las tablas 6.11 y 6.12.

En dichas tablas, una de las columnas corresponde a los valores obtenidos mediante cálculos matemáticos, y otra de ellas para el resultado de las simulaciones, con el objetivo de compararlos. La razón por la cual, tanto en la tabla 6.11 como en la 6.12 se tabulan los resultados obtenidos para la potencia de recepción, pérdidas por propagación en el espacio libre y pérdidas en general, está en que estos son los parámetros en torno a los cuales gira el cálculo del presupuesto de enlace y ganancia del sistema. Por su parte, el hecho de incluir las pérdidas y las ganancias no, está en que este valor siempre estará dado por los equipos a utilizar y no por los fenómenos climáticos, geográficos, y otros.

Siempre en las mismas tablas, en la columna destinada para presentar el porcentaje de error, se puede observar como a excepción del valor de la potencia de recepción con polarización vertical en la estación EVCSA, todos los demás valores presentan un porcentaje de error menor al 10%, lo cual indica la eficacia del paquete de simulación en aras de proveer al usuario un resultado lo más cercano a la realidad.

No obstante, para el valor que obtuvo un porcentaje de error superior al 10% (específicamente 12,61%), se debe a dos razones, la primera está en

que dentro de los cálculos matemáticos, se implementa el margen de desvanecimiento que como se mencionó antes, envuelve fenómenos difíciles de predecir, y difícilmente el software tenga la capacidad de predecir aspectos como el efecto multitrayectoria. La segunda está en que la herramienta de simulación no presenta ninguna variación en sus valores de estación a estación, es decir, para ambas estaciones presenta los mismos resultados, cosa que no sucede en los cálculos matemáticos.

Sin embargo, matemáticamente, todos los errores presentados son bajos, con lo que se puede asegurar la efectividad tanto del enlace como la del programa de simulación.

## Capítulo 7: Conclusiones.

---

- El equipo adquirido cumple a cabalidad con las necesidades del enlace diseñado y simulado.
- El factor que más influye en la selección del equipo de comunicación recae en el hecho de brindar una mayor velocidad de transferencia de datos a la mayor distancia posible.
- La antena tipo plato seleccionada es un factor complementario para asegurar cubrir una mayor distancia de separación, esto debido a sus características radioeléctricas, propiamente a su patrón de onda.
- Las zonas de Fresnel permiten dirigir el estudio del radioenlace a un punto tal que el enlace se vea ajeno a sufrir algún tipo de obstrucción a lo largo de la línea vista. De esta manera no se toma en cuenta las pérdidas debidas a obstrucciones dentro del cálculo del presupuesto de enlace.
- No todas las torres diseñadas para comunicaciones inalámbricas, son necesariamente funcionales para los radioenlaces, puesto que cada una tiene un fin específico.
- Seleccionar un rango de frecuencias no licenciadas, hace que se deban tomar medidas para contrarrestar posibles ingresos de intrusos a la red, por lo tanto se recurre al uso del protocolo de seguridad 802.11i, el cual a su vez cuenta con el protocolo de encriptación 802.1X y el protocolo de autenticación TKIP.
- El protocolo de comunicación Modbus TCP/IP envuelve tres estándares y/o protocolos en uno solo, como los son Ethernet, TCP/IP y Modbus; permitiendo así que entre dispositivos sea posible el monitoreo e intercambio de información, sin importar que los equipos sea realizados por diferentes fabricantes.

- Los valores del rango de frecuencia, potencia de transmisión y ganancia de la antena, están dentro de los valores estipulados por el PNAF.
- Todas las pérdidas calculadas, a excepción de las pérdidas en cables y conectores, están relacionadas tanto con la frecuencia de operación, así como la longitud de la línea vista.
- Para este enlace en específico, las pérdidas por gases en la atmósfera son relativamente nulas, no obstante, no se les resta importancia.
- Las pérdidas por precipitaciones aumentan su valor al utilizar antenas con polarización horizontal, si se les compara al valor obtenido cuando se utiliza una antena con polarización vertical. Sin embargo, la diferencia es leve.
- Utilizar un cable corto y rígido entre la antena y el radio es sinónimo de pocas pérdidas debidas a cables y conectores.
- Tomar en cuenta aspectos muy difíciles de predecir en radioenlaces, tales como el efecto multitrayectoria y aspectos geográficos y climáticos, son tomados en cuenta mediante el margen de desvanecimiento.
- Para todos los casos expuestos, el cálculo del presupuesto de enlace arroja valores para la potencia de recepción menor a la sensibilidad del receptor, por lo cual el enlace es viable.
- El valor de la ganancia del sistema, en todos los casos expuestos, no logra a ser superado por la diferencia entre las pérdidas y las ganancias, por lo cual el enlace es confiable.
- Mediante el paquete de simulación, se logra tener una idea clara del sistema en estudio, así como la topología que entra en juego.
- De acuerdo a la comparación entre los datos calculados y los simulados, se obtienen porcentajes de errores bajos, por lo cual el enlace es efectivo.

## Capítulo 8: Recomendaciones.

---

- Para la colocación de las antenas en las estaciones, utilizar torres arriostradas de 12 m de altitud, de manera que la altura a la cual estará la antena deberá ser entre los 10,06 y 12 m. Con esto se asegura cumplir con lo estipulado por las zonas de Fresnel.
- Tomar en cuenta lo explicado en la sección 3.3.16 referente a la puesta a tierra de la estación, torre y pararrayo, con especial atención a la puesta a tierra para la torre arriostrada y el pararrayo a ubicar en la parte superior de la torre, de manera que forme un cono imaginario que cubra la antena.
- Para aspectos de instalación y configuración de los equipos de comunicación, así como el lugar adecuado en el que deben estar, referirse al manual de usuario, documento que actúa como complemento a este informe.



## Bibliografía.

---

- [1]. *Modbus Organization, Inc.* (2005-2011). Recuperado el 1 de Marzo de 2011, de <http://www.modbus-ida.org>
- [2]. Plan Nacional de Atribución de Frecuencias. (Febrero de 2010). *Decreto Ejecutivo N° 35257- MINAET*. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.
- [3]. CNFL. (2004). *Estudio de factibilidad Proyecto Eólico Valle Central*. San José, Costa Rica.
- [4]. CNFL. (2004). *Proyecto Eólicos*. San José, Costa Rica.: Departamento Proyectos de Generación.
- [5]. *Comunicación Inalámbrica*. (s.f.). Recuperado el 23 de Febrero de 2011, de Wikipedia:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n\\_inal%C3%A1mbrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_inal%C3%A1mbrica)
- [6]. Faúndez, M. (2001). *Sistemas de Comunicaciones*. Barcelona: Marcombo S.A.
- [7]. Herrera. (2003). *Tecnologías y Redes de Transmisión de Datos*. México D.F.: Editorial Limusa S.A.
- [8]. Herrera. (2004). *Introducción a las telecomunicaciones modernas*. México D.F.: Editorial Limusa S.A.
- [9]. ICE. (2004). *Protección eléctrica de equipos e instalaciones del sistema nacional de telecomunicaciones*. San José, Costa Rica.
- [10]. Sanchis, E. (2004). *Fundamentos y Electrónica de las Comunicaciones*. Valencia: Guada Impresores SL.

- [11]. Tanenbaum, A. (2003). *Redes de computadoras*. México: Pearson Education.
- [12]. Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Education.
- [13]. UIT-R. (1994). *Características de la precipitación para el modelado de la propagación*. Unión Internacional de Telecomunicaciones sección Radioenlaces (PN.837-1).
- [14]. UIT-R. (2005). *Atmósferas normalizadas de referencia para la atenuación debida a gases*. Unión Internacional de Telecomunicaciones sección Radioenlaces (P.835-4).
- [15]. UIT-R. (2005). *Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los modelos de predicción*. Unión Internacional de Telecomunicaciones sección Radioenlaces (PN.838-3).

## Apéndices.

---

### A.1 Glosario.

**10BaseT:** estándar existente para Ethernet a 10 Mbps sobre cable de par trenzado.

**100BaseT:** uno de los estándares existentes para FastEthernet de 100 Mbps CSMA/CD sobre cable de par trenzado.

**10/100BaseT:** estándar que soporta dos velocidades de Ethernet (10 y 100 Mbps).

**802.11:** estándar que define el uso de los niveles inferiores de la arquitectura OSI, es decir, capa física y capa de enlace de datos.

**802.11b/g:**

**802.1X:** norma de la IEEE para el control de acceso a la red basada en puertos. Permite la autenticación de dispositivos conectados a un puerto LAN.

**Modelo OSI:** marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

**Auto-MDIX:** es una tecnología de redes de computadoras que detecta automáticamente el tipo de cable de conexión requerido y configura apropiadamente la conexión.

**Backhaul:** conexión entre equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información. Constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación.

**Capa enlace datos:** capa del modelo OSI encargada del direccionamiento físico, la topología de la red, acceso al medio, detección de errores, distribución ordenada de tramas y del control del flujo.

**CSMA/CD:** técnica usada en redes Ethernet para mejorar sus prestaciones.

**IP:** Protocolo de Internet. Protocolo no orientado a conexión usado tanto por el origen como por el destino para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados no fiable de mejor entrega posible sin garantías.

**Línea vista:** visibilidad directa entre antenas.

**Mesh:** red en malla implementada sobre una red inalámbrica.

**ptmp:** topología punto a multi-punto.

**ptp:** topología punto a punto.

**Sitio celular:** combinación de las torres de antenas y el equipo electrónico asociado a éstas.

**SNMP:** protocolo simple de administración de red, diseñado para facilitar el intercambio de información entre dispositivos de red y ampliamente utilizado en la administración de redes para supervisar su desempeño.

**STP:** cable de par trenzado blindado, diseñado para reducir el ruido eléctrico. Es más costoso y difícil de manipular que un cable UTP.

**TCP:** protocolo de comunicación orientado a conexión y fiable del nivel de transporte.

**Throughput:** volumen de información que fluye en las redes de datos.

**UDP:** protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de paquetes de datos.

**UTP:** cable de par trenzado que no se encuentra blindado, utilizado principalmente en las telecomunicaciones.

## **A2. Abreviaturas.**

**AES:** Advanced Encryption Standard.

**CCE:** Centro de Control de Energía.

**CNFL:** Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

**CSMA/CD:** Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection.

**EAP:** Extensible Authentication Protocol.

**EVCSA:** Eólico Valle Central S.A.

**GPS:** Global Positioning System.

**MINAET:** Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.

**PMK:** Pair-wise Master Key.

**PNAF:** Plan Nacional de Atribución de Frecuencias.

**RADIUS:** Remote Authentication Dial-In User Server

**SNMP:** Simple Network Manage Protocol

**SSID:** Service Set Identifier.

**STP:** Shielded Twisted Pair.

**SUTEL:** Superintendencia de Telecomunicaciones.

**TCP:** Transmission Control Protocol.

**TKIP:** Temporal Key Integrity Protocol.

**UIT-R:** Unión Internacional de Telecomunicaciones, sector de normalización de Radioenlaces.

**UIT-T:** Unión Internacional de Telecomunicaciones, sector de normalización de telecomunicaciones.

**UTP:** Unshielded Twisted Pair.

**WEP:** Wired Equivalent Privacy.

**Wi-Fi:** Wireless Fidelity.

**WPA:** Wi-Fi Protected Access.

**A.3 Manual de usuario.**

**MANUAL DE USUARIO PARA LA CONFIGURACIÓN  
DE HARDWARE Y SOFTWARE DE CISCO AIRONET  
SERIE 1400.**

Dirigido a funcionarios del Parque Eólico Valle Central (EVCSA).

2011

## INDICE

1. Introducción.....	127
2. Descripción del Hardware.....	128
3. Resumen de la instalación.....	133
4. Instalación del radio en la torre o estructura de prueba. ....	134
5. Instalación de la antena en la torre o estructura de prueba. ....	137
6. Aplicación del material especial de sellado para conectores coaxiales.....	139
7. Configuración básica del sistema. ....	140
8. Configuración para la asociación de los radios. ....	144
9. Alineación de la antena. ....	145
10. Configuración de la seguridad y otras opciones del radio.....	147
11. Configuración de las características Radio-802.11.....	152
12. Indicaciones de LEDs.....	157
13. Recomendaciones.....	160
14. Referencias.....	161

## **1. Introducción**

---

Tener una idea clara acerca el uso de equipos de comunicaciones inalámbricas como lo es el caso del radio de la serie Cisco Aironet 1400, es un paso esencial en el sentido de asegurar su adecuado funcionamiento, así como permitirle al usuario final desarrollar la destreza necesaria para manejar el equipo de manera óptima.

El desarrollo de este manual de usuario, va dirigido hacia la descripción de un panorama donde el usuario final cuente con una herramienta de consulta y capacitación en el uso del equipo Cisco mencionado.

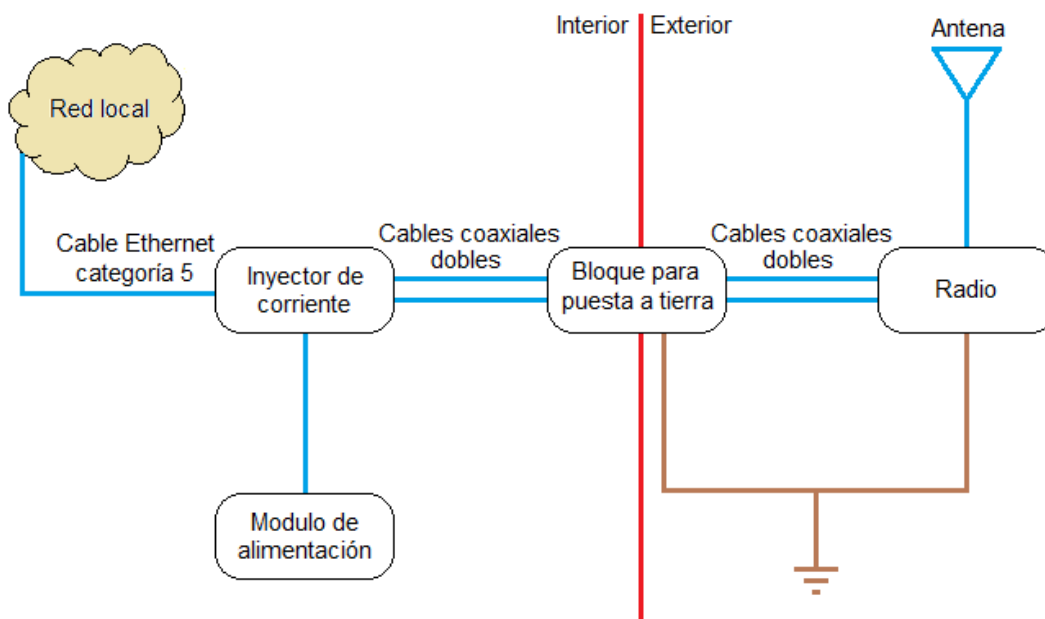
Se tratarán temas referentes a la configuración tanto de hardware como de software, que garanticen el funcionamiento del enlace mediante un posicionamiento adecuado de los equipos en las estaciones, asegurar la seguridad en el enlace para evitar eventuales intromisiones.



## 2. Descripción del Hardware.

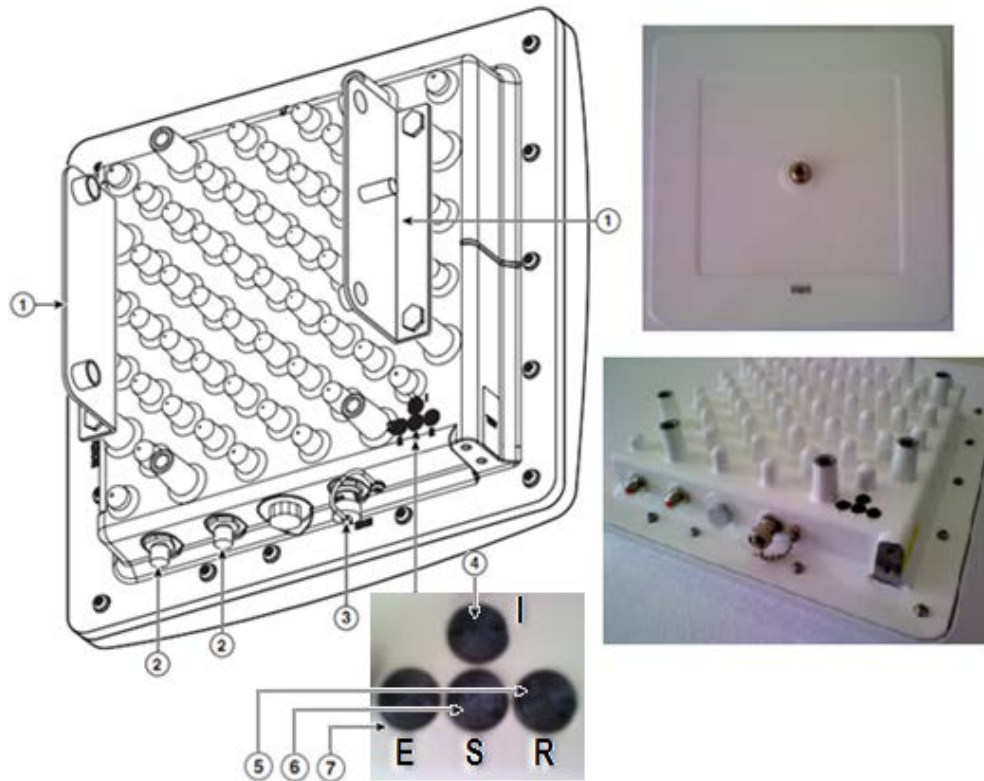
El radio Cisco Aironet serie 1400 tiene el fin proveer enlaces de alta velocidad entre los puntos del sistema. Opera dentro del rango de frecuencias no licenciadas del país, específicamente entre los 5725 y 5825 MHz, además trabaja bajo el estándar IEEE 802.11 ofreciendo una velocidad máxima de 54 Mbps. Este equipo se puede configurar con diferentes tipos de antenas, pero para el caso específico del Parque Eólico Valle Central, se utilizará una antena tipo plato.

El sistema, para cada estación del enlace, está conformado por un radio a prueba de agua, un inyector de corriente, bloque de puesta a tierra, y como se mencionó antes, una antena tipo plato. Tanto el radio como la antena son ubicados en el exterior, específicamente en la torre, el bloque de puesta tierra se conecta al resto del sistema de tierra del sitio, y el inyector de corriente se coloca dentro de la estación. Todo esto se ilustra a continuación.



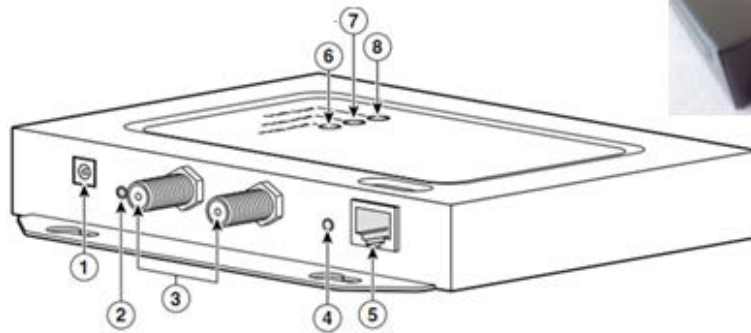
Sin embargo, para tener una perspectiva más clara de cada equipo en específico, los mismos se muestran a continuación:

- Radio.



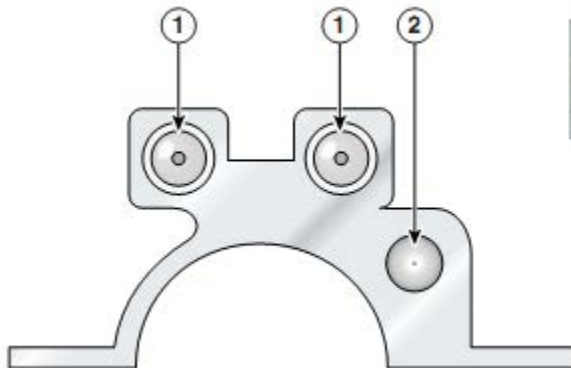
- 1 Soportes para montaje.
- 2 Puertos inyectores de corriente doble coaxial (conectores tipo F).
- 3 Puerto de tensión RSSI (conector BNC hembra).
- 4 LED instalación.
- 5 LED radio.
- 6 LED estatus.
- 7 LED Ethernet.

- Inyector de alimentación.



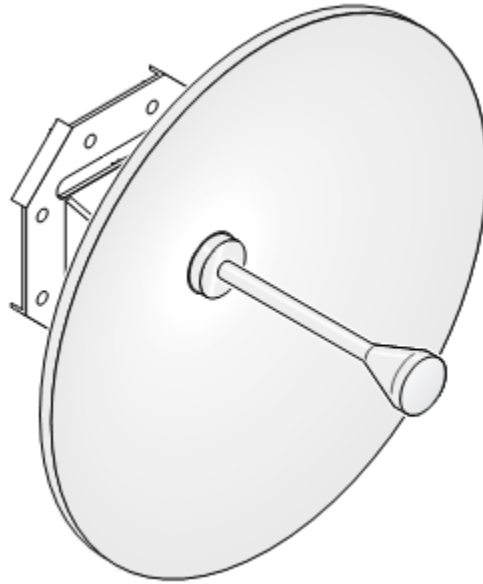
- 1 | Entrada "jack" (48 VCD).
- 2 | LED indicador de alimentación.
- 3 | Puertos inyectores de corriente doble coaxial (conectores tipo F).
- 4 | Botón MODO.
- 5 | Puerto Ethernet (conector RJ-45).
- 6 | LED actividad Ethernet.
- 7 | LED estado inyector.
- 8 | LED actividad enlace.

- Bloque de puesta tierra.



- 1 | Conectores coaxiales tipo F.
- 2 | Agujero para cable de tierra.

- Antena tipo plato.



- Otros equipos:

- o Cable de alimentación AC.



- o Módulo y cable de alimentación de 48 VCD.



- Cables coaxiales dobles con conectores tipo F.



- Cable coaxial con conector tipo N.



- Borne para puesta a tierra del radio.



- Material especial de sellado para conectores coaxiales.



### 3. Resumen de la instalación.

---

Durante la instalación del equipo, en cada estación, se deberá realizar lo siguiente:

- Conectar el cable de alimentación AC al módulo de alimentación de 48 VCD.
- Conectar el módulo de alimentación al inyector de corriente mediante el cable de alimentación de 48 VCD.
- Conectar un cable Ethernet categoría 5 entre la red local y el puerto RJ-45 del inyector de corriente.
- Conectar el cable coaxial doble entre el inyector de corriente y el bloque para puesta a tierra.
- Instalar el radio en la torre o estructura de prueba.
- Instalar la antena en la torre o estructura de prueba.

- Conectar el cable coaxial entre la antena y el radio.
- Conectar el cable coaxial doble entre el radio y el bloque para puesta a tierra.
- Conectar el cable de tierra al borne del radio para puesta a tierra.
- Conectar el cable de tierra al bloque para puesta a tierra.
- Configuración básica del sistema.
- Alinear la antena.
- Configurar la seguridad y otras opciones del radio.

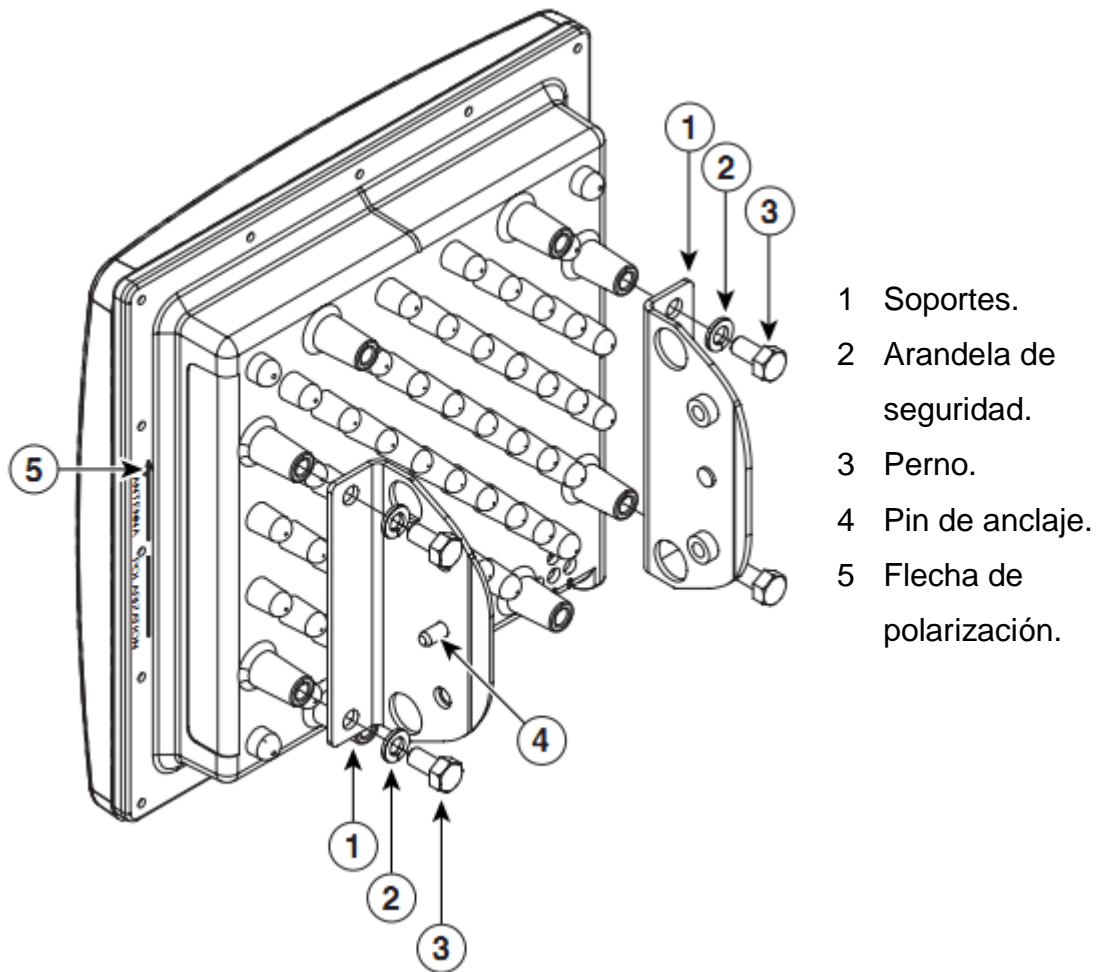
#### **4. Instalación del radio en la torre o estructura de prueba.**

---

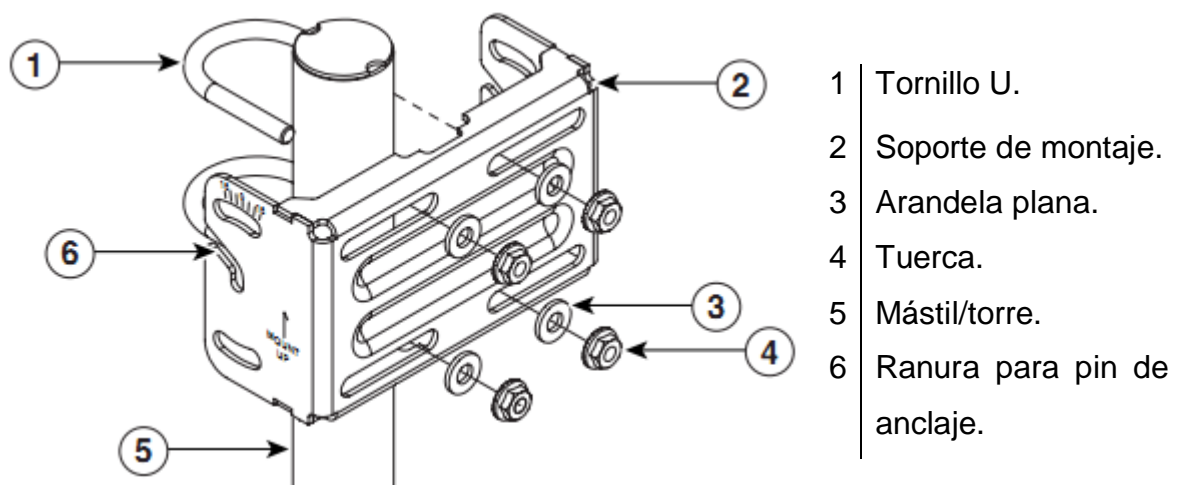
Dentro de los elementos que constituyen todo el equipo, se encuentra el soporte multi-función (conformado por los dos soportes para montaje del radio y el soporte principal), y el conjunto de sujetadores (tuercas, pernos, arandelas y tornillos U) para tal fin.

El soporte multifunción brinda la facilidad de poder montar el radio ya sea en un mástil, torre o en su defecto, cualquier otra estructura de soporte que cumpla la función de ubicar el radio en un lugar adecuado para fines de pruebas. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Instalar los soportes al radio tal como se muestra en la siguiente figura, y socar los pernos.



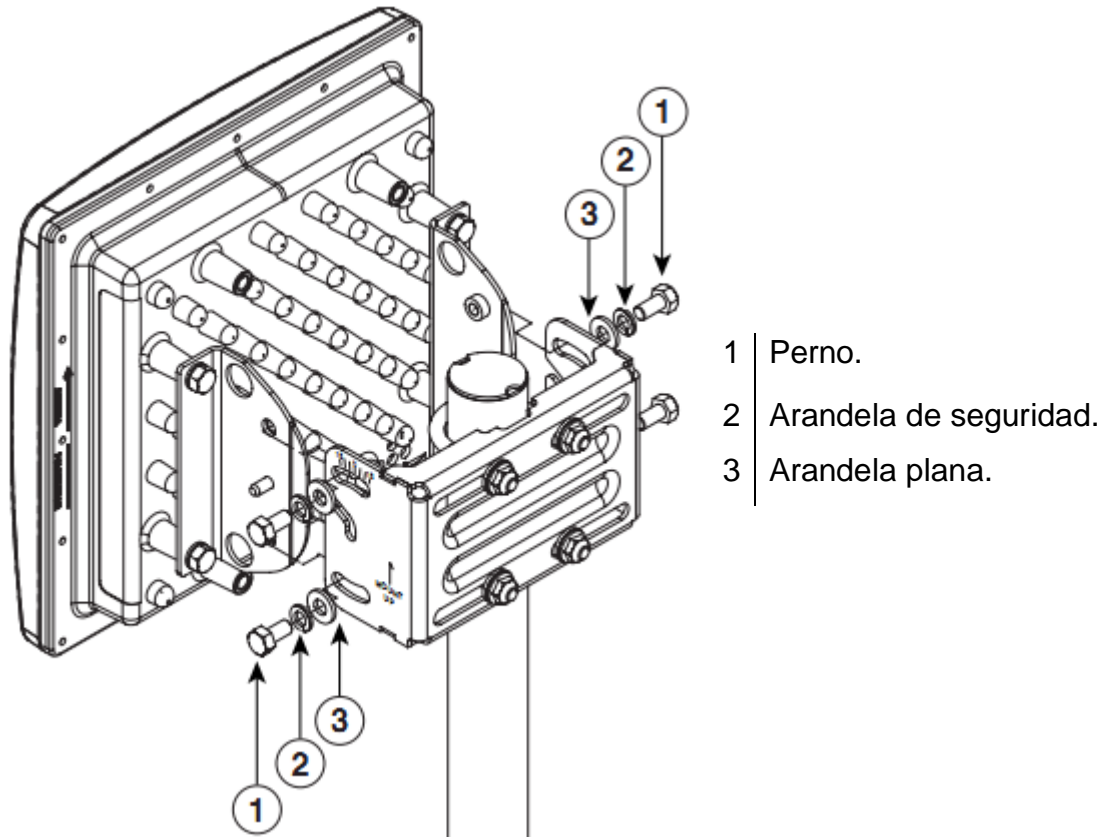
2. Instalar el soporte principal a la torre o similar tal como se muestra en la siguiente figura, y socar las tuercas.



3. Ubicar el radio en el soporte principal con ayuda de los pines de anclaje de los soportes del radio.



4. Asegurar el radio al soporte principal, socando los pernos, tal como se muestra en la siguiente figura.

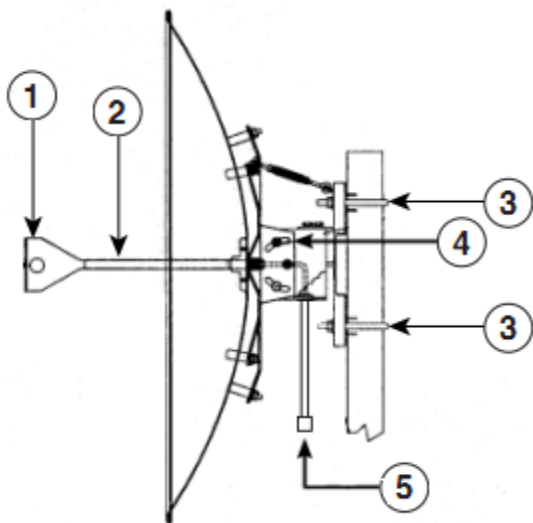


5. Conectar los cables coaxiales dobles a los puertos correspondientes en el radio.
6. Conectar al borne para puesta a tierra del radio, un cable de cobre AWG 6, que irá conectado a la tierra del sistema.
7. Instalar el borne para puesta a tierra en el lugar correspondiente del radio, y socar los tornillos respectivos.

## 5. Instalación de la antena en la torre o estructura de prueba.

---

Los elementos a utilizar para la instalación de la antena tipo plato se muestran a continuación:



- 1 Radomo.
- 2 Tubo de alimentación.
- 3 Tornillo U.
- 4 Perno para ajuste de ángulo.
- 5 Cable coaxial para conectar en el radio.

El procedimiento para montar la antena en la torre u otra estructura similar para fines de pruebas, se indica a continuación:

1. Tomar el tubo de alimentación y quitarle los tornillos junto con las arandelas que el mismo tiene.
2. Posicionar el tubo de alimentación, de manera que tanto el cable así como el pin de polarización ingresen en los agujeros respectivos del plato destinados para tal fin.
3. Socar los tornillos que aseguran el tubo de alimentación al plato. No olvidar instalar también las arandelas planas y de seguridad.
4. Posicionar el conector del tubo de alimentación en la ranura ubicada en una sección del tubo cuadrado de la estructura de montaje, y socarlo mediante la arandela y turca que el mismo tiene.
5. Tomar los elementos de montaje de la antena, y remover las arandelas y tuercas de los tornillos U.
6. Seleccionar la polarización de la antena. Es preferible que se utilice polarización vertical puesto que presenta menor cantidad de atenuaciones con respecto a la polarización horizontal. Para ubicar la antena con polarización vertical, esta se debe montar de manera que la flecha que está en la postal ubicada en la parte posterior del reflector, apunte hacia arriba. Por otro lado, si se desea utilizar polarización horizontal, la flecha debe apuntar hacia la derecha.
7. Verificar la posición de los agujeros en el radomo.
8. Formar un lazo de goteo con el cable de la antena.
9. Ubicar la antena en la torre e instalar los elementos de montaje.
10. Conectar el cable coaxial al conector tipo N de la antena y socar.
11. Conectar el otro extremo del cable coaxial al radio y socar.
12. Utilizar el sellador para conectores coaxiales para hacer que las conexiones sean a prueba de agua.

## **6. Aplicación del material especial de sellado para conectores coaxiales.**

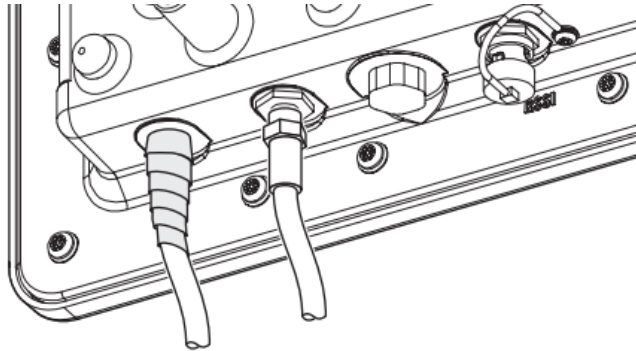
La utilización de este material evita el ingreso de la humedad a los conectores, lo cual provocaría problemas con el enlace. Este material debe ser utilizado una vez que se tiene el sistema instalado en su lugar definitivo; se aplica en:

- Conectores F, ubicados en el radio y en el bloque para puesta a tierra.
- Conectores N, ubicados en el radio y en la antena.

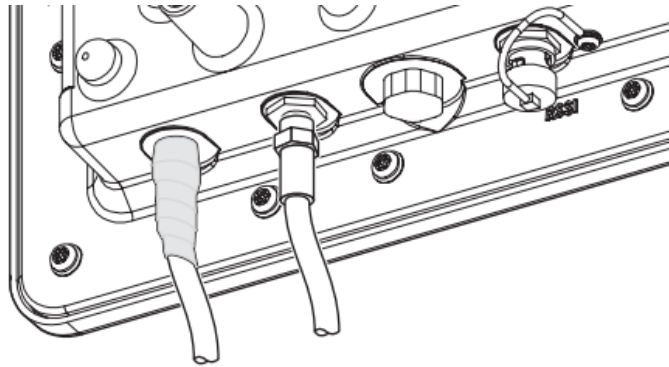
El procedimiento para aplicar el sellador en cada conector, es el siguiente:

1. Asegurarse que tanto el cable como el conector están bien socados.
2. Asegurarse que tanto el cable como el conector están limpios y secos.
3. Despegue el papel protector de una cinta de 10 pulgadas de "Coax-Seal".
4. Envolver el conector con la cinta, iniciando en el cable coaxial, extendiendo a lo largo del conector, y finalizando cerca del radio, antena o bloque de

puesta a tierra. En cada vuelta, tratar de traslapar alrededor de un 50% de la cinta. Este paso se ilustra a continuación.



5. Usando los dedos, moldear el “Coax-Seal” hasta formar una superficie suave y uniforme, asegurando que no queden burbujas de aire.



## **7. Configuración básica del sistema.**

---

En este apartado se describen dos procedimientos, uno que pertenece a la configuración del equipo a sus opciones por defecto (de fábrica), y la otra corresponde a la configuración inicial necesaria para asociar los radios entre las estaciones.

Para llevar a cabo estos procesos iniciales, es necesario contar con:

- Un lugar con espacio suficiente para ubicar los radios a una distancia mínima de 3 m entre ellos, y de 2 m del escritorio de trabajo.
- Ubicación de los radios y la antena en una estructura adecuada (no necesariamente una torre, puesto que esta configuración es a nivel de laboratorio).
- Módulo de alimentación e inyector de corriente.

- Cables coaxiales dobles.
- Una computadora con navegador de internet (preferiblemente Internet Explorer, sin embargo se puede probar si funciona con otros navegadores).
- Cable Ethernet categoría 5.

### **7.1 Configuración del radio a sus características por defecto.**

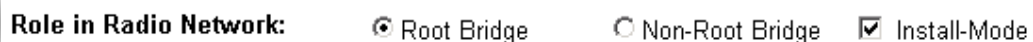
Este procedimiento es esencial en el proceso de configuración de equipo, puesto que permite retornar a las opciones de fábrica, y a partir de ellas personalizar el equipo acorde a las necesidades del usuario. Para tal fin, el proceso se explica a continuación:

1. Ubicar la estructura de los radios a una distancia mínima de 2 m del escritorio de trabajo.
2. Separar las estructuras con los radios, a una distancia mínima de 3 m.
3. Conectar el cable coaxial dobles al radio y al inyector de corriente.
4. Conectar el cable de alimentación AC al enchufe y al módulo de alimentación. **No conectar el cable del módulo de alimentación al inyector de corriente.**
5. En el inyector de corriente, presionar y mantener presionado el botón MODE al mismo tiempo que se conecta al puerto “jack” el conector del módulo de alimentación de 48 VCD.
6. Cuando en el inyector de corriente el LED indicador de estatus se torne anaranjado (aproximadamente en 1 o 3 segundos), soltar el botón MODE y esperar hasta que el LED instalación del radio parpadee en color verde. Para este caso, esto indica que el radio ha sido devuelto a su configuración de fábrica.
7. Desconectar el conector “jack” del inyector de corriente.
8. Repetir los pasos del 3 al 7 para el otro radio.

### **7.2 Configuración del radio principal y secundario.**

Hacer posible la asociación entre los radios primero conlleva la caracterización de un radio principal y otro secundario. El proceso para configurar el radio principal es el siguiente:

1. Escoger uno de los radios que fungirá como radio principal.
2. Asegurarse que ninguno de los radios se encuentran conectados a la alimentación de corriente.
3. Con el módulo de alimentación conectado al enchufe, conectar el conector “jack” solo al inyector de corriente del radio seleccionado.
4. Observar el LED estatus en el inyector de corriente y esperar 60 segundos (aproximadamente) hasta que parpadee en color verde.
5. Usando un cable Ethernet categoría 5, conectar la computadora con el inyector de corriente mediante los puertos RJ-45 de ambos dispositivos.
6. Configurar la computadora de manera que obtenga una dirección IP automáticamente.
7. Resetear la computadora.
8. Abrir el navegador de internet e ingresar en el buscador la dirección IP 10.0.0.1 (valor por defecto).
9. Ingresar en el campo de *username* la palabra **Cisco**.
10. Ingresar en el campo de *password* la palabra **Cisco**, y luego presionar Enter. Así aparecerá la interfaz propia del equipo.
11. Clic en *EXPRESSSTE-UP*.
12. En la sección *Radio0-802.11A*, *RoleinRadioNetwork*, seleccionar *RootBridge* e *InstallMode*, tal como se muestra a continuación.

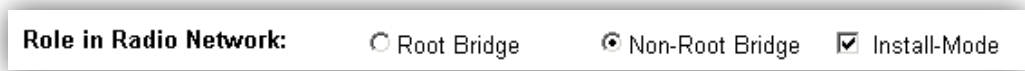


**Role in Radio Network:**  Root Bridge  Non-Root Bridge  Install-Mode

13. Clic en *Apply*.
14. El LED instalación deberá quedar parpadeando en color verde.
15. Cerrar el navegador de internet.
16. Desconectar el conector “jack” del inyector de corriente.

Por otra parte, para configurar el radio secundario, el proceso es similar y se detalla a continuación:

1. Escoger el radio restante como radio secundario.
2. Asegurarse que ninguno de los radios se encuentran conectados a la alimentación de corriente.
3. Con el módulo de alimentación conectado al enchufe, conectar el conector “jack” solo al inyector de corriente del radio seleccionado.
4. Observar el LED estatus en el inyector de corriente y esperar 60 segundos (aproximadamente) hasta que parpadee en color verde.
5. Usando un cable Ethernet categoría 5, conectar la computadora con el inyector de corriente mediante los puertos RJ-45 de ambos dispositivos.
6. Configurar la computadora de manera que obtenga una dirección IP automáticamente.
7. Reseteo la computadora.
8. Abrir el navegador de internet e ingresar en el buscador la dirección IP 10.0.0.1 (valor por defecto).
9. Ingresar en el campo de *username* la palabra **Cisco**.
10. Ingresar en el campo de *password* la palabra **Cisco**, y luego presionar Enter. Así aparecerá la interfaz propia del equipo.
11. Clic en *EXPRESSSTE-UP*.
12. En la sección *Radio0-802.11A*, *RoleinRadioNetwork*, seleccionar *Non-RootBridge* e *InstallMode*, tal como se muestra a continuación.



13. Clic en *Apply*.
14. El LED instalación deberá quedar parpadeando en color anaranjado.
15. Cerrar el navegador de internet.
16. Desconectar el conector “jack” del inyector de corriente.



## **8. Configuración para la asociación de los radios.**

---

Para que el proceso de la asociación de los radios se lleve a cabo, los mismos deben haber sido configurados como principal y secundario, y al menos contar con la configuración de fábrica.

En configuraciones más avanzadas, ambos radios deben contar con un mismo SSID (por defecto es *autoinstall*), y un nombre de equipo, dirección IP, y “MAC Address” en específico para cada radio.

Los radios se asocian de la siguiente manera:

1. Conectar la alimentación al inyector de corriente de ambos radios.

2. Usando un cable Ethernet categoría 5, conectar la computadora con el inyector de corriente del radio principal mediante los puertos RJ-45 de ambos dispositivos.
3. Abrir el navegador de internet e ingresar en el buscador la dirección IP 10.0.0.1 (valor por defecto).
4. Ingresar en el campo de *username* la palabra **Cisco**.
5. Ingresar en el campo de *password* la palabra **Cisco**, y luego presionar Enter.
6. Clic en *ASSOCIATION*. Esto le indica al radio principal buscar al radio secundario para quedar debidamente asociados.

## 9. Alineación de la antena.

---

El proceso para la alineación de las antenas se debe realizar si los radios han sido asociados adecuadamente.




Este procedimiento tiene como fin primordial ubicar la antena de manera tal que se obtenga la mejor calidad de la señal en la transmisión y recepción de la misma.


































Este procedimiento se indica a continuación:

1. Posicionar la antena de tal forma que se alinee aproximadamente con la antena de la otra estación. Específicamente, tratar que el tubo de alimentación forme línea vista con el tubo de alimentación de la antena de la otra estación.

2. Asociar los radios de las dos estaciones hasta que el LED indicador de instalación se torne verde para el radio principal, y anaranjado para el radio secundario.
3. Mover suavemente la antena con el objetivo de buscar la mejor calidad de señal recibida. Para conocer la calidad de la señal hay dos maneras, una es mediante el uso de los LEDs indicadores y la otra, utilizando el puerto RSSI. Los mismos se explican a continuación, y deben ser realizados en modo instalación (*InstallMode*):
  - a. Usando LEDs indicadores de Ethernet, estatus y radio: para lograr el máximo posible de la señal, se debe ajustar la antena hasta que se tenga la mayor cantidad posible de LEDs encendidos y el resto parpadeando.

Primero, tomar en cuenta la siguiente simbología:

	Parpadea cuatro veces por segundo
	Parpadea dos veces por segundo
	Parpadea una vez por segundo

Nivel de la señal [dBm]	Configuración de LEDs		
	E	S	R
>-42			
-45 a -42			
-48 a -45			
-51 a -48			
-54 a -51			
-57 a -54			
-60 a -57			
-63 a -60			
-66 a -63			
-69 a -66			
-72 a -69			

-75 a -72	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
< -75	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

- b. Usando puerto RSSI: este puerto brinda un nivel de tensión en corriente continua proporcional al nivel de la señal recibida. Para esta medición es necesario el uso de un multímetro con conector BNC macho.

Nivel de señal [dBm]	RSSI [V]
-20 o mayor	2,7
-30	2,3
-40	1,9
-50	1,5
-60	1,2
-70	0,8
-80	0,4
-90 o menor	0,0

4. Una vez encontrada la mejor calidad de señal posible, ajustar los elementos de montaje de la antena de forma que la misma quede fija en el lugar adecuado.

## 10. Configuración de la seguridad y otras opciones del radio.

---

Hasta el momento, lo que se ha realizado con el equipo ha sido algo sumamente general, lo cual hace que configurarlo de acuerdo a las especificaciones del usuario sea muy importante, puesto que se desea ser accedido solamente por personal autorizado. Tal como se pudo observar en configuraciones anteriores, al equipo se le pueden asignar diferentes características, mismas que se deben ajustar a las necesidades y requerimientos del usuario final.

### 10.1 Asignación de características básicas de personalización.

1. Una vez que se accede a la interfaz del radio, ingresar a la sección *EXPRESS SET-UP*.

2. Asignar un nombre al equipo en *HostName*.

<b>Host Name:</b>	<input type="text" value="RBJW31"/>
<b>MAC Address:</b>	003a.9960.12d2

3. Configurar el servidor de protocolo (*configuration server protocol*), mediante la selección de:
  - a. *DHCP*: dirección IP asignada automáticamente por el servidor DHCP de la red.
  - b. *Static IP*: dirección IP asignada por el usuario.

<b>Configuration Server Protocol:</b>	<input type="radio"/> DHCP <input checked="" type="radio"/> Static IP
<b>IP Address:</b>	<input type="text" value="192.168.10.77"/>
<b>IP Subnet Mask:</b>	<input type="text" value="255.255.255.0"/>
<b>Default Gateway:</b>	<input type="text" value="192.168.10.1"/>

4. Solo si se seleccionó *Static IP*, asignar o cambiar la dirección IP en *IP Address*; cuando se selecciona DHCP, este campo queda vacío.
5. Ingresar la máscara de subred en *IP SubnetMask* dada por el administrador de red; cuando se selecciona DHCP, este campo queda vacío.
6. Ingresar la dirección IP de la puerta de enlace en *Default Gateway* dada por el administrador de red; cuando se selecciona DHCP, este campo queda vacío.
7. Si la red en la cual trabajar utiliza SNMP, ingresar el nombre de la comunidad SNMP en *SNMP Community*, y seleccionar una de las siguientes opciones:
  - a. *Read-Only*: usuario SNMP no puede cambiar ajustes de la configuración del radio.
  - b. *Read-Write*: usuario SNMP puede cambiar ajustes de la configuración del radio.

8. La sección *Role in Radio Network* ya se encuentra configurada debido a secciones anteriores.

**Role in Radio Network:**  Root Bridge  Non-Root Bridge  Install-Mode

**Optimize Radio Network for:**  Throughput  Range  Default  [Custom](#)

9. Seleccionar una de las opciones dadas en *Optimize Radio Network for*:
- Throughput*: maximiza el volumen de datos manejados por el radio pero reduciría su rango (distancia a la que puede enviar la señal).
  - Range*: maximiza el rango del radio pero reduciría su throughput.
  - Default*: retiene las configuraciones por defecto que fueron diseñadas para proveer un buen rango y throughput para la mayoría de los radios.
  - Custom*: el radio utiliza la configuración dada por el usuario en *Network Interfaces >>Radio-802.11 >>Settings*.
10. Clic en *Apply*.

## 10.2 Asignación de características básicas de seguridad.

Para la configuración básica de la seguridad con la que deberá contar el radio, primero se debe tener muy claro la función de cada tipo de seguridad con las que se cuenta, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Tipos de seguridad.

Tipo de seguridad	Descripción	Características de seguridad
<i>No Security</i>	Opción menos segura. Ésta opción se debe usar solo en un SSID utilizado en un espacio público y asignado a una VLAN que restringe acceso a la red.	Ninguna.
<i>Static WEP Key</i>	Más segura que <i>No Security</i> . Sin embargo WEP Key es vulnerable a ataques	WEP obligatoria, es decir, otros radios no pueden asociarse usando este SSID sin una llave

		WEP que coincida con esta llave del radio.
<i>EAP Authentication</i>	Permite autenticación 802.1x ( <i>LEAP, PEAP, EAP-TLS, EAT-GTC</i> , y otras); requiere del ingreso de una dirección IP y “sharedsecret” para el servidor autenticador en la red (puerto 1645 del servidor de autenticación). No se necesita ingresar llave <i>WEP</i> .	Autenticación 802.1x obligatoria, es decir, los radios a asociarse deben cumplir con autenticación 802.1x.
<i>WPA</i>	Permite acceso inalámbrico a dispositivos autenticados contra una base de datos a través de servicios de un servidor autenticación, luego encripta su tráfico de IP con algoritmos más fuertes que los utilizados en <i>WEP</i> . Requiere del ingreso de una dirección IP y “sharedsecret” para el servidor autenticador en la red (puerto 1645 del servidor de autenticación).	Autenticación WPA obligatoria, es decir, los radios a asociarse deben ser captadores de WPA.

1. Una vez que se accede a la interfaz del radio, ingresar a la sección *EXPRESS SECURITY*.
2. Asignar un único “nombre de red” (SSID) el cual puede incluir hasta 32 caracteres alfanuméricos. Este nombre deberá ser igual para los dos radios, de no ser así, no se podrán asociar.

1. SSID   Broadcast SSID in Beacon

3. Activar/Desactivar la opción *Broadcast SSID in Beacon*. Seleccionarlo implica que otros dispositivos que no especifiquen un SSID podrán asociarse al radio; mientras que no seleccionarlo implica que otros dispositivos no podrán asociarse con el radio, al menos que coincidan con el SSID.

- (Opcional). Activar *Enable VLAN ID* e ingresar un número de la VLAN (1 a 4094) para asignar el SSID a la VLAN. No se puede asignar un SSID a una VLAN existente.
- (Opcional). Activar Native VLAN para asignar a la VLAN como VLAN nativa.

## 2. VLAN

No VLAN    Enable VLAN ID:  (1-4094)    Native VLAN

- Seleccionar la configuración de seguridad para el SSID, las cuales se enlistan en orden a su robustez, desde No Security hasta WPA, que es la configuración más segura. Si se selecciona EAP Authentication o WPA, en RADIUS Server ingresar la dirección IP, y el RADIUS Server Secret, así como el “sharedsecret” (combinación alfanumérica de entre 8 y 63 caracteres).

## 3. Security

No Security

Static WEP Key

Key 1  128 bit

EAP Authentication

RADIUS Server:  (Hostname or IP Address)

RADIUS Server Secret:

WPA

RADIUS Server:  (Hostname or IP Address)

RADIUS Server Secret:

- Clic en *Apply*.





## **11. Configuración de las características Radio-802.11.**

---

En esta sección se explica cómo configurar ciertos parámetros del radio que son de suma importancia para asegurar que la transmisión de los datos sea un éxito. El proceso que se explica a continuación se realiza desde la interfaz del equipo, al menos que se indique lo contrario.

1. Una vez que se accede a la interfaz del radio, ingresar a la sección *NETWORK INTERFACES*.
2. Ingresar a la subsección *Radio-802.11*.
3. Clic en la pestaña *SETTINGS*. Con esto se ingresa a la interfaz que permite configurar características muy específicas acerca el funcionamiento que tendrá el radio.
4. En *Enable Radio* activar la opción *Enable*(activada por defecto). *Current Status* indica el estado de funcionamiento del radio, así *Up* indica que está trabajando y *Down* lo contrario.

**Enable Radio:**  Enable  Disable

**Current Status (Software/Hardware):** Enabled   Up 

5. Seleccionar el rol que tendrá el radio en *Role in Radio Network*. Como esto ya se configuró en secciones anteriores, entonces ya aparecerá seleccionado el rol del respectivo radio, sin embargo, acá también se puede cambiar dicha característica del radio.

**Role in Radio Network:**

Root Bridge

Non-Root Bridge

Install Automatic

Install Root Bridge

Install Non-Root Bridge

6. Seleccionar la configuración deseada en cuanto a la velocidad de datos en *Data Rates*.

<b>Data Rates:</b>	Best Range	Best Throughput	Default
6.0Mb/sec	<input checked="" type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
9.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input checked="" type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
12.0Mb/sec	<input checked="" type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
18.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input checked="" type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
24.0Mb/sec	<input checked="" type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
36.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input checked="" type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
48.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input checked="" type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
54.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input checked="" type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable

7. Seleccionar la potencia de transmisión requerida en *TrasmitterPower*. Acá también se puede acceder a una tabla que indica los valores de potencia de transmisión tanto en mW como en dBm, mediante al enlace *PowerTranslationTable*.

**Transmitter Power (dBm):**  12  15  18  21  22  23  24  Max [Power Translation Table \(mW/dBm\)](#)

8. Seleccionar el canal que utilizará el radio para la transmisión de datos en *Default Radio Channel*.

**Default Radio Channel:** Channel 157 - 5785 MHz Channel 157 5785 MHz

**Least Congested Channel Search:**  
(Use Only Selected Channels)

- Channel 149 - 5745 MHz
- Channel 153 - 5765 MHz
- Channel 157 - 5785 MHz
- Channel 161 - 5805 MHz

9. Por defecto en *AironetExtensions* aparece como *Enable*. Esto es para mejorar las comunicaciones con otros radios de la serie 1400.

**Aironet Extensions:** Enable

10. En *Ethernet Encapsulation Transform* activar la opción *802.1H*. Esta opción lo que permite es el óptimo rendimiento para equipo Aironet de Cisco.

**Ethernet Encapsulation Transform:**  RFC1042  802.1H

11. Para mejorar el throughput se puede activar la concatenación en *Concatenation* activando *Enable*. Además, de forma opcional, en *Max Length of Concatenation* se puede configurar el tamaño máximo para los paquetes de concatenación en bytes, los cuales pueden ser de entre 1600 y 4000 bytes. El valor por defecto es de 3500 bytes.

**Concatenation:**  Enable  Disable

**Max Length of Concatenation:**  (1600-4000)

12. La opción *BeaconPeriod* es el tiempo transcurrido entre el beacon de cada radio en Kilomicrosegundos (Kµs), es decir, un Kµs equivale a 1024 µs. El periodo por defecto es de 100 Kµs.

**Beacon Period:**  (20-4000 Kusec)

13. Especificar el *Max. Data Retries*. Determina el número de intentos que el radio realiza para enviar un paquete antes de darse por vencido y dejar caer el paquete. El valor puede ser de entre 1 y 128.

14. Especificar el *RTS Max. Retries*. Es el número máximo de veces que el radio cuestiona un RTS antes de detener el intento de enviar el paquete a través del radio. El valor puede ser de entre 1 y 128.

**Max. Data Retries:**  (1-128)      **RTS Max. Retries:**  (1-128)

15. Especificar el *FragmentationThreshold*. Determina el tamaño al cual los paquetes son fragmentados (enviadas como varias piezas en lugar de un solo bloque). El valor de *FragmentationThreshold* debe ser igual o mayor al valor ingresado en el tamaño de concatenación, de lo contrario se producirá conflictos en la configuración. El valor por defecto es de 4000 bytes.

16. Especificar el *RTS Threshold*. Determina el tamaño del paquete cuando el radio atiende la petición de envío de datos (requesttosend (RTS)) antes de la transmisión de paquetes. Para enlaces punto a punto, tanto en el radio principal como secundario se configura como 4000 bytes; mientras que para enlaces punto a multipunto, al radio principal se le asigna 4000 y los secundarios 0 bytes.

**Fragmentation Threshold:**  (256-4000)      **RTS Threshold:**  (0-4000)

17. Clic en *Apply*.

Debido a la versión del software con la que cuentan los radios, específicamente 12.3(8)JEA3, el parámetro de la distancia no se puede configurar al menos que sea mediante líneas de comandos. En modo instalación, la distancia por defecto es de 99 Km, mientras que para otro tipo de modo, la distancia por defecto es de 0 Km.

La distancia a configurar corresponde a la distancia que separa al radio principal del radio secundario, y el sistema solo acepta valores entre 0 y 99 Km. Este parámetro solo es necesario configurarlo en radio principal.

Para la configuración de la distancia, se debe realizar el siguiente procedimiento:





1. Usando un cable Ethernet categoría 5, conectar la computadora con el inyector de corriente mediante los puertos RJ-45 de ambos dispositivos.
2. En la computadora, seleccionar **Star/Inicio**.
3. Seleccionar **Run/Ejecutar**.
4. En el campo de entrada, digitar **Telnet** y presionar **Enter**.
5. Dependiendo de la versión de Windows, pueden ocurrir dos situaciones:
  - a. Si aparece una ventana de Telnet, con interfaz gráfica conformada por botones, presionar **Connect/Conectar** y seleccionar **RemoteSystem/Sistema Remoto**.
    - i. En el campo de entrada, ingresar la dirección IP del radio principal y luego dar clic en **Connect/Conectar**.
  - b. Si aparece una ventana de Telnet, con interfaz gráfica similar al símbolo de sistema (commandprompt), digitar open.
    - i. Seguido de ( **to** ) ingresar la dirección IP del radio principal y presionar **Enter**.
6. Ingresar el nombre de usuario en **username** y la clave en **password**.
7. Digitar **enable** y presionar **Enter**.
8. Digitar **configure terminal** y presionar **Enter**.
9. Digitar **interface dot11radio 0** y presionar **Enter**.

10. Digitar ***distance*** seguido de un espacio y la cantidad de distancia entre 0 y 99 Km. Luego presionar ***Enter***.
11. Digitar ***end*** y presionar ***Enter***.
12. Digitar ***copyrunning-configstartup-config*** y presionar ***Enter***. De este modo el parámetro ha sido configurado.

## 12.Indicaciones de LEDs.

---

Primero, es necesario tener en cuenta la siguiente simbología:

	LED apagado.
	Estado de LED no importa.
	LED parpadeando (anaranjado y verde respectivamente).
	Encendido continuo del LED (anaranjado, verde y rojo respectivamente)

### 12.1 Indicaciones de los LEDs del Radio.

<b>E</b>	<b>S</b>	<b>R</b>	<b>Significado</b>
			Enlace Ethernet caído o deshabilitado.
			Enlace Ethernet operando.
			Transmitiendo y recibiendo paquetes de Ethernet.
			Transmitiendo y recibiendo errores de Ethernet.
			Error de firmware. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.
			Radio principal – radios remotos no asociados. Radio secundario – no asociado al radio principal. Si los radios se encuentran encendidos, esto indica SSID y configuraciones de seguridad incorrectas; o alineamiento de antena incorrecto.
			Radio principal – radio secundario asociado. Radio secundario – asociado al radio principal. Operación normal.
			Advertencia general. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.
			Cargando firmware.
			Error en carga de firmware. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.
			Operación normal.
			Transmitiendo y recibiendo paquetes de radio. Operación normal.
			Máximos reintentos o buffer lleno en la interfaz del radio. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.
			Error en el firmware del radio. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.

Por otra parte, el LED indicador de instalación (I), también tiene sus diferentes estados:

<b>I</b>	<b>Significado.</b>
	Auto-prueba.
	Buscando radio secundario.
	Radio secundario asociado.
	Buscando radio principal.
	Radio principal asociado.

## 12.2 Indicaciones de los LEDs del inyector de corriente.

Uplink Activity	InjectorActivity	Ethernet Activity	Significado
			Cable de enlace Ethernet desactivado.
			Cable de enlace Ethernet operando.
			Transmitiendo y recibiendo paquetes mediante cable enlace Ethernet.
			Error en memoria interna. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.
			Enlace inyector – radio desactivado. Verificar que la conexión de cables coaxiales dobles sea correcta.
			Enlace inyector – radio operando.
			Transmitiendo y recibiendo paquetes de Ethernet entre el inyector y el radio.
			Error en memoria interna. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.
			Radio ha pasado con éxito el “PowerOnSelf Test (POST)” y la imagen IOS ha sido cargada.
			Alimentación del radio esta activada, y el radio está cargando la imagen del IOS o la operación POST ha sido iniciada
			Radio no ha sido detectado y la alimentación del radio no ha sido activada. Verificar que la conexión de cables coaxiales dobles sea correcta.
			Error en memoria interna. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.
			Radio volviendo a configuración de fábrica
			Modo recuperación de imagen, descargando nueva imagen; botón MODE se ha mantenido presionado más de 20 segundos.
			Error en memoria interna. Desconectar y reconectar el inyector de corriente.



### **13.Recomendaciones.**

---

- SSID de por lo menos 15 caracteres, dentro de los cuales se incluyan letras y números
- *Broadcast SSID in Beacon: No seleccionado*
- Security: WPA
- *Transmitter Power: 24 dBm*
- Default Radio Channel:
- *Encapsulation Transform: 802.1H*

- *Concatenation: Enable.*
- *Max Length of Concatenation: 100.*
- *Beacon Period: 100.*
- Max. Data Retries: 32.
- RTS Max. Retries: 32.
- Fragmentation Threshold: 4000.
- RTS Threshold: 4000.

## **14. Referencias.**

---

Referencias obtenidas de la dirección web <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/wireless/index.htm>.

- [1]. Quick Start Guide: Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge
- [2]. Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge Hardware Installation Guide.
- [3]. Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge Software Configuration Guide.
- [4]. Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge Mounting Instructions.
- [5]. Cisco IOS Command Reference for Cisco Aironet Access Points and Bridges.

[6]. Release Notes: Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge.

[7]. Cisco Aironet 1400 Series Outdoor Wireless Bridge 28-dBi Dish Antenna.

#### **A.4 Información sobre la empresa.**

Schneider Electric Centroamérica Ltda es una empresa que fue fundada en Costa Rica 1976, con la misión de convertirse en la planta de producción de equipo eléctrico que abasteciera al mercado centroamericano. Inicialmente se llamaba Square D Centroamericana S. A., pero a partir de 1991, pasó a recibir su nombre actual luego de que fuera adquirida por la corporación francesa Groupe Schneider.

Las actividades principales de Schneider Centroamérica Ltda. son proveer soluciones que involucran productos y servicios en los campos de distribución eléctrica en baja y media tensión, en control industrial y automatización para el mercado centroamericano.

La planta de Costa Rica ensambla diferentes productos tales como: centros de carga, controles de bombas y arrancadores, gabinetes de control especial, tableros de distribución, transferencias de energía, bancos de condensadores, seccionadores en mediana tensión y tableros especiales.

Esta empresa crea fuertes alianzas comerciales con sus canales: distribuidores generalistas, distribuidores especializados, integradores de sistemas, contratistas eléctricos, etc. Dichas alianzas garantizan la disponibilidad de la oferta de productos y servicios donde lo requiera el cliente, asistencia y soporte técnico calificados. Además cuentan con distribuidores con una relación ininterrumpida de más de 20 años.

Schneider Electric Centroamérica considera a su red de distribuidores como piedra angular del proceso de comercialización. Para el caso de este proyecto en específico, hace alianza con Soati (integradores de sistemas dedicados a la automatización industrial), para llevar a cabo el proyecto de la primera planta eólica del Valle Central.

## **Anexos.**

---

### **B.1 Hoja de datos equipo Aironet 1400.**

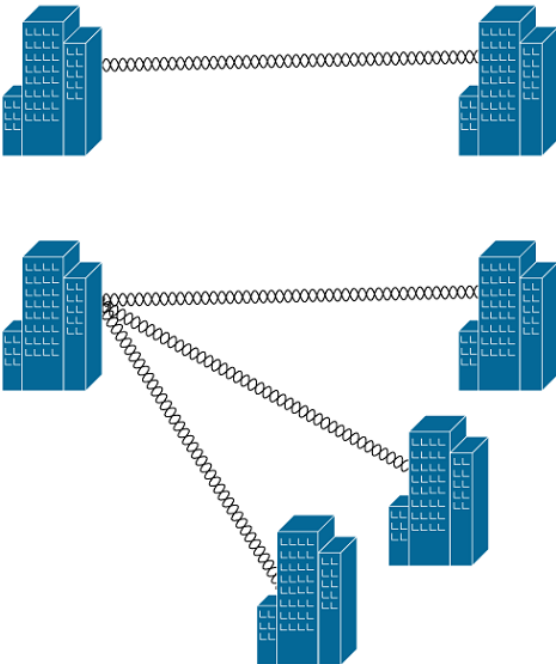
Data Sheet

#### **Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge**



- Healthcare—Hospital campuses and physician offices
- Enterprise Campus—Building-to-building links (point-to-point or point-to-multipoint), or any situation where a company needs to expand across an area where right-of-way is not possible
- Service Provider—Backhaul to aggregate multiple lower-speed links into a higher speed link

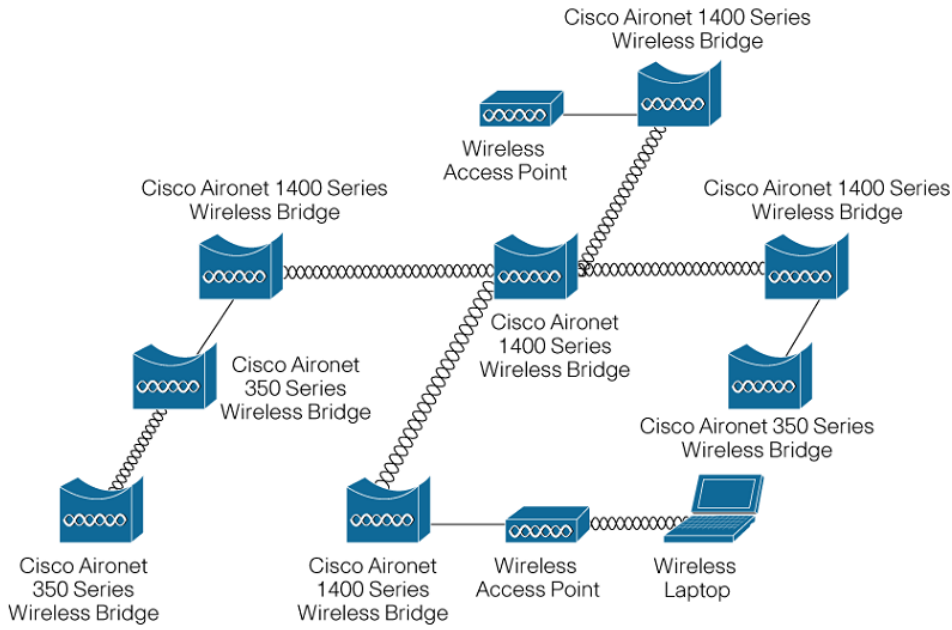
**Figure 1.** Point-to-Point and Point-to-Multipoint Applications



### Mobile Networks and Wireless Bridges

The concept of mobile networks is significant not only for service providers looking to offer seamless network access, but also for individual organizations such as municipal public safety units. In many instances, the technology exists to create the zones that provide the mobile network, but the challenge lies in bringing the network to these zones. The Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge provides a cost-effective solution to this application. The wireless bridge can connect to the network that contains the 2.4 GHz access points or bridges that are providing wireless zone coverage, and also provide the backhaul link to the high-speed network (Figure 2). Whether these zones are 802.11 hot spots at cafes and restaurants or bridged 802.11b cells for mobile networks, the Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge provides a non-interfering and higher speed distribution service.

**Figure 2.** Public Safety Network Utilizing Wireless Bridges



### ROI

The high-speed links between the wireless bridges deliver throughput several times faster than E1/T1 lines for a fraction of the cost—eliminating the need for expensive leased lines or difficult-to-install fiber-optic cable. Because bridges have no recurring charges, savings on leased-line services quickly pay for the initial hardware investment. The Cisco Aironet 1400 Series with its 54 Mbps throughput capability connects discrete sites into a single LAN at speeds much greater than leased lines, even when they are separated by obstacles such as freeways, railroads, or bodies of water that are practically insurmountable using copper or fiber-optic cable.

### High Performance

Operating in the unlicensed 5.8 GHz band, the Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge sets a new standard for performance, combining powerful 250 mW radios, industry-leading receive sensitivity, installation tools to assist in bridge placement, delay spread capabilities, and a choice of integrated or connectorized high gain antennas, Cisco provides a complete solution for a wide variety of fixed wireless applications.

Data rates of 54 Mbps can be enabled for point-to-point links up to 8.5 miles, and for point-to-multipoint links up to 2.75 miles. Aggregate throughput can be obtained in excess of 28 Mbps. Also, by using higher gain antennas or lower data rates, ranges in excess of 20 miles point-to-point can be covered.<sup>1</sup>

## Advanced Management Features

The CiscoWorks Wireless LAN Solution Engine (WLSE) is available as a management tool for Cisco Aironet access points operating autonomously (without a Wireless LAN Controller) and wireless bridges. CiscoWorks WLSE is a turnkey, scalable, and centralized management platform with an HTML-based interface. It uses Simple Network Management Protocol (SNMP) and Secure Shell (SSH)/Secure Sockets Layer (SSL) for managing Cisco Aironet access points and wireless bridges via a Web browser.

For more information on CiscoWorks WLSE, visit: <http://www.cisco.com/go/wlse>

See Table 1 for additional features and benefits. For system specifications of the Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge see Table 2, for product specifications see Table 3.

**Table 1.** Features and Benefits

Features	Benefits
<b>802.11a radio with 24 dBm (250 mW) maximum transmit power, -70 dBm receive sensitivity at 54 Mbps data rate<sup>2</sup></b>	The 5.8 GHz radio in the Cisco Aironet 1400 Series offers superior radio performance that results in industry-leading range. The greater the range, the higher the supported data rate or the more reliable the link at a given data rate.
<b>Industry-leading security, network management, and software feature set</b>	The Cisco Aironet 1400 Series software builds on the feature-rich, customer-driven Cisco Aironet software and the Cisco Wireless Security Suite, including 802.1X support with mutual authentication and dynamic encryption keys with TKIP; management through SNMP, Telnet, and Web browsers.
<b>Fully weatherized metal housing and extended operating temperature (-30 to 55oC or -22 to 131oF)</b>	The rugged weatherproof design of the Cisco Aironet 1400 Series provides flexibility for deployment in a variety of settings. The rugged features and broad operating temperature range support deployment in factories, warehouses, and the outdoors.
<b>The Cisco Aironet Power Injector LR</b>	The Power Injector LR converts the standard 10/100 baseT Ethernet category 5 RJ-45 interface that is suitable for weather-protected areas to a dual F-Type connector interface for dual coax cables that are more suitable for harsh outdoor environments. While providing a 100baseT interface to the Cisco Aironet 1400 Series, the Power Injector LR also provides power to the unit over the same cables with a power discovery feature that protects other appliances from damage should they accidentally be connected. As an added benefit to the installer, Auto MDIX is built in, allowing the dual cables to be swapped and while maintaining the same functionality. To support longer cable runs from your infrastructure network switch or router, the Power Injector LR is designed to accommodate 100 m coaxial cable run plus 100 m of indoor cat5 cable, to enable total cable runs up to 200 meters. Lightning and surge protection is also included at the F-Type connector interface to provide added protection to your network infrastructure devices.
<b>Flexible mounting with multifunction mount or optional roof/wall mount</b>	The Cisco Aironet 1400 Series Multifunction Mount allows the captured antenna Cisco Aironet 1400 Series to provide either horizontal or vertical polarization. With its quick-hang feature, the mount will support the weight of the bridge during the alignment process. To assist the installation, hoisting rings are attached to the mount. The mount will interface to poles or masts from 1.5 in. to 2.5 in. while allowing for elevation and azimuth alignment. For the connectorized version, the mount provides a wall mount mechanism. The captured antenna Cisco Aironet 1400 Series can be mounted to a wall, roof, or other flat surface with the addition of the optional Cisco Aironet 1400 Series Roof/Wall Mount kit.
<b>Wireless root bridge</b>	The wireless root bridge role provides the Cisco Aironet 1400 Series with support for both point-to-point or point-to-multipoint bridging
<b>Wireless non-root bridge</b>	The wireless non-root bridge allows the Cisco Aironet 1400 Series to operate as the remote node in a point-to-point or point-to-multipoint bridge network.
<b>Wireless packet concatenation</b>	The concatenation of smaller packets into larger ones allows the Cisco Aironet 1400 Series to more efficiently utilize the wireless medium and provide higher overall data throughputs.
<b>Wireless link distance adjustment</b>	The link distance parameter allows the user to tune the carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA) parameters for the particular range to maximize performance.
<b>Wireless programmable clear channel assessment</b>	With a programmable clear channel assessment, the Cisco Aironet 1400 Series can be configured to the particular background interference level found in your environment for reduced contention overhead with other wireless systems.
<b>Antenna alignment assistance</b>	The Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge provides an auto-configuration and installation mode for out of the box deployment of point to point links without the need for a configuration via telnet, File Transfer Protocol (FTP), or SNMP. This mode drives LEDs and a Received Signal Strength Indicator (RSSI) port with a voltage output proportional to received signal strength for use in the installation and alignment process. This frees up the installers to perform their installation process and verify the link quality without requiring Cisco IOS Software or data networking knowledge.
<b>Diagnostic LEDs</b>	Provide alignment feedback to the installer and diagnostic information to troubleshooters directly at the antenna

<sup>2</sup> 24 dBm transmit power only available in FCC configuration units

Features	Benefits
	without the use of a computer. Diagnostic information is also provided on the Power Injector LR LEDs
<b>16 megabytes of flash memory</b>	Memory space for future firmware upgrades to support new 802.11 standards and advanced features.
<b>One N-Type connector for external antenna connection</b>	The N-Type connector is the industry standard for higher performance RF systems in an outdoor environment and is compatible with the Cisco® line of optional 5.8 GHz antennas, enabling wireless bridging professional installers to customize radio coverage for specific deployment scenarios.
<b>Easy weather sealing and grounding</b>	The Cisco Aironet 1400 Series provides standard N-Type and F-Type coaxial cable connectors for easy and reliable weather sealing and grounding. A coaxial sealant is provided with each system, along with a standard grounding block to allow the installer to meet National Electric Code guidelines.

**Table 2.** Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge System Specifications

	AIR-BR1410A-x-K9	AIR-BR1410A-A-K9-N
<b>Frequency band</b>	5.725 to 5.825 GHz (FCC UNII 3)	5.725 to 5.825 GHz (FCC UNII 3)
<b>Wireless modulation</b>	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM)	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM)
<b>Media access protocol</b>	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)
<b>Modulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BPSK @ 6 and 9 Mbps</li> <li>• QPSK @ 12 and 18 Mbps</li> <li>• 16-QAM @ 24 and 36 Mbps</li> <li>• 64-QAM @ 48 and 54 Mbps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BPSK @ 6 and 9 Mbps</li> <li>• QPSK @ 12 and 18 Mbps</li> <li>• 16-QAM @ 24 and 36 Mbps</li> <li>• 64-QAM @ 48 and 54 Mbps</li> </ul>
<b>Non-overlapping channels</b>	4	4
<b>Receive sensitivity (10% PER with 3200 byte packets)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 Mbps: -83 dBm</li> <li>• 9 Mbps: -83 dBm</li> <li>• 12 Mbps: -83 dBm</li> <li>• 18 Mbps: -82 dBm</li> <li>• 24 Mbps: -79 dBm</li> <li>• 36 Mbps: -76 dBm</li> <li>• 48 Mbps: -72 dBm</li> <li>• 54 Mbps: -70 dBm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 Mbps: -83 dBm</li> <li>• 9 Mbps: -83 dBm</li> <li>• 12 Mbps: -83 dBm</li> <li>• 18 Mbps: -82 dBm</li> <li>• 24 Mbps: -79 dBm</li> <li>• 36 Mbps: -76 dBm</li> <li>• 48 Mbps: -72 dBm</li> <li>• 54 Mbps: -70 dBm</li> </ul>
<b>Maximum operational receive level</b>	-19 dBm	-19 dBm
<b>Maximum survivable receive level</b>	0 dBm	0 dBm



	AIR-BR1410A-x-K9	AIR-BR1410A-A-K9-N
<b>Available transmit power settings</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AIR-BR1410A-A-K9               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 250 mW (24 dBm)</li> <li>◦ 200 mW (23 dBm)</li> <li>◦ 155 mW (22 dBm)</li> <li>◦ 125 mW (21 dBm)</li> <li>◦ 60 mW (18 dBm)</li> <li>◦ 30 mW (15 dBm)</li> <li>◦ 15 mW (12 dBm)</li> </ul> </li> <li>• AIR-BR1410A-K-K9               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 155 mW (22 dBm)</li> <li>◦ 125 mW (21 dBm)</li> <li>◦ 60 mW (18 dBm)</li> <li>◦ 30 mW (15 dBm)</li> <li>◦ 15 mW (12 dBm)</li> </ul> </li> <li>• AIR-BR1410A-Z-K9               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 20 mW (13 dBm)</li> <li>◦ 10 mW (10 dBm)</li> <li>◦ 8 mW (9 dBm)</li> <li>◦ 6 mW (8 dBm)</li> <li>◦ 5 mW (7 dBm)</li> <li>◦ 2.5 mW (4 dBm)</li> </ul> </li> <li>• AIR-BR1410A-E-K9               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 5 mW (7 dBm)</li> <li>◦ 2.5 mW (4 dBm)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 250 mW (24 dBm)</li> <li>• 200 mW (23 dBm)</li> <li>• 155 mW (22 dBm)</li> <li>• 125 mW (21 dBm)</li> <li>• 60 mW (18 dBm)</li> <li>• 30 mW (15 dBm)</li> <li>• 15 mW (12 dBm)</li> </ul>
<b>Note:</b> Maximum power setting will vary according to individual country regulations		
<b>Point-to-point range<sup>3</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Americas               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 8.5 miles (14 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 16 miles (26 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> <li>• Korea               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 5.5 miles (9 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 11.25 miles (18.25 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> <li>• Australia &amp; New Zealand               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 3.5 miles (5.75 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 9.5 miles (15.25 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> <li>• Ireland &amp; China               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 1.75 miles (2.75 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 7.25 miles (11.5 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Americas               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 13 miles (21 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 23 miles (37 km) @ 9 Mbps</li> <li>◦ (Antennas are 28 dBi dish)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Point-to-multipoint range (sector antenna at root)<sup>3</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Americas               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 2.75 miles (4.5 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 8.5 miles (14 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> <li>• Korea               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 1 mile (1.75 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 5 miles (8 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> <li>• Australia &amp; New Zealand               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 0.75 miles (1.2 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 3.25 miles (5.25 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> <li>• Ireland &amp; China               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 0.4 miles (0.6 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 1.75 miles (2.75 km) @ 9 Mbps</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Americas               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 4.25 miles (7 km) @ 54 Mbps</li> <li>◦ 11 miles (18 km) @ 9 Mbps</li> <li>◦ (Non-root antenna is 28 dBi dish)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Antenna</b>	Captured Linear Polarization; 22.5 dBi gain <sup>4</sup> ; 10°E-plane by 12°H-plane beamwidth	One N-Type connector for professional installations (antennas sold separately)

<sup>3</sup> The distances referenced here are approximations and should be used for estimation purposes only.

<sup>4</sup> AIR-BR1410A-K-K9 has 20 dBi gain

	AIR-BR1410A-x-K9	AIR-BR1410A-A-K9-N
<b>Security</b>	Cisco Wireless Security Suite, including: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Authentication               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 802.1X support including LEAP to yield mutual authentication and dynamic per-user, per-session encryption keys</li> </ul> </li> <li>• Encryption               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Support for static and dynamic IEEE 802.11 WEP keys of 40 bits and 128 bits</li> <li>◦ WPA TKIP and Cisco TKIP enhancements: key hashing (per packet keying), Message Integrity Check (MIC), and broadcast key rotation</li> </ul> </li> </ul>	Cisco Wireless Security Suite, including: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Authentication               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 802.1X support including LEAP to yield mutual authentication and dynamic per-user, per-session encryption keys</li> </ul> </li> <li>• Encryption               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Support for static and dynamic IEEE 802.11 WEP keys of 40 bits and 128 bits</li> <li>◦ WPA TKIP and Cisco TKIP enhancements: key hashing (per packet keying), Message Integrity Check (MIC), and broadcast key rotation</li> </ul> </li> </ul>
<b>SNMP compliance</b>	v1 and v2	v1 and v2

**Table 3.** Cisco Aironet 1400 Series Wireless Bridge Product Specifications

	AIR-BR1410A-x-K9	AIR-BR1410A-A-K9-N	Power Injector LR
<b>Status LEDs</b>	Four LEDs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Install</li> <li>• Radio</li> <li>• Status</li> <li>• Ethernet</li> </ul>	Four LEDs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Install</li> <li>• Radio</li> <li>• Status</li> <li>• Ethernet</li> </ul>	Four LEDs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Power ON</li> <li>• Injector status</li> <li>• LAN Ethernet status</li> <li>• Bridge Ethernet status</li> </ul>
<b>RSSI port</b>	BNC connector DC Voltage port (0VDC to 2.7 VDC)	BNC connector DC Voltage port (0VDC to 2.7 VDC)	—
<b>Uplink</b>	100 Mbps over dual coaxial cables	100 Mbps over dual coaxial cables	10/100BaseT Ethernet
<b>Configuration support</b>	Telnet, HTTP, FTP, TFTP, SNMP	Telnet, HTTP, FTP, TFTP, SNMP	—
<b>Compliance</b>	Standards <ul style="list-style-type: none"> <li>• Safety:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ UL 60950</li> <li>◦ CSA C22.2 No. 60950-00</li> <li>◦ IEC 60950</li> <li>◦ EN 60950</li> </ul> </li> <li>• Radio Approvals:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ FCC Part 15.207, 15.407 &amp; 15.209 Class B</li> <li>◦ ICES-003 Class B (Canada)</li> <li>◦ Canada DGTP-010</li> <li>◦ FCC Bulletin OET-65C</li> <li>◦ Industry Canada RSS-102, RSP100, RSS 210 Issue 5</li> </ul> </li> <li>• EMI and Susceptibility (Class B):               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ FCC Part 15.107 &amp; 15.109 Class B</li> <li>◦ ICES-003 Class B (Canada)</li> <li>◦ EN 55022 Class B</li> <li>◦ EN 55024</li> </ul> </li> </ul>	Standards <ul style="list-style-type: none"> <li>• Safety:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ UL 60950</li> <li>◦ CSA C22.2 No. 60950-00</li> <li>◦ IEC 60950</li> <li>◦ EN 60950</li> <li>◦ NEMA 4</li> </ul> </li> <li>• Radio Approvals:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ FCC Part 15.207, 15.407 &amp; 15.209 Class B</li> <li>◦ ICES-003 Class B (Canada)</li> <li>◦ Canada DGTP-010</li> <li>◦ FCC Bulletin OET-65C</li> <li>◦ Industry Canada RSS-102, RSP100, RSS 210 Issue 5</li> </ul> </li> <li>• EMI and Susceptibility (Class B):               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ FCC Part 15.107 &amp; 15.109 Class B</li> <li>◦ ICES-003 Class B (Canada)</li> <li>◦ EN 55022 Class B</li> <li>◦ EN 55024</li> </ul> </li> </ul>	Standards <ul style="list-style-type: none"> <li>• Safety:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ UL 60950</li> <li>◦ CSA C22.2 No. 60950-00</li> <li>◦ IEC 60950</li> <li>◦ EN 60950</li> </ul> </li> <li>• EMI and Susceptibility (ClassB):               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ FCC Part 15.107 &amp; 15.109 Class B</li> <li>◦ ICES-003 Class B (Canada)</li> <li>◦ EN 55022 Class B</li> <li>◦ EN 55024</li> </ul> </li> </ul>
<b>Country compliance</b>	Customers are responsible for verifying approval for use in their country. Please see <a href="http://www.cisco.com/go/aironet/compliance">http://www.cisco.com/go/aironet/compliance</a> to verify approval and to identify the regulatory domain that corresponds to a particular country. Not all regulatory domains have been approved. As they are approved, the part numbers will be available on the Global Price List.		
<b>Dimensions</b>	11.4in x 11.4in x 4.2in (29cm x 29cm x 11cm)	11.6in x 11.6in x 3.6in (29cm x 29cm x 9cm)	6.7in x 6.3in x 1.3in (17cm x 16cm x 3cm)
<b>Weight</b>	11 lbs. (5 kg)	10 lbs. (5 kg)	1.4lbs. (0.6kg)
<b>Operational temperature</b>	–30° to +55°C (–22° to +131°F)	–30° to +55°C (–22° to +131°F)	0° to +50°C (32° to 122°F)
<b>Storage temperature</b>	–40° to +85°C (–40° to +185°F)	–40° to +85°C (–40° to +185°F)	–40° to +70°C (–40° to +158°F)

	AIR-BR1410A-x-K9	AIR-BR1410A-A-K9-N	Power Injector LR
<b>Operational altitude</b>	4206 m (13,800 ft.)	4206 m (13,800 ft.)	4206 m (13,800 ft.)
<b>Storage altitude</b>	4877 m (16,000 ft.)	4877 m (16,000 ft.)	4877 m (16,000 ft.)
<b>Humidity</b>	0 to 100% (condensing)	0 to 100% (condensing)	0 to 90% (non-condensing)
<b>Vibration</b>	0.001 G2/Hz from 5–100 Hz	0.001 G2/Hz from 5–100 Hz	0.001 G2/Hz from 5–100 Hz
<b>Storage vibration</b>	0.01 G2/Hz from 5–100 Hz	0.01 G2/Hz from 5–100 Hz	0.01 G2/Hz from 5–100 Hz
<b>Enclosure</b>	Aluminum with environmentally sealed plastic radome	NEMA-4, aluminum	Metal case
<b>AC power</b>	Not Required as uses DC voltage from Power Injector	Not Required as uses DC voltage from Power Injector	100 to 240 VAC +/- 10% (power supply)
<b>DC power</b>	48 VDC +/-2V	48 VDC +/-2V	48 VDC +/-2V
<b>Warranty</b>	One year	One year	One year



**Corporate Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
USA  
www.cisco.com  
Tel: 408 526-4000  
800 553-NETS (6387)  
Fax: 408 526-4100

**European Headquarters**  
Cisco Systems International BV  
Haarlerbergpark  
Haarlerbergweg 13-19  
1101 CH Amsterdam  
The Netherlands  
www-europe.cisco.com  
Tel: 31 0 20 357 1000  
Fax: 31 0 20 357 1100

**Americas Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
170 West Tasman Drive  
San Jose, CA 95134-1706  
USA  
www.cisco.com  
Tel: 408 526-7660  
Fax: 408 527-0883

**Asia Pacific Headquarters**  
Cisco Systems, Inc.  
168 Robinson Road  
#28-01 Capital Tower  
Singapore 068912  
www.cisco.com  
Tel: +65 6317 7777  
Fax: +65 6317 7799

Cisco Systems has more than 200 offices in the following countries and regions. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the **Cisco.com Website at [www.cisco.com/go/offices](http://www.cisco.com/go/offices).**

Argentina • Australia • Austria • Belgium • Brazil • Bulgaria • Canada • Chile • China PRC • Colombia • Costa Rica • Croatia • Cyprus • Czech Republic  
Denmark • Dubai, UAE • Finland • France • Germany • Greece • Hong Kong SAR • Hungary • India • Indonesia • Ireland • Israel • Italy  
Japan • Korea • Luxembourg • Malaysia • Mexico • The Netherlands • New Zealand • Norway • Peru • Philippines • Poland • Portugal  
Puerto Rico • Romania • Russia • Saudi Arabia • Scotland • Singapore • Slovakia • Slovenia • South Africa • Spain • Sweden  
Switzerland • Taiwan • Thailand • Turkey • Ukraine • United Kingdom • United States • Venezuela • Vietnam • Zimbabwe

Copyright © 2006 Cisco Systems, Inc. All rights reserved. CCSP, CCVP, the Cisco Square Bridge logo, Follow Me Browsing, and StackWise are trademarks of Cisco Systems, Inc.; Changing the Way We Work, Live, Play, and Learn, and iQuick Study are service marks of Cisco Systems, Inc.; and Access Registrar, Aironet, BPX, Catalyst, CCDA, CCDP, CCIE, CCIP, CCNA, CCNP, Cisco, the Cisco Certified Internetwork Expert logo, Cisco IOS, Cisco Press, Cisco Systems, Cisco Systems Capital, the Cisco Systems logo, Cisco Unity, Enterprise/Solver, EtherChannel, EtherFast, EtherSwitch, Fast Step, FormShare, GigaDrive, GigaStack, HomeLink, Internet Quotient, IOS, IP/TV, iQ Expertise, the iQ logo, iQ Net Readiness Scorecard, LightStream, Linksys, MeetingPlace, MGX, the Networkers logo, Networking Academy, Network Registrar, Packet, PIX, Post-Routing, Pre-Routing, ProConnect, RateMUX, ScriptShare, ScriptShare, SlideCast, SMARTnet, The Fastest Way to Increase Your Internet Quotient, and TransPath are registered trademarks of Cisco Systems, Inc. and/or its affiliates in the United States and certain other countries.

All other trademarks mentioned in this document or Website are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (0601R)

## B.2 Intensidad de lluvia de acuerdo a la recomendación UIT-R PN.837-1

TABLE 1

**Rain climatic zones**

**Rainfall intensity exceeded (mm/h) (Reference to Figs. 1 to 3)**

Percentage of time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

FIGURE 1  
(See Table 1)

