

**ENLACES METROPOLITANOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA WI-FI EN BANDAS
ISM**

GIHOVANA MILENA ORDÓÑEZ ROA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2004

**ENLACES METROPOLITANOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA WI-FI EN BANDAS
ISM**

GIHOVANA MILENA ORDÓÑEZ ROA

Monografía para optar al título de
Especialista en Telecomunicaciones

Director
JAIME RUEDA RIVERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2004

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	7
1. OBJETIVOS	8
1.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
2. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS PARA TRANSMISIÓN DE DATOS	9
2.1 ¿QUÉ ES UNA RED INALÁMBRICA?	9
2.2 MARCO LEGAL	10
2.3 ESTADO DEL ARTE	12
2.4 DIFUSIÓN TECNOLOGÍA INALÁMBRICA EN COLOMBIA	12
2.5 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS	13
2.5.1 Tipos según cobertura	13
2.5.2 Estándares Usados	14
3. ESTÁNDAR IEEE 802.11	15
3.1 MODELO DE REFERENCIA IEEE 802.11	17
3.2 CAPA FÍSICA	18
3.2.1 Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS)	19
3.2.2 Espectro Ensanchado por secuencia Directa (DSSS)	20
3.2.3 Infrarrojo	20
3.3 TÉCNICAS DE MODULACIÓN	21
3.3.1 Complementary Code Keying (CCK)	22
3.4 CAPA MAC	23
3.4.1 CSMA/CA	23
4. CONFIGURACIÓN REDES INALÁMBRICAS	25
4.1 RED INALÁMBRICA AD-HOC	25
4.2 RED INFRAESTRUCTURA	26
4.3 RED PUENTE O BRIDGE	26
5. TOPOLOGÍAS	28
5.1 ENLACES PUNTO A PUNTO	28
5.2 ENLACES PUNTO A PUNTO CON SALTO INTERMEDIO	28
5.3 ENLACES PUNTO A MULTIPUNTO	29
5.4 TOPOLOGÍA HÍBRIDA MICROONDAS Y WIRELESS 802.11	30
6. COMPONENTES DE UN ENLACE INALÁMBRICO METROPOLITANO	31
6.1 ELEMENTOS INSTALADOS EN EL INTERIOR	32
6.2 ELEMENTOS INSTALADOS EN EL EXTERIOR	33
7. PARÁMETROS QUE DETERMINAN LA FACTIBILIDAD DE UN ENLACE	35

8. MONTAJE DE UN ENLACE INALÁMBRICO METROPOLITANO	39
8.1 UBICACIÓN	40
8.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL ENLACE	42
8.2.1 Análisis de Fresnel para el enlace Centro – Cerro La Puente	43
8.2.2 Análisis de Fresnel para el enlace Cañaveral – Cerro La Puente	44
8.3 CÁLCULOS DEL ENLACE	46
8.3.1 Enlace Centro – Cerro La Puente	48
8.3.2 Enlace Cañaveral – Cerro LA PUENTE	49
8.3.3 Cálculo de la probabilidad de Fading	52
8.3.4 Cálculo de disponibilidad en horas / año	53
8.4 INSTALACIÓN	54
8.4.1 Materiales	54
8.4.2 Ubicación	57
8.4.3 Topología	65
8.5 CARACTERÍSTICAS ANTENAS UTILIZADAS	67
8.5.1 Antena Flat Panel	67
8.5.2 Antena Grilla Parabólica	67
8.6 PRUEBAS PRELIMINARES	68
8.7 CONFIGURACIÓN DE LOS RADIOS	72
8.8 RESULTADOS	76
9. CONCLUSIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

		Pág.
Figura 1.	Ejemplo de Topología IEEE 802.11	15
Figura 2.	Conjunto Independiente de Servicios Básicos IBSS IEEE 802.11	16
Figura 3.	Modelo de Referencia IEEE 802.11	17
Figura 4.	Formato general de la trama PLCP	18
Figura 5.	Ejemplo de Multitrayectoria	19
Figura 6.	Modulación CCK	22
Figura 7.	Fórmula de Códigos CCK	23
Figura 8.	“El nodo escondido”	24
Figura 9.	Handshake de 4 vías	24
Figura 10.	Red Inalámbrica AD-HOC	25
Figura 11.	Red Infraestructura	26
Figura 12.	Red Puente o Bridge	27
Figura 13.	Topología Enlaces Punto a Punto	28
Figura 14.	Topología Enlaces Punto a Punto con Salto Intermedio	29
Figura 15.	Topología Enlaces Punto a Multipunto	29
Figura 16.	Topología Híbrida Microondas y Gíreles 802.11	30
Figura 17.	Condiciones Metereológicas	34
Figura 18.	Análisis de Trayectoria	36
Figura 19.	Balance de potencia entre dos antenas	37
Figura 20.	Ubicación en el mapa de los sitios de interés	40
Figura 21.	Representación de los datos de la tabla 3	41
Figura 22.	Zona de Fresnel	42
Figura 23.	Radio de la Zona de Fresnel	43
Figura 24.	Zona de Fresnel para los puntos Centro – Cerro La Puente	43
Figura 25.	Zona de Fresnel para los puntos Cañaveral – Cerro La Puente	44
Figura 26.	Radio critico de la Zona de Fresnel para el enlace Centro – Cerro La Puente	45
Figura 27.	Radio critico de la Zona de Fresnel para el enlace Cañaveral – Cerro La Puente	46
Figura 28.	Distribución de la torre y la caseta en el cerro La Puente	58
Figura 29.	Adecuación de la caseta en el cerro La Puente	59
Figura 30.	Barraje instalado en la caseta del cerro La Puente	59
Figura 31.	Anclaje de la antena usado en el cerro La Puente	60
Figura 32.	Distribución de la torre y el gabinete de intemperie ubicados en el Edificio Corporativo de Cañaveral	62
Figura 33.	Diseño de instalación de la antena y el radioenrutador en la azotea del Edificio Corporativo El Centro	64

Figura 34.	Interior de la caja de intemperie instalada en el Edificio Corporativo El Centro	65
Figura 35.	Topología 1	66
Figura 36.	Patrón de radiación de una antena directiva en el plano Horizontal (Azimuth) y en el plano vertical (Elevación)	71
Figura 37.	Patrón de radiación de una antena omnidireccional en el plano Horizontal (Azimuth) y en el plano vertical (Elevación)	72
Figura 38.	Topología 2	74
Figura 39.	Topología 3	75
Figura 40.	Montaje definitivo en el Cerro La Puente	77
Figura 41.	Mapa de Direcciones	81
Tabla 1.	Modelos de Cable LMR vs. Pérdida de señal	32
Tabla 2.	Coordenadas de los sitios remotos	40
Tabla 3.	Datos numéricos de los 3 puntos del mapa	41
Tabla 4.	Análisis de la zona de Fresnel para el enlace Centro – Cerro La Puente	44
Tabla 5.	Análisis de Fresnel para la zona Cañaveral – Cerro La Puente	45
Tabla 6.	Parámetros a tener en cuenta en el enlace	47
Tabla 7.	Parámetros del transmisor (Centro – Cerro La Puente)	48
Tabla 8.	FSL en todas las frecuencias (Centro – Cerro La Puente)	48
Tabla 9.	Parámetros del receptor (Centro – Cerro La Puente)	49
Tabla 10.	Parámetros del transmisor (Cañaveral – Cerro La Puente)	50
Tabla 11.	FSL en todas las frecuencias (Cañaveral – Cerro La Puente)	50
Tabla 12.	Parámetros del receptor (Cañaveral – Cerro La Puente)	51
Tabla 13.	Descripción de materiales en Cerro La Puente	54
Tabla 14.	Descripción de materiales en Edificio Corporativo Cañaveral	55
Tabla 15.	Descripción de materiales en Edificio Corporativo Centro	56
Tabla 16.	Parámetros básicos de las antenas directivas para enlaces inalámbricos a 2.4 Ghz.	71
Tabla 17.	Parámetros básicos de las antenas omnidireccionales para enlaces inalámbricos a 2.4 Ghz.	72
Tabla 18.	Registros del enlace microondas	82
Foto No. 1.	Estructura del mástil ubicado en Cerro La Puente. En la fotografía el Ingeniero está verificando la línea de vista de los enlaces	51
Foto No. 2.	Montaje del anclaje que permitirá cabecear la antena	61
Foto No. 3.	Alineamiento de la antena de grilla parabólica ubicada en el Edificio Corporativo Cañaveral	63

RESUMEN

TITULO: ENLACES METROPOLITANOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA WI-FI EN BANDAS ISM*
AUTOR: ORDÓÑEZ ROA, Gihovana Milena**
PALABRAS CLAVES: Wireless, WI-FI, Bandas ISM, Enlaces Metropolitanos, Redes Inalámbricas

DESCRIPCIÓN:

Este documento pretende dar una visión básica de la configuración y operación de redes inalámbricas para transmisión de datos, mientras se discuten estándares establecidos recientemente y que acompañan el desarrollo de esta nueva tecnología. Inicialmente se aborda el tema: Estándares IEEE y posteriormente analizamos las capas física y de control de acceso al medio relacionadas con el tema de desarrollo en este proyecto (Tecnologías Inalámbricas). Se describe la configuración de redes inalámbricas y sus topologías. Se discuten los componentes de un enlace metropolitano y los parámetros que determinan la factibilidad de un enlace.

Se encuentran descritos los pasos realizados en el desarrollo del proyecto, para el cual se llevaron a cabo los cálculos necesarios con el fin de establecer la viabilidad de un enlace inalámbrico Punto - Punto y Punto - Multipunto para una red metropolitana en banda ISM, que permita ofrecer servicios de interconexión inalámbrica de datos entre edificios corporativos en la Ciudad de Bucaramanga. Se tuvieron en cuenta los siguientes factores, variables y aspectos: Distancia, Altitud, Rumbo, Cálculo de Trayectoria, Pérdidas por tránsito en el espacio libre con atmósfera, Zona de Fresnel, Factor de Fading y Disponibilidad del enlace. Finalmente se especifican y describen los requerimientos técnicos, características y condiciones necesarias para establecer la conexión óptima entre 3 diferentes sectores de la ciudad de Bucaramanga.

Las tecnologías WI-FI emergen como una excelente alternativa frente a las tecnologías de acceso a ISP y las conexiones Punto - Punto y Punto - Multipunto tradicionalmente utilizadas, tanto por el mayor ancho de banda ofrecido como por una relación costo / beneficio muy favorable, que permite a las organizaciones tener un rápido retorno de la inversión, de esta forma, se descarta el pago periódico a terceros, permitiendo amortizar el costo de los equipos aproximadamente en 14 meses, sin sacrificar la calidad en la transmisión y recepción de datos e información.

*MONOGRAFIA

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DIRECTOR: JAIME ANTONIO RUEDA RIVERA

ABSTRACT

TITLE: METROPOLITAN LINKS USING WI-FI TECHNOLOGIES ON ISM BANDS*
AUTHOR: ORDÓÑEZ ROA, Gihovana Milena**
KEY WORDS: Wireless, WI-FI, ISM Bands, Metropolitan links, Wireless Data Networking

DESCRIPTION:

This paper is oriented to give a basic understanding of Wireless Data Networking for data transmission. Discusses the various standards that have come up in the area of Wireless Networks in the last few years. At the beginning concerns to **IEEE** standard, and then about the Physical and Medium Access Control Layers. After that, Wireless Data Networking configuration and its topologies is described. The components of a metropolitan connection and the parameters that determine the feasibility of a connection are discussed with detail.

Along the document are described, the steps made during the development of a project where the necessary calculations were determined to establish the viability of a wireless connection Point to Point and Point to Multipoint for a metropolitan network in ISM band, allowing services of wireless interconnection of data among corporative buildings in Bucaramanga City. The following calculations took place: Distance, Altitude, Course, Trajectory calculation, transit losses in the free space with atmosphere, Fresnel zone, Fading Factor and connection availability. Finally the technical requirements, characteristic and description of the necessary elements are specified to establish the optimal connection among 3 different sectors in Bucaramanga city.

Technologies Wi-fi emerge like dazzling alternative opposite to access technologies to ISP services and connections Point to Point and Point Multipoint traditionally used, non just because of the greater bandwidth offered but of the cost/benefit relation they offer, that allows the organizations having a fast return of the investment, eliminating in that way the periodic payment for services and permitting the cost amortizing of the equipment in approximately 14 months.

*MONOGRAFIA

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR: JAIME ANTONIO RUEDA RIVERA

INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas para transmisión de datos en redes de área local conocidas como *Wireless LAN* **WLAN**, han evolucionado desde los esfuerzos iniciales realizados por fabricantes mediante el uso de tecnologías propietarias, hasta la aprobación de estándares que hoy permiten el crecimiento de usuarios y aplicaciones que requieren flexibilidad, movilidad y facilidad de instalación de su red de transporte de datos. Estas redes pueden ser reubicadas fácilmente con bajos costos de montaje y protegiendo la inversión, lo cual no sucede con los sistemas tradicionales de redes cableadas.

Gracias a la introducción de estándares, existen redes inalámbricas con velocidades hasta de 54 Mbps y que utilizan bandas de uso público y que no requieren ningún tipo de licencia. A medida que se establecen estándares y se logran velocidades similares a las de las redes tradicionales, las redes inalámbricas se convierten en una tecnología prometedora dentro del mercado de las telecomunicaciones.

Este documento pretende dar una visión básica de las redes inalámbricas para transmisión de datos. Se discuten los estándares que se han establecido en años recientes. Primero se aborda el tema de los estándares **IEEE** y luego nos movemos a la capa física y de control de acceso al medio. Se describen las diferentes configuraciones de una red inalámbrica, al igual que las topologías existentes. Se discuten los diversos factores que van a condicionar y determinar el funcionamiento y el rendimiento del enlace.

Finalmente se encontrarán descritos todos los pasos necesarios para realizar un proyecto que permita comunicar las sedes de Edificios Corporativos ubicados en la ciudad de Bucaramanga a través de un enlace microondas utilizando tecnología Wi-Fi en bandas ISM.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las consideraciones técnicas para la prospectiva de un Enlace Inalámbrico Punto a Punto y Punto a Multipunto para una red Metropolitana de Alta Velocidad, que permita ofrecer servicios de interconexión inalámbrica de datos entre edificios corporativos en la Ciudad de Bucaramanga.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los cálculos necesarios para establecer la viabilidad de un enlace de microondas metropolitano mediante tecnologías de espectro ensanchado en banda ISM, tales como Distancia, Altitud, Rumbo, Cálculo de trayectoria, Cálculo de Factibilidad del Enlace, Pérdidas por tránsito en el espacio libre con atmósfera, Zona de Fresnel, Factor de Fading, Probabilidad de ocurrencia del Fading y Disponibilidad del enlace.
- Especificar los requerimientos técnicos, características y descripción de los elementos necesarios para establecer la conexión óptima entre 3 diferentes sectores de la ciudad de Bucaramanga.

2. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS PARA TRANSMISIÓN DE DATOS

2.1 ¿QUÉ ES UNA RED INALÁMBRICA?

Una red inalámbrica es un sistema de comunicación de datos que proporciona conexión inalámbrica entre equipos situados dentro de la misma área (interior o exterior) de cobertura. En lugar de utilizar el par trenzado, el cable coaxial o la fibra óptica, utilizado en las redes LAN convencionales, las redes inalámbricas transmiten y reciben datos a través de **ondas electromagnéticas**. Conceptualmente, no existe ninguna diferencia entre una red con cables y una inalámbrica, salvo su flexibilidad debido a la eliminación del uso de cables. Ambas ofrecen las mismas expectativas de comunicaciones como puede ser compartir periféricos, acceso a una base de datos o a archivos compartidos, acceso a un servidor de correo o navegar a través de Internet. Las redes inalámbricas no deben verse como alternativas a las redes convencionales, sino como complementarias, donde su gran ventaja se encuentra en la eliminación del cable facilitando:

- **Movilidad**, las redes inalámbricas ofrecen acceso a la red local desde cualquier sitio dentro de su cobertura, incluso encontrándose en movimiento.
- **Fácil instalación**, más rapidez y simplicidad que lo que supone extender cables por un recinto.
- **Flexibilidad**, dado que es posible disponer de acceso a una red en entornos de difícil cableado.
- **Facilidad**, para incorporar redes en lugares históricos sin necesidad de extender cable.
- **Adaptabilidad**. Permite frecuentes cambios de la topología de la red y facilita su escalabilidad.
- Facilita la **ampliación** de nuevos usuarios a la red, sin la necesidad de extender un cable a su nuevo puesto de trabajo.
- Permite organizar redes en **sitios cambiantes** o situaciones no estables como pudieran ser lugares de emergencia, congresos, sedes temporales, etc.

En una red inalámbrica cada computador dispone de un **adaptador de red inalámbrico**. Estos adaptadores se conectan enviando y recibiendo ondas de radio a través de un transceptor (transmisor-receptor), que puede situarse en cualquier lugar, interior o exterior, dentro del área de cobertura, sin la preocupación del cableado. Las redes inalámbricas permiten la transmisión de datos a velocidades de **11 Mbps** o incluso superiores, lo que proporciona rapidez suficiente para la mayoría de las aplicaciones.

2.2 MARCO LEGAL

El 21 de abril de 2004, el Ministerio de Comunicaciones expidió la resolución 689 que se considera la “norma inalámbrica unificada” puesto que concertó y reunió todos los sistemas de acceso inalámbrico tales como Wi-Fi y Bluetooth en Colombia.

Mediante esta resolución se atribuyeron las bandas de frecuencias de libre utilización para los sistemas inalámbricos de baja potencia y se establecieron las especificaciones de operación necesarias en dichas bandas para que no causen interferencia perjudicial a otros servicios de telecomunicaciones.

Las frecuencias son de libre utilización porque cualquier persona en el país puede hacer uso de ellas si posee la tecnología necesaria. Por ejemplo, el estándar Bluetooth es una tecnología inalámbrica de bajo costo que permite la comunicación “sin cables” entre teléfonos móviles, computadores personales (PCs), laptops, asistentes digitales personales (PDAs), teclados, mouses, impresoras y otros dispositivos de computación que se encuentren a una distancia menor a 10 metros.

Por su parte, la aplicación Wi-Fi (Wireless Fidelity) es una alternativa para conexión inalámbrica a las redes de telecomunicaciones que permite a los usuarios tener movilidad dentro de un entorno menor a 100 metros, así en Colombia muy pronto puede no ser extraño encontrar a una persona consultando su correo en Internet mientras se toma un café en medio del aeropuerto.

La resolución atribuyó los siguientes rangos de frecuencia para los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local que empleen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital de banda ancha y baja potencia:

- a). Banda de 902 a 928 MHz,
- b). Banda de 2 400 a 2 483,5 MHz,
- c). Banda de 5 150 a 5 250 MHz,
- d). Banda de 5 250 a 5 350 MHz,
- e). Banda de 5 470 a 5 725 MHz, y
- f). Banda de 5 725 a 5 850 MHz.

Aunque la utilización del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias mencionadas anteriormente no requiere licencia, para prestar el servicio a terceros los operadores deben tener la concesión respectiva, en el caso de acceso a Internet se necesita la licencia de valor agregado.

Aplicación y desarrollo

El Espectro Ensanchado ó Spread Spectrum (SS) es una técnica de transmisión de datos, en la cual la información de interés se distribuye sobre un ancho de banda mucho mayor que el convencional, y que con un nivel muy bajo de potencia y un alto nivel de protección de interferencia, envía altos contenidos de datos de información.

Los dispositivos de Espectro Ensanchado operan, desde el año de 1985 y fueron la base para desarrollar aplicaciones en las bandas Industriales, Científicas y Médicas (ICM) de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz y de 5 725 a 5 850 MHz, que sin ser propias de telecomunicaciones operan sin necesidad de licencia o autorizaciones. Un ejemplo de estas aplicaciones es el horno microondas.

En las mismas bandas ICM se desarrollaron dispositivos de Espectro Ensanchado que fueron la base para la creación de las redes inalámbricas de área local LAN, con múltiples aplicaciones tales como los teléfonos inalámbricos residenciales, las cámaras de circuito cerrado de televisión, los dispositivos para apertura de puertas y swichtes electrónicos.

A partir del año 2002 nuevos desarrollos tecnológicos sobre las mismas bandas de frecuencias lograron ofrecer beneficios adicionales porque permitían un mayor flujo de información y de velocidad de transmisión, alta eficiencia de espectro y menor distorsión, siguiendo los principios de banda ancha y baja potencia. Se distinguen entre estas aplicaciones los estándares Bluetooth y Wi-Fi.

Interferencias

La utilización de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, está condicionada al cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
2. No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por

estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

Si un dispositivo ocasiona interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada a título primario, aunque el aparato cumpla con las normas técnicas establecidas en los reglamentos de radiocomunicación o los requisitos de autorización de equipo, se deberá suspender la operación del dispositivo. De comprobarse la continua interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada, el Ministerio de Comunicaciones podrá ordenar la suspensión definitiva de las operaciones.

2.3 ESTADO DEL ARTE

El mercado actual de las **WLAN** (*Wireless LAN*), presenta una amplia gama de tecnologías disponibles, que impulsan el rápido desarrollo de la tecnología de Redes Locales Inalámbricas, gracias a la introducción de normas tales como: **IEEE 802.11, Bluetooth, HiperLAN, OpenAir y HomeRF.**

Cada vez más usuarios están utilizando portátiles como sus únicas computadoras, lo que hace que la conectividad móvil sea altamente deseable. El mercado actual permite que cientos de millones de teléfonos celulares estén a punto de hacerse compatibles con Internet, y los usuarios pretenden combinarlos con sus computadoras portátiles, equipos para conversación “manos libres” en sus automóviles y en los Puntos de Acceso de su Red de Área Local.

La tecnología permite conexiones entre teléfonos fijos y teléfonos celulares; entre asistentes electrónicos y Sistemas de Punto de Venta POS; entre computadoras portátiles y conexiones de Internet en aeropuertos y hoteles; entre teléfonos celulares y computadoras portátiles; conexión de dispositivos de cómputo inalámbricos de entrada/salida (teclados inalámbricos, ratones inalámbricos y copadoras), haciendo que tecnologías, como la transmisión de datos a través de redes celulares, sean más atractivas y fáciles de usar (por ejemplo, dos ejecutivos intercambiando tarjetas comerciales virtuales, mediante sus PDAs).

2.4 DIFUSIÓN TECNOLOGÍA INALÁMBRICA EN COLOMBIA

La tecnología *wireless* ha despertado un gran interés a nivel mundial en los últimos años. Las redes *wireless* serán una de las tecnologías que marcarán la diferencia en los próximos años. El mercado necesita de tecnologías tipo: wireless, telefonía IP, seguridad, almacenamiento y contenido, entre otras, para continuar con el crecimiento. Generalmente, en el mercado colombiano la adopción de nuevas tecnologías tiende a ser un poco más lenta. Sin embargo, ya se ha comenzado a ver la importancia que ésta trae para nuestra economía y el aumento de la productividad de los empleados.

En Colombia la tecnología *wireless* aún está en una etapa de adopción e inmadura. Se requiere de un esfuerzo grande por parte de los grandes fabricantes para que su difusión sea rápida y efectiva. Aunque, su presencia en el sector corporativo es más notoria debido a la necesidad de aumentar la productividad de los empleados. Mientras que en el sector residencial todavía estamos en una etapa de masificación de Internet; pasará un tiempo antes de que podamos ver la tecnología *wireless* de manera masiva.

Se cree plenamente en que el futuro del sector económico y de los gobiernos está en Internet, pues ha evolucionado de manera rápida y con él las tecnologías *Wireless* que les permiten a los usuarios, en todo momento, estar conectados a la red. Las tecnologías inalámbricas pronto serán tan usadas como las redes de datos de hoy día. Es por eso que los diversos proveedores de tecnología seguirán desarrollando soluciones para aumentar la productividad de las empresas, puesto que están convencidos de que uno de los tornados tecnológicos serán las tecnologías *wireless*, en la medida que los usuarios entienden el valor que ésta trae.

2.5 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS

2.5.1 Tipos según cobertura

Como se ha comentado anteriormente, conceptualmente la única diferencia existente entre las redes locales convencionales y las inalámbricas es la inexistencia en estas últimas de cableado entre los equipos. Por ello, para poner énfasis en esta característica, se presenta una clasificación de redes locales donde se añade la inicial W (del inglés, wireless, inalámbrico). Se puede distinguir entre:

- **WPAN (*Wireless Personal Área Network* - Red inalámbrica de ámbito personal).** Estas redes están pensadas para cubrir un área del tamaño de una habitación y su finalidad es la conexión de dispositivos diversos, por ejemplo: un teléfono móvil con una agenda electrónica (PDA), etc.
- **WLAN (*Wireless Local Área Network* - Red inalámbrica de ámbito local).** Son las redes que cubren el ámbito de una casa, una oficina o el edificio de una empresa.
- **WWAN (*Wireless Wide Área Network* - Red inalámbrica de área extensa).** Son las redes cuyo ámbito cubre áreas más amplias como por ejemplo: una ciudad.

2.5.2 Estándares usados

En la situación actual no hay un único **estándar de redes** inalámbricas, sino que conviven diversos estándares promovidos por diferentes organismos y asociaciones. No se pretende realizar una descripción exhaustiva de estas normas, sólo comentar, para los tipos de redes descritos en el ítem anterior, cuál es el estándar que tiene mayor presencia en el mercado:

- **WPAN.** Tradicionalmente este tipo de redes se basa en infrarrojos que permiten la comunicación entre dos elementos (computadores portátiles, PDAs, etc.) a baja velocidad y a una distancia cercana. Hoy en día como alternativa de comunicación está tomando auge el estándar **Bluetooth**.
- **WLAN.** La norma más usada en este tipo de redes es la **802.11g**, promovida por el **Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)**, y que la asociación Wi-Fi está ayudando a consolidar. En segundo lugar, aunque menos utilizado, se sitúa **HomeRF**.
- **WWAN.** Por su gran tamaño, estas redes son explotadas por las empresas de telefonía móvil. Hasta la llegada de la telefonía móvil de tercera generación, el **UMTS**, la alternativa actual es el uso del **GPRS**, aunque su velocidad es bastante reducida.

De las redes comentadas, este documento pretende dar una visión más exhaustiva de las redes WLAN, y en particular de las basadas en el estándar IEEE 802.11 también conocidas como redes Wi-Fi. Para ellas, de cara al futuro, tres opciones se perfilan como las más importantes: **802.11g**, **802.11a** e **HiperLAN/2**. Las dos primeras están promovidas por el IEEE como la sucesora de la 802.11b. La tercera, HiperLAN/2, parte de una iniciativa europea. Actualmente es difícil predecir si alguna de ellas se convertirá en el estándar dominante. Sin embargo, esto no debería ser un condicionante para adquirir una red inalámbrica. La mayoría de los equipos actuales se diseñan, en la medida de lo posible, para que puedan actualizarse con nuevas versiones, facilitando la migración a los estándares que se imponga en un futuro.

3. ESTÁNDAR IEEE 802.11

El estándar **IEEE 802.11** para redes inalámbricas define las opciones para la capa física para transmisiones inalámbricas y el protocolo de la capa MAC. Este estándar fue aprobado en el año de 1997. El grupo de tarea concentró posteriormente sus esfuerzos en la producción de estándares para redes inalámbricas de alta velocidad asignando dos grupos de trabajo: *Task Group A (TGa)* y *Task Group B (TGb)*, del trabajo de estos grupos de tarea nacen los nuevos estándares **IEEE 802.11a** e **IEEE 802.11b**. Mientras el estándar original **IEEE 802.11** permite velocidades máximas de 2 Mbps los nuevos estándares permitirán velocidades hasta de 54 Mbps.

El estándar **802.11** define el protocolo para 2 tipos de redes: Redes Ad-Hoc y Redes cliente/servidor. Una Red Ad-Hoc es una Red simple en la cual las comunicaciones se establecen entre múltiples estaciones dentro de un área específica de cobertura sin la intervención de un Punto de Acceso o Servidor. Los nodos que conforman la red transmiten entre sí, sin la intervención de un elemento central. La red Cliente/servidor utiliza un Punto de Acceso (*Access Point, AP*) que controla la asignación de tiempo de transmisión para todas las estaciones y permite además que las estaciones móviles puedan moverse entre los diferentes Puntos de Acceso (*AP*) lo cual también se conoce como Roaming.

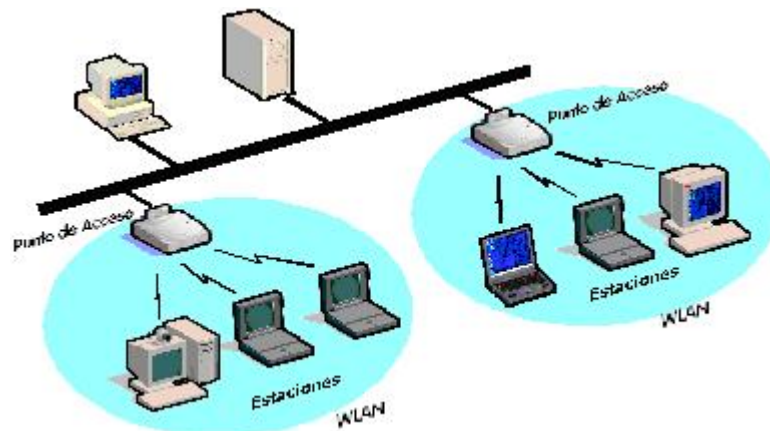


Figura 1. Ejemplo de Topología IEEE 802.11.

La figura 1 muestra una topología básica de una red **802.11**. Un Conjunto Básico de Servicios (*Basic Service Set, BSS*) consiste en dos o más nodos inalámbricos o estaciones las cuales se han reconocido mutuamente y han establecido comunicación entre ellas. En la mayoría de las instancias el **BSS** contiene un Punto de Acceso (*AP*). La principal función del *AP* es la de formar un puente entre

la red inalámbrica y la red alamburada LAN. El *AP* es similar a la estación base utilizada en las redes de telefonía celular.

Cada computador ya sea móvil, portable o fijo se denomina estación en **802.11**. La diferencia entre portable y móvil consiste en que una estación portable se puede transportar de un lugar a otro pero solo se utiliza cuando esta fija, es decir es transportable, mientras que un móvil es una estación que accesa a la red a medida que se está moviendo. Un computador portátil con acceso a una red inalámbrica es una estación móvil para **802.11**, mientras que un computador de escritorio con acceso a una red inalámbrica es una estación portable para **802.11** si se le mueve de un lugar a otro, de otra manera será una estación fija.

Cuando dos o más estaciones se comunican entre sí en una red inalámbrica, conforman un Conjunto Básico de Servicios (**BSS**). El mínimo **BSS** consiste en dos estaciones. La norma **IEEE 802.11** establece el **BSS** como el bloque estándar sobre el cual se construyen las redes inalámbricas. Un **BSS** que se encuentra solo y no esta conectado a un Punto de Acceso (*AP*) se denomina un Conjunto Independiente de Servicios Básicos (*Independent Basic Service Set* **IBSS**) y se denomina como una red Ad-Hoc, en la cual no existe un Punto de Acceso y no se asignan tiempos de transmisión. La mayoría de estas redes se forman de manera espontánea y se pueden configurar muy rápidamente, como en el evento de una reunión gerencial en la cual los asistentes tienen estaciones móviles con tarjetas de interfase de red inalámbrica. La figura 2 muestra una Red Ad-Hoc, la cual es un Conjunto Independiente de Servicios Básicos o **IBSS**.

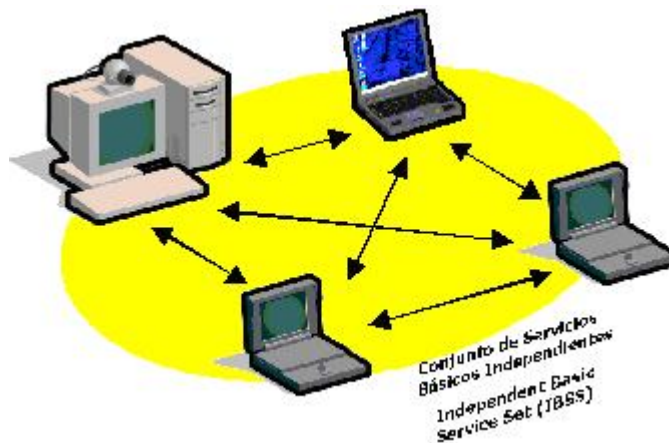


Figura 2. Conjunto Independiente de Servicios Básicos **IBSS IEEE 802.11**.

IEEE 802.11 crea varias topologías a partir del Conjunto de Servicios Básicos **BSS**, las cuales serán tratadas en un apartado posterior.

En cuanto a la capa física, **IEEE 802.11** establece dos variantes. Estas incluyen tecnologías de radiofrecuencia denominadas *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)* y *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*. Tanto **DSSS** como **FHSS** operan en 2.4 GHz en la banda de aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas (ISM). Esta banda fue seleccionada debido a que no requiere una licencia del Comité Federal de Comunicaciones FCC para su operación.

Las redes inalámbricas **IEEE 802.11** operan a velocidades de 2 Mbps, en las cuales el esquema de modulación típico es normalmente Transmisión por Desplazamiento de Fase Binaria (**BPSK**, *Binary Phase Shift Keying*) o Transmisión por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (**QPSK**, *Quadrature Phase Shift Keying*). Estos dos esquemas de modulación son suficientes en sistemas que operan a 1 o 2 Mbps, pero no satisfacen los requerimientos de altas tasas de transmisión de los nuevos estándares **802.11a** y **802.11b**. y **802.11g**.

3.1 MODELO DE REFERENCIA IEEE 802.11

Al igual que todos los protocolos 802.x, el protocolo **802.11** cubre lo correspondiente a la capa física y a la capa MAC. En el modelo de referencia de **IEEE 802.11** la capa física se subdivide en dos subcapas: La subcapa de Procedimiento de Convergencia de Capa Física (*Physical Layer Convergence Procedure, PLCP*) y la subcapa Dependiente del Medio Físico (*Physical Media Dependent, PMD*). La Figura 3 ilustra el modelo de Referencia.



Figura 3. Modelo de Referencia **IEEE 802.11**

La subcapa PLCP adapta las capacidades del sistema dependiente del medio físico a los servicios de la capa física. PLCP define el método de mapeo de las unidades del servicio de datos de la capa física en un formato de tramas apropiado para el envío y recepción de los datos de usuario y de información de gestión entre dos o más estaciones que utilizan el sistema dependiente del medio físico asociado. Esto le permite a **802.11** MAC operar con mínima dependencia de la subcapa PMD.

La subcapa PMD define las características y el método de transmisión y recepción de datos a través de un medio inalámbrico entre dos o más estaciones que utilizan el mismo sistema de modulación.

Las tramas **802.11 PLCP** (figura 4) contienen los siguientes elementos:

El **preámbulo** es dependiente de la capa física, y consta de dos partes: Sincronización (**Sync**) que corresponde a una secuencia de unos y ceros que son utilizados por la circuitería física para seleccionar la antena apropiada y lograr estabilizar la demodulación y sincronizar el bit de reloj. Por su parte el Delimitador de Inicio de Trama (*Start Frame Delimiter*, **SFD**) es utilizado para definir la temporización de la trama.

El **encabezado PLCP** se transmite a 1 Mbps y contiene información lógica utilizada por la capa física para decodificar la trama. Este encabezado se subdivide en tres elementos: Señal contiene la información de la tasa de transmisión, **Servicio** esta reservado para uso futuro, **Longitud** indica la longitud de los datos MAC o bien el número de microsegundos requeridos para transmitir los datos MAC.



Figura 4. Formato general de la trama PLCP.

3.2 CAPA FÍSICA

La norma **IEEE 802.11** especifica 5 posibles capas físicas a saber:

- Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (**FHSS**).
- Espectro Ensanchado por secuencia Directa (**DSSS**).
- Infrarrojo.
- Espectro Ensanchado por secuencia Directa de Alta Tasa de Transferencia (**HR/DSSS**).
- Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (**OFDM**).

Existen tres medios que pueden ser utilizados en transmisión de datos sobre redes inalámbricas: Infrarrojos, Radio Frecuencia y Microondas. En el año de 1985 en los Estados Unidos se libera el uso de las bandas ISM para Aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas, estas bandas son: 902 a 928 Mhz, 2.4 a 2.4853 Mhz, y 5.725 a 5.85 Mhz y no requieren licencia de uso. Esto ha llevado a que la mayoría de productos **WLAN** operen en las bandas ISM. Sin embargo existen algunas restricciones, como por ejemplo que los sistemas RF deben utilizar tecnologías de espectro ensanchado. Los sistemas RF deben confinar el espectro emitido a una banda. La potencia de Radio Frecuencia también esta limitada a 1 Watt. Por otra parte los sistemas de Microondas se consideran sistemas de baja potencia y deben operar a 50 miliwatts o menos.

La interferencia causada por el rebote de las señales en las paredes y objetos y el arribo al receptor en tiempos diferentes se denomina interferencia por multitrayectoria (Ver Figura 5). La interferencia por multitrayectoria afecta a los sistemas de Radio Frecuencia, Infrarrojos y de Microondas.

Un subconjunto de Multitrayectoria es el Desvanecimiento de Rayleigh, el cual ocurre cuando la diferencia en la longitud de las diversas trayectorias de arribo desde diferentes direcciones es un múltiplo impar de media longitud de onda. El desvanecimiento de Rayleigh tiene el efecto de cancelar completamente la señal. El Infrarrojo no se ve afectado por el desvanecimiento de Rayleigh debido a sus longitudes de onda tan pequeñas.

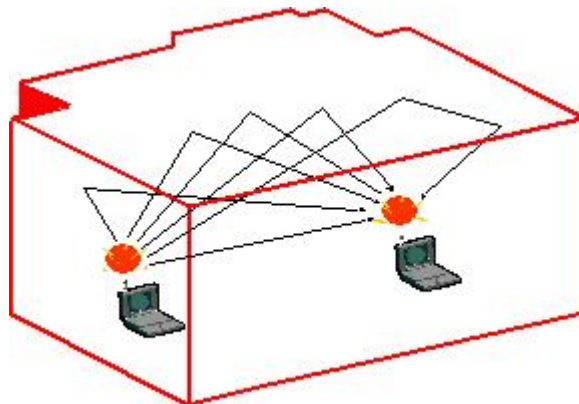


Figura 5. Ejemplo de Multitrayectoria.

3.2.1. Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS).

Esta técnica divide la banda en muchos subcanales pequeños (1 Mhz). La señal salta de subcanal en subcanal transmitiendo ráfagas cortas de datos en cada uno de los subcanales durante un periodo de tiempo prefijado, denominado tiempo de permanencia. La secuencia de salto debe estar sincronizada tanto en el emisor

como en el receptor, de lo contrario la información se perderá. La comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos (*FCC*) establece que la banda sea subdividida en por lo menos 75 subcanales y que el tiempo de permanencia no sea mayor a 400 ms. El salto de frecuencia es menos susceptible a sufrir interferencia ya que la frecuencia esta cambiando constantemente, lo que hace que los sistemas de Salto de Frecuencia sean extremadamente difíciles de interceptar. Es precisamente esta característica la que le da a los sistemas **FHSS** un alto nivel de seguridad. Para poder bloquear un sistema **FHSS** sería necesario bloquear la totalidad de la banda. Por otra parte **FHSS** resuelve el problema de la interferencia por Multitrayectoria saltando a otras frecuencias.

3.2.2. Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (**DSSS**).

Con esta técnica la señal transmitida se ensancha sobre una banda permitida. Se utiliza una secuencia binaria de tipo aleatorio para modular la señal transmitida. Esta secuencia binaria al azar se denomina también código de ensanchamiento. Los datos son mapeados dentro un patrón de “Chips” y recuperados en el destino invirtiendo el mapeo. El número de Chips que representan un bit corresponde a la relación de ensanchamiento, a mayor relación de ensanchamiento, mayor resistencia a la interferencia de la señal. A menor relación de ensanchamiento, mayor ancho de banda disponible para el usuario. Mientras el estándar **802.11** requiere una relación de ensanchamiento de 11, la *FCC* establece que la relación de ensanchamiento sea mayor a 10, sin embargo la mayoría de productos tienen razones de ensanchamiento entre 10 y 20. Es obvio que tanto el emisor como el receptor deben estar sincronizados con el mismo código de ensanchamiento.

Es posible que varias redes LAN que utilizan **DSSS** coexistan en un mismo espacio si se utilizan códigos ortogonales de ensanchamiento, sin embargo, el número de redes LAN coexistentes estará limitado por el tamaño de tales subcanales. Los sistemas **DSSS** permiten velocidades de 1 y 2 Mbps y de acuerdo a los requerimientos de la *FCC* deben proveer una ganancia de procesamiento de al menos 10 dB. Este sistema utiliza modulaciones banda base de tipo **DBPSK** (*Differential Binary Phase Shift Keying*) y **DQPSK** (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*).

3.2.3. Infrarrojo.

IrDA DATA define un estándar para transmisión de datos infrarrojos universal interoperable de dos vías. Los protocolos consisten de un conjunto de reglas de cumplimiento obligatorio tales como:

- PHY (*Physical Signaling Layer*).
- IrLAP (*Link Access Protocol*).
- IrLMP (*Link Management Protocol and Information Access Service (IAS)*).

Para cada uno de estos protocolos se presenta una breve descripción a continuación.

1) Physical **IrDA** Data Signaling.

- Rango: Operación continua desde punto de contacto hasta dos (2) metros de distancia. Una versión más sencilla de baja potencia limita el rango desde el punto de contacto hasta 20 centímetros entre dispositivos de baja potencia y hasta 30 centímetros entre dispositivos de baja potencia y dispositivos de potencia estándar. Esta implementación consume 10 veces menos potencia que la implementación estándar.
- Todas las especificaciones están basadas en comunicación bidireccional.
- Velocidades de transmisión desde 9600 kbps con incrementos primarios de costo-velocidad de 115 kbps y un máximo de 4Mbps
- Los paquetes de datos están protegidos mediante Código de Redundancia Cíclica CRC. (CRC-16 para velocidades de hasta 1.152 Mbps y CRC-32 hasta 4 Mbps).

2) **IrDA** Link Access Protocol (IrLAP)

- Provee conexión entre dispositivos para transferencia ordenada y confiable de los datos.
- Procedimientos para descubrir dispositivos.
- Maneja el problema del nodo escondido.

3) **IrDA** Link Management Protocol (IrLMP)

- Provee Multiplexación de la capa de IrLAP. Permite múltiples canales sobre una conexión IrLAP.
- Provee servicios y protocolos por medio de Servicio de Información de Acceso (*Information Access Service, IAS*).

3.3 TÉCNICAS DE MODULACIÓN

Poco después de la aprobación del estándar **IEEE 802.11** para redes inalámbricas de 1 Mbps y 2 Mbps en 1997, se estableció un grupo de trabajo para trabajar en la capa física del estándar con el objetivo de lograr velocidades similares a Ethernet sobre redes 801.11 **WLAN**. Varios meses después de evaluar varias propuestas de modulación tales como MOK (Codificación Ortogonal M-aria), PPM (Codificación Convolutiva Binaria Empaquetada), **OFDM** (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) y OCDM (Multiplexación por División de Código Ortogonal), el grupo no pudo ponerse de acuerdo en un solo método de modulación.

Las compañías Harris Semiconductors y Lucent Technologies se unieron y desarrollaron un enfoque denominado **CCK**, Codificación por Código Complementario (**CCK**, *Complementary Code Keying*).

3.3.1. Codificación por Código Complementario (CCK).

En Julio de 1998 el grupo de trabajo de **802.11** adoptó a **CCK** como la base sobre la cual se construiría la extensión de capa física para proveer tasas de transmisión de 11Mbps sobre redes inalámbricas a frecuencias de 2.4 Ghz. La adopción de esta extensión se debió a que permitía interoperabilidad con las redes inalámbricas existentes de 1 Mbps y 2 Mbps, manteniendo los mismos anchos de banda e incorporando el mismo preámbulo y encabezador, el cual ya tenía un mecanismo de conmutación de la tasa de transmisión.

CCK es una variante de la modulación por Codificación Ortogonal M-aria (MOK), la cual utiliza la arquitectura de modulación I/Q con estructuras de símbolos complejos. **CCK** permite la operación Multicanal en la banda ISM de 2.4Ghz en virtud del uso del esquema de canalización del **DSSS** en 1 y 2 Mbps. El ensanchamiento emplea la misma tasa y forma del espectro que las funciones de ensanchamiento Barker del **802.11** permitiendo tres canales no interferidos en la Banda de 2.4 a 2.483 Ghz.

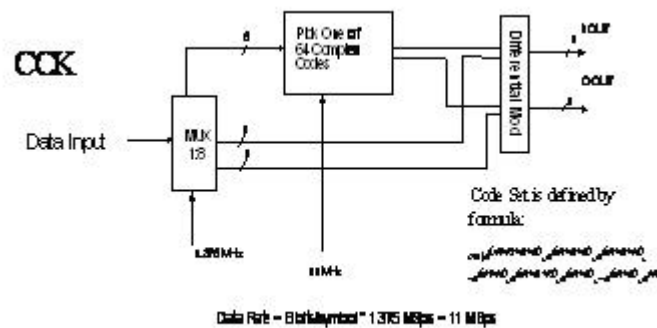


Figura 6. Modulación **CCK**.

Como ya se dijo **CCK** es una Modulación Ortogonal M-aria donde una de M señales de codificación cercanamente ortogonal se selecciona para transmitir. En la Figura 6, la función de ensanchamiento se escoge de un conjunto de M vectores cercanamente ortogonales. **CCK** utiliza un conjunto de 64 vectores complejos (**QPSK**) para el símbolo, y por tanto modula 6 bits (uno de 64) sobre cada 8 códigos de símbolo de ensanchamiento. La formula que define los códigos de **CCK** se presenta en la figura 7.

$$c = \{e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_3+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_4)}, \\ -e^{j(\varphi_1+\varphi_4)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3)}, e^{j(\varphi_1+\varphi_3)}, -e^{j(\varphi_1+\varphi_2)}, e^{j\varphi_1}\}$$

Figura 7. Fórmula de Códigos CCK.

3.4 CAPA MAC

3.4.1. CSMA/CA.

IEEE 802.11 utiliza Acceso Múltiple con Sensibilidad de Portadora Evitando Colisiones (**CSMA/CA**, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) para acceder el medio. La idea básica es la siguiente: si una estación desea transmitir, primero inspeccionará el medio de transmisión, si el medio está ocupado el estado difiere la transmisión para un tiempo posterior. Aquí se puede presentar el problema denominado del nodo escondido, en la figura 8 si tanto la estación **A** como la Estación **B** tratan de transmitir al mismo tiempo se producirá una colisión.

Para evitar las colisiones se han implementado mecanismos RTS/CTS (*Ready to Send/Clear to Send*) de manera que cuando una estación tiene oportunidad de transmitir esta envía un mensaje corto primero, este mensaje se denomina RTS (*Ready To Send*) Listo Para Enviar. El destino acusa recibo con un mensaje CTS (*Clear To Send*) Aprobado Para Transmitir, luego de lo cual la estación puede comenzar a transmitir los datos. Ya que las colisiones no podrán ser detectadas por la estación que emite, el destino acusará recibo de cada paquete enviado.

La mayoría de los productos de LAN cableados utilizan Acceso Múltiple con Sensibilidad de Portadora y Detección de Colisiones (**CSMA/CD**, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) como el protocolo MAC. Carrier Sense significa que la estación escuchará antes de transmitir, si hay alguien más transmitiendo, la estación esperará e intentará de nuevo más tarde. Si nadie está transmitiendo, la estación continúa y envía lo que tenía para transmitir. Si dos o más estaciones envían al mismo tiempo se producen colisiones y la información enviada se perderá, es aquí donde el proceso de detección de colisiones entra en funcionamiento. La estación escuchará el medio para asegurarse que la transmisión logro llegar a su destino sin colisiones, si ocurre una colisión entonces la estación esperará e intentará de nuevo más tarde. El tiempo que la estación esperará está determinado por el algoritmo. Esta técnica funciona muy bien en redes cableadas, pero en topologías inalámbricas crea un problema para **CSMA/CD**. El problema se denomina "Problema del nodo escondido".

En la figura 8 se ilustra el problema del nodo escondido. El nodo **C** no puede escuchar al nodo **A**, por lo que si el nodo **A** esta transmitiendo, el nodo **C** no lo sabrá y empezará a transmitir también. Esto dará como resultado las colisiones.

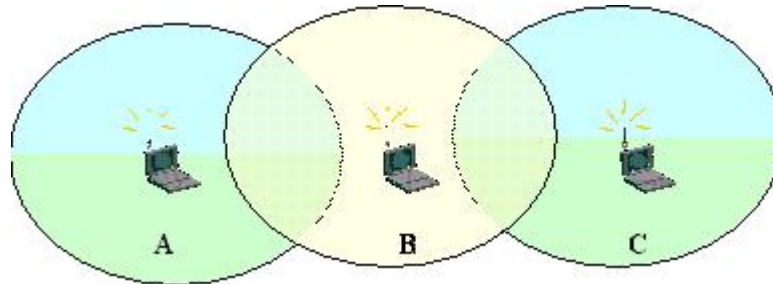


Figura 8. “El nodo escondido”.

La solución a este problema es Acceso Múltiple con Sensibilidad de Portadora, Evitando Colisiones, (**CSMA/CA**, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), el cual funciona de la siguiente manera: La estación escucha el medio antes de enviar, si alguien ya está transmitiendo, espera por un tiempo aleatorio e intenta de nuevo. Si nadie está transmitiendo envía un mensaje corto denominado Listo para Enviar Mensaje (*Ready To Send Message*, **RTS**). Este mensaje contiene información acerca de la dirección de destino y el tiempo que durara la transmisión, de esta manera las demás estaciones sabrán que deben esperar antes de poder transmitir. El destinatario envía entonces un mensaje el cual es Aprobado para Transmitir (*Clear to Send*, **CTS**). Este mensaje le dice a la estación fuente que puede transmitir sin temor a una colisión. La estación destino acusa recibo de cada paquete. Si el origen no recibe el acuse, la capa MAC transmitirá nuevamente el dato.

Esta secuencia se denomina Handshake de 4 vías como se muestra en la figura 9. Este es el protocolo escogido por **IEEE 802.11** para el estándar.

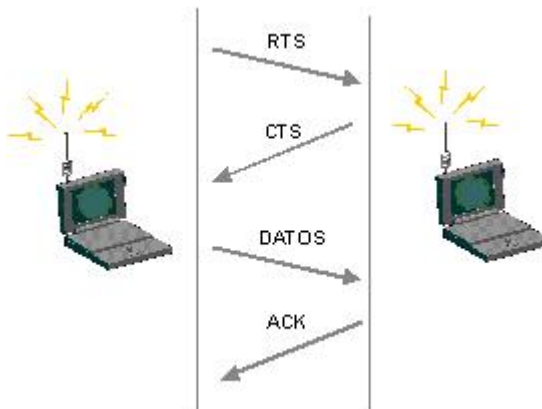


Figura 9. Handshake de 4 vías.

4. CONFIGURACIÓN REDES INALÁMBRICAS

Una Wireless LAN o WLAN es típicamente una extensión de una LAN con nodos conectados sin utilizar cables.

Existen diversas **formas** para crear una red inalámbrica, dependiendo de las necesidades de la red (con o sin acceso a Internet), el espacio a cubrir, el número de clientes estimado, etc. En este capítulo se presentan diferentes configuraciones de una red inalámbrica. Probablemente la solución que cubra unas necesidades concretas pueda venir de la combinación entre los distintos resultados aquí ofrecidos.

4.1 RED INALÁMBRICA AD-HOC

Esta alternativa es la más sencilla para crear una pequeña red inalámbrica formada por varios clientes, cada uno equipado con un adaptador inalámbrico. Consiste simplemente en proveer a los computadores con una tarjeta de red inalámbrica de modo que **"todos hablen con todos"** como puede observarse en la figura. En este caso, no es necesario incorporar un punto de acceso.

Presenta la ventaja de su sencillez pero, a cambio, tiene el inconveniente de crear una red aislada de otras redes y no ofrecer facilidades de seguridad ni gestión como cuando se dispone de una base.

- Redes entre pares.
- Varios dispositivos conforman una red sin contar con otros elementos de apoyo.
- Conjunto Independiente de Servicios Básicos.
- Ideal para trabajos temporales.
-

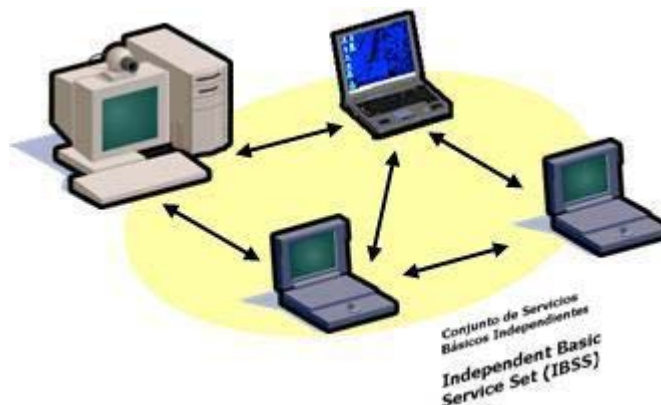


Figura 10. Red Inalámbrica AD-HOC

4.2 RED INFRAESTRUCTURA

Esta solución ofrece la **conexión entre redes con hilos e inalámbricas**. Está especialmente indicada para incorporar a una red con cables equipos con conexión inalámbrica, permitiendo la ampliación de la red.

Para poder tener una conectividad inalámbrica más eficiente entre varios equipos es necesario utilizar una **Unidad Base Inalámbrica**. Este modo de configuración ofrece un elemento de gestión, que puede añadir posibilidades de seguridad, etc. La red que se obtiene es más fiable a la generada con el modo "ad-hoc" para la conexión de varios clientes inalámbricos. Es necesario utilizar una **unidad base** o punto de acceso que, por un lado, se conecte sin cables con los equipos nuevos y que, por otro, disponga de una tarjeta de red convencional para conectarse a los equipos antiguos. Es importante resaltar que, a diferencia del modo ad-hoc, los equipos inalámbricos no hablan directamente entre sí, sino que lo hacen a través de la unidad base, lo que ofrece más seguridad (gracias a la gestión ofrecida por la unidad base) y conectividad con los terminales situados en la red con cables.

- Los equipos trabajan en orden jerárquico.
 - Un equipo funciona como punto de acceso a la Red LAN.
- Extensión de la red (Infraestructura) existente.

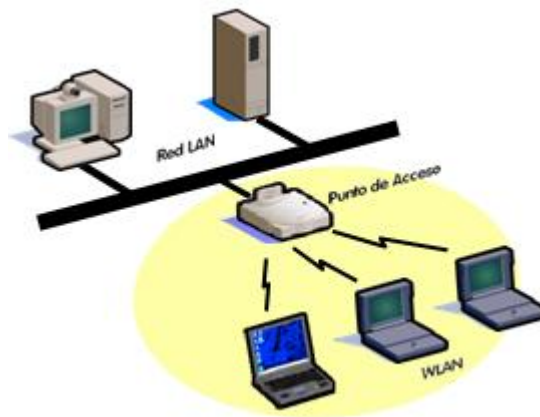


Figura 11. Red Infraestructura

4.3 RED PUENTE O BRIDGE

Esta alternativa permite construir Enlaces inalámbricos con Access Point y antenas de alta ganancia (Hasta 26 Kmts con antena de 24 dBi). Los Access Point pueden actuar como bridge o también como router entre las dos redes.

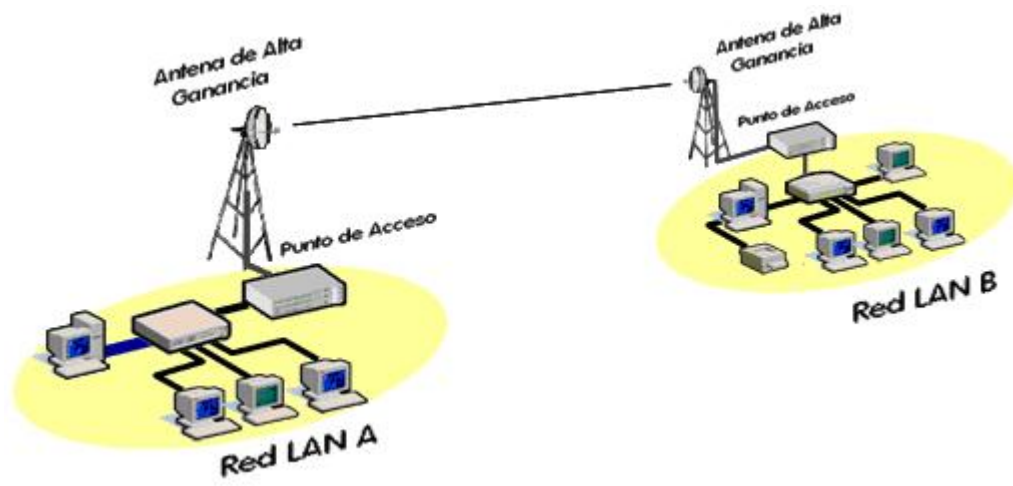


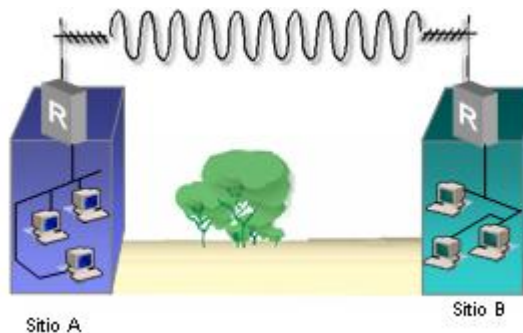
Figura 12. Red Puente o Bridge

5. TOPOLOGÍAS

5.1 ENLACES PUNTO A PUNTO

La tecnología wireless permite conectar las redes locales (LAN) de edificios distantes hasta 11 millas con una ancho de banda de hasta 11 Mbps., lo que da la capacidad a los usuarios de ejecutar aplicaciones localizadas indistintamente en los dos edificios como si estuvieran en la misma red local. Además el ancho de banda disponible es suficiente para establecer aplicaciones como videoconferencias.

- Dos sitios separados geográficamente, se unen mediante un enlace inalámbrico de microondas.
- Se puede utilizar Bridges o routers inalámbricos.
- Generalmente requiere antenas directivas.



Antena direccional a frecuencia de microondas Ej: Antena Yagui de 14 dBi



Radio inalámbrico de Microondas en banda ISM. Ej: Avaya ROR - 100

Figura 13. Topología Enlaces Punto a Punto

5.2. ENLACES PUNTO A PUNTO CON SALTO INTERMEDIO

Dos sitios separados geográficamente, se unen mediante un enlace inalámbrico de microondas.

Se utiliza un salto intermedio cuando se requiere aumentar la distancia del enlace o cuando se quiere evadir un obstáculo que obstruye la línea de vista del enlace.

Se requieren tres radios, 4 tarjetas generadoras de microondas y 4 antenas

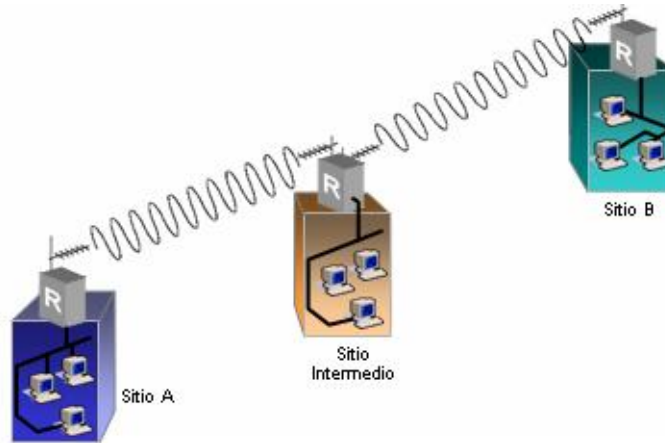


Figura 14. Topología Enlaces Punto a Punto con Salto Intermedio

5.3 ENLACES PUNTO A MULTIPUNTO

Las aplicaciones de Enlaces Punto a Multipunto proveen enlaces de datos a 11 Mbps entre distintos puntos de una ciudad.

Cada uno de los sitios remotos se enlaza al sitio central. Requiere Radio enrutadores. Los radios de los sitios remotos son radios inalámbricos normales. El radio del sitio central es un radio para enlaces multipunto. En el sitio central se debe contar con una antena omnidireccional. Los sitios remotos cuentan con antenas directivas.

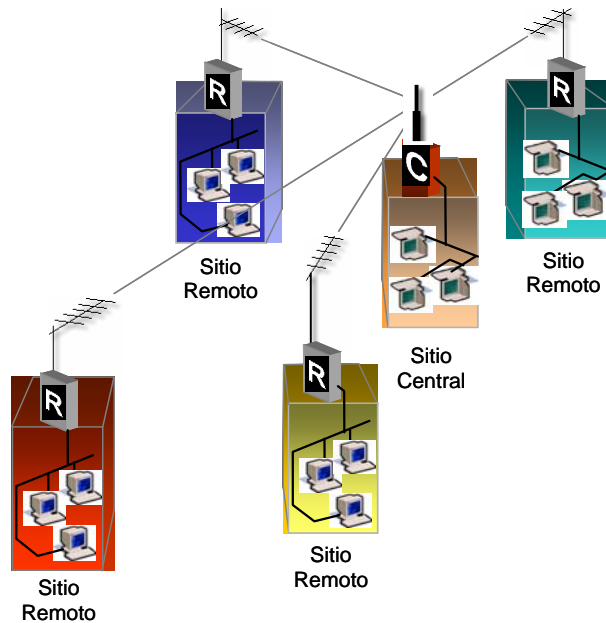




Figura 15. Topología Enlaces Punto a Multipunto

 Radio-Enrutador inalámbrico Multipunto. Ej: SkyWay-net de Solectek

 Antena Omnidireccional de 10 dBi

5.4 TOPOLOGÍA HÍBRIDA MICROONDAS Y WIRELESS 802.11

La topología de la red es totalmente inalámbrica. Además de los enlaces inalámbricos de microondas metropolitanos, la red LAN en cada sitio también está interconectada de manera inalámbrica de acuerdo a IEEE802.11

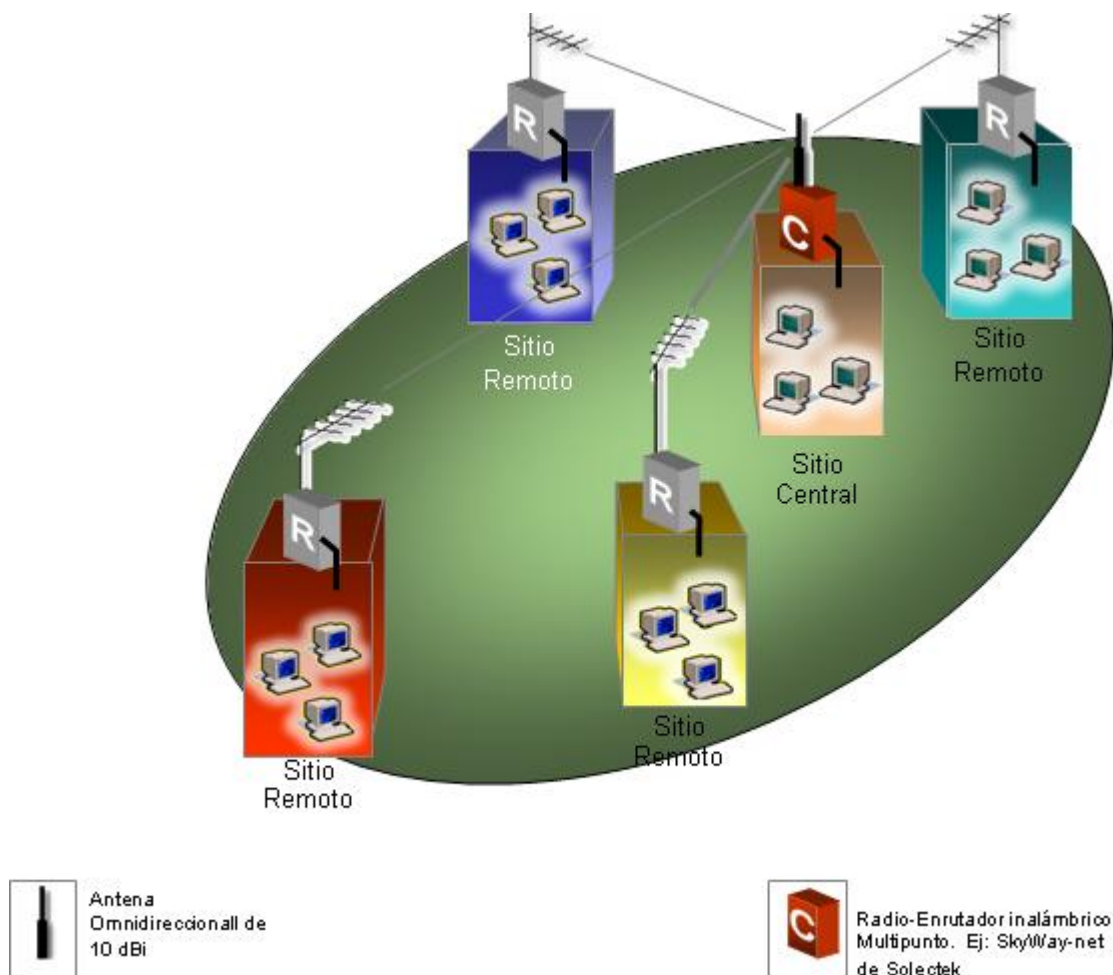


Figura 16. Topología Híbrida Microondas y Wireless 802.11

6. COMPONENTES DE UN ENLACE INALÁMBRICO METROPOLITANO

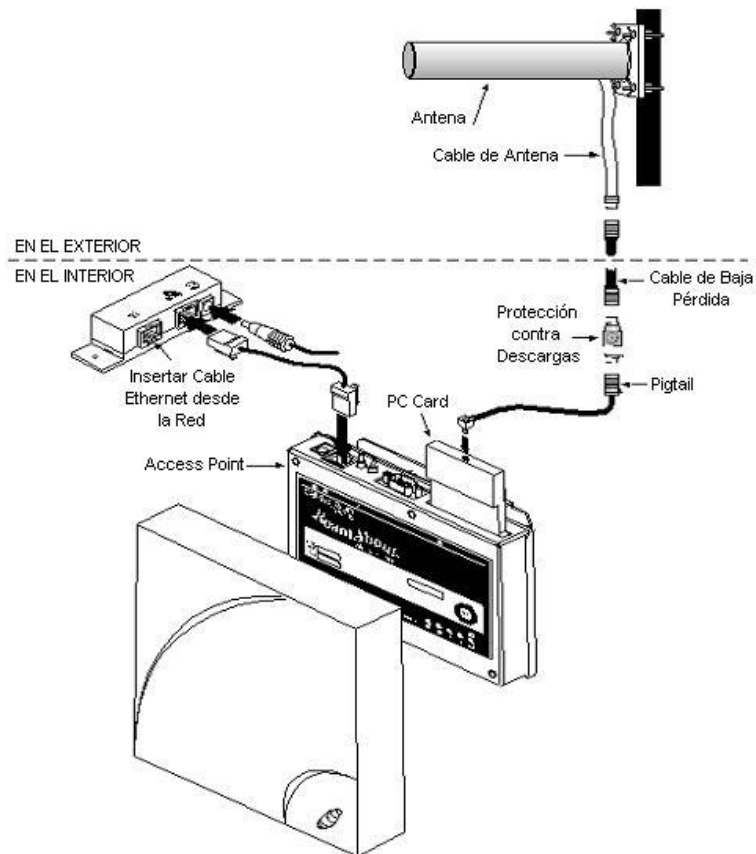
Los componentes de un enlace inalámbrico metropolitano se clasifican de acuerdo a su ubicación en el montaje en:

Elementos instalados en el interior:

- Radio Enrutadores
- Protección contra descargas (*Ligthing Protector*)
- Tarjeta Generadora de Señal (*PC Card*)
- *Pigtail*
- Cable de Baja Pérdida

Elementos instalados en el exterior:

- Radio Enrutadores
- Antena
- Cable de Antena
- Mástil



Radio Enrutadores

Un enrutador es un dispositivo de capa 3 (capa de red) que permite la conexión entre distintas redes, se encarga de la selección de rutas que un paquete debe seguir de una a otra red, conmutar los paquetes hacia la interfaz de salida adecuada y el filtrado de mensajes de broadcast.

Dentro de los radio enrutadores comercialmente disponibles para el montaje en redes inalámbricas se tiene:



De montaje en Interiores

Radio enrutador AVAYA ROR-1000 para montaje en interiores. 2 slots para puertos RF, 1 Puerto Ethernet, 1 Puerto Serial de Consola. Fuente AC. Velocidades de transmisión 11, 5.5, 2, 1 Mbps. No incluye las tarjetas generadoras de Señal RF.



De Montaje en Mástil

Radio enrutador Solectek modelo Sky-Way Link. Radio DSSS. Frecuencia 2.4 a 2.4835 Ghz. Velocidades de transmisión 11, 5.5, 2 y 1 Mbps. Unidad sellada para montaje en mástil. 1 Puerto Ethernet (Opcionalmente con puerto de fibra óptica)

6.1 ELEMENTOS INSTALADOS EN EL INTERIOR

Protección contra descargas electrostáticas (*Lightning Protector*)

Evita que una descarga dañe la circuitería del radio o de la tarjeta PC Card. Debe ir conectado a tierra. No reemplaza al pararrayos.

Tarjeta Generadora de Señal (RF PC Card)

Se usa en radios de montaje en interiores. La tarjeta señaliza en las frecuencias entre 2,412 hasta 2,462 Ghz.

Las características principales son:

- Potencia de salida 15 dBi (30 mW de potencia de transmisión).
- Sensibilidad de Recepción:
 - 11Mbps: -82dBm
 - 5.5Mbps: -87dBm

2Mbps: -91dBm

1Mbps: -94dBm

- Capacidad de Encriptamiento de 64 o 128 bits

Pigtail

Cable corto que permite conectar el *Ligthning Protector* con la tarjeta generadora de señal.

6.2 ELEMENTOS INSTALADOS EN EL EXTERIOR

Antenas

La definición formal de una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.¹

Antenas Direccionales: Concentran la potencia transmitida en un ancho de haz estrecho direccional. El patrón de propagación es un haz lobular pincelado. La direccionalidad proporciona usualmente mayores distancias pero áreas de cobertura menores.

Ejemplos: Antena Yagi, Antena Panel, Antena Sectorial (Wide Angle), Reflector Parabólico.

Antenas Omnidireccionales: Radian en todas las direcciones con un ángulo de cobertura de 360° en horizontal y con un ángulo pequeño en vertical. Logran mayor cobertura pero la potencia transmitida se esparce en todas direcciones en horizontal con lo que las distancias que se logran son menores.

Cable de Baja Pérdida

Es la línea de transmisión que lleva la señal de microondas desde el radio hasta la antena. Debe ser de una calidad tal que las pérdidas sean muy bajas. Existen 2 fabricantes reconocidos mundialmente:



Times Microwave productora del cable LMR

¹ Definición encontrada en: <http://www.romalo.250x.com/informacion/antenas/antena.htm>



Andrew Corporation produce Heliax

Mástil

El elemento de fijación de la antena. Debe cumplir con la normativa establecida y tener la señalización correspondiente. Toda la estructura debe estar conectada a tierra.

Existen diferentes tipos de mástil para las antenas de enlaces inalámbricos metropolitanos, estos van desde simples tubos de metal, hasta estructuras auto soportadas con escaleras de acceso, balizas, pararrayos, hangers y montantes para las antenas.

7. PARÁMETROS QUE DETERMINAN LA FACTIBILIDAD DE UN ENLACE

Los parámetros que determinan la factibilidad de un enlace son los siguientes:

- Obstáculos y Obstrucciones
- Pérdidas por conectores y cables
- Nivel de recepción de la señal
- Potencia de Transmisión
- Pérdidas en el espacio libre

Obstáculos y Obstrucciones

Las características de la trayectoria pueden cambiar en el tiempo, debido a la vegetación, construcción de edificios, tendido de líneas eléctricas, etc. Las obstrucciones en el paso de la señal ocasionan difracción de la energía. Es importante no solo tener línea de vista, sino también línea de radio. Para determinar si los obstáculos en la trayectoria afectarán el enlace se debe analizar la zona de Fresnel (este concepto se describe en el apartado 8.2).

Uno de los efectos que se deben considerar a la hora de evaluar el rendimiento de una antena, es que se produzca sobre el reflector una lámina de agua, hielo o nieve. La más importante de las tres para el caso de las antenas "flat-panel" es el agua por las pérdidas que produce.



Figura 17. Condiciones Metereológicas

Pérdidas por conectores y cables

Las pérdidas en el cable están establecidas en el catalogo del fabricante del cable utilizado como línea de transmisión y dependen básicamente de la longitud del cable, es decir, entre mayor sea esta longitud mayor será la pérdida de la señal.

Otro factor importante es utilizar conectores de buena calidad, que garanticen la estabilidad del enlace y un nivel de pérdidas mínimo. Para enlaces inalámbricos se recomienda utilizar conectores tipo N, RP-SMA o RP-TNC.

Nivel de Recepción de la Señal (NRS)

El Nivel de recepción de la señal puede determinarse a partir de:

Nivel de Recepción de Señal = Potencia de Transmisión (dBm) – Pérdida de propagación + Factor de Campo (dB) + Ganancia total de las antenas (dBi) - Pérdida Total en los cables (dB) – Pérdida total en los conectores (dB)

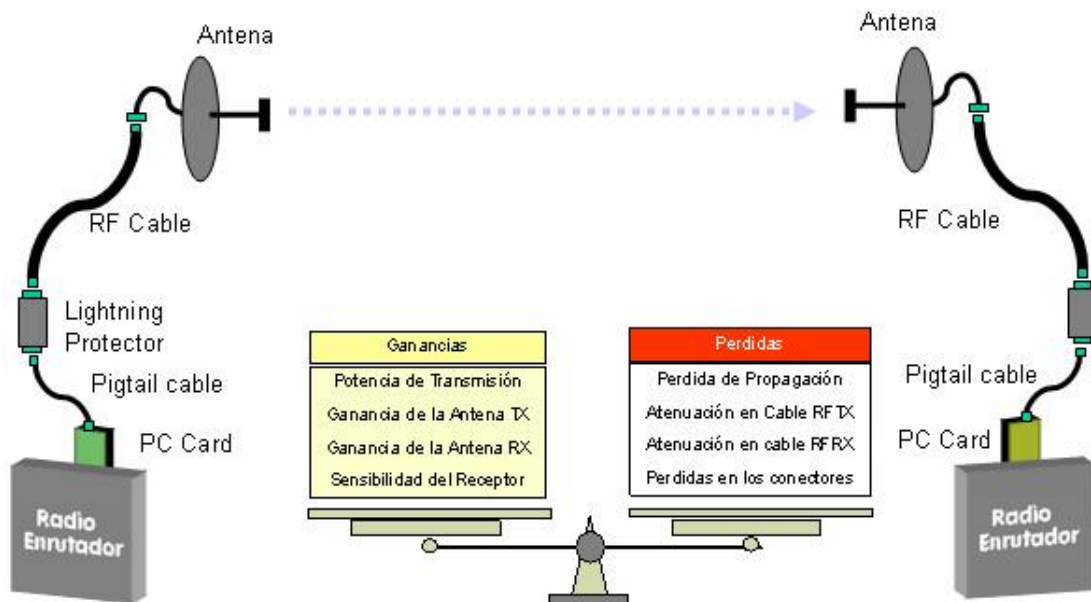


Figura 18. Análisis de Trayectoria

Para que el enlace funcione correctamente el NRS debe ser mayor que la sensibilidad de recepción del equipo receptor más un margen de pérdidas por otros factores. El margen corresponde a un valor en dB así:

- Valor mínimo a considerar 10 dB
- Enlaces en ciudades expuestos a interferencias de microondas: 15 dB
- Enlaces con condiciones climáticas severas: 20 dB

Potencia de Transmisión

En un sistema de comunicaciones se debe establecer el balance de potencia entre el transmisor y el receptor, puesto que el nivel mínimo de señal detectable en este último establece la potencia mínima que ha de suministrar el transmisor.



Figura 19. Balance de potencia entre dos antenas

Si la antena transmisora radiara isotrópicamente una potencia P_r , se estaría enviando señal por igual en todas las direcciones del espacio. Si inicialmente se considera que el medio donde se propaga la onda no posee pérdidas, no se producirá absorción de energía en él y la potencia que atraviesa cualquier superficie esférica centrada en la antena a una distancia r será constante, y está dada por:

$$\text{densidad de potencia en } r = Pr/4\pi r^2$$

Al duplicar la distancia, la densidad de potencia se reduce a la cuarta parte o en 6dB.

Al producto de la potencia isotrópica radiada por una antena por la directividad, o al producto de la potencia entregada por la ganancia de la antena, se le denomina **potencia isotrópica radiada equivalente, PIRE**, y suele expresarse en dbW.

$$PIRE = Pr * D = Pe * G$$

Pérdidas en el Espacio Libre

El concepto de espacio libre asume un canal libre de impedimentos para la propagación de una señal de RF. Tales impedimentos pueden ser absorción, reflexión, refracción o difracción. Si existe algo de atmósfera en el canal de comunicación, puede asumirse que esta es perfectamente uniforme y que cumple con las condiciones de espacio libre. Resumiendo, cuando se habla de espacio libre se considera que la energía de RF que llega el receptor es función solamente de la distancia desde el transmisor (siguiendo la ley del cuadrado inverso). Por supuesto que este es el caso ideal. En la práctica, la propagación a través de la atmósfera y en las regiones cercanas a la tierra tiene efectos de absorción, reflexión, refracción y difracción que modifican la condición de espacio libre.²

La pérdida por tránsito en el espacio libre con atmósfera toma en decibelios, un valor:

² Definición dada por Roque Saenz Peña – Departamento de Ciencia y Tecnología Universidad Nacional de Quilmas – Buenos Aires, Argentina

$$FSL = 20 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)$$

$$FSL = 20 \left[\log 4\pi + \log \left(\frac{r}{\lambda} \right) \right]$$

$$FSL = 22 + 20 \log \left(\frac{r}{\lambda} \right)$$

$$FSL = 22 + 20 [\log r - \log \lambda]$$

Donde: $v = \lambda f$

En términos de la frecuencia f y la velocidad de la radiación en el espacio libre:

$$v = c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$FSL = 22 + 20 \left[\log r - \log \left(\frac{c}{f} \right) \right]$$

$$FSL = 22 + 20 [\log r - [\log c - \log f]]$$

$$FSL = 22 - 20 \log c + 20 \log r + 20 \log f$$

Expresando la frecuencia en MHz y la distancia en Km.

$$FSL = 22 - 20 \log(0.3) + 20 \log r + 20 \log f$$

$$FSL [dBm] = 20 \text{Log}_{10}(\text{Frecuencia}) + 20 \text{Log}_{10}(\text{Dis tan cia}) + 32.5$$

Las pérdidas son mayores si la frecuencia es alta o la longitud de onda es pequeña.

8. MONTAJE DE UN ENLACE INALÁMBRICO METROPOLITANO

El objetivo de este proyecto es comunicar las sedes de Edificios Corporativos de la ciudad de Bucaramanga, ubicados en el Centro y Cañaveral a través de un enlace microondas con tecnología de espectro ensanchado en la banda ISM en frecuencia de 2.4 Ghz para transmitir los datos y la voz entre la red de área local del edificio situado en Cañaveral y el centro principal de Telecomunicaciones ubicado en el centro de la ciudad de Bucaramanga.

Durante una primera inspección de los sitios se determinó la necesidad de buscar un punto intermedio de repetición, ya que no hay línea de vista entre las dos sedes. El punto escogido estratégicamente está ubicado en el cerro La Puente ubicado al Occidente de Bucaramanga, desde el cual se divisan las dos sedes y además permite la expansión de la red en el futuro al utilizar este sitio como un repetidor multipunto, al cual eventualmente podrían conectarse las demás sedes dada la ubicación estratégica del cerro que permite vista directa a gran parte de la ciudad en donde se encuentran los Edificios Corporativos.

A continuación se encontrarán descritos todos los pasos realizados durante el desarrollo del proyecto, así como también los resultados y datos definitivos del enlace microondas, se presentan los cuadros con los análisis, tablas y fotografías del montaje.

8.1 UBICACIÓN

Las coordenadas de ubicación de los sitios fueron obtenidas utilizando un GPS Marca Garmin, modelo Etrex, y se utilizó el Software Map Source. La ubicación de los sitios donde fueron ubicadas las antenas para el radio enlace, son los siguientes:

Tabla 2. Coordenadas de los sitios remotos.

LUGAR	N	W	ALTURA
Centro	7.11692	73.12557	958 m
Cerro La Puente	7.08566	73.19466	1350 m
Cañaveral	7.06968	73.10518	893 m

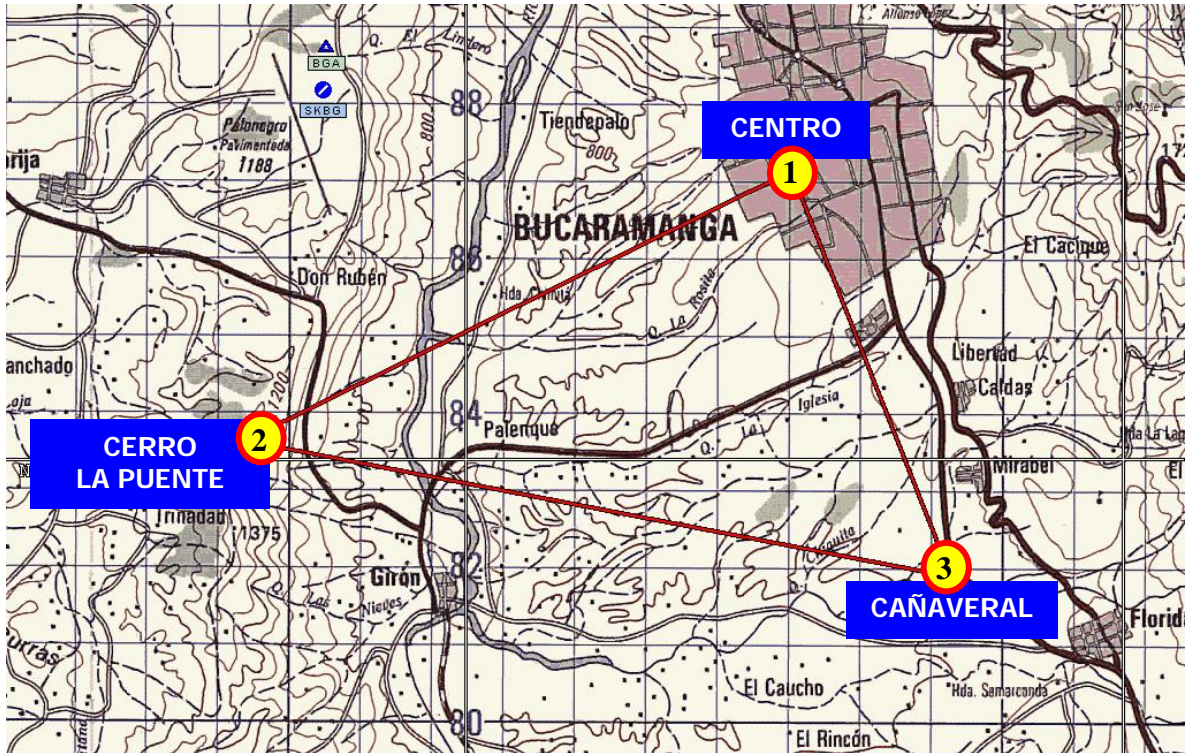


Figura 20. Ubicación en el mapa de los sitios de interés

El mapa presenta la ubicación de cada uno de los puntos en donde se instalaron las antenas y radios para el enlace descrito. El punto No. 1 Corresponde al Edificio Corporativo El Centro (N7.11692 W73.12557). El punto No. 2 Corresponde al sitio de repetición Cerro La Puente (N7.08566 W73.19466). El punto No. 3 está ubicado en el Edificio Corporativo de Cañaveral (N7.06968 W73.10518).

Por medio de GPS, cálculos matemáticos y teoría de antenas, se obtuvieron los siguientes datos representativos de los sitios:

Tabla 3. Datos numéricos de los 3 puntos del mapa.

LUGAR	Distancia	Rumbo	Diferencia de altura	Cabeceo (Tilt)
La Puente – Centro	8.38 Km.	66°	392 m	-2.6718°
Centro – La Puente	8.38 Km.	246°	392 m	2.6718°
Cañaverál – La Puente	10.044 Km.	100°	457 m	2.5907°
La Puente – Cañaverál	10.044 Km.	280°	457 m	-2.5907°

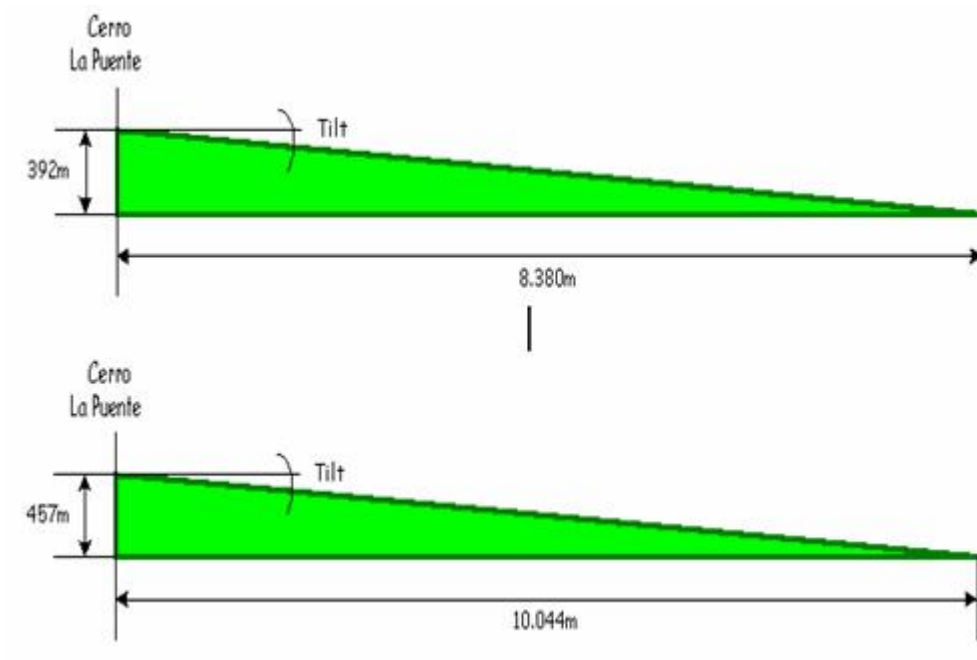


Figura 21. Representación de los datos de la tabla 3.

8.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Luego de comprobar que existe línea de vista entre los sitios y tomar las coordenadas geográficas, se tienen los datos iniciales requeridos para los cálculos de factibilidad, se debe determinar además si el Clearance disponible es suficiente para que sea viable el enlace, por lo que se realiza un análisis de las zonas de Fresnel a lo largo de la trayectoria del enlace.

La zona de Fresnel corresponde a una zona libre de elementos que interfieran el tránsito de las ondas a lo largo de la trayectoria, esta zona es de diámetro pequeño en los extremos y aumenta a medida que se alcanza el punto medio de la trayectoria, por lo que es necesario comprobar este requerimiento, ya que no basta con que haya línea de vista, también la zona de Fresnel debe estar libre de elementos o estructuras, árboles o construcciones que interfieran la calidad del enlace. El cálculo de 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. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de señal recibido.

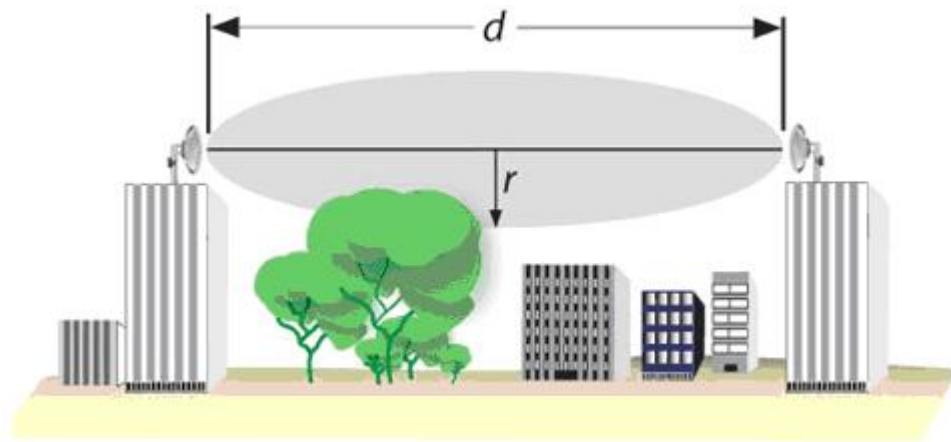


Figura 22. Zona de Fresnel

La primera zona de Fresnel puede calcularse como:

$$\text{Zona de Fresnel} = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{(d_1 + d_2) \cdot f}}$$

En donde:

d1: Distancia al obstáculo expresada en metros.

d2: Distancia desde el obstáculo hasta el otro extremo del enlace

f: Frecuencia a la que se va a trabajar expresada en MHz.

El Radio Crítico, es decir el Radio mínimo que debe estar despejado para asegurar que el enlace es viable, corresponde al 60% de la Primera Zona de Fresnel + 3 metros.

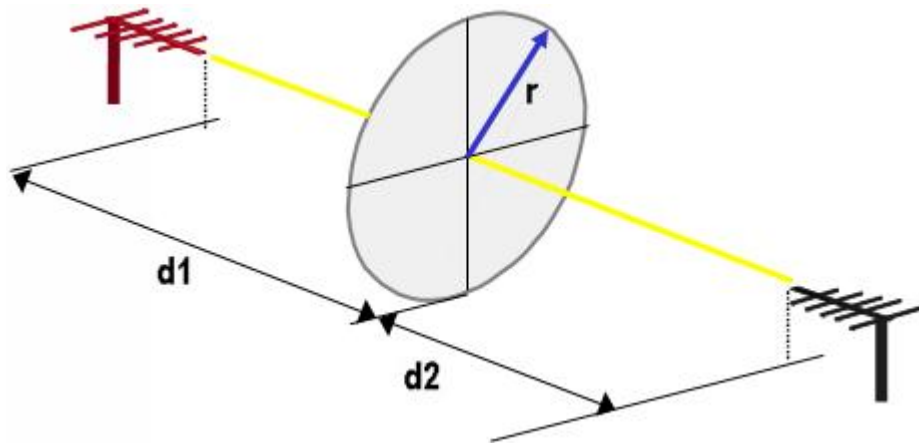


Figura 23. Radio de la Zona de Fresnel

8.2.1 Análisis de Fresnel para el enlace Centro – Cerro La Puente

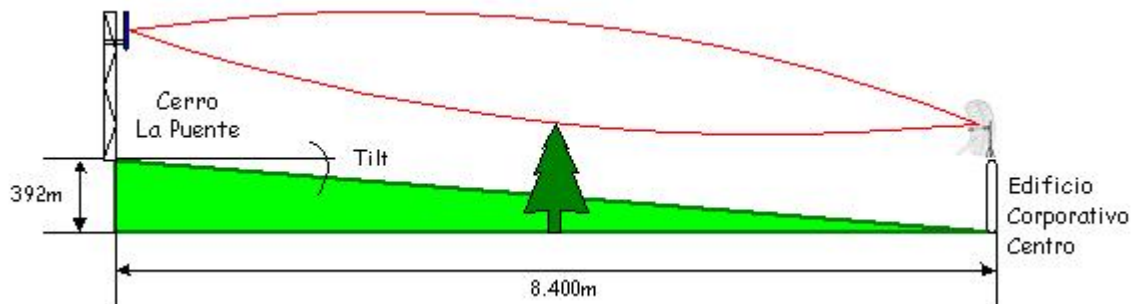


Figura 24. Zona de Fresnel para los puntos Centro – Cerro La Puente

Dado que el radio más grande se tendrá cuando $d1 = d2 = dT/2$, es decir en la mitad exacta de la trayectoria, se hace el cálculo del radio crítico de la zona de Fresnel para los 11 canales (Frecuencias) que utiliza el radio de microondas Avaya COR/ROR en la distancia media del enlace entre Centro y Cerro La Puente a los 4.2 Kilómetros.

Tabla 4. Análisis de la zona de Fresnel para el enlace Centro – Cerro La Puente

FRECUENCIA [MHz]	1er RADIO FRESNEL [m]	RADIO CRÍTICO [m]
2412	16.1423	12.6854
2417	16.1256	12.6753
2422	16.1090	12.6654
2427	16.0924	12.6554
2432	16.0758	12.6455
2437	16.0593	12.6356
2442	16.0429	12.6257
2447	16.0265	12.6159
2452	16.0101	12.6061
2457	15.9938	12.5963
2462	15.9776	12.5865
2467	15.9614	12.5768
2472	15.9452	12.5671

8.2.2 Análisis de Fresnel para el enlace Cañaveral – Cerro La Puente

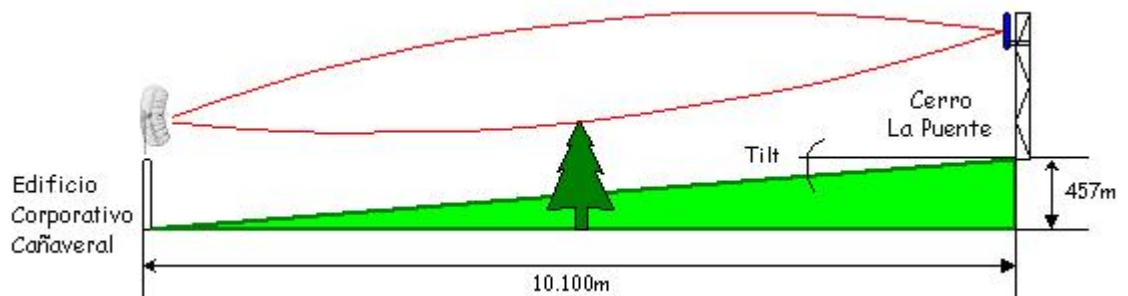


Figura 25. Zona de Fresnel para los puntos Cañaveral – Cerro La Puente

Dado que el radio más grande se tendrá cuando $d_1 = d_2 = dT/2$, es decir en la mitad exacta de la trayectoria, se hace el cálculo del radio crítico de la zona de Fresnel para los 11 canales (Frecuencias) que utiliza el radio de microondas Avaya COR/ROR en la distancia media del enlace entre Centro y Cerro La puente a los 5.05 Kilómetros.

Tabla 5. Análisis de Fresnel para la zona Cañaveral – Cerro La Puente

FRECUENCIA [MHz]	1er RADIO FRESNEL [m]	RADIO CRÍTICO [m]
2412	17.7006	13.6204
2417	17.6822	13.6094
2422	17.6640	13.5984
2427	17.6458	13.5875
2432	17.6276	13.5766
2437	17.6096	13.5657
2442	17.5914	13.5549
2447	17.5736	13.5441
2452	17.5556	13.5334
2457	17.5378	13.5226
2462	17.5199	13.5120
2467	17.5022	13.5013
2472	17.4845	13.4907

Radio Critico promedio para Enlace entre Cerro La Puente y Centro: 12.6 Metros

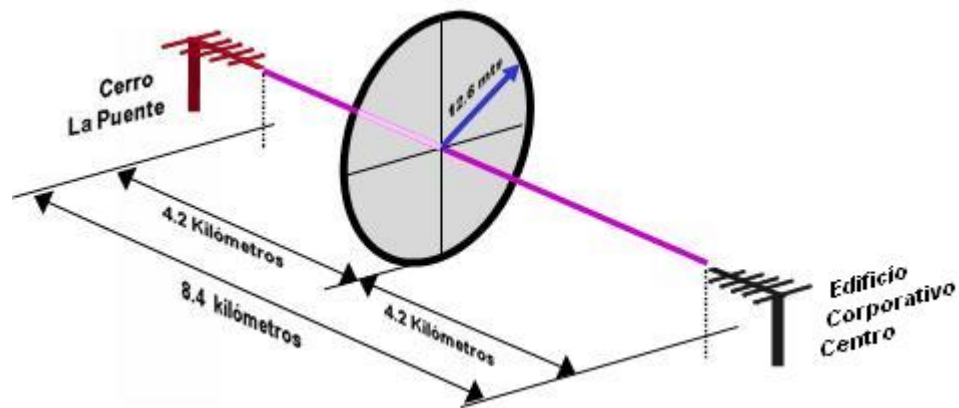


Figura 26. Radio critico de la Zona de Fresnel para el enlace Centro – Cerro La Puente

Luego el diámetro de la zona despejada a los 4.2 kilómetros de distancia es decir en el centro de la trayectoria es de 25.2 metros. Dada la altura del cerro con relación a los puntos en la ciudad la zona despejada en el centro de ésta trayectoria es mucho mayor que la circunferencia imaginaria de 25.2 metros de

diámetro, de donde se concluye que no habrá problemas de difracción para este enlace.

Radio Critico promedio para Enlace entre Cerro La Puente y Cañaverál: 13.5 Metros

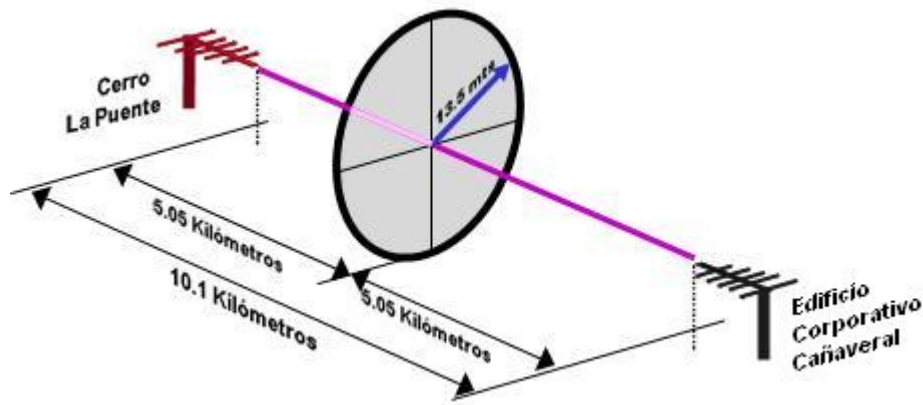


Figura 27. Radio crítico de la Zona de Fresnel para el enlace Cañaverál – Cerro La Puente

Luego el diámetro de la zona despejada a los 5.05 kilómetros de distancia es decir en el centro de la trayectoria es de 27 metros. Dada la altura del cerro con relación a los puntos en la ciudad la zona despejada en el centro de ésta trayectoria es mucho mayor que la circunferencia imaginaria de 27 metros de diámetro, de donde se concluye que no habrá problemas de difracción para este enlace.

8.3 CÁLCULOS DEL ENLACE

Para determinar la factibilidad del enlace se debe tener en cuenta además de la existencia de Línea de vista y de la zona de fresnel, los cálculos de aspectos relevantes, tales como Nivel de Recepción de Señal (NRS) o Fortaleza de la Señal en el Extremo del Receptor (RSSI), Pérdida por tránsito en el espacio libre con atmósfera (FSL), Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE) en transmisor y receptor, así como determinar el margen de fading y la sensibilidad del receptor a utilizar.

La fortaleza de la señal en el extremo receptor se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RSSI = EIRP - \alpha_{fs} + G_{ra} - L_{rfl}$$

En donde:

RSSI = Fortaleza de la señal en el receptor en dBm

PIRE = Potencia de Salida de radiofrecuencia en dBm + $G_{ta} - L_{tfl}$

α_{fs} = Pérdida en el espacio libre en dB

G_{ra} = Ganancia en la antena de recepción en dBi

L_{tfl} = Pérdida en la guía de onda del transmisor

L_{rfl} = Pérdida en la guía de onda del receptor

G_{ta} = Ganancia en la antena de transmisión en dBi

$$PIRE [dB] = Potencia de Salida - Pérdida de la Guía de Onda + Ganancia de la Antena$$

Para realizar estos cálculos, hay que tener en cuenta:

$$PIRE - FSL + PIRE RX > SENSIBILIDAD + MARGEN$$

Donde:

FSL = Pérdida por tránsito en el Espacio Libre con Atmósfera

$$FSL [dBm] = 20\text{Log}_{10}(\text{Frecuencia}) + 20\text{Log}_{10}(\text{Distancia}) + 36.56$$

Valores de Frecuencia en Mhz y Distancia en Kilómetros

$$PIRE RX [dB] = Potencia de la Antena RX - Pérdida de la Guía de Onda RX$$

Sensibilidad y Margen:

Los valores de sensibilidad del receptor dados por el fabricante AVAYA para su tarjeta PC Card Gold en frecuencia de 2.4 Ghz son los siguientes:

Tabla 6. Parámetros a tener en cuenta en el enlace

VELOCIDAD [Mbps]	SENSIBILIDAD [dBm]
11	-82
5.5	-87
2	-91
1	-94

FACTOR DE CAMPO	MARGEN [dB]
Normal	10
Interferencia	15
Clima adverso	20

8.3.1 Enlace CENTRO – Cerro LA PUENTE

a) TRANSMISOR EN EDIFICIO CORPORATIVO CENTRO

Long. Cable	4 m	No. Conectores	2
Pérdida por metro	0.22 dB	Pérdida por conector	0.2 dB
Pérdida del cable	0.88 dBm	Pérdida de los conectores	0.4 dBm

Tabla 7. Parámetros del transmisor (Centro – Cerro La Puente)

Potencia de salida [dBm]	Ganancia de la Antena [dBi]	Pérdida del cable [dBm]	Pérdida de los conectores [dBm]
15	24	0.88	0.4

PIRE : Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

PIRE = 37.72 dB

b) PÉRDIDA EN EL ESPACIO LIBRE

Recordemos que la pérdida por tránsito en el espacio libre con atmósfera es:

$$FSL [dBm] = 20\text{Log}_{10}(\text{Frecuencia}) + 20\text{Log}_{10}(\text{Distancia}) + 36.56$$

Tabla 8. FSL en todas las frecuencias (Centro – Cerro La Puente)

FRECUENCIA [MHz]	FSL [dBm]
2412	118.6331
2417	118.6511
2422	118.6691
2427	118.6870
2432	118.7048
2437	118.7227
2442	118.7405
2447	118.7583
2452	118.7760
2457	118.7937
2462	118.8113
2467	118.8290
2572	118.8465

c) TRANSMISOR EN CERRO LA PUENTE

Long. cable	18 m
Pérdida por metro	0.22 dB
Pérdida del cable	3.96 Dbm

No. Conectores	2
Pérdida por conector	0.2 dB
Pérdida de los conectores	0.4 dBm

Tabla 9. Parámetros del receptor (Centro – Cerro La Puente)

Ganancia de la Antena [dBi]	Pérdida del cable [dBm]	Pérdida de los conectores [dBm]
18	3.96	0.4

PIRE TX : Potencia en el Transmisor
PIRE TX = 13.64 dB

d) TOTAL

PIRE – FSL + PIRE TX > SENSIBILIDAD + MARGEN
37.72 – 118.72 + 13.64 > -82 + 15

-67.36 > -67

Como la desigualdad no se cumple, teniendo en cuenta que se está usando el margen correspondiente a lugares con alta contaminación microondas, alta densidad de edificios, es decir, se están considerando las peores condiciones que pudieran existir. Matemáticamente el enlace sería viable a 5.5 Mbps debido al alto nivel de contaminación de microondas en el sitio. Sin embargo no está lejos de ser viable a 11 Mbps, lo que sólo podrá asegurarse con pruebas de conectividad sobre el enlace, para detallar el comportamiento del mismo en condiciones reales y normales.

8.3.2 Enlace CAÑAVERAL – Cerro LA PUENTE

a) TRANSMISOR EN CAÑAVERAL

Long. cable	12 m
Pérdida por metro	0.22 dB
Pérdida del cable	2.64 dBm

No. Conectores	2
Pérdida por conector	0.2 dB
Pérdida de los conectores	0.4 dBm

Tabla 10. Parámetros del transmisor (Cañaveral – Cerro La Puente)

Potencia de salida [dBm]	Ganancia de la Antena [dBi]	Pérdida del cable [dBm]	Pérdida de los conectores [dBm]
15	24	2.64	0.4

PIRE : Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

PIRE = 35.96 dB

b) PÉRDIDA EN EL ESPACIO LIBRE

Recordemos que la pérdida por tránsito en el espacio libre con atmósfera es:

$$FSL [dBm] = 20\text{Log}_{10}(\text{Frecuencia}) + 20\text{Log}_{10}(\text{Distancia}) + 36.56$$

Tabla 11. FSL en todas las frecuencias (Cañaveral – Cerro La Puente)

FRECUENCIA [MHz]	FSL [dBm]
2412	120.2340
2417	120.2520
2422	120.2699
2427	120.2878
2432	120.3057
2437	120.3235
2442	120.3413
2447	120.3591
2452	120.3768
2457	120.3945
2462	120.4122
2467	120.4298
2572	120.4474

c) TRANSMISOR EN CERRO LA PUENTE

Long. cable	22 m
Pérdida por metro	0.22 dB
Pérdida del cable	4.84 dBm

No. Conectores	2
Pérdida por conector	0.2 dB
Pérdida de los conectores	0.4 dBm

Tabla 12. Parámetros del receptor (Cañaverál – Cerro La Puente)

Ganancia de la Antena [dBi]	Pérdida del cable [dBm]	Pérdida de los conectores [dBm]
24	4.84	0.4

PIRE : Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

PIRE TX = 18.76 dB

d) TOTAL

PIRE – FSL + PIRE TX > SENSIBILIDAD + MARGEN

35.96 – 120.23 + 18.76 > -82 + 10

-65.51 > -72

Esta desigualdad es verdadera, pero los valores del enlace se encuentran muy cercanos al margen, por lo que se recomienda una velocidad de 5.5Mbps para garantizar el enlace.

Las condiciones están dadas para que el enlace sea óptimo a 5.5 Mbps, tanto en el tramo Centro – cerro La Puente, como en Cañaverál – cerro La Puente, asumiendo como margen el de sitios altamente contaminados, es decir que en condiciones normales trabajaría sin problema con una velocidad de 11 Mbps.



Foto No. 1 Estructura del mástil ubicado en Cerro La Puente. En la fotografía el Ingeniero está verificando la línea de vista de los enlaces.

8.3.3 Cálculo de la probabilidad de Fading

Efecto de reducción, cancelación o atenuación experimentado por la información que llega a un receptor cuando ella proviene de una misma fuente pero a través de diferentes trayectos.

El margen de fading se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FProb = a \times b \times 6.0 \times 10^{-7} \times f \times d^3 \times 10^{(F)/10}$$

En donde:

- FProb : Probabilidad de Fading
- a : Factor del terreno
 - 4 se utiliza para terreno muy liso, tal como agua excesiva
 - 1 se utiliza para terreno medio, con aspereza moderada
 - 0.25 se utiliza para terreno montañoso o muy áspero.
- b : Factor del clima
 - 0.5 se utiliza para un clima caliente, húmedo
 - 0.25 se utiliza para las áreas templadas o norteadas
 - 0.125 se utiliza para un clima muy seco
- f : Frecuencia en GHz
- d : Longitud de Trayectoria en Kms
- F : Factor de campo en dB (10,15,20)

Parámetros Enlace CENTRO – Cerro LA PUENTE :

- Factor del Terreno : 0.25 Terreno montañoso
- Factor del Clima : 0.25 Áreas templadas
- Frecuencia : 2.43 Ghz
- Longitud : 8.4 Km.
- F : 15

$$FProb = 0.00170795$$

$$FProb = 0.17080\%$$

Parámetros Enlace CAÑAVERAL – Cerro LA PUENTE :

Factor del Terreno : 0.25 Terreno montañoso
Factor del Clima : 0.25 Áreas templadas
Frecuencia : 2.43 Ghz
Longitud : 10.1 Km.
F : 15

FProb = 0.00296894

FProb = 0.29689%

8.3.4 Cálculo de la disponibilidad en horas / año

Para realizar el cálculo de horas disponibles de los enlaces en un año se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Disponibilidad Enlace} = 1 - \text{FProb}$$

En donde:

FProb = Probabilidad de Fading

Disponibilidad Enlace CENTRO – Cerro LA PUENTE :

$$\text{Disponibilidad Enlace} = 1 - 0.00170795 = 0.99829205$$

$$\text{Total de horas en un año} = 365 * 24 = 8760 \text{ horas}$$

$$0.99829205 * 8760 = 8745.0383$$

$$\text{No - Disponibilidad Enlace (hora/año)} = 8760 - 8745.0383$$

$$\text{No - Disponibilidad Enlace (hora/año)} = 14.9616 \text{ horas / año}$$

Este resultado nos indica que es probable que el Enlace CENTRO – Cerro LA PUENTE acumule un total de 15 horas al año, en las cuales no se encuentre disponible. Dichos problemas de disponibilidad podrán ser causados por factores tales como interferencias (otras redes WLAN, bluetooth), ruido industrial (hornos a microondas), pérdidas atmosféricas (humedad del aire, el viento, la lluvia, dispersión, refracción), interferencias electromagnéticas, entre otras.

Disponibilidad Enlace CAÑAVERAL – Cerro LA PUENTE :

Disponibilidad Enlace = $1 - 0.00296894 = 0.99703106$

Total de horas en un año = $365 * 24 = 8760$ horas

$0.99703106 * 8760 = 8733.99207$

No - Disponibilidad Enlace (hora/año) = $8760 - 8733.9920$

No - Disponibilidad Enlace (hora/año) = 26.0079 horas / año

Este resultado nos indica que es probable que el Enlace CAÑAVERAL – Cerro LA PUENTE acumule un total de 26 horas al año, en las cuales no se encuentre disponible. Las razones de dicha situación fueron explicadas en los cálculos del Enlace CENTRO – Cerro LA PUENTE.

8.4 INSTALACIÓN

8.4.1 Materiales

✂ CERRO LA PUENTE

Tabla 13. Descripción de materiales en Cerro La Puente

DESCRIPCIÓN MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Radio enrutador Cajun Wave COR-1100 con cable de poder. Llave con licencia de software para enrutamiento punto-multipunto	Unidad	1
CAJUN Wave Turbo 11Mb PC card (FCC) w/web – gold encryption 128k	Unidad	2
24 dBi Parabolic Grid Antenna	Unidad	1
18 dBi Flat Panel Antenna	Unidad	1
Low Loss cable 50 ft (standard-N) – LMR 400	Unidad	1
Low Loss cable 75 ft (standard-N) – LMR 400	Unidad	1
Lightning protector loss – standard-N	Unidad	2
IEEE Pigtail Assy 50 cm – standard-N	Unidad	2
Tubo EMT de ½”	Tramos	2
Unión para tubo EMT de ½”	Unidad	3
Terminal para tubo EMT de ½”	Unidad	4
Cable encauchetado 3 X 16	Metros	3
Cable UTP categoría 5e	Metros	3
Patch cord eléctrico (macho – macho)	Unidad	1 X 1 m.

DESCRIPCIÓN MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Cinta autofundente	Rollo	1
Multitoma con polo a tierra y supresor de picos	Unidad	1
Caja plástica para tomas	Unidad	3
Toma eléctrica con polo a tierra	Unidad	2
Tapa para toma eléctrica con polo a tierra	Unidad	2
Jack RJ-45	Unidad	1
Plug RJ-45	Unidad	1
Tapa para toma de red	Unidad	1
Barraje para tierra sencillo	Unidad	1
Tornillo de cobre	Unidad	4
Aislador	Unidad	2
Terminal cuadrado de cobre	Unidad	2
Terminal plano de cobre	Unidad	1
Cable eléctrico	Metros	3
Perno para tierra	Unidad	2
Tornillería ConDrive	Unidad	20
Amarres plásticos para exteriores	Paquete	1
Abrazaderas de ½" para tubo EMT	Unidad	6
Base de madera para colocar UPS	Unidad	1

✘ EDIFICIO CORPORATIVO CAÑAVERAL

Tabla 14. Descripción de materiales en Edificio Corporativo Cañaverál

DESCRIPCIÓN MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Radio enrutador Cajun Wave ROR-1000 con cable de poder. Llave con licencia de software para enrutamiento punto-multipunto	Unidad	1
CAJUN Wave Turbo 11Mb PC card (FCC) w/web – gold encryption 128k	Unidad	1
24 dBi Parabolic Grid Antenna	Unidad	1
Low Loss cable 50 ft (standard-N) – LMR 400	Unidad	1
Lightning protector loss – standard-N	Unidad	1
IEEE Pigtail Assy 50 cm – standard-N	Unidad	1
Tubo EMT de 1"	Tramos	25
Codo para tubo EMT de 1"	Unidad	4
Uniones para tubo EMT de 1"	Unidad	30
Abrazaderas de 1" para tubo EMT	Unidad	80
Terminales para tubo EMT de 1"	Unidad	8
Fibra óptica multimodo de uso en interiores	Metros	320
Cable UTP de uso en exteriores	Metros	15

DESCRIPCIÓN MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Gabinete para exteriores	Unidad	1
Caja de paso luminex (20 x 25 x 15)	Unidad	3
Caja de intemperie (20.7 x 28.4 x 16)	Unidad	1
Cinta autofundente	Rollo	1
Tornillería ConDrive	Unidad	200
Amarres plásticos para exteriores	Paquete	1
Jack RJ-45	Unidad	1
Tapa para toma de red	Unidad	1
Pach cord UTP categoría 5e X 3 ft.	Unidad	1
Organizador de cables	Unidad	1
Barraje sencillo	Unidad	1
Terminal de cobre plano	Unidad	8
Cable eléctrico	Metros	3

✘ EDIFICIO CORPORATIVO CENTRO

Tabla 15. Descripción de materiales en Edificio Corporativo Centro

DESCRIPCIÓN MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Radio enrutador Cajun Wave ROR-1000 con cable de poder. Llave con licencia de software para enrutamiento punto-multipunto	Unidad	1
CAJUN Wave Turbo 11Mb PC card (FCC) w/web – gold encryption 128k	Unidad	1
24 dBi Parabolic Grid Antenna	Unidad	1
Low Loss cable 50 ft (standard-N) – LMR 400	Unidad	1
Lightning protector loss – standard-N	Unidad	1
IEEE Pigtail Assy 50 cm – standard-N	Unidad	1
Tubo EMT de 1”	Tramos	12
Codos para tubo EMT de 1”	Unidad	10
Uniones para tubo EMT de 1”	Unidad	15
Terminales para tubo EMT de 1”	Unidad	8
Cable encauchetado 3 X 18	Metros	50
Cable UTP de uso en exteriores	Metros	50
Caja de intemperie (30 x 36.6 x 20)	Unidad	1
Caja de paso luminex (20 x 25 x 15)	Unidad	2
Tornillería ConDrive	Unidad	100
Abrazaderas de 1” para tubo EMT	Unidad	25
Perros para templar guayas ¼	Unidad	6
Templetes para guaya de ¼	Unidad	3

DESCRIPCIÓN MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
Chazos con ojo para guaya	Unidad	3
Chazos de seguridad	Unidad	4
Guaya	Metros	12
Cinta autofundente	Rollo	1
Tubo EMT de 1.5"	Tramos	1
Base para tubo de 1.5"	Unidad	1
Tornillo bristol 3/16 de 1"	Unidad	4
Juego de toma eléctrica con polo a tierra al aire	Unidad	1
Plug RJ-45	Unidad	2
Barraje sencillo	Unidad	1
Tornillos de cobre	Unidad	2
Amarres plásticos para exteriores	Paquete	1
Amarres plásticos pequeños	Paquete	1

8.4.2 Ubicación

CERRO LA PUENTE

El sitio de repetición esta ubicado en el Cerro La puente en la vía que de Bucaramanga conduce al Municipio de Lebrija, al cual se accede 300 metros adelante de la entrada al Aeropuerto de Palonegro entrando a la derecha y siguiendo la ruta de acceso en distancia aproximada de 5 Kilómetros hasta llegar a la torre de telecomunicaciones de ISA. En este lugar a aproximadamente 250 metros se encuentra la torre de repetición de BeeperWeb, compañía que alquiló la infraestructura para colocar allí el radio las antenas para repetición. Las Coordenadas exactas de la ubicación del repetidor en el Cerro La Puente son las siguientes:

Norte 7.11692 OESTE 73.12557 Altitud 958 msnm

En el sitio hay una caseta junto a la torre, en la que se instaló el radio-enrutador con su correspondiente barraje a tierra. El radio está instalado a la altura interna del techo de la caseta y por un ducto sobre bandeja tipo escalera salen las guías de onda hacia la torre.

La antena que apunta hacia el centro estará situada sobre la torre, aproximadamente a 15 metros si la referencia es el techo de la caseta.

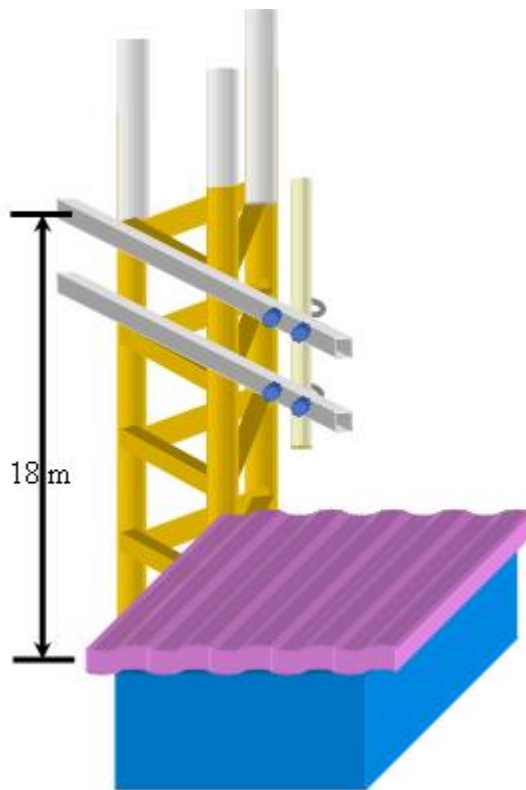


Figura 28. Distribución de la torre y la caseta en el cerro La Puente

Dentro de la caseta se adecuará un punto de energía y uno de red a una altura de 30 cm del piso, estos puntos llegarán hasta el techo de la caseta para permitir el acceso al radio con un portátil.

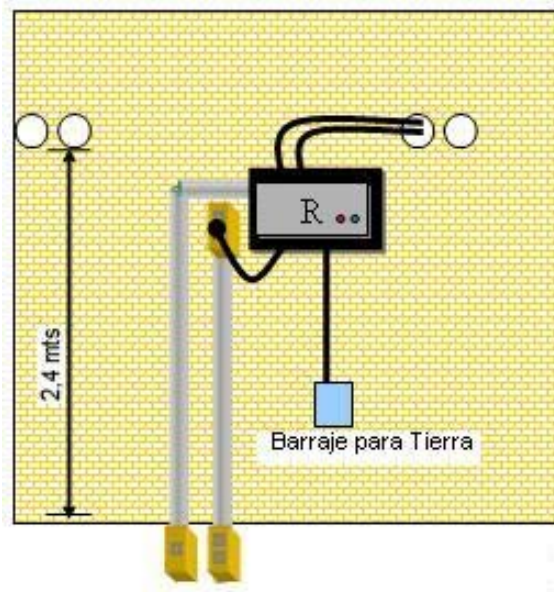


Figura 29. Adecuación de la caseta en el cerro La Puente

En el cerro La Puente es necesario realizar un barraje a tierra para el correcto funcionamiento de los equipos. Cabe mencionar que en la caseta hay una malla de tierra disponible. En el diseño del barraje propuesto, se llega hasta la malla de tierra.

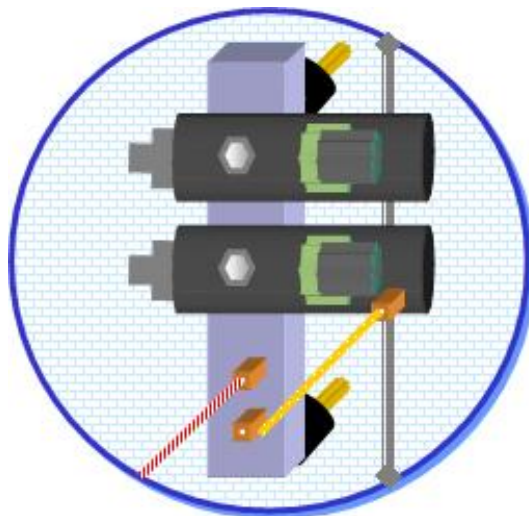


Figura 30. Barraje instalado en la caseta del cerro La Puente

El anclaje de la antena fue diseñado de tal forma, que se logra dar el Tilt necesario a la antena; se utilizan materiales para intemperie.

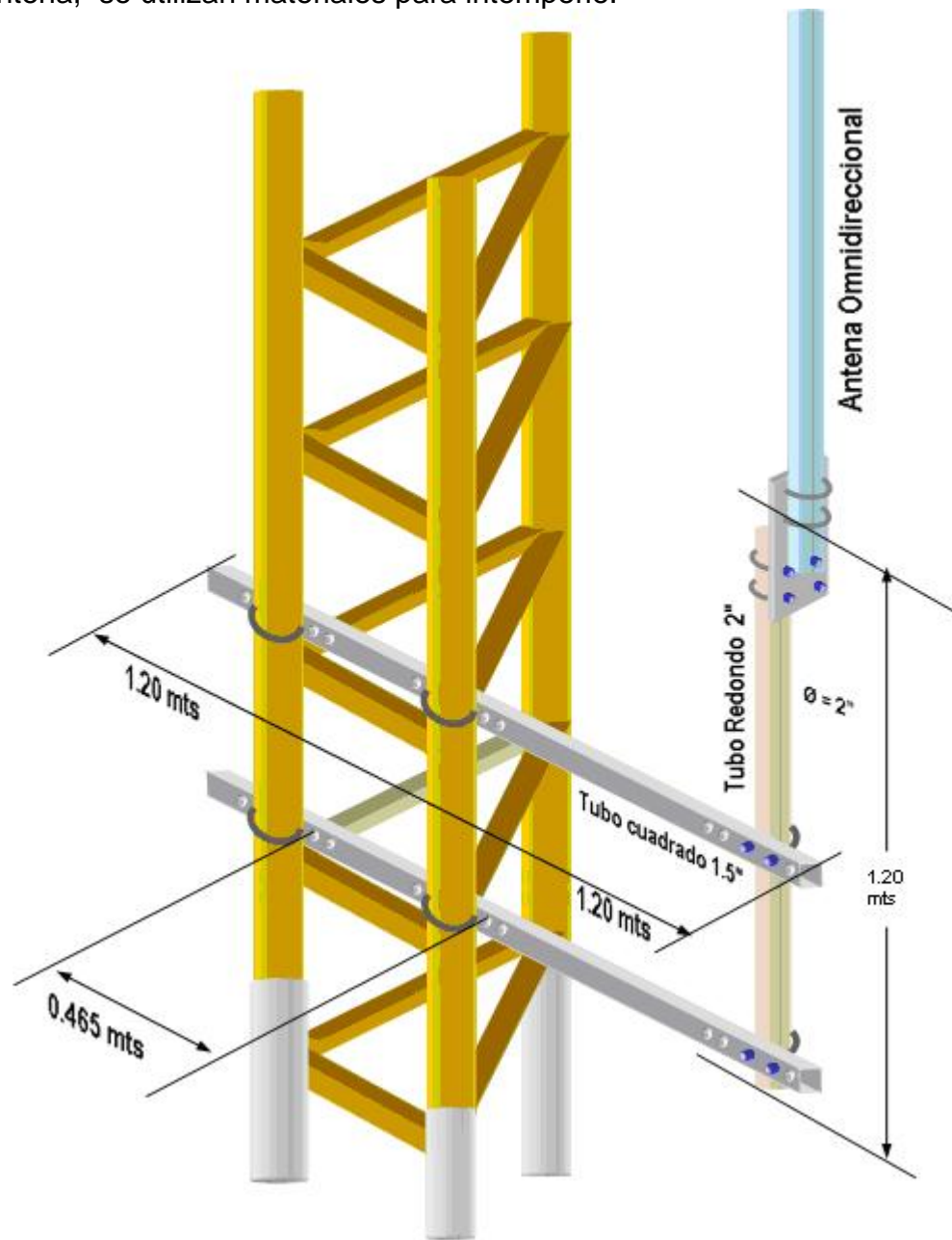


Figura 31. Anclaje de la antena usado en el cerro La Puente



Foto No. 2. Montaje del anclaje que permitirá cabecear la antena.

EDIFICIO CORPORATIVO CAÑAVERAL

El Centro Empresarial en el cual está ubicado el edificio corporativo de Cañaveral tiene 8 pisos. La antena de grilla parabólica se encontrará ubicada en la azotea encima del piso 8 en una torre de 9 metros de altura. El radio-enrutador estará ubicado en un gabinete de intemperie que se instalará al lado de la torre. La señal deberá llegar hasta el cuarto de comunicaciones que se encuentra en el sótano del edificio.

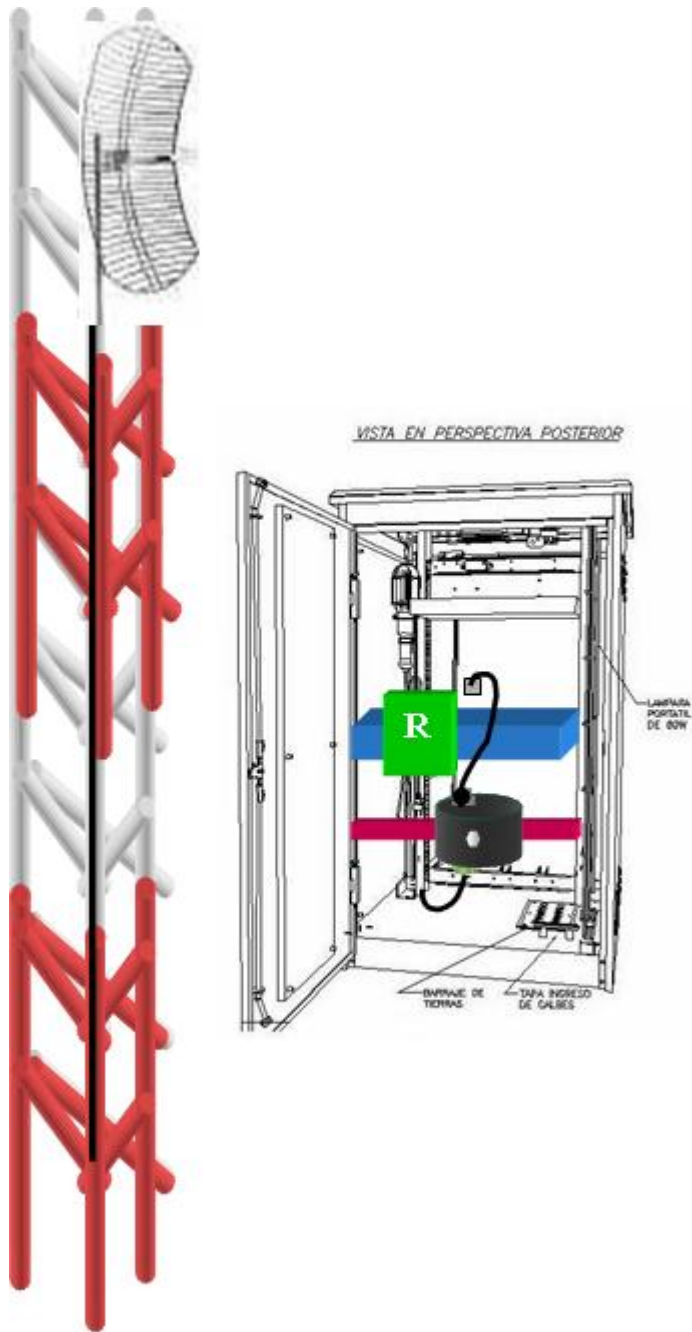


Figura 32. Distribución de la torre y el gabinete de intemperie ubicados en el Edificio Corporativo de Cañaveral

Como el recorrido de la señal supera los 100 metros, este trayecto no podrá realizarse con cable UTP, sino que se hará con fibra óptica multimodo de 6 hilos y de uso en interiores; el recorrido de la fibra irá desde el cuarto de comunicaciones (sótano), hasta el buitrón que llega a la azotea encima del octavo piso; allí se encontrará con un convertidor de medios y el cable UTP de uso en exteriores irá hacia el gabinete de intemperie ubicado al lado de la torre donde estará la antena.

El barraje a tierra se encuentra ubicado dentro del gabinete para intemperie. La torre también se encuentra debidamente aterrizada.



Foto No. 3. Alineamiento de la antena de grilla parabólica ubicada en el Edificio Corporativo Cañaveral.

EDIFICIO CORPORATIVO CENTRO

La instalación de la antena de grilla parabólica de 24 dBi dispuesta para el enlace estará ubicada en una placa de concreto que se encuentra sobre el último piso de parqueaderos del edificio Corporativo ubicado en el Centro.

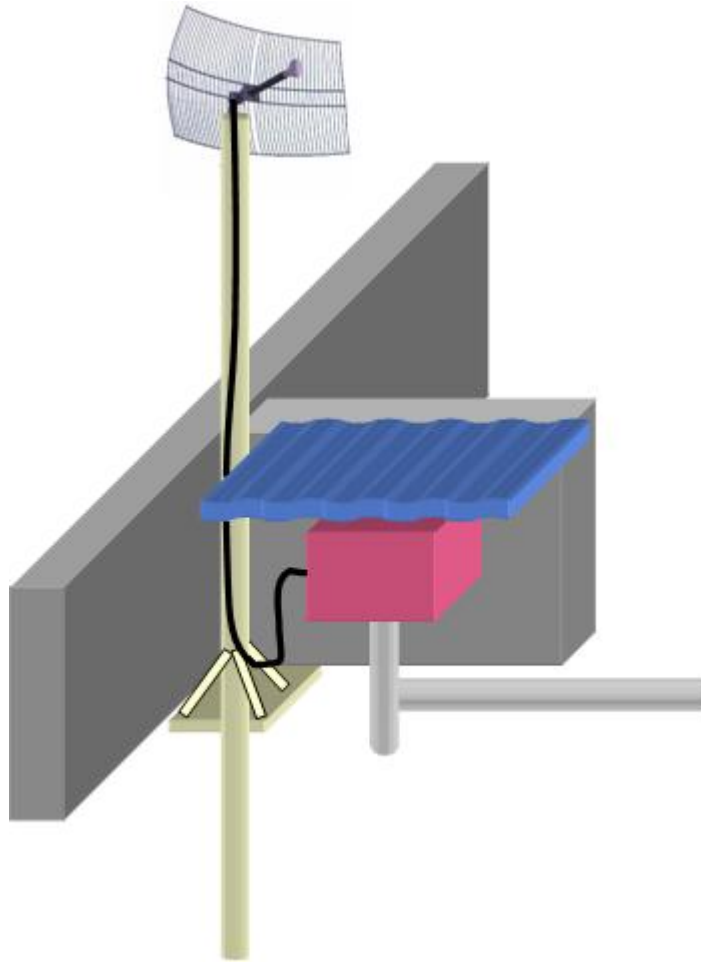


Figura 33. Diseño de instalación de la antena y el radioenrutador en la azotea del Edificio Corporativo El Centro

El anclaje de la antena requirió materiales de intemperie y un diseño que permitiera que la antena consiguiera el Tilt deseado.

El barraje se instalará dentro de la caja de intemperie y será similar al instalado en el Cerro La Puente.

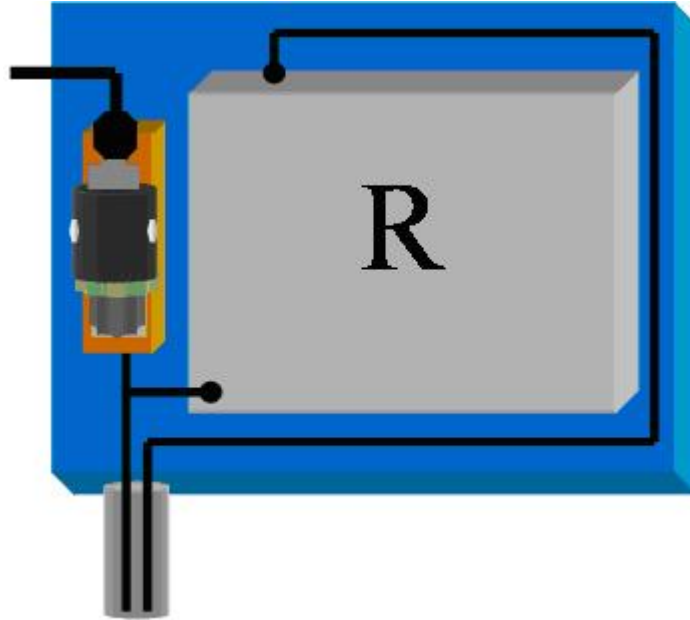


Figura 34. Interior de la caja de intemperie instalada en el Edificio Corporativo El Centro

La señal y además energía regulada deberán salir del cuarto de comunicaciones que se encuentra en las oficinas del Edificio Corporativo en el tercer piso y llegar al sitio dispuesto. Para esto se ha dispuesto tubería EMT que saldrá del cuarto de comunicaciones a través de una caja de paso ubicada en el parqueadero, y por allí recorrerá un pequeño tramo hasta ingresar al cubo de ascensores, por el que llegará a la plancha que está sobre el último piso del parqueadero.

8.4.3 Topología

El enlace microondas inicialmente se ha planteado con grillas parabólicas ubicadas en los sitios remotos a comunicar (Centro y Cañaveral) y una estación repetidora en el Cerro La Puente. Este diseño será sometido a rigurosas pruebas y podrá ser modificado en el instante en que se considere necesario para garantizar el correcto funcionamiento del enlace.

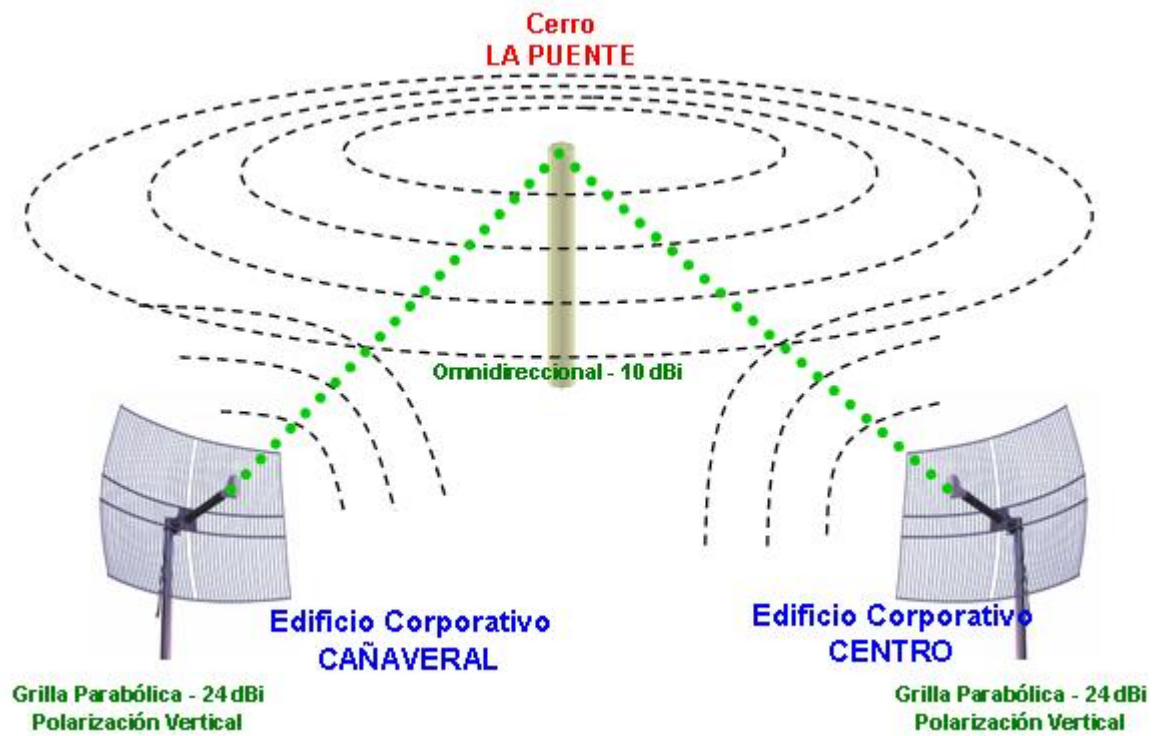


Figura 35. Topología 1

Así mismo, estará dispuesta la configuración de los radioenrutadores para conseguir comunicación entre los sitios remotos.

8.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS UTILIZADAS

8.5.1 Antena Flat Panel



Ganancia	18 dBi
Tipo	Flat Panel
Polarización	Vertical
Apertura	Horizontal: 45° Vertical: 70°
Frecuencia	2400 – 2485 MHz
Conector	Hembra
Tamaño	263 mm X 263 mm X 30 mm
Peso	900 g.

8.5.2 Antena de Grilla Parabólica



Ganancia	24 dBi
Tipo	Directional Parabolic Grid
Polarización	Vertical – Horizontal
Apertura	Horizontal: 6.5° Vertical: 10°
Frecuencia	2400 – 2 MHz
Conector	Hembra
Tamaño	610 X 914 X 381 mm

Los patrones de radiación de antenas permiten determinar en los análisis de trayectoria el tipo de antena a utilizar, para lo cual es necesario buscar un equilibrio entre distancia y cobertura.

Generalmente en los sitios centrales se emplean antenas omnidireccionales porque radian con cobertura de 360 grados con la horizontal y con la vertical es un ángulo de 8 grados. Estas antenas radian en todas las direcciones y su potencia

de transmisión se esparce al igual, logrando mayor cobertura, pero esto implica que se obtenga distancias menores.

Las antenas flat panel son directivas y generalmente se emplean en los sitios remotos concentrando la potencia transmitida en forma de haz direccional como una linterna, que solo alumbra donde se ubique el foco. Por esto este tipo de antenas logran mayores distancias, aunque el área de cobertura es menor.

Tabla 16. Parámetros básicos de las antenas directivas para enlaces inalámbricos a 2.4 Ghz.

Parámetro	Yagi	Flat Panel
Ganancia	7~15 dBi	12~22 dBi
Polarización	Vertical/Horizontal	Vertical/Horizontal
Patrón de Radiación	30°	Entre 10 y 38°
Haz	Pincelado Directivo	Lobular Directivo
Distancia Típica	12 Kmts	19 Kmts

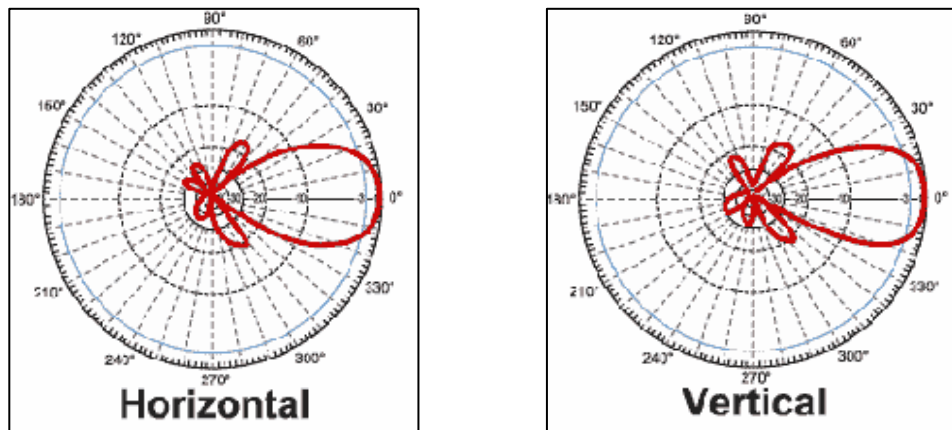


Figura 36. Patrón de radiación de una antena direccional en el plano Horizontal (Azimuth) y en el plano vertical (Elevación)

Tabla 17. Parámetros básicos de las antenas omnidireccionales para enlaces inalámbricos a 2.4 Ghz.

Parámetro	Antena Omnidireccional
Ganancia	3~10 dBi
Polarización	Vertical
Patrón de Radiación	360°
Haz	Pincelado Circular
Distancia Típica	Kmts

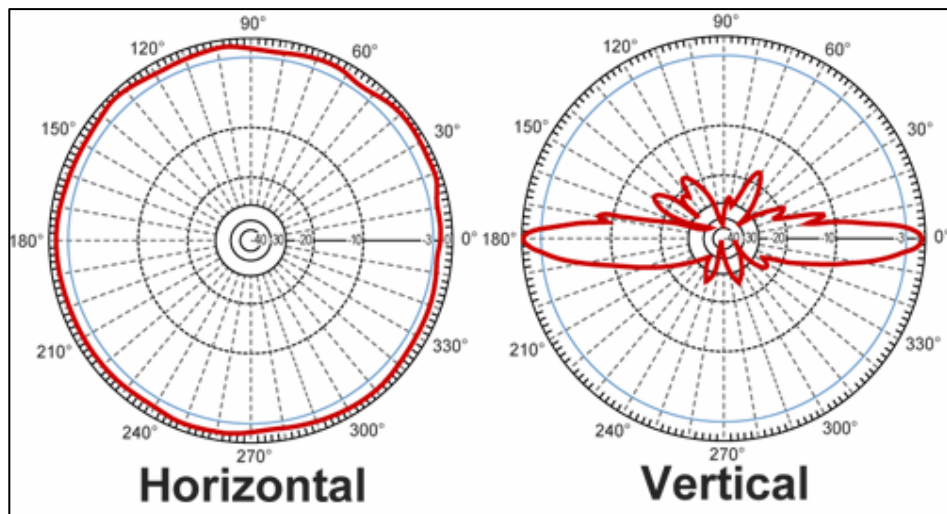


Figura 37. Patrón de radiación de una antena omnidireccional en el plano Horizontal (Azimuth) y en el plano vertical (Elevación)

Teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente, y sabiendo que la ganancia de las antenas es un parámetro directamente relacionado con la directividad, se concluye que la decisión de reemplazar la antena omnidireccional seleccionada inicialmente por una antena Flat Panel, está basada en que esta última ofrece mayor ganancia y un patrón de radiación lobular pincelado, con lo cual se consigue un aumento en la precisión del haz de propagación y mayor distancia alcanzada en el enlace.

El tipo de polarización que posee una onda dada, por una antena, define la dirección en la cual es radiada la onda. Las antenas utilizadas en el enlace pueden permitir una polarización horizontal o vertical, la cual incide básicamente en la cobertura que tendrá la señal emitida. Por esta razón es importante ubicar correctamente las antenas vertical y horizontalmente para garantizar el funcionamiento del enlace.

Una antena omnidireccional viene polarizada horizontalmente 360 grados lo cual permite mayor cobertura, pero menor distancia permitida. Una antena direccional esta polarizada vertical y horizontalmente entre 10 y 38 grados respectivamente, razón por la cual no desperdician la potencia de transmisión y aunque tienen un ángulo de cobertura menor, ofrecen mayor distancia.

Teniendo en cuenta las necesidades del enlace: cobertura y distancia, la antena seleccionada es una direccional con polarización horizontal, la cual garantiza mayor cobertura.

8.6 PRUEBAS PRELIMINARES

Para realizar las pruebas preliminares, la velocidad del enlace se estableció en 2 Mbps, con el fin de partir de un enlace óptimo y seguidamente buscar subir la velocidad mientras sea posible.

En el tramo Cañaveral – Cerro La Puente, se requirió hacer un ajuste en el alineamiento de las antenas para que se detectara señal; sin embargo, el enlace no era de buena calidad.

Un cambio de frecuencia al canal 4, equivalente a 2.427 MHz y el reemplazo de la antena Omnidireccional ubicada en el Cerro La Puente por una antena Flat Panel, permitió que el enlace fuera de muy buena calidad con una Relación Señal – Ruido de 7 y un nivel de recepción de señal (NRS) de -81 dB.

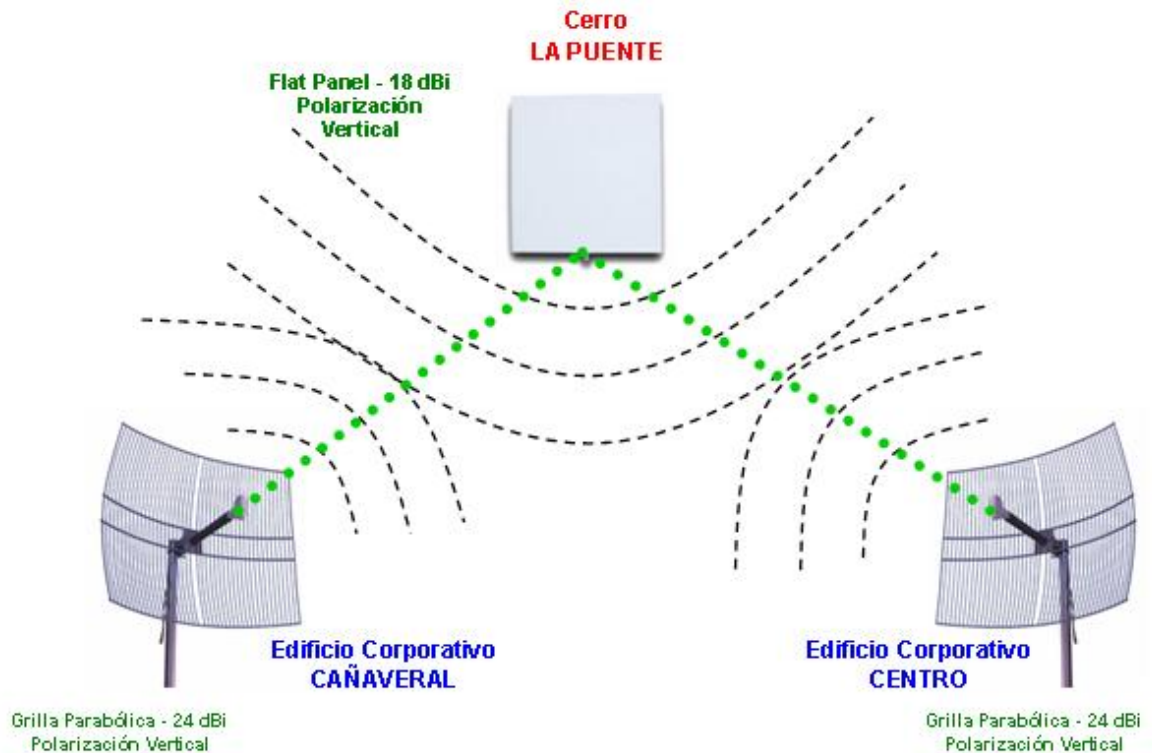


Figura 38. Topología 2

La sensibilidad obtenida hace pensar que el enlace se puede migrar a una velocidad de 5.5 Mbps, sin embargo hay que esperar el comportamiento de la segunda parte del tramo (cerro La Puente – Edificio Corporativo Centro).

Una vez terminada la instalación en el Edificio Corporativo Centro, se realizaron las pruebas correspondientes del funcionamiento del enlace. Se encontró que el sector hay gran cantidad de enlaces microondas, por lo que el espectro está contaminado, lo que hace que el enlace requiera algunas características como potencia y directividad, los cuales, no permiten usar una sola antena en el sitio de repetición.

El nuevo diseño requiere dos antenas en el cerro La Puente: una antena de grilla parabólica que apuntará al Edificio Corporativo de Cañaverál y una antena flat panel que cubrirá la zona de la meseta de Bucaramanga para dar servicio al Edificio Corporativo del Centro.

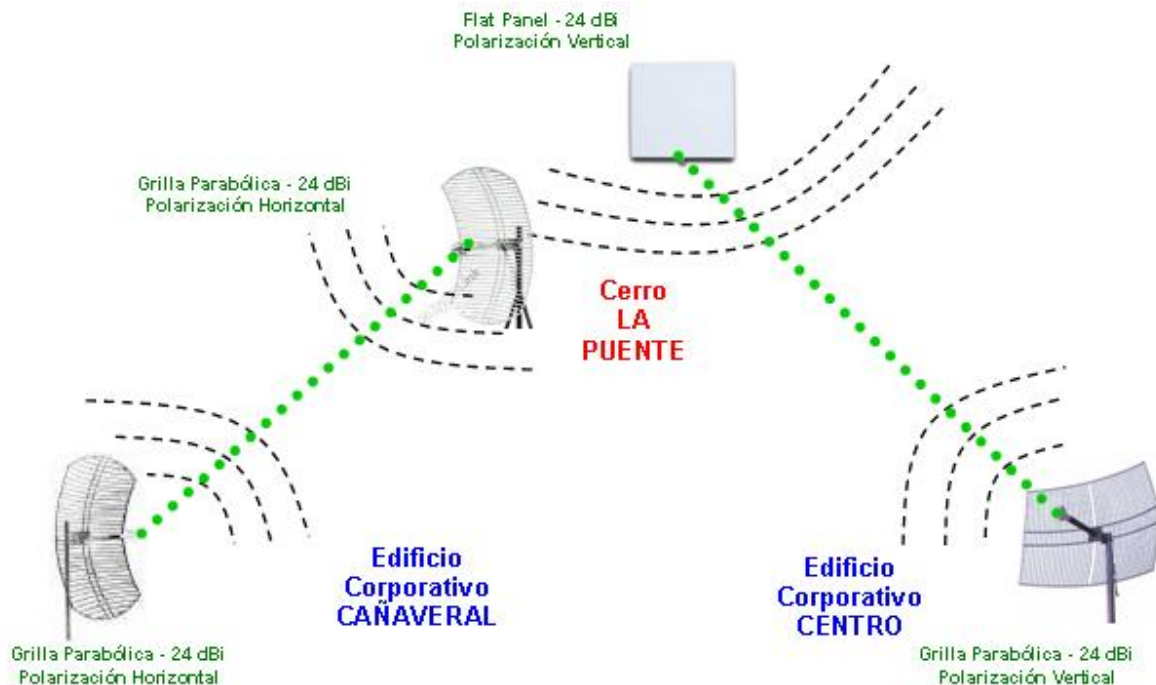


Figura 39. Topología 3

La relación Señal a Ruido alcanzada con el montaje de la antena flat panel en el cerro La Puente y la grilla parabólica en el Edificio Corporativo del Centro fue de 11 y el nivel de recepción de señal de -77 dB, trabajando a una velocidad de 2 Mbps. El estado del enlace es de muy buena calidad. El canal utilizado fue el número 6, que corresponde a una frecuencia de 2.437 MHz.

Después de disponer el montaje de la nueva antena de grilla parabólica en el cerro La Puente, con polarización horizontal, reconfigurar el radio enrutador del sitio y cambiar la polarización de la antena ubicada en el Edificio Corporativo de Cañaverál, se realizaron nuevamente pruebas de conectividad entre los puntos.

El estándar (WI-FI 802.11b) indica que dos celdas continuas no pueden estar separadas menos de 25 MHz, lo que en los equipos utilizados implica una separación mínima de 5 canales entre los dos enlaces (Edificio Corporativo Cañaverál – cerro La Puente y cerro La Puente – Edificio Corporativo Centro).

Como el mejor resultado de las pruebas del enlace Centro se obtuvo en el canal 6, esto redujo el set de posibilidades para escoger el canal en el enlace Cañaverál. En general con cualquier canal había muy buena relación señal/ruido y finalmente se determinó que este segmento del enlace trabajaría en el canal 1, que corresponde a 2.412 MHz.

Después de las modificaciones mencionadas respecto del diseño inicial, se consiguió conectividad entre los sitios requeridos con muy buena calidad.

Las velocidades finales estuvieron sujetas al nivel de contaminación de microondas en el cerro y en los sitios remotos. Se consiguió un enlace de buena calidad con una velocidad de 5.5 Mbps.

Se realizó un nuevo alineamiento de la antena de panel ubicada en el cerro La Puente, en el que se pretende aprovechar su apertura vertical de 70 grados, de tal manera que se ubico con un Tilt de 35 grados aproximadamente, para tener un margen de cabeceo considerable.

Por último se subieron las dos antenas hasta que la guía de onda de cada una quedo totalmente utilizada. Las nuevas alturas de las antenas son aproximadamente 18 metros para la flat panel y 22 metros para la grilla parabólica.

Con estos últimos ajustes, se verifico un enlace de excelente calidad a 11 Mbps, cumpliendo de esta manera el objetivo propuesto.

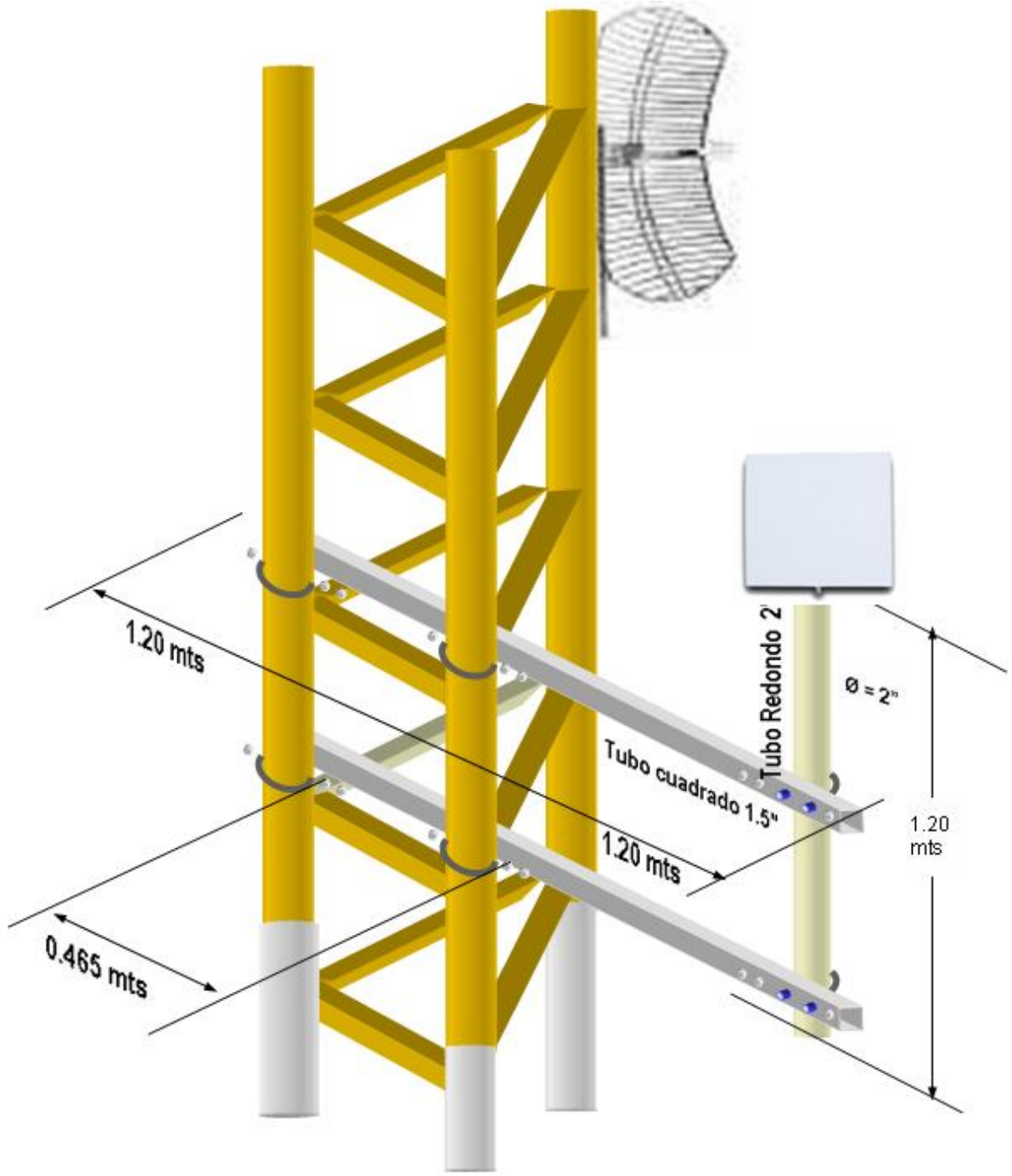


Figura 40. Montaje definitivo en el Cerro La Puente

8.7. CONFIGURACIÓN DE LOS RADIOS

	CENTRO				PALONEGRO (CARD A)		
MAC	00022D15F324				00022D160952		
S/N	02UT18260114 v3.73				02UT32260103 v3.73		
Enable IP Routing	OK				OK		
Enable Watchdog Reboot Timer	OK				OK		
INTERFACE SETUP							
1. Ethernet Setup1 →	REMOTE – ENABLE 10 Mbit/sec Full duplex (twisted pair port)				REMOTE – ENABLE 10 Mbit/sec Full duplex (twisted pair port)		
2. Avaya wireless Setup2 →	ENABLE remote outdoor router (point to point slave)				ENABLE central outdoor router		
Advanced	network ID → 0				Disable filtering between slaves network		
Transmit rate	HIGH 11 Mbps				network ID → 0		
Ancho de banda máximo	0 Kbps (No Restringido)				HIGH 11 Mbps		
Frequency	channel: 6 – frecuencia: 2.437 GHz				0 Kbps (No Restringido)		
3. Security → enable encryption	deny non-encrypted data encryp data transmissions using → key 1 key 1: avaya				deny non-encrypted data encryp data transmissions using → key 1 key 1: avaya		
<u>IP ROUTER SETUP</u>	192.168.101. 246	Direct	1	10.10.10.1 / 30	Direct	3	
	/24	Direct	2	192.168.25.1 / 24	Direct	1	
	10.10.10.6 / 30	10.10.10.5	1	192.168.205.0 /24	10.10.10.2	3	
	192.168.25.0 / 24	10.10.10.5	2	10.10.10.5 / 30	Direct	2	
	192.168.205.0 / 24			192.168.101.0 / 24	10.10.10.6	2	

Preferred IP address	192.168.101.246	192.168.25.1
Default TTL	255	255
Syslog host facility	1	1
SNMP SETUP		
Read Password	Public	public
Read/Write Password	Public	public
System name	Centro	Palonegro
Trap host IP address	0.0.0.0	0.0.0.0
Trap host password	public	public
SYSTEM ACCESS SETUP		
Pass phrase	case-sensitive	case-sensitive
ANTENNA ALIGNMENT		
Interface to run test on	2	2
Seconds to run test	30	30
Transmit rate	100	100

	CAÑAVERAL	PALONEGRO (CARD B)
MAC	00022D15F32A	00022D160952
S/N	02UT18260120 v3.73	02UT32260103 v3.73
Enable IP Routing	OK	OK
Enable Watchdog Reboot Timer	OK	OK
INTERFACE SETUP		
1. Ethernet Setup1 →	REMOTE – ENABLE 100 Mbit/sec Full duplex (twisted pair port)	REMOTE – ENABLE 10 Mbit/sec Full duplex (twisted pair port)
2. Avaya wireless Setup2 →	ENABLE remote outdoor router (point to point slave)	ENABLE central outdoor router Disable filtering between slaves network

Advanced Transmit rate Ancho de banda máximo Frequency	network ID → 4 HIGH 11 Mbps 0 Kbps (No Restringido) channel: 1 – frecuencia: 2.412 GHz	network ID → 4 HIGH 11 Mbps 0 Kbps (No Restringido) channel: 1 – frecuencia: 2.412 GHz
3. Security → enable encryption	deny non-encrypted data encryp data transmissions using → key 1 key 1: avaya	deny non-encrypted data encryp data transmissions using → key 1 key 1: avaya
<u>IP ROUTER SETUP</u>	192.168.205.240 / 24 10.10.10.2 / 30 192.168.25.0 / 24 192.168.101.0 / 24	Direct 1 Direct 2 10.10.10.1 1 10.10.10.1 2
<i>Preferred IP address</i> Default TTL Syslog host facility	192.168.205.240 255 1	10.10.10.1 / 30 192.168.25.1 / 24 192.168.205.0 / 24 10.10.10.5 / 30 192.168.101.0 / 24
SNMP SETUP Read Password Read/Write Password System name Trap host IP address Trap host password	Public Public Cañaveral 0.0.0.0 public	Direct 3 Direct 1 10.10.10.2 3 Direct 2 10.10.10.6 2
SYSTEM ACCESS SETUP Pass phrase	case-sensitive	192.168.25.1 255 1
ANTENNA ALIGNMENT Interface to run test on Seconds to run test Transmit rate	2 30 100	public public Palonegro 0.0.0.0 public
		case-sensitive
		2 30 100

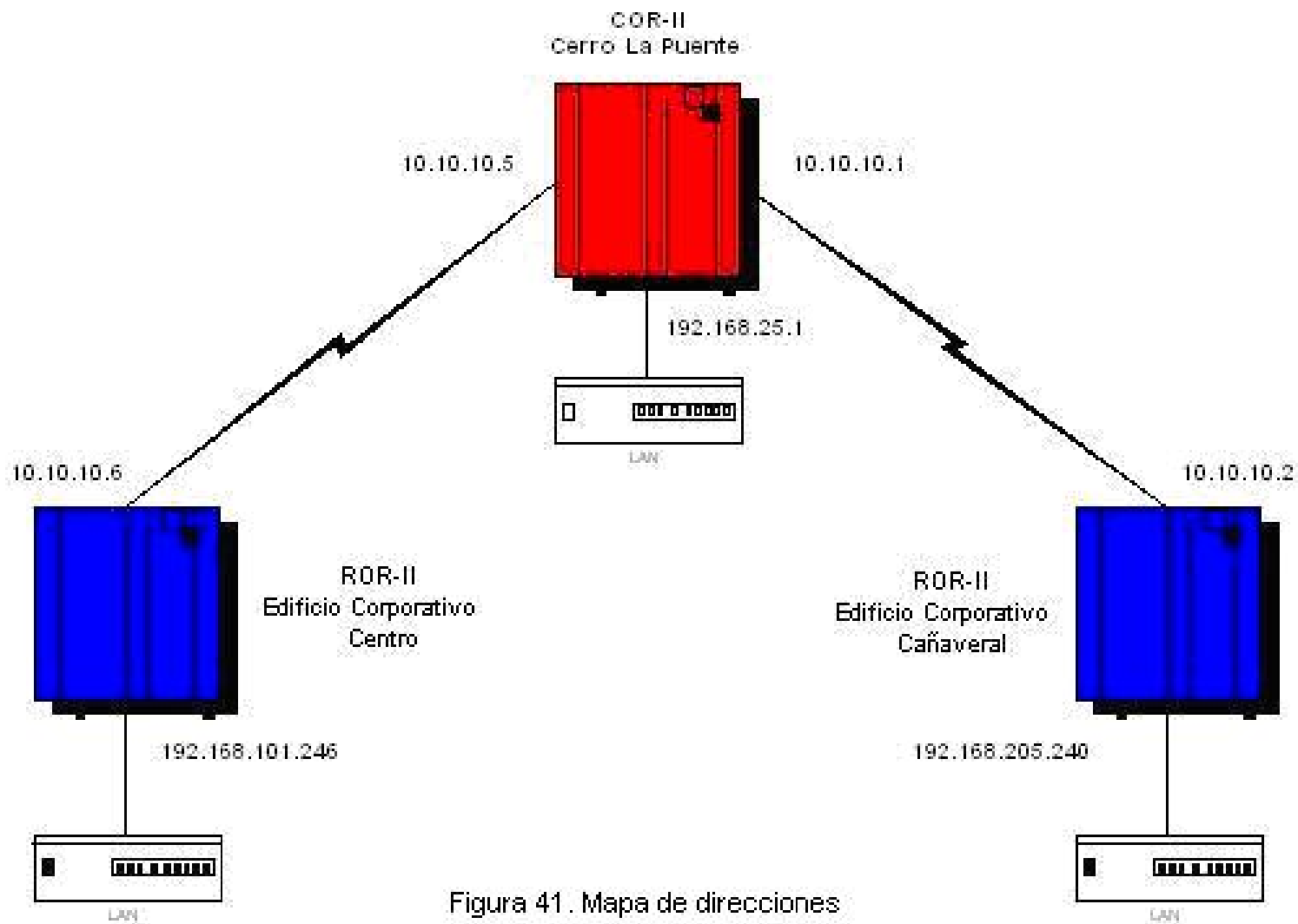


Figura 41. Mapa de direcciones

8.8 RESULTADOS

Configurando el enlace Edificio Corporativo Cañaveral – Cerro La Puente – Edificio Corporativo Centro a una velocidad de 11 Mbps, se registran las siguientes lecturas:

Tabla 18. Registros del enlace microondas

ENLACE	Centro – Cerro La Puente
NWID	0
CANAL	6
FRECUENCIA	2.436 MHz
S/N LOCAL	10
S/N REMOTO	11
S LOCAL	-77 dBm
N LOCAL	-88 dBm
S REMOTO	-78 dBm
N REMOTO	-89 dBm

ENLACE	Cañaveral – Cerro La Puente
NWID	4
CANAL	1
FRECUENCIA	2.412 MHz
S/N LOCAL	15
S/N REMOTO	19
S LOCAL	-67 dBm
N LOCAL	-83 dBm
S REMOTO	-68 dBm
N REMOTO	-89 dBm

Como se puede observar aún hay un margen considerable para eventualidades en los dos tramos del enlace, incluso a velocidad de 11 Mbps.

Los sitios remotos presentan cierta pequeña fluctuación en los niveles de señal, pero la relación señal/ruido soporta sin problemas dichos cambios mínimos de comportamiento del enlace. Por el contrario la estabilidad del sitio de repetición compensa este tipo de situaciones.

9. CONCLUSIONES

Las expresiones dadas para el cálculo de un enlace inalámbrico, no cubren todos los factores que finalmente pueden incidir en el funcionamiento óptimo del enlace, es decir, no basta con verificar que existe línea de vista entre los puntos ó que la zona de fresnel se encuentra despejada, se debe incluir un análisis de interferencia producida por antenas cercanas como las de microondas ó condiciones climáticas de la zona.

La prospección de un enlace inalámbrico debe prever no solo la factibilidad del diseño teniendo en cuenta la situación actual de zonas aledañas, es necesario verificar la factibilidad de construcciones futuras o de infraestructuras como vallas o avisos en partes superiores que puedan interferir en el funcionamiento del enlace en el corto plazo.

Las aplicaciones de tecnología inalámbrica se están implementando de forma progresiva, lo cual implica una proliferación de equipos de radio en las bandas de frecuencia ISM, esto involucra la realización de estudios y consideraciones técnicas que permitan planificar a mediano y largo plazo la utilización de la frecuencia seleccionada.

Es importante activar los mecanismos de seguridad que proveen los equipos una vez se ha probado el enlace, para evitar perdida de información o accesos no autorizados a la misma. Estos mecanismos de seguridad por lo general vienen desactivados en los parámetros de configuración por defecto, por lo cual es importante verificar que queden activados una vez superada la etapa de las pruebas preliminares.

Las tecnologías WI-FI emergen como una excelente alternativa frente a las tecnologías de acceso a ISP y las conexiones Punto - Punto y Punto - Multipunto tradicionalmente utilizadas, tanto por el mayor ancho de banda ofrecido como por una relación costo / beneficio muy favorable, que permite a las organizaciones tener un rápido retorno de la inversión, de esta forma, se descarta el pago periódico a terceros, permitiendo amortizar el costo de los equipos aproximadamente en 14 meses, sin sacrificar la calidad en la transmisión y recepción de datos e información.

BIBLIOGRAFÍA

Antenas. Angel Cardama A., Lluís Jofré R., Juan Rius C., Jordi Romeu R., Sebastián Blanch B. Editorial Alfaomega, Edicions UPC. Primera edición 2000

Recent Advances in Wireless Data Networking. *By Rakesh Arora,* http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/wireless_data/index.html

In-building Wireless LANs. *By Zhengping Zuo.* http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/wireless_lans/index.html

Wireless Local Area Networks. *By Edward C. Prem.* http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/wireless_lans/index.htm

CCK Modulation Delivers 11Mbps for High Rate IEEE 802.11 Extension. *By Carl Andren / Mark Webster.* Harris Semiconductor, 2401 Palm Bay Road, N.E, Palm Bay Florida.

Delivering Voice over IEEE 802.11 WLAN Networks. *Al Petrick, Jim Zyren, Juan Figueroa.* Harris Semiconductor. Palm Bay Florida.

Artículos de la revista electrónica CommWeb, ubicada en la dirección www.commweb.com

La Alianza HiperLAN, ubicada en la dirección www.HiperLAN.com

El foro mundial HiperLAN2, ubicado en la dirección www.hipelan2.com

La página oficial de Lucent Technologies, ubicada en la dirección www.lucent.com

El Foro de Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas, ubicado en la dirección www.wapforum.com

La Alianza de las redes locales inalámbricas, ubicada en la dirección www.wlana.com

El foro de Compatibilidad de Redes Locales Inalámbricas, ubicado en la dirección www.wlif.com

Resolución Número 000689 de 2004, ubicada en la dirección <http://www.mincomunicaciones.gov.co/Archivos/normatividad/2004/Resolucion/R00689d2004.pdf>