



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO EFICIENTE DE REDES DE TRANSPORTE DE DATOS
PARA LOS SISTEMAS Y SERVICIOS DE TRÁFICO
INTELIGENTE OFRECIDOS POR EL GRUPO INTECH
SOLUTIONS**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentada ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR

Mónica Leonor Carvajal Carvajal

Andrea Estefania Fernandes Da Silva

TUTOR

Ing. Rafael Santelmo

FECHA

Octubre 2012



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO EFICIENTE DE REDES DE TRANSPORTE DE DATOS
PARA LOS SISTEMAS Y SERVICIOS DE TRÁFICO
INTELIGENTE OFRECIDOS POR EL GRUPO INTECH
SOLUTIONS**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentada ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR

Mónica Leonor Carvajal Carvajal

Andrea Estefania Fernandes Da Silva

TUTOR

Ing. Rafael Santelmo

FECHA

Octubre 2012



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO EFICIENTE DE REDES DE TRANSPORTE DE DATOS
PARA LOS SISTEMAS Y SERVICIOS DE TRÁFICO
INTELIGENTE OFRECIDOS POR EL GRUPO INTECH
SOLUTIONS**

**Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido
con el resultado:**

JURADO EXAMINADOR

Firma: _____ Firma: _____ Firma: _____
Nombre: _____ Nombre: _____ Nombre: _____

REALIZADO POR

Mónica Leonor Carvajal Carvajal

Andrea Estefania Fernandes Da Silva

TUTOR

Ing. Rafael Santelmo

FECHA

Octubre 2012

DEDICATORIA

A Dios por ser la luz que me ilumina.

A mis padres por ser mi ejemplo de constancia, superación y fortaleza; por la confianza, el apoyo incondicional y por todos los esfuerzos que han hecho para que juntos pudiéramos cumplir este sueño.

También a mis hermanos por siempre estar conmigo.

Andrea Fernandes.

DEDICATORIA

*A Dios, por darme la inteligencia, sabiduría y guía para poder alcanzar esta meta.
Esto es para ti.*

*A mis padres, por enseñarme a seguir mis metas a pesar de los obstáculos y darme su
amor y apoyo incondicionalmente. ¡Los amo!*

A mi hermana, por apoyarme y darme palabras de aliento. ¡Te quiero mucho!

Mónica Carvajal

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser nuestro guía y bendecirnos en todo momento.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional y palabras de aliento que nos permitieron alcanzar esta meta. Esto es por ustedes y para ustedes.

A nuestra casa de estudio y a los profesores de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones por todas sus enseñanzas.

A nuestro tutor el Ingeniero Rafael Santelmo y al Ingeniero Héctor Candiales por sus enseñanzas, conocimientos, ideas, comprensión y buena disposición.

Al Grupo InTech Solutions, por abrirnos las puertas de su empresa y darnos la oportunidad de desarrollar este Trabajo Especial de Grado.

A la Ingeniera Ericka García, por ser la persona que nos puso en contacto con la empresa, por sus consejos y palabras de aliento en todo momento.

A la Doctora en Educación Josefa Pérez, por su apoyo metodológico en el desarrollo de este proyecto.

A todos nuestros compañeros de carrera y amigos por su apoyo, palabras de aliento, aportes y consejos que nos ayudaron a cumplir este sueño.

*A todos ustedes,
¡GRACIAS!*

RESUMEN

DISEÑO EFICIENTE DE REDES DE TRANSPORTE DE DATOS PARA LOS SISTEMAS Y SERVICIOS DE TRÁFICO INTELIGENTE OFRECIDOS POR EL GRUPO INTECH SOLUTIONS

El Grupo InTech Solutions es una empresa venezolana orientada al desarrollo de diferentes productos y servicios que permitan ofrecer soluciones en el monitoreo, control e información del tránsito y transporte.

Parte de las soluciones de la empresa requieren transportar datos y en algunos despliegues han tenido ciertos problemas de diseño que desean mejorar.

Con este Trabajo Especial de Grado se propone diseñar, de forma eficiente, una red de transporte de datos para los servicios y sistemas de tráfico inteligente ofrecidos por la empresa. Se trabajó sobre cuatro productos de la empresa: (1) Sistema Centralizado de Gestión de Semáforos, (2) Sistema de Información de Tráfico, (3) Circuito Cerrado de Visualización de Tráfico y (4) In Traffic In-Situ.

Se realizó el análisis de las estrategias y diseños actualmente existentes, para identificar las oportunidades de mejora. Para cada producto, se desarrolló por lo menos un diseño conceptual de red de transporte de datos utilizando una infraestructura propia o enlaces contratados. Se hizo la búsqueda de posibles dispositivos y se contactó a los diferentes proveedores de servicios existentes en el país. Luego se hizo el diseño detallado para cada producto de acuerdo con el diseño conceptual que fuese más factible desde el punto de vista técnico y económico. En este diseño se especificaron los dispositivos, la tecnología, la topología y la estimación de costo de cada uno.

Se realizaron cálculos de los radioenlaces y simulaciones de los mismos, verificando así su correcto funcionamiento. También se hicieron cálculos de indisponibilidad por equipos.

Palabras claves: red, diseñar, simulación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE GRÁFICAS	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	15
I.1. Planteamiento del Problema y Justificación	15
I.2. Objetivos	16
I.2.1. Objetivo General	16
I.2.2. Objetivos Específicos	16
I.3. Limitaciones y Alcances	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO.....	18
II.1. Información de la Empresa	18
II.1.1. Línea de Productos Tec-Intraf.....	19
II.1.1.1. Sistema Centralizado de Gestión de Semáforos (SCGS)	19
II.1.1.2. Sistema de Información de Tránsito y Control Dinámico de Tráfico (SITCDT)	19
II.1.1.3. Circuito Cerrado de Visualización de Tráfico (CCVT)	20
II.1.2. Línea de Productos InTraffic	20
II.1.2.1. Servicio InTraffic In-Situ	20
II.2. ITS (<i>Intelligent Transportation System and Services</i>).....	20
II.3. Redes.....	22

II.3.1. Clases de Redes.....	23
II.3.1.1. Red de Área Local (LAN)	23
II.3.1.2. Red de Área Metropolitana (MAN)	23
II.3.1.3. Red de Área Local Inalámbrica (WLAN)	23
II.4. Red de Transporte de Datos.....	24
II.4.1. Nodo.....	25
II.4.2. Sala Central	25
II.4.3. Dispositivos de Red.....	25
II.5. Ancho de Banda.....	25
II.6. Capacidad Nominal	26
II.7. Capacidad Efectiva	26
II.8. Topologías de Red	26
II.8.1. Estrella.....	27
II.8.2. Bus.....	27
II.8.3. Híbridas	28
II.9. UDP (<i>User Datagram Protocol</i>)	29
II.10. TCP (<i>Transmission Control Protocol</i>)	29
II.11. Protocolo IP	30
II.12. Frame Relay.....	31
II.12.1. Ventajas	32
II.12.2. Desventajas.....	32
II.13. Metro Ethernet	33
II.14. Red Privada Virtual	33
II.15. Ethernet.....	34
II.16. WiFi	35
II.16.1. Familia de Estándares	35
II.16.2. CSMA/CA (<i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance</i>).....	37
II.16.2.1. Modo RTS/CTS.....	37
II.17. Punto de Acceso	37
II.18. WiMAX	38

II.19. GSM (<i>Global System for Mobile</i>).....	39
II.20. GPRS (<i>General Packet Radio Service</i>)	39
II.21. EDGE (<i>Enhanced Data Rates for Global Evolution</i>).....	40
II.22. MPLS (<i>Multiprotocol Label Switching</i>)	41
II.23. Sistema de Distribución Inalámbrico (WDS)	42
II.23.1. Ventajas	43
II.23.2. Desventajas	43
II.24. Enlace Microondas	44
II.24.1. Radioenlace Punto a Punto.....	44
II.24.2. Radioenlace Punto a Multipunto	44
II.25. Línea de Vista	45
II.26. Zonas de Fresnel	46
II.27. Pérdidas del Espacio Libre (PEL).....	47
II.28. Sensibilidad del Receptor (S_{RX}).....	47
II.29. Potencia de Transmisión (P_{TX})	48
II.30. Pérdidas en el Cable (L_{cables}).....	48
II.31. Potencia de Recepción (P_{RX})	48
II.32. Margen de Desvanecimiento (M_f)	49
II.33. Antena.....	49
II.33.1. Polarización	50
II.33.2. Patrón de Radiación.....	50
II.33.3. Ganancia de la Antena (G)	50
II.34. Indisponibilidad por Equipos.....	50
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA	52
III.1. Revisión Bibliográfica.....	52
III.2. Estudio de las Redes Actuales	53
III.3. Diseño Conceptual de Redes	53
III.4. Estudio de Tecnologías y Proveedores.....	53
III.5. Diseño Detallado de la Red de Transporte de Datos	54

CAPÍTULO IV	55
DESARROLLO Y RESULTADOS	55
IV.1. Revisión Bibliográfica	55
IV.2. Estudio de las Redes Actuales.....	55
IV.2.1. Modo WDS (Caso Ideal)	57
IV.2.2. Modo WDS (Caso Práctico)	58
IV.2.3. Modo WDS vs. <i>AP/Bridge</i>	58
IV.2.4. Pruebas con UDP	59
IV.3. Diseño Conceptual de Redes.....	60
IV.3.1. Producto 1. Sistema Centralizado de Gestión de Semáforos.....	60
IV.3.2. Producto 2. Sistema de Información de Tráfico	64
IV.3.3. Producto 3. Circuito Cerrado de Visualización de Tráfico	65
IV.3.4. Producto 4. In Traffic In-Situ	67
IV.4. Estudio de Tecnologías y Proveedores.....	70
IV.5. Diseño Detallado de la Red de Transporte de Datos.....	73
IV.5.1. Comparación de Tecnologías	73
IV.5.2. Producto 1. Sistema Centralizado de Gestión de Semáforos.....	76
IV.5.2.1. Selección de frecuencia de operación	76
IV.5.2.2. Topología y tecnología	77
IV.5.2.2.1. Modo: Client Bridge / Access Point.....	78
IV.5.2.3. Elección de dispositivos.....	79
IV.5.2.4. Cálculos teóricos y simulaciones	82
IV.5.2.4.1. Cálculo pérdidas en el espacio libre.....	83
IV.5.2.4.2. Cálculos de pérdidas	83
IV.5.2.4.2.1. Pérdidas por cable y conectores.....	83
IV.5.2.4.3. Potencia de recepción.....	84
IV.5.2.5. Redundancia.....	87
IV.5.2.6. Inversión por equipos.....	91
IV.5.2.7. Indisponibilidad por equipos.....	92
IV.5.3. Producto 2. Sistema de Información de Tráfico	93

IV.5.3.1. Comparación de las propuestas de los proveedores.....	93
IV.5.3.2. Costo de la solución de conectividad.....	96
IV.5.4. Producto 3. Circuito Cerrado de Visualización de Tráfico	96
IV.5.4.1. Selección de frecuencia de operación	96
IV.5.4.2. Topología y tecnología	96
IV.5.4.3. Elección de dispositivos.....	97
IV.5.4.4. Cálculos teóricos y simulaciones	98
IV.5.4.5. Redundancia.....	101
IV.5.4.6. Inversión por equipos.....	103
IV.5.4.7. Indisponibilidad por equipos.....	104
IV.5.5. Producto 4. In Traffic In-Situ	105
IV.5.5.1. Selección de frecuencia de operación	105
IV.5.5.2. Topología y tecnología	105
IV.5.5.3. Elección de dispositivos y solución de conectividad ofrecida por un proveedor de servicios.....	106
IV.5.5.4. Cálculos teóricos y simulaciones	107
IV.5.5.5. Costo de la solución de conectividad y de los equipos	108
IV.5.5.6. Indisponibilidad por equipos.....	109
IV.5.6. Resumen	110
IV.5.7. Seguridad	111
CAPÍTULO V	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
V.1. Conclusiones.....	112
V.2. Recomendaciones	114
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS	119
Anexo A: Tabla de Proveedores de Servicios	119
Anexo B: Antenas Ubiquiti	122
Anexo C: Radios Ubiquiti	123

Anexo D: Permisos para la Instalación de Antenas en Edificios, Casas o Construcciones en General	124
Anexo E: Simulaciones del Producto 1 en Radio Mobile	126
Anexo F: Simulaciones del Producto 3 en Radio Mobile	132
Anexo G: Simulaciones del Producto 4 en Radio Mobile.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa mental de los conceptos teóricos.	18
Figura 2: Topología en estrella	27
Figura 3: Topología de bus	28
Figura 4: Capas del Modelo OSI en las que opera Ethernet.	34
Figura 5: Enlace punto a multipunto.....	45
Figura 6: Enlace punto a punto.	47
Figura 7: Fases metodológicas.....	52
Figura 8: Ubicación de las intersecciones semafóricas del Producto 1 en Google Earth.	61
Figura 9: Ubicación en Google Earth del Producto 1.	62
Figura 10: Escenario 1 del Producto 1.	63
Figura 11: Escenario 2 del Producto 1.	63
Figura 12: Ubicación en Google Earth del Producto 2.	64
Figura 13: Escenario propuesto del Producto 2.	65
Figura 14: Ubicación en Google Earth del Producto 3.	66
Figura 15: Solución propuesta del Producto 3.	67
Figura 16: Ubicación en Google Earth del Producto 4.	68
Figura 17: Escenario 1 del Producto 4.	69
Figura 18: Escenario 2 del Producto 4.	70
Figura 19: Esquema del diseño detallado de cada producto.	73
Figura 20: Solución al inconveniente de línea de vista del Nodo 1.	78
Figura 21: NanoStation/Loco M5 (derecha) y NanoBridge M5 (izquierda).	81

Figura 22: RM5-GPS (izquierda), Antenas sectoriales (centro) y PowerBridge M5 (derecha).....	82
Figura 23: AirGrid M5 HP 23dBi (izquierda) y Antena parabólica (derecha).	82
Figura 24: Módem RB-24i.	89
Figura 25: Diseño detallado Producto 1.....	92
Figura 26: Diseño detallado Producto 2.....	95
Figura 27: Diseño detallado Producto 3.....	104
Figura 28: Diseño detallado Producto 4.....	109
Figura 29: Enlace Nodo 1 - Poste (Producto 1)	126
Figura 30: Poste - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	126
Figura 31: Enlace Nodo 2 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	127
Figura 32: Enlace Nodo 3 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	127
Figura 33: Enlace Nodo 4 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	128
Figura 34: Enlace Nodo 5 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	128
Figura 35: Enlace Nodo 6 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	129
Figura 36: Enlace Nodo 7 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	129
Figura 37: Enlace Nodo 8 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	130
Figura 38: Enlace Nodo 9 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1).....	130
Figura 39: Enlace Torreón – Punto de Repetición en Baruta (Producto 1)	131
Figura 40: Enlace Punto de Repetición en Baruta – Sala Central (Producto 1).....	131
Figura 41: Enlace Nodo 1 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3).....	132
Figura 42: Enlace Nodo 2 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3).....	132
Figura 43: Enlace Nodo 3 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3).....	133
Figura 44: Enlace Nodo 4 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3).....	133
Figura 45: Enlace Nodo 5 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3).....	134
Figura 46: Enlace Principal del Producto 3.....	134
Figura 47: Enlace de Redundancia del Producto 3.	135
Figura 48: Enlace Sala Central – Nodo 2 (Producto 4).....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Elementos arquitectónicos de los ITS en carretera.	22
Tabla 2: Familia de estándares.	35
Tabla 3: Comparación de tecnologías inalámbricas.	71
Tabla 4: Ventajas y desventajas de Metro Ethernet y Frame Relay.	71
Tabla 5: Distancia de los enlaces del Producto 1.	79
Tabla 6: Soluciones Producto 1.	80
Tabla 7: Datos Producto 1.	83
Tabla 8: Cálculos teóricos de las soluciones 1 y 2 del Producto 1.	84
Tabla 9: Cálculos teóricos de la solución final del Producto 1.	86
Tabla 10: Cálculos prácticos de la solución final del Producto 1.	86
Tabla 11: Costo total del servicio LAN vía Metro Ethernet.	89
Tabla 12: Costo Solución “Planes TDD”.	90
Tabla 13: Costo redundancia con infraestructura propia.	90
Tabla 14: Costo detallado del Producto 1.	91
Tabla 15: MTTR y MTBF del Producto 1.	92
Tabla 16: Indisponibilidad por equipos del Producto 1.	93
Tabla 17: Tarifa recurrente del servicio VPN IP MPLS.	94
Tabla 18: Costo detallado del Producto 2.	96
Tabla 19: Ubicación de los nodos y distancia entre los enlaces del Producto 3.	97
Tabla 20: Soluciones Producto 3.	97
Tabla 21: Cálculos teóricos de las soluciones 1 y 2 del Producto 3.	99
Tabla 22: Cálculos teóricos de la solución final del Producto 3.	100
Tabla 23: Cálculos prácticos de la solución final del Producto 3.	101
Tabla 24: Cálculos teóricos de la solución de redundancia del Producto 3.	102
Tabla 25: Cálculos prácticos de la solución de redundancia del Producto 3.	103
Tabla 26: Costo detallado del Producto 3.	103
Tabla 27: Ubicación de los nodos y distancia entre los enlaces del Producto 4.	105
Tabla 28: Cálculos teóricos del enlace Nodo 1 – Sala Central del Producto 4.	107

Tabla 29: Cálculos prácticos del enlace Nodo 1 – Sala Central del Producto 4.	107
Tabla 30: Costo detallado del Producto 4.	108
Tabla 31: Tabla Resumen.....	110
Tabla 32: Tabla de Proveedores de Servicios.	119
Tabla 33: Características antenas Ubiquiti.....	122
Tabla 34: Radios Ubiquiti	123

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Ancho de Banda vs. Número de Enlaces.	57
Gráfica 2: Ancho de Banda vs. Número de Enlaces (Caso práctico).....	58
Gráfica 3: Modo AP/Bridge vs. Modo WDS.....	59

INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Especial de Grado titulado: Diseño eficiente de redes de transporte de datos para los sistemas y servicios de tráfico inteligente ofrecidos por el grupo InTech Solutions, se encuentra organizado en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación.

En el Capítulo I se encuentra el planteamiento del problema y su justificación, los objetivos del proyecto y los alcances y limitaciones del mismo. El Capítulo II, constituido por el marco teórico, presenta las definiciones y conceptos teóricos relacionados a: redes, tecnologías de comunicación, enlaces microondas, sistemas y servicios inteligentes de transporte, así como también información de la empresa.

En el Capítulo III se expone la metodología, incluida sus cinco fases, donde se describen los procedimientos utilizados para cumplir con los objetivos planteados. En el Capítulo IV se encuentra el desarrollo y los resultados obtenidos compuestos por: el estudio de las redes actuales de la empresa, el estudio de tecnologías y proveedores, el diseño conceptual y detallado de cuatro casos de estudio con diferentes productos de la empresa. El diseño detallado comprende la elección de la frecuencia de operación, topología, dispositivos, cálculos teóricos, simulaciones de todos los radioenlaces haciendo uso del *software* de simulación Radio Mobile, redundancia del enlace principal, cálculos de indisponibilidad por equipos y la inversión total del proyecto.

En el Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones que dieron como resultado la elaboración de este Trabajo Especial de Grado. Para finalizar se presentan los Anexos, dentro de los cuales se encuentran los resultados de las simulaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta de forma general una descripción del proyecto, destacando la justificación que da soporte al mismo, los objetivos y, los alcances y limitaciones.

I.1. Planteamiento del Problema y Justificación

Actualmente en Venezuela, el tráfico vehicular ha sobrepasado los límites del sistema de vialidad existente, convirtiéndose en un grave problema no solo de la vida cotidiana de todos los ciudadanos, desde los conductores hasta los peatones, sino también del ambiente. Es por ello que los denominados Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés) se han convertido, a nivel mundial, en un tema de interés, ya que permite brindar mayor seguridad y mejorar entre otras cosas la movilidad.

El Grupo InTech Solutions es una empresa venezolana dedicada a investigar, crear, desarrollar, comercializar e implementar sistemas y servicios inteligentes de transporte; fusionando tecnologías de información, comunicación y control.

Varios de los productos de la empresa, emplean una “red de transporte de datos”, para el establecimiento de un vínculo de comunicación entre un conjunto de nodos (controladores de tráfico, cámaras, sensores) y una sala central que los gestiona. Sin embargo, los diseños actuales han presentado limitaciones, sobre todo en cuanto al ancho de banda se refiere, especialmente en los casos en que la red es significativamente grande y el tipo de tráfico es multimedia. Adicionalmente, cada producto de la empresa que hace uso de una red de transporte de datos tiene requerimientos distintos en cuanto a topología y ancho de banda, lo que implica la elaboración de diseños adaptados a cada uno de ellos.

Lo expuesto anteriormente motiva y justifica el diseño eficiente de redes de transporte de datos, ajustados a cuatro de los productos de la empresa. Este es un proceso que involucra el análisis de los resultados obtenidos en estudios anteriores sobre una red desplegada, la evaluación de propuestas de mejora, estudio de diversas tecnologías y proveedores existentes, el diseño conceptual/detallado y evaluaciones de los diseños realizados empíricamente mediante simulaciones.

I.2. Objetivos

I.2.1. Objetivo General

Diseñar, de forma eficiente, redes de transporte de datos para los sistemas y servicios de tráfico inteligente ofrecidos por el Grupo InTech Solutions.

I.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar la topología y las tecnologías implementadas actualmente en las redes de transporte de datos de la empresa, incluyendo un análisis de los resultados obtenidos en estudios previos de la red.
- Definir cuatro casos de estudios, basados en los productos de la empresa, y proponer al menos un diseño conceptual para cada uno, especificando topología, ancho de banda y tecnología de comunicación.
- Realizar un estudio de diversas tecnologías de comunicación disponibles para la implementación de los enlaces, identificar fabricantes, modelos de dispositivos y costos.
- Llevar a nivel de detalle los diseños conceptuales de cada caso de estudio, lo que implica definir los equipos a utilizar, hacer un planeamiento básico de los enlaces y calcular los costos de implementación.
- Presentar los diseños finales, conclusiones y recomendaciones.

I.3. Limitaciones y Alcances

El presente trabajo comprende y se limita a la propuesta de diseños eficientes de redes de transporte de datos para cuatro productos ofrecidos por la empresa Grupo InTech Solutions. Para cada uno de ellos se propuso un caso de estudio, base sobre la cual se realizaron los diseños. Cada caso posee un tamaño de red no mayor de diez nodos. La evaluación de los diferentes diseños de infraestructura propia se realizó mediante cálculos teóricos, hechos a partir de las especificaciones técnicas de los equipos, los cuales fueron sustentados haciendo uso de un *software* de simulación.

Un diseño “eficiente” es aquel que cumple los requerimientos de ancho de banda y calidad fijados por el producto, a un bajo costo de implementación.

El proceso para generar y validar los diseños finales pasó por las siguientes etapas: revisión bibliográfica, estudio de las redes actuales, diseño conceptual de redes, evaluación de tecnologías y proveedores y diseño detallado.

Para cada uno de los casos de estudio se elaboró por lo menos un diseño conceptual de red. Se analizaron diversas tecnologías y dispositivos, seleccionando aquellos que cumplieran con los requerimientos técnicos de cada diseño, garantizando de esta manera el buen desempeño de las redes a un costo mínimo.

En el siguiente capítulo se presenta el Marco Teórico del proyecto, donde se reflejan todos los conocimientos teóricos y técnicos requeridos para llevar a cabo el diseño.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las definiciones y conceptos teóricos que sirven como base para la realización de los diseños de la red de transporte de datos, para cada uno de los productos. La Figura 1 representa un esquema de la teoría más relevante para la investigación:

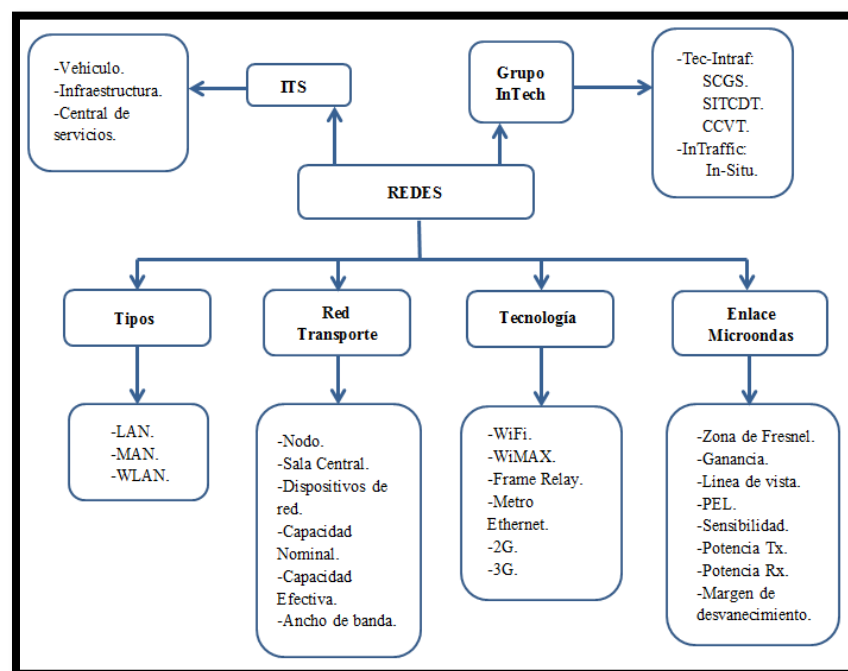


Figura 1: Mapa mental de los conceptos teóricos.

Fuente: Elaborado por las autoras.

II.1. Información de la Empresa

Grupo InTech Solutions es una empresa venezolana dedicada a la investigación, desarrollo, creación, comercialización e implementación de Sistemas y

Servicios Inteligentes de Transporte (ITS), conjugando tecnologías de información, comunicación y control.

Desde sus inicios el Grupo InTech Solutions ha buscado generar una gama de productos que permitan explotar al máximo la infraestructura vial ya existente y, al mismo tiempo, introducir tecnologías nunca antes implementadas.

Su portafolio está diferenciado en dos líneas de productos: Tec-Intraf (sistemas y servicios de recolección, información, gestión, estudios y control de tráfico vehicular) e InTraffic (información de tráfico vehicular para la autogestión del transeúnte). Ambas son desarrollo 100% nacional con la colaboración de aliados locales e internacionales. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.1.1. Línea de Productos Tec-Intraf

Se especializa en el desarrollo de sistemas de recolección, información, planificación, gestión y control de tráfico vehicular, que permiten al cliente ejercer influencia sobre las condiciones de la movilidad en tiempo real y planificar óptimamente los cambios y acciones a implementar. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.1.1.1. Sistema Centralizado de Gestión de Semáforos (SCGS)

El sistema centralizado de gestión de semáforos consiste en comunicar, en tiempo real, todos los semáforos de un espacio geográfico determinado, de forma remota, desde una sala central. Permite de manera simultánea planificar, controlar, sincronizar y monitorear el estado y funcionamiento de las intersecciones semaforicas. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.1.1.2. Sistema de Información de Tránsito y Control Dinámico de Tráfico (SITCDT)

Este sistema permite visualizar datos del tránsito en tiempo real y las estadísticas asociadas. También propone planes óptimos de control dinámico, de acuerdo al flujo vehicular, respetando políticas grupales. Optimiza la

circulación para los distintos escenarios de forma automatizada. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.1.1.3. Circuito Cerrado de Visualización de Tráfico (CCVT)

Es el sistema de apoyo fundamental para el operador, que permite visualizar y controlar, en tiempo real, desde una sala central, imágenes del tráfico que proporcionan mayor cantidad de información para la toma de decisiones. El diseño está especializado para monitorear el tránsito. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.1.2. Línea de Productos InTraffic

Esta línea se enfoca en ofrecer al público en general servicios de información sobre el tráfico, en tiempo real, contribuyendo así a la toma de decisiones y el mejoramiento del flujo vehicular a través de la autogestión. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.1.2.1. Servicio InTraffic In-Situ

Este servicio consiste en la recolección de datos suministrados por una red de sensores, que son traducidos y analizados para la publicación del tiempo recorrido por los usuarios, en forma dinámica. Esta información se presenta a través de pantallas ubicadas en el sitio para la toma oportuna de decisiones en tiempo real. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.2. ITS (*Intelligent Transportation System and Services*)

Los Sistemas Inteligentes de Transporte conforman un esfuerzo común entre gobiernos, industria privada y centros de investigación. (Lozano, 2009, pág. 51)
Herrera (2011) en su trabajo de grado señala:

Representan una variedad de herramientas y conceptos relacionados con las áreas de ingeniería, *software*, *hardware* y tecnologías de comunicaciones, empleados de forma integrada a los sistemas de transporte para mejorar su eficiencia y seguridad. Buscan encontrar soluciones a los distintos medios de transporte, proteger el ambiente y la vida de las personas.

Objetivos:

Lozano (2009) en su trabajo de grado señala:

- Como máxima prioridad, mejorar la seguridad de todos los medios de transporte actuales. El vehículo es la principal preocupación, debido a que supone la mayoría de las muertes y lesiones que se producen en el transporte mundial.
- Mejorar la eficiencia de los sistemas de transporte, reduciendo los tiempos de viaje y las congestiones.
- Incentivar la intermodalidad, mediante la combinación de varios medios de transporte para completar un viaje.
- Integrar el transporte dentro de las políticas de desarrollo sostenible; en particular, reduciendo las emisiones de gases de los vehículos, y optimizando el uso de las infraestructuras.
- Mejorar el confort de los pasajeros, con un gran número de servicios de información, servicios de ayuda a la decisión, sistemas de guiado y navegación, etc.

Utilizan sistemas de procesamiento de información, comunicaciones, sensorización, y tecnologías de control por ordenador para dar solución a los problemas de transporte terrestre. (Lozano, 2009)

Puede ser implementado en cualquier país, es por ello que la arquitectura ITS debe cumplir 5 aspectos: compatibilidad, expansión, interoperabilidad, integración y estandarización. (Herrera Quintero, 2011)

Los elementos arquitectónicos de los ITS en carretera se mencionan y describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Elementos arquitectónicos de los ITS en carretera.

Elemento	Descripción
Vehículo	ITS usando diferentes servicios, busca hacer más eficiente la circulación de éstos en diferentes entornos urbanos e interurbanos, mejorando también su seguridad. (Lozano, 2009, pág. 53)
Infraestructura	Está formada por equipamiento centralizado en nodos de comunicación y <i>backbones</i> , y el <i>hardware</i> (formado por diferentes sensores, como por ejemplo: radares de velocidad, detectores de paso de vehículos, de temperatura, entre otros) desplegado a lo largo de las vías. (Lozano, 2009, pág. 53)
Central de servicios	Su objetivo es disponer de la implementación de las aplicaciones finales. Los servicios que aquí se encuentran pueden estar orientados a la gestión centralizada o destinados al suministro de funcionalidades a los vehículos finales. (Lozano, 2009, pág. 53)

Fuente: (Lozano, 2009).

II.3. Redes

Es un conjunto de dispositivos (también denominados nodos) conectados por enlaces de un medio físico. Un nodo puede ser una computadora, una impresora o cualquier otro dispositivo capaz de enviar y/o recibir datos generados por otros nodos de la red. Los enlaces que se conectan con los dispositivos se conocen como canales de comunicación. (Forouzan, 2002)

Las redes varían en tamaño y capacidad, pero todas tienen en común cuatro elementos básicos:

- Reglas y acuerdos que regulen la manera en cómo se envían, redireccionan, reciben e interpretan los mensajes.
- Los mensajes que viajan de un dispositivo a otro.

- Una forma de interconectar los dispositivos.
- Los dispositivos de la red que cambian mensajes entre sí.

(Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

II.3.1. Clases de Redes

II.3.1.1. Red de Área Local (LAN)

Una red de área local (LAN, *Local Area Network*) suele ser una red de propiedad privada. Están diseñadas para compartir recursos que pueden incluir *hardware* o datos, entre computadoras personales o estaciones de trabajo. Se pueden diferenciar por su medio de transmisión y su topología, las más frecuentes son el bus, el anillo y la estrella. (Forouzan, 2002)

II.3.1.2. Red de Área Metropolitana (MAN)

Es la red de extensión metropolitana que interconecta las LANs entre sí. Debido a la distancia, y a fin de reducir costos de implementación, los enlaces MAN se implementan generalmente mediante enlaces RF punto-punto o punto-multipunto, de mediano y largo alcance. Generalmente, una MAN puede extenderse a lo largo de un municipio y, en algunas aplicaciones, aún más. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.3.1.3. Red de Área Local Inalámbrica (WLAN)

Es un sistema de comunicaciones flexible que transmite y recibe datos inalámbricamente, específicamente a través de ondas electromagnéticas, brindando conectividad inalámbrica con movilidad del usuario, pues el mismo permanecerá conectado a la red aunque no se encuentre conectado físicamente a la misma. (Ramos, 2006)

Se diferencian de las redes Ethernet en la capa física y en la capa enlace de datos. En la capa física, se definen dos métodos de transmisión: Radio frecuencia y la luz infrarroja. (Parra, 2011)

La conexión de la red LAN cableada al usuario, se hace a través de un punto de acceso, dispositivo que puede estar ubicado en cualquier nodo de la red, soporta de manera simultánea múltiples usuarios y representa el *gateway* para que los datos de los usuarios inalámbricos sean dirigidos a la red cableada. (Ramos, 2006)

Algunas ventajas de un sistema WLAN sobre una LAN son: reducción de los gastos de operación; sencilla instalación, ya que se evitan obras para tirar cable por muros y techos; configuración flexible, pues permite llegar a lugares donde el cable no puede; y escalabilidad, pues admite diversas topologías para satisfacer los requerimientos de aplicaciones e instalaciones. También permiten transmitir y recibir voz, datos y video.

(Erazo, 2009)

II.4. Red de Transporte de Datos

En varios de los productos ofrecidos por la empresa, existe un conjunto de nodos (controladores de semáforos, cámaras, pantallas, sensores, computadores remotos) instalados en las vías, que requieren establecer un vínculo de comunicación con un computador en una sala central. Esto conduce a la definición de “red de transporte de datos” como la red de extensión metropolitana que implementa el canal de comunicación entre cada nodo y la sala central.

Una premisa y característica fundamental de la red de transporte de datos, en los productos de la empresa, es que cada nodo puede ser referenciado y accedido a través de una dirección IP. (Grupo InTech Solutions, 2011)

Seguidamente, en el contexto de las redes de transporte de datos implementadas en los productos de la empresa, se hacen las siguientes definiciones sobre la base de las proposiciones del Grupo InTech Solutions:

II.4.1. Nodo

Son dispositivos terminales de actuación, entrada y salida de información, que son capaces de enviar información y/o recibir instrucciones de una sala central. Los nodos se conectan a la red de transporte de datos mediante enlaces físicos (generalmente Ethernet 100BASE-TX). Ejemplos de nodos son controladores de semáforos, cámaras, pantallas de mensaje variable, sensores y computadores remotos. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.4.2. Sala Central

Es el centro de monitoreo y control del sistema (producto), fuente de todos los comandos y destino de toda la información generada por los dispositivos generales. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.4.3. Dispositivos de Red

Son los dispositivos de comunicación que establecen los enlaces físicos de la red de transporte de datos, tales como radios, antenas, conmutadores, enrutadores y dispositivos de interfaz entre distintos protocolos. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.5. Ancho de Banda

En este trabajo, “ancho de banda” hará referencia a la tasa de transmisión máxima y efectiva de datos (sin incluir cabeceras de los distintos protocolos), medida en bps (bits por segundo), desde un nodo cualquiera hasta la sala central. Este es un valor que generalmente deberá ser obtenido de manera empírica. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.6. Capacidad Nominal

En este trabajo, “capacidad nominal” hará referencia a la tasa de transmisión nominal, medida en bps (bits por segundo), de una tecnología de comunicación de capa física dada. Es la tasa de transmisión en condiciones ideales que generalmente dan las hojas de datos. Por ejemplo, la capacidad nominal de un enlace WiFi 802.11a es de 54 Mbps. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.7. Capacidad Efectiva

En este trabajo, “capacidad efectiva” hará referencia a la tasa de transmisión máxima y efectiva de datos (sin incluir cabeceras de los distintos protocolos), medida en bps, desde los extremos de un enlace cualquiera de la red de transporte de datos. Por ejemplo, la capacidad efectiva de un enlace WiFi 802.11a en condiciones óptimas es de alrededor de 21 Mbps. Este es un valor que generalmente deberá ser obtenido de manera empírica. (Grupo InTech Solutions, 2011)

II.8. Topologías de Red

Topología se refiere a la distribución física, es decir, la representación geométrica de cómo se conectan los nodos de una red que se enlazan entre sí. Está relacionada con la disposición del cableado así como de la configuración de los equipos. (Andréu, 2011)

Existen cinco tipos de topologías básicas: malla, estrella, árbol, bus y anillo; las cuales describen la interconexión de los dispositivos de una red. Se debe tomar en cuenta el estado relativo de los dispositivos a enlazar, al momento de elegir el tipo de topología.

II.8.1. Estrella

Todos los dispositivos poseen solo un enlace punto a punto dedicado con un controlador central, normalmente llamado concentrador. Todas las comunicaciones se realizan a través de él, es decir, si dos dispositivos quieren comunicarse, debe enviar los datos al controlador quien será el encargado de retransmitir la información al dispositivo final. Entre las ventajas que ofrece el uso de esta topología se pueden mencionar:

- Es más barata que una topología en malla ya que solo requiere un enlace y un puerto de entrada/salida para conectarse con los demás dispositivos. Al necesitar menos cableado en su instalación, la conexión, desconexión y traslado de dispositivos solamente afecta la conexión entre el dispositivo y el concentrador.
- Es una red robusta. Al fallar un enlace, solo este será el afectado mientras que los demás enlaces de la red continuaran en estado activo.
- El concentrador, puede ser usado para monitorizar los enlaces, identificando de forma rápida y sencilla los fallos.

(Forouzan, 2002)

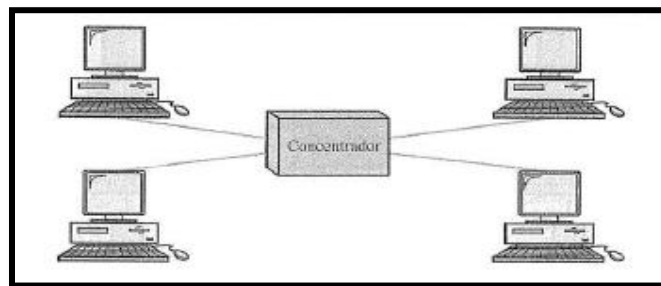


Figura 2: Topología en estrella

Fuente: (Forouzan, 2002)

II.8.2. Bus

Es una configuración multipunto, en donde un único enlace conecta a todos los dispositivos de la red. Este único enlace recibe el nombre de bus,

troncal o *backbone*. Existe una cantidad máxima de conexiones que el bus puede soportar y en la distancia entre dichas conexiones, debido a que la señal se va debilitando a medida que viaja por el cable.

Entre las ventajas de esta topología se encuentran:

- Sencilla implementación.
- Requiere menos cableado que otras topologías ya que solamente el enlace troncal se extenderá en todo el espacio necesario, mientras que las líneas de conexión única irán al punto de la red troncal más cercano.

Desventajas:

- Difícil reconfiguración.
- Degradación de la señal.
- Elevada colisión de mensaje y por lo tanto, alta pérdida en la transmisión.
- Limita la cantidad de equipos conectados.
- Un fallo en el cable del bus afectará todas las transmisiones.

(Forouzan, 2002)

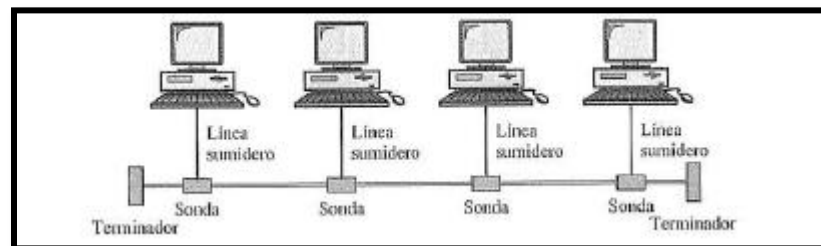


Figura 3: Topología de bus

Fuente: (Forouzan, 2002)

II.8.3. Híbridas

La topología híbrida es una de las más frecuentes y se deriva de la combinación de las mejores características de dos o más topologías de red

diferentes, de manera que la red resultante no tiene una forma estándar.
(eHow)

II.9. UDP (*User Datagram Protocol*)

Protocolo sencillo y no orientado a conexión, que se describe en la RFC 768. Se caracteriza por tener poca sobrecarga, lo que se traduce en una rápida transferencia de los datos. Los segmentos de comunicación se denominan datagramas, cada segmento posee 8 bytes de sobrecarga. En el datagrama UDP, la cabecera suministra el puerto de origen, el puerto de destino y no incluye el número de secuencia.

Los servicios que utilizan este protocolo son capaces de rastrear las comunicaciones entre las aplicaciones sin preocuparse por el orden en que se transmite la información ni de mantener una conexión; la información puede llegar al destino en un orden diferente al de la transmisión dado que pueden tomar diferentes rutas a través de la red. Algunas aplicaciones que utilizan este protocolo son: sistema de nombres de dominio (DNS), flujo de video, voz sobre IP. (Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

Características: por ser no orientado a conexión, no existe la sincronización entre el origen y el destino. Permite utilizar la dirección de *broadcast* o *multicast* IP como dirección de destino, intercambia información en forma de bloques de bytes, genera poca carga adicional en la red y no es un protocolo fiable. (Baeza, 2009)

II.10. TCP (*Transmission Control Protocol*)

Protocolo orientado a conexión, descrito en la RFC 793. Posee una mayor sobrecarga en la transmisión de la información que el protocolo UDP.

Cada segmento TCP posee 20 bytes de sobrecarga. La cabecera suministra el puerto de origen, el puerto de destino, la secuenciación, acuses de recibo y control de flujo. El número de secuencia permite a la aplicación destino reensamblar los segmentos en el estricto orden en que se hizo la transmisión.

Antes de que dos *hosts* puedan comenzar una transferencia de datos utilizando TCP, se establece una conexión con el destino (protocolo de enlace de tres vías). Luego de esto, el destino envía al origen acuses de recibo en función de los segmentos recibidos. Estos acuses de recibo le indican al *host* origen que la información se entregó de manera correcta al destino y que puede dejar de rastrearlos. Si el origen no recibe el acuse de recibo, luego de esperar un tiempo predeterminado, retransmite los datos hacia el destino. Por último se realiza la desconexión final.

En resumen, se puede decir que TCP es un protocolo que garantiza una entrega fiable y ordenada de los datos. Algunas aplicaciones que utilizan este protocolo son: navegadores *web*, e-mail, transferencia de archivos.

(Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

II.11. Protocolo IP

Fue diseñado como un protocolo de bajo costo, el cual provee solo las funciones necesarias para enviar un paquete desde un origen a un destino a través de un sistema interconectado de redes.

Es utilizado como mecanismo de transmisión por el conjunto de protocolos TCP/IP, es no orientado a conexión y basado en datagramas que no siempre son transportados con seguridad. Ofrece un servicio de mejor entrega posible, que no ofrece comprobaciones ni seguimientos. (Forouzan, 2002)

Define una red de paquetes conmutados, donde la información se fragmenta en paquetes que se envían de forma independiente por ella con la dirección IP (dirección única de 32 bits) del dispositivo donde ha de ser entregado.

Los datagramas pueden viajar a través de diferentes conmutadores y llegar fuera de secuencia o duplicados, ya que al ser un protocolo sin conexión, no crea circuitos virtuales para la entrega, por lo que no realiza ningún seguimiento de los conmutadores ni tampoco brinda facilidad para reordenar los datagramas recibidos. Si

la fiabilidad es un factor importante, IP se debe utilizar con un protocolo fiable como TCP. (Forouzan, 2002)

II.12. Frame Relay

Es una red basada en circuitos virtuales, no utiliza direcciones físicas y emplea un identificador virtual que opera en el nivel de enlace de datos. (Forouzan, 2002)

Se puede utilizar como red troncal de área amplia de bajo costo para conectar redes LAN que, preferiblemente, no necesiten transmisiones en tiempo real, pero que pueden enviar datos a ráfagas.

Suministra un mayor ancho de banda, mejor fiabilidad y resistencia a fallas que las líneas privadas o arrendadas, y no ofrece corrección de errores. Tanto la corrección de errores como la retransmisión de los datos es responsabilidad de los nodos finales, lo que agiliza la propagación de extremo a extremo del cliente a través de la red.

Administra eficazmente la velocidad y el volumen mediante la combinación de las funciones necesarias de las capas de enlace de datos y de red. Como protocolo de enlace de datos, brinda acceso, delimita, entrega tramas en el orden adecuado y reconoce los errores de transmisión a través de la comprobación de redundancia cíclica. Como protocolo de red, proporciona varias conexiones lógicas a través de un único circuito físico, permitiendo que la red enrute datos a través de dichas conexiones a sus destinos. (Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

Existen dos tipos de conexiones virtuales: circuito virtual permanente (PVC), se establece entre dos DTE a través del proveedor de la red, los cuales se conectan de forma permanente a través de una conexión virtual; y circuito virtual conmutado (SVC), cada vez que un DTE quiere establecer una conexión con otro DTE, deberá establecer un nuevo circuito virtual.

II.12.1. Ventajas

- Ofrece mayores velocidades. Se utiliza en lugar de las mallas de líneas T-1 o T-3.
- Opera solo en el nivel físico y de enlace de datos, lo que significa que puede utilizarse como una red troncal que permite ofrecer servicios a protocolos que ya poseen un nivel de red.
- Admite datos a ráfagas, lo cual permite que los dispositivos que necesitan temporalmente ancho de banda adicional lo pidan prestado, sin costos adicionales, a otros dispositivos que no lo usan
- Admite tramas de 9000 bytes, que permite acomodar las tramas de todas las redes de área local.
- Minimiza los retardos en el procesamiento de información, los tiempos de respuesta son menores y la red puede manejar un mayor flujo de información, sin necesidad de incrementar la capacidad del canal que se utiliza.
- Es menos costosa que las redes WAN tradicionales, a través del uso de menos equipo, menos complejidad y una implementación más fácil.
(Forouzan, 2002)

II.12.2. Desventajas

- A pesar de que las redes Frame Relay operan a 44,376 Mbps, esta velocidad no es lo suficientemente alta para protocolos que demanden mayor velocidad.
- Al manejar tramas de longitud variable, se pueden generar retardos variables a diferentes usuarios. Es por ello, que no es adecuada para enviar datos sensibles a retardos, como video o audio en tiempo real.
(Forouzan, 2002)

II.13. Metro Ethernet

Es una arquitectura tecnológica que suministra servicios de conectividad MAN (*Metropolitan Area Network*) y WAN (*Wide Area Network*) de nivel 2, a través de UNIs (*Users Network Interface*) Ethernet. Estas redes se denominan “multiservicio”, ya que soportan una gran cantidad de servicios y aplicaciones, contando con mecanismos donde se incluye soporte a tráfico “RTP” (Protocolo Tiempo Real), como puede ser telefonía IP y video IP. Están soportadas generalmente por medios de transmisión guiados, como son el cobre y la fibra óptica; pero también existen para soluciones de radio licenciada.

El modelo básico de los servicios Metro Ethernet se compone por una Red conmutada MEN (*Metro Ethernet Network*), ofrecida por el proveedor de servicios; los usuarios acceden a la red por medio de CEs (*Customer Equipment*). Un CE puede ser un enrutador; *Bridge* IEEE 802.1Q (conmutador) que se conectan a través de UNIs a velocidades de 10 Mbps, 20 Mbps, 34 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps y 10 Gbps. (Charcotics & Gimenez, 2012)

II.14. Red Privada Virtual

Es una red privada que se extiende a diferentes puntos remotos, utilizando infraestructuras públicas de transporte (como Internet). La mayor característica de la VPN es la seguridad, protege los datos mediante un proceso de encapsulación, en donde por medio de una infraestructura de red compartida, se transmiten los datos de manera transparente de red a red; y de encriptación codificando los datos mediante una clave secreta, ya que los mismos circularan a través de tramos de red pública, protegiendo, de esta manera, los datos contra el acceso no autorizado. Aprovechando el bajo costo de Internet y utilizando técnicas de cifrado, se pueden simular las conexiones punto a punto.

Un túnel convierte una conexión “pública” en “privada”, cifrando y encapsulando los protocolos de red que los extremos utilizan, sobre el protocolo IP.

Solo los extremos pueden ver lo que se transmite a través del túnel. (Huguet, Arqués, & Galindo, 2008)

II.15. Ethernet

La tecnología Ethernet fue adoptada para su estandarización por el comité de redes locales de la IEEE como IEEE 802.3.

El IEEE quería asegurar que sus estándares fueran compatibles con los del modelo OSI de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). Para garantizar la compatibilidad, los estándares IEEE 802.3 debían cubrir las necesidades de la Capa 1 y de las porciones inferiores de la Capa 2 del modelo OSI. Como resultado, ciertas pequeñas modificaciones al estándar original de Ethernet se efectuaron en el 802.3. Ethernet opera en las dos capas inferiores del modelo OSI: la capa de enlace de datos y la capa física. (Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

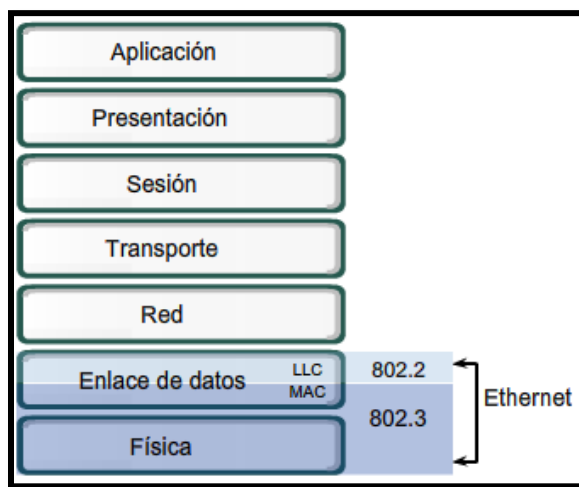


Figura 4: Capas del Modelo OSI en las que opera Ethernet.

Fuente: (Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009).

Algunas de las características que han hecho que la tecnología Ethernet sea ampliamente aceptada son su simplicidad y facilidad de mantenimiento, confiabilidad, capacidad para incorporar nuevas tecnologías y su bajo costo de instalación y de actualización. (Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

II.16. WiFi

Pertenece a los estándares definidos por el IEEE, desarrollado en Estados Unidos como una extensión del estándar IEEE 802. Especifica una interfaz sobre el aire (medio de transporte) entre un cliente inalámbrico y una estación base o entre dos clientes inalámbricos. Fue desarrollada para eliminar los problemas inherentes a las tecnologías propietarias de WLAN.

WiFi (*Wireless Fidelity*) es el término utilizado genéricamente para referirse a cualquier tipo de red 802.11, ya sea 802.11a, 802.11b, entre otras. Aunque los términos 802.11 y WiFi se usan de manera intercambiable, no es correcto. WiFi es una certificación de interoperabilidad de la industria que se basa en un subconjunto de 802.11.

II.16.1. Familia de Estándares

De acuerdo con Quesada (2005):

Tabla 2: Familia de estándares.

Estándar	Características
802.11	• Especifica las redes de área local inalámbricas que operan en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. • Alcanza velocidades de transmisión de 1 a 2 Mbps • Utiliza tres tecnologías diferentes: – <i>Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)</i>

	– <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> (DSSS) – Infrarrojos (IR) • Se asegura la interoperabilidad entre equipos de cada una de estas tecnologías inalámbricas, pero no entre las tecnologías.
802.11a	• Opera en la banda de frecuencia de 5 GHz o banda UNII (<i>Unlicensed National Information Infrastructure</i>). • Es menos susceptible a interferencias y, por lo tanto, útil para zonas con mucha interferencia y ruido. • Utiliza el método OFDM. Técnica que divide una portadora de datos de alta velocidad en 52 subportadoras de baja velocidad que se transmiten en paralelo. • Llega a velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps.
802.11b	• Opera en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. • Llega a velocidades de transmisión de 1; 2; 5,5 y 11 Mbps. • La técnica de modulación implementada es DSSS. • Incluye la técnica de modulación <i>Complementary Code Keying</i> (CCK), la cual ofrece ventajas como: – Incremento de velocidad. – Que equipos de fabricantes distintos, con la especificación 802.11b, se puedan conectar.
802.11g	• Opera en la banda de frecuencia de 2,4 GHz, asegurando la compatibilidad con otros equipos WiFi. • Utiliza la técnica de modulación DSSS. • Se especifica la utilización de OFDM, permitiendo alcanzar velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps.
802.11n	• Opera en las bandas de frecuencia de 2,4 y 5 GHz. • Alcanza velocidades de hasta a los 600 Mbps, teóricos. • Implementa la tecnología MIMO-OFDM, con la cual se divide

un *stream* rápido de tasa de datos en múltiples *streams* de menor tasa y los transmite simultáneamente por las radios y antenas disponibles.

Fuente: Elaborado por las autoras.

II.16.2. CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*)

El método de acceso al medio definido por la IEEE para las redes LAN inalámbricas es el CSMA/CA (Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Prevención de Colisiones).

Permite que los dispositivos inalámbricos que pertenecen a una red inalámbrica accedan al canal de transmisión cuando este se encuentre libre y, de esta forma, reducir el número de colisiones o pérdida de paquetes.

Para evitar transmisiones simultáneas, de varios dispositivos a un punto de acceso, CSMA/CA implementa una característica llamada Petición Para Enviar/Listo Para Enviar, RTS/CTS por su siglas en inglés. (Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

II.16.2.1. Modo RTS/CTS

Mediante la implementación de esta característica se consigue establecer una negociación entre un punto de acceso y el cliente. Al cliente se le es asignado el medio por el cual transmitirá, durante el tiempo necesario para que la transmisión sea completada. Al finalizar la transmisión, las otras estaciones pueden solicitar el canal, al punto de acceso, de forma similar. (Cisco Systems, CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking, 2009)

II.17. Punto de Acceso

Conecta entre sí los nodos o clientes de una red inalámbrica y también sirve de puente entre ellos y la red cableada. Se pueden conectar varios puntos de acceso

para crear una gran red inalámbrica. Estos dispositivos son transparentes para los otros dispositivos que se encuentren en la red, sin embargo, es necesario asignarle una dirección IP que permita su configuración. (Buettrich & Pascual, 2007)

II.18. WiMAX

Es un sistema de comunicación digital definido por el estándar IEEE 802.16. WiMAX es supervisado por el *WiMAX Forum*, el cual se encarga de asegurar el cumplimiento de los productos con el estándar 802.16 y la interoperabilidad entre dispositivos.

Al igual que el modelo cliente/servidor, WiMAX utiliza el concepto de las estaciones de abonado y estaciones base. Las estaciones base proporcionan el acceso inalámbrico y provee las mismas funciones que los WAPs. Las estaciones de abonados son los clientes utilizando el acceso inalámbrico proporcionado por la estación base. (Parziale, 2006)

Los puntos de acceso de WiFi no garantizan calidad de servicio (QoS), y por lo tanto servicios como VoIP e IPTV, no son adecuados para este tipo de infraestructura de red. Esto es porque los clientes de WiFi que usan el mismo WAP deben competir entre ellos por el ancho de banda y la atención del WAP.

WiMAX utiliza un algoritmo de programación que garantiza calidad de servicio (QoS). A diferencia del modelo de WiFi, los abonados de WiMAX deben competir solo por la entrada inicial en la red. Después que a un cliente se le permite la entrada, el cliente tiene garantizado un espacio de tiempo con el punto de acceso. Este intervalo de tiempo puede ser ampliado por el cliente de acuerdo a la necesidad y la disponibilidad.

Otra ventaja de WiMAX sobre WiFi es que ofrece un mayor ancho de banda, un cifrado más seguro y la capacidad para conectar los nodos que no tienen una asociación de línea de vista. WiMAX es capaz de ofrecer servicios en un rango de hasta 50 km. Esto hace que WiMAX sea adecuado para las zonas rurales, o para áreas

remotas, en las que la instalación del cableado para respaldar las redes por cable resulta muy costosa.

Otra aplicación de WiMAX es la de conectar redes remotas. Los escenarios pueden existir cuando las LAN cableadas o puntos de acceso WiFi son preferidos para un área en particular. Sin embargo, esa área puede ser remota a otras, y no es rentable conectar las áreas por WiFi o cable. En cambio, estos sitios se pueden conectar mediante WiMAX, salvando así la distancia entre las áreas sin dejar de utilizar la red preferida a nivel local.

(Parziale, 2006)

II.19. GSM (*Global System for Mobile*)

Es un sistema de conmutación de circuitos, en un principio diseñado para voz al que luego se agregaron servicios de datos. Opera en las bandas de frecuencia de 900 MHz y 1,8 GHz; utiliza una combinación de FDMA y TDMA, en un espectro total de 25 MHz. FDMA divide los 25 MHz en 124 frecuencias portadoras cada una de 200 kHz, a su vez dichos canales son divididos en 8 ranuras de tiempo (*timeslots*) utilizando TDMA. Soporta velocidades entre 9,6 kbps hasta 14,4 kbps. (Pastor, 2006)

II.20. GPRS (*General Packet Radio Service*)

Es una tecnología que proporciona acceso de radio-paquetes sobre la red GSM existente para soportar el acceso a Internet, intranets y a una LAN; lo que brinda un servicio de datos de alta velocidad que se encuentre siempre activo (*always on*), reduciendo de esta manera el tiempo de configuración y liberación de conexiones. Permite transmitir datos que oscilan entre los 9,6 y los 171 kbps; así como también acomodar, de manera eficiente, fuentes de datos que tienen una naturaleza a ráfagas. (Cruz, 2004)

Se establecen procedimientos, de manera que varios usuarios puedan compartir de manera simultánea los recursos de radio y las ranuras de tiempo. GPRS asigna ranuras de tiempo al usuario sobre la base paquete a paquete, a diferencia de GSM en donde las ranuras se asignan por tiempo indefinido. Mantiene el esquema de modulación, la anchura del canal y la estructura de la trama de GSM.

Utiliza el esquema de modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) para soportar múltiples usuarios en un espectro limitado. La técnica TDMA, proporciona acceso múltiple y consiste en la coordinación de ranuras de tiempo y números específicos de tramas en un dado tiempo. Para transportar los datos, diferencian la información de señalización a través de canales lógicos. Se pueden diferenciar dos categorías de acuerdo con la división de los canales de tráfico: de sesión de conmutación de circuitos, los usuarios se asignan a un canal mientras dura la llamada; y de sesión de paquetes, múltiples usuarios comparten un canal en ciertas ranuras de tiempo y frecuencias en TDMA. (Cruz, 2004)

II.21. EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*)

Introduce mejoras a GPRS, también es una comunicación por conmutación que permite velocidades de hasta 384 kbps, ideado para trabajar en conjunto con la trama GSM utilizando ranuras temporales y compartiendo el medio con canales de voz. Utiliza tanto la modulación GSMK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) como 8-PSK (*8-Phase Shift Keying*) con la cual se obtiene una mayor eficiencia espectral.

Incrementa la tasa de transmisión de datos utilizando la codificación 8-PSK, así como los bits F (*Stealing Flag*) de la trama GSM pudiendo enviar de esta manera 116 símbolos por *timeslot*.

Considera comunicaciones a diferentes tasas de transmisión tomando en cuenta las condiciones del enlace de radiofrecuencia, regulando el sistema de modulación y codificación para una exitosa transmisión. (Arenas, Bettancourt, Grote, Soto, & Grote, 2004)

II.22. MPLS (*Multiprotocol Label Switching*)

Es un estándar IP de conmutación de paquetes que provee características de redes orientadas a conexión a aquellas redes no orientadas a conexión. Cada nodo de la red asigna al paquete una etiqueta de tamaño fijo que permite identificar la pertenencia a un FEC (*Forward Equivalence Class*), grupo de paquetes que serán procesados y transportados de la misma forma, posean o no un destino común.

El funcionamiento de una red MPLS se basa en el intercambio de etiquetas de un paquete a medida que atraviesa los dispositivos de red (*routers o switches*). Una vez que el paquete IP se recibe por un enrutador llamado ILER (*Ingress Label Edge Router*), se analiza el destino y las características del mismo. De acuerdo con esta información, es asignado a un FEC. Cada FEC tiene diferente QoS (*Quality Of Service*), de manera que se utilicen los recursos de la forma más óptima y se dé el tratamiento a los paquetes de acuerdo al tipo de servicio. Todos los paquetes pertenecientes a un mismo FEC viajan por un mismo camino.

Al ingresar el paquete a la red MPLS, la elección del camino a seguir lo definen las tablas de etiquetas, ubicadas en los enrutadores MPLS. Cuando se tiene el camino establecido, se le asigna la etiqueta al paquete. En este momento, el paquete viaja por la red MPLS donde se encuentra con enrutadores que se encargan de hacer el intercambio de etiquetas según su tabla, este tipo de enrutadores son llamados LSR (*Label Switching Router*). Al colocarse la nueva etiqueta, el paquete sale por la interfaz de salida correspondiente, de acuerdo a la tabla.

El enrutador de salida es llamado ELER (*Egress Label Edge Router*), quien se encarga de eliminar la etiqueta, realizar algoritmos de enrutamientos, determinar la interfaz de salida y el próximo salto para el paquete. (Páez, 2011)

II.23. Sistema de Distribución Inalámbrico (WDS)

En una red IEEE 802.11, permite la interconexión inalámbrica entre puntos de acceso o *routers* inalámbricos. Al usar esta función, un *router* podría funcionar como repetidor de una señal o para interconectar dos redes diferentes.

El estándar 802.11 define dos tipos básicos de servicios:

- BSS (*Basic Service Set*): La red inalámbrica está definida por un único punto de acceso y estaciones conectadas al mismo.
- ESS (*Extended Service Set*): Existen varios puntos de acceso. Utilizan el sistema de distribución (DS) para que las estaciones inalámbricas conectadas a cualquier punto de acceso puedan interconectarse.

De acuerdo con (Oquendo, 2010):

Las conexiones WDS se fundamentan en las direcciones MAC y hacen uso de los cuatro campos de esta dirección (la dirección MAC del remitente, la dirección MAC del destino final, la dirección MAC de la tarjeta de PC que envía en el punto de acceso y la dirección MAC de la tarjeta de PC que reciben en el otro punto de acceso) en un tipo especial de trama de datos permitida por la norma 802.11, en vez de las tres direcciones que se utilizan en un tráfico *Access Point*-Estación. Esta dirección, al ser única, permite al sistema enviar tramas de datos a las diferentes tarjetas inalámbricas.

Provee de dos modos de acceso a la conectividad inalámbrica entre AP:

- *Wireless Bridging*: Los puntos de acceso solo se comunican entre ellos, sin permitir que clientes inalámbricos o estaciones puedan tener acceso a ellos.
- Repetidor inalámbrico: los puntos de acceso se comunican entre ellos y con estaciones inalámbricas.

(Oquendo, 2010)

II.23.1. Ventajas

- Costo efectivo: No se requiere agregar un enlace inalámbrico adicional, que puede representar un gasto para la empresa, sino que se requiere una reconfiguración del *Access Point*.
- Flexible: Con el modo WDS una red cableada puede extender su cobertura a lugares donde el cableado es difícil de instalar y es muy costoso; o donde no está permitido la implementación de una red cableada (por ejemplo donde existe la presencia de materias químicas peligrosas); o para crear una red *roaming* en la cual las conexiones por cable entre los puntos de acceso no pueden ser establecidas.

II.23.2. Desventajas

- Cifrado: La utilización de claves de cifrado asignadas y rotadas dinámicamente no son admitidas en las conexiones WDS, por lo tanto se emplea el uso de claves WEP estáticas, incluyendo las claves que asocian las estaciones con un *Access Point* de repetición WDS.
- Rendimiento: Con el uso de la tecnología WDS por cada salto de repetición el rendimiento inalámbrico disminuye alrededor de un 50%. La causa principal es que las transmisiones entre los puntos de acceso utilizan el mismo canal de radiofrecuencia, generando interferencia y degradación del rendimiento; también se debe tomar en cuenta el tráfico generado por el uso de la tecnología CSMA/CA, ya que se requiere una confirmación por parte del *AP* para poder transmitir. Estos factores limitan el rendimiento del terminal alrededor de un tercio del máximo valor posible.
- Funcionamiento *Outdoor*: Ya que con la tecnología WDS se pueden crear conexiones punto a punto, es viable la opción de emplear WiFi en instalaciones al aire libre; sin olvidar que el estándar IEEE 802.11 fue pensado para utilizarse en entornos de ambiente interior, por lo tanto se deben llevar a cabo disposiciones adicionales (sobre todo cuando los radioenlaces son a largas distancias). (Oquendo, 2010)

II.24. Enlace Microondas

Es un sistema de comunicaciones que utiliza para transmitir información entre dos puntos específicos, mediante ondas de radio en el rango de frecuencias de microondas. Son capaces de enviar y recibir gran cantidad de información a velocidades elevadas. Son más económicos y fáciles de instalar ya que no requieren de equipos intermedios entre los dispositivos finales y pueden utilizarse en cualquier zona geográfica, siempre y cuando la distancia sea cubierta por el rango de operación de los equipos que se estén utilizando. (Marquéz & Moure, 2007)

II.24.1. Radioenlace Punto a Punto

Un radioenlace punto a punto proporciona una conexión directa entre dos antenas. El medio de transmisión es el aire, mediante ondas radioeléctricas. Este tipo de enlace es adecuado para zonas que están aisladas o que son de difícil acceso, pero también se puede utilizar para enlazar dos redes remotas. Los enlaces punto a punto de alta capacidad utilizan generalmente canales en las bandas de las microondas y es necesario que entre las antenas exista línea de vista, ya que las ondas radioeléctricas de alta frecuencia son atenuadas por obstáculos.
(Flickenger, 2006)

II.24.2. Radioenlace Punto a Multipunto

Cuando varias antenas establecen una conexión con un punto de acceso central, se está hablando de un radioenlace punto a multipunto. Las transmisiones originadas en el punto de acceso central llegan a todos los nodos, mientras que las transmisiones originadas en cualquiera de los nodos llegan únicamente al punto de acceso central. Entre las aplicaciones en las que se pueden utilizar enlaces punto a multipunto se encuentran:

- Acceso a internet de banda ancha.

- Puntos de acceso públicos de WiFi.
- Redes inalámbricas WAN/LAN *outdoor*.
- Extensión de la última milla para Proveedores de Servicios de Internet (ISP) con cableado tradicional.
- Servicios de acceso a internet para Proveedores de Servicios de Internet Inalámbrico (WISP).
- Sistemas de seguridad mediante vigilancia por video IP.
- Solución de acceso a internet del Campus.

(Flickenger, 2006)

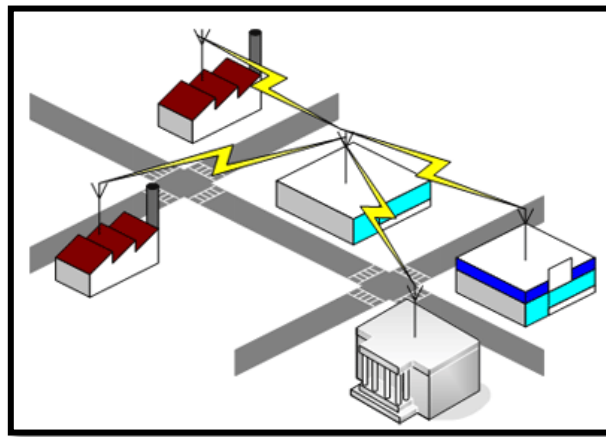


Figura 5: Enlace punto a multipunto.

Fuente: (WiFi Canarias).

II.25. Línea de Vista

Se dice que hay línea de vista cuando entre una antena transmisora y una receptora existe un camino limpio, es decir, sin obstáculos. Entre los elementos que pueden interferir en un enlace se encuentran: (a) características geográficas (montañas); (b) curvatura de la tierra; (c) edificios y (d) arboles.

Mediante el concepto de Zonas de Fresnel es que se pueden modelar las pérdidas producidas en el enlace radioeléctrico cuando hay una obstrucción. (Radioenlaces)

II.26. Zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel son unos elipsoides concéntricos que rodean al rayo directo de un enlace radioeléctrico y que quedan definidos a partir de las posiciones de las antenas transmisora y receptora. Esta variará dependiendo de la frecuencia de la señal y la distancia que separa a ambas antenas. Las zonas de Fresnel se pueden calcular y deben ser tomadas en cuenta durante el diseño de un radioenlace, para asegurar que haya visibilidad entre las antenas se debe cerciorar que la primera zona de Fresnel esté libre de obstáculos. El hecho que se vean las antenas, no implica que el enlace establecido sea de alta calidad, esto puede ocurrir cuando un obstáculo sobresale dentro del camino de señal en la zona Fresnel, ocasionando pérdidas. Este inconveniente se puede resolver de muchas maneras, como por ejemplo: aumentar la altura de la antena en un punto o ambos; construir una torre lo suficientemente alta para colocar la antena; aumentar la altura de torres existentes o colocar la antena en un nuevo punto, edificio o torre.

La fórmula para calcular la primera zona de Fresnel es la siguiente:

$$R_1 = 548 \cdot \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad (1)$$

Donde:

R_n : radio de la n-sima zona de Fresnel (m).

f: frecuencia (MHz).

d_1 : distancia del transmisor al plano considerado (Km).

d_2 : distancia del plano considerado al receptor (Km).

d: distancia del transmisor-receptor (Km).

(Radioenlaces)

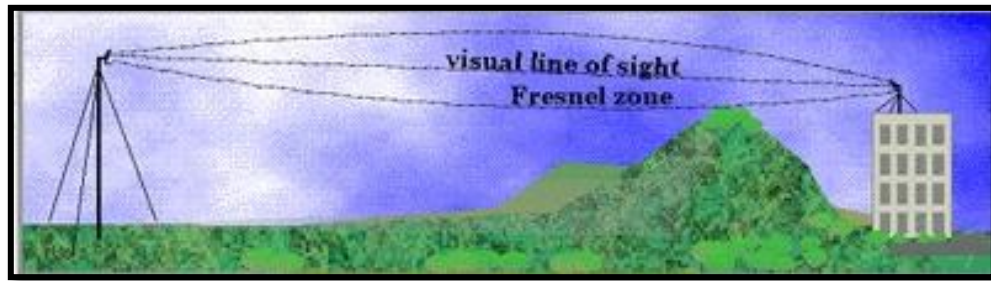


Figura 6: Enlace punto a punto.

Fuente: (Highway Technologies).

II.27. Pérdidas del Espacio Libre (PEL)

Las pérdidas del espacio libre son aquellas propagaciones que sufre la señal radio eléctrica en condiciones de espacio libre. Mide la dispersión de potencia en un espacio libre sin obstáculo alguno a medida que la onda se esparce sobre una superficie mayor. Estas pérdidas están relacionadas con la distancia del radioenlace y la frecuencia de operación. (Hermosa, 2010)

Para determinar estas pérdidas se utiliza la siguiente ecuación:

$$PEL(dB) = 92,4 + 20 \cdot \log f \text{ (GHz)} + 20 \cdot \log d \text{ (Km)} \quad (2)$$

Donde:

PEL = Pérdidas en espacio libre.

d = Distancia entre transmisor y receptor en Km.

f = Frecuencia en GHz.

II.28. Sensibilidad del Receptor (S_{RX})

Representa el nivel mínimo de la señal que acepta el receptor para tener un funcionamiento aceptable (nivel de calidad), para que pueda ser demodulada y decodificada. Este valor depende de las especificaciones técnicas dadas por el fabricante. (Marquéz & Moure, 2007)

II.29. Potencia de Transmisión (P_{TX})

Es la potencia entregada por el amplificador del transmisor a los circuitos de acoplamiento a la antena. El límite superior depende de las regulaciones vigentes en cada país, dependiendo de la frecuencia de operación y puede variar al cambiar el marco regulatorio. Se expresa en unidades lineales (mW, W) o logarítmicas (dBm, dBW). (Ampudia, 2009)

II.30. Pérdidas en el Cable (L_{cables})

Las pérdidas en la señal de radio pueden producirse en los que cables que conectan al transmisor y el receptor a las antenas. Este tipo de pérdidas está relacionado con el tipo de cable y la frecuencia de operación. Generalmente se expresa en dB/m o dB/pies.

Sin importar la alta calidad del cable, siempre tendrá pérdidas, es por ello que lo más recomendable es que el cable de la antena sea lo más corto posible; mientras más grueso y rígido sea el cable menos atenuación presentará. Generalmente la pérdida típica de los cables está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. (Ampudia, 2009)

Para determinar estas pérdidas se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_F = \alpha(\text{dB/metros}) \cdot L(\text{metros}) \quad (3)$$

II.31. Potencia de Recepción (P_{RX})

De acuerdo con Márquez & Moure (2007):

Es la potencia definida en la entrada del amplificador RF del receptor.

$$P_{Rx}(\text{dBm}) = P_{Tx}(\text{dBm}) - L_{Tx} + G_{Tx}(\text{dB}) - PEL + G_{Rx}(\text{dB}) - L_{Rx}(\text{dB}) - L_{cables}(\text{dB}) \quad (4)$$

Donde:

P_{RX} = Potencia recibida en dBm.

P_{TX} = Potencia del transmisor en dBm.

L_{RX} = Pérdidas de los circuitos de acoplamiento de la antena receptora en dB.

L_{TX} = Pérdidas de los circuitos de acoplamiento de la antena transmisora en dB

PEL = Pérdidas en espacio libre en dB.

L_{cables} = Pérdidas en el cable en dB.

G_{TX} = Ganancia de la antena transmisora en dB.

G_{RX} = Ganancia de la antena receptora en dB.

II.32. Margen de Desvanecimiento (M_f)

La diferencia entre la potencia de recepción (P_{RX}) y la sensibilidad del receptor (o umbral del receptor) da como resultado el margen de desvanecimiento “ M_f ”. Para calcular este parámetro se utiliza la siguiente fórmula:

$$M_f(dB) = P_{RX} - U_{RX} \quad (5)$$

Donde:

M_f = Margen de Desvanecimiento en dB.

P_{RX} = Potencia recibida en dBm.

U_{RX} = Umbral del receptor en dBm.

(Fernández, 2011)

II.33. Antena

Una antena recibe o transmite ondas electromagnéticas. Las antenas convierten una onda electromagnética procedente de una línea de transmisión en una onda plana propagada en el espacio. (Acuña, 2008)

II.33.1. Polarización

Es la orientación, en el tiempo, del campo eléctrico radiado. De acuerdo al comportamiento temporal de las componentes del campo con respecto a un punto fijo en el espacio puede ser lineal, circular o elíptica.

La polarización lineal puede ser vertical u horizontal, dependiendo de la orientación del vector campo eléctrico con respecto a la superficie de tierra o plano horizontal. (Carrero, 2006)

II.33.2. Patrón de Radiación

Es una gráfica espacial que muestra, en diferentes puntos del plano horizontal o vertical, diferentes intensidades de campo. Para la emisión y recepción se tiene el mismo patrón de radiación de la antena. (Acuña, 2008)

II.33.3. Ganancia de la Antena (G)

Viene dada en decibelios (dB). Es la ganancia de potencia en comparación con una antena isotrópica (antena que propaga energía en todas las direcciones con la misma energía). La ganancia de la antena varía entre 2 dBi para una antena integrada; 5 y 12 dBi para una antena omnidireccional; 12 y 15 dBi para una antena sectorial y 21 y 30 dBi para una parabólica. (Marquéz & Moure, 2007).

II.34. Indisponibilidad por Equipos

Según Thorvaldsen & Henne (1999):

La confiabilidad viene dada por la capacidad de un equipo o sistema de no fallar por un periodo de tiempo determinado. La disponibilidad (D) se define como la probabilidad que el sistema se encuentre trabajando en forma satisfactoria y equivale a:

$$D = 1 - I \quad (6)$$

$$\text{Indisponibilidad} = I = \frac{MTTR}{MTBF} \quad (7)$$

Donde,

- MTTR: *Mean Time To Repair* (tiempo esperado antes de que la falla sea reparada).
- MTBF: *Mean Time Between Failures* (tiempo medio entre fallas).

La indisponibilidad de un radioenlace queda definida como la suma de la indisponibilidad del equipo transmisor más la del equipo receptor:

$$I_{Radioenlace} = I_{Tx} + I_{Rx} \quad (8)$$

Donde:

I_{Tx} : Indisponibilidad del equipo transmisor.

I_{Rx} Indisponibilidad del equipo receptor.

(Universidad Politécnica de Madrid)

Para determinar la indisponibilidad de un sistema redundante del tipo $n + 1$, se tiene la siguiente fórmula:

$$N_{n+1} \approx \frac{n+1}{2} \cdot N^2 \quad (9)$$

Donde N es la indisponibilidad de un canal sin protección. (Thorvaldsen & Henne, 1999)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta una justificación y descripción de los procedimientos utilizados para alcanzar el cumplimiento de los objetivos planteados en este Trabajo Especial de Grado. Se esboza un plan de investigación compuesto por cinco fases, las cuales se mencionan en la figura que se muestra a continuación:

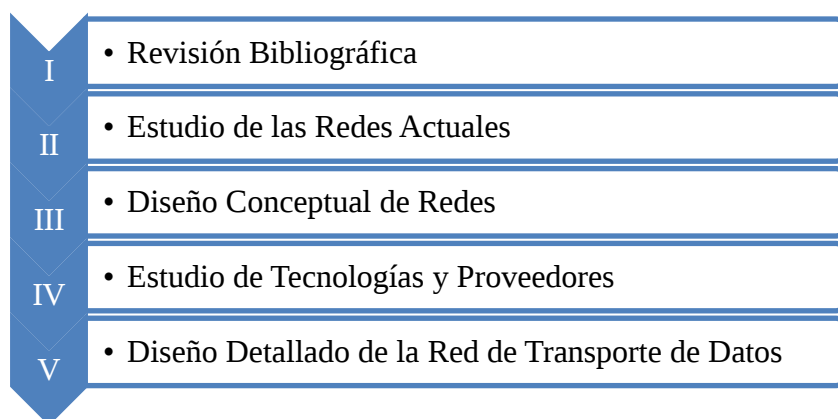


Figura 7: Fases metodológicas.

Fuente: Elaborado por las autoras.

III.1. Revisión Bibliográfica

Esta fase consistió en la búsqueda de información relacionada a: topologías de red, redes de transporte de datos, tecnologías de transporte de datos, red privada virtual (VPN), sistema de distribución inalámbrico (WDS), radioenlaces punto a punto y punto multipunto, sistemas y servicios de transporte inteligente (ITS), entre otros.

III.2. Estudio de las Redes Actuales

En esta fase se realizó el estudio de las tecnologías (dispositivos y sus especificaciones técnicas) y topologías utilizadas actualmente en la empresa; de igual forma se analizaron los resultados de estudios anteriores realizados sobre una red desplegada. Se evaluó el ancho de banda entre dos puntos, en función del número de enlaces consecutivos, desde el punto de vista de rendimiento.

III.3. Diseño Conceptual de Redes

Esta fase consistió en determinar las características y requerimientos técnicos de cada producto de la empresa. Esto permitió elaborar por lo menos un diseño de red de transporte de datos ajustado a cada uno. Para cada producto se asignó un caso de implementación. El diseño conceptual de redes incluyó la especificación de una topología adecuada y la caracterización de los enlaces.

III.4. Estudio de Tecnologías y Proveedores

En esta fase se investigaron las tecnologías aplicables a los enlaces diseñados, que se adapten a los requerimientos técnicos. De igual manera, se recopiló información de los dispositivos (radios, enrutadores, equipos de red) disponibles en el mercado nacional e internacional para tal fin, levantando los datos asociados a las especificaciones técnicas y los costos. También se identificaron proveedores de enlaces dedicados de internet de diversas tecnologías (WiMAX, celular 2G y 3G, ATM, Frame Relay), registrando las especificaciones técnicas y sus costos. Por último, se presentó en cuadros comparativos la información levantada.

Para realizar la selección de los equipos, fue necesario considerar el hecho de que estarían ubicados en la intemperie, por lo que debían ser capaces de soportar condiciones extremas.

III.5. Diseño Detallado de la Red de Transporte de Datos

En esta fase, para los cuatro productos de estudio, se realizó un diseño detallado de la red, de acuerdo a los diseños conceptuales y a la información, de tecnologías y proveedores, levantada. El diseño debió cumplir con los requerimientos técnicos de cada producto y un cierto nivel de calidad al menor costo posible. El diseño estuvo definido por siete elementos según el caso de estudio presentado en cada producto: selección de frecuencia de operación, topología y tecnología, equipos a emplear, cálculos teóricos y prácticos, redundancia, inversión total del proyecto y cálculos de indisponibilidad por equipos. Se realizaron los cálculos teóricos y las simulaciones de los enlaces para cada uno de los casos de estudio, haciendo uso del *software* de simulación Radio Mobile.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO Y RESULTADOS

IV.1. Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica se basó en el estudio de los conceptos esenciales para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, como lo son: las tecnologías de transporte, enlaces microondas punto a punto y punto multipunto, topologías de redes, línea de vista, Zona de Fresnel, enlaces microondas, entre otros conceptos relacionados con el tema. Las fuentes consultadas fueron libros, trabajos de grado, artículos y documentos de páginas *web*. También se realizó el levantamiento de información sobre la empresa y sus productos a través de su página *web*.

Los resultados de esta fase se presentan en la realización del marco teórico, abarcan el Capítulo II de este Trabajo Especial de Grado, logrando así tener los conceptos y definiciones que fundamentaron este proyecto.

IV.2. Estudio de las Redes Actuales

En los servicios que ofrece la empresa, el conjunto de protocolos TCP/IP es el utilizado para todas las soluciones de transporte de datos. Las estaciones semaforizadas utilizan el estándar IEEE 802.11a para establecer las diferentes comunicaciones.

Las topologías utilizadas en los diferentes servicios de la empresa se caracterizan por ser totalmente híbridas. Se combinan diferentes topologías, entre las cuales destacan las de tipo bus y estrella.

Los estudios analizados en esta fase se basaron en la medición de parámetros como la potencia de recepción y ancho de banda, utilizando la técnica de inundación de la red; en una red desplegada por la empresa de la cual, por razones de confidencialidad, no se puede revelar su ubicación ni el tipo de servicio que ofrece.

Los dispositivos utilizados en los estudios analizados fueron radios que se caracterizan por:

- Operar en las frecuencias de 5 GHz y 2,4 GHz.
- Ofrecer un ancho de banda teórico de hasta 54 Mbps (802.11a).
- Punto de acceso inalámbrico de largo alcance, resistentes a la intemperie.
- Encriptación (WEP 64/128 bits, WPA, WPA2).

En dichos estudios se pudo observar que en la mayoría de los enlaces hubo línea de vista, razón por la cual se obtuvo una potencia de recepción mayor en comparación con aquellos pocos enlaces, de distancias similares, donde se encontró un obstáculo en la primera zona de Fresnel. La potencia de recepción fue un parámetro sumamente importante en el desarrollo de esta investigación, ya que permitió establecer la calidad de un enlace.

Los enlaces entre las radios se pueden hacer en modo WDS o en modo *Access Point/Client Bridge*. La configuración del modo *AP/Bridge* realiza un puente entre las redes cableadas y las inalámbricas, permitiendo la comunicación entre los equipos de su celda de cobertura con otras redes. La conexión cableada está representada por la conexión Ethernet entre una radio configurada en modo *AP* y otra configurada en modo *Bridge*. Es por ello que para esta configuración se requieren dos radios por estación.

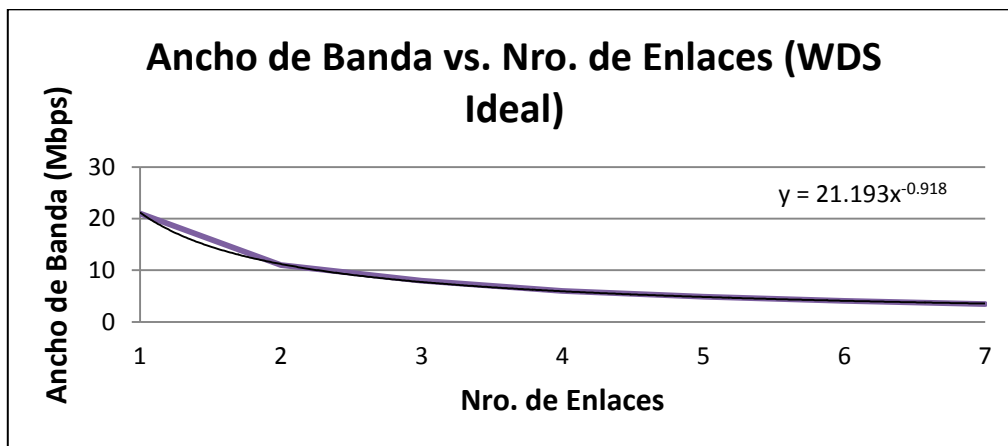
Para que las radios puedan establecer una comunicación trabajando en modo WDS, deben soportar esta función y deben configurarse en el mismo canal. De igual modo, se requiere configurar la dirección MAC de los dispositivos con que se vaya a conectar.

Sin embargo, con el uso de la tecnología WDS por cada salto de repetición el rendimiento inalámbrico disminuye alrededor de un 50%. Esto se debe a que las transmisiones utilizan el mismo canal de radiofrecuencia; también se debe tomar en cuenta el tráfico generado por el uso de la tecnología CSMA/CA, ya que se requiere una confirmación por parte del *AP* para poder transmitir.

Con los datos obtenidos de estos estudios se elaboraron tres gráficas, con las que se caracterizó el ancho de banda entre nodos adyacentes; y entre nodos separados por varios enlaces en cascada, en función del número de enlaces consecutivos. El análisis de los resultados de estos estudios se menciona a continuación:

IV.2.1. Modo WDS (Caso Ideal)

- ✓ En la primera prueba estudiada, realizada con las radios en modo WDS, la curva descrita por la caída del ancho de banda fue potencial, disminuyendo un 50% en los dos primeros enlaces; en la medida que se agregan más dispositivos a la red el ancho de banda se reduce gradualmente. La función que mejor describe el comportamiento mencionado es $y = 21,2x^{-0.918}$. Con esta prueba se representó el caso ideal, donde existe línea de vista en todos los enlaces, permitiendo de esta manera que las radios alcancen una potencia de recepción mayor a los -53dBm. Todo esto se traduce en buenos resultados en cuanto a capacidad efectiva. (Ver Gráfica 1)

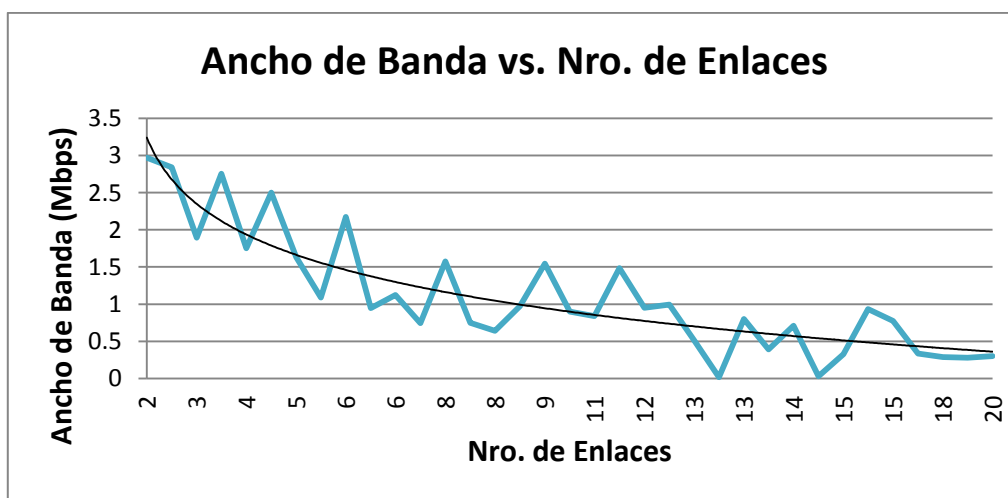


Gráfica 1: Ancho de Banda vs. Número de Enlaces.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.2.2. Modo WDS (Caso Práctico)

- ✓ La caída del ancho de banda está directamente relacionada a la cantidad de enlaces que existe desde una estación semaforizada hasta la sala central. Se registró la mayor caída en los primeros dos enlaces y, a partir de allí, se mantuvo relativamente constante respecto a la línea de tendencia. Comparando estos resultados con los del caso ideal, se puede apreciar la gran diferencia entre ellos. Estos resultados se deben a la topología implementada, es por ello que se obtienen caídas tan abruptas del ancho de banda. (Ver Gráfica 2)



Gráfica 2: Ancho de Banda vs. Número de Enlaces (Caso práctico).

Fuente: Elaborado por las autoras.

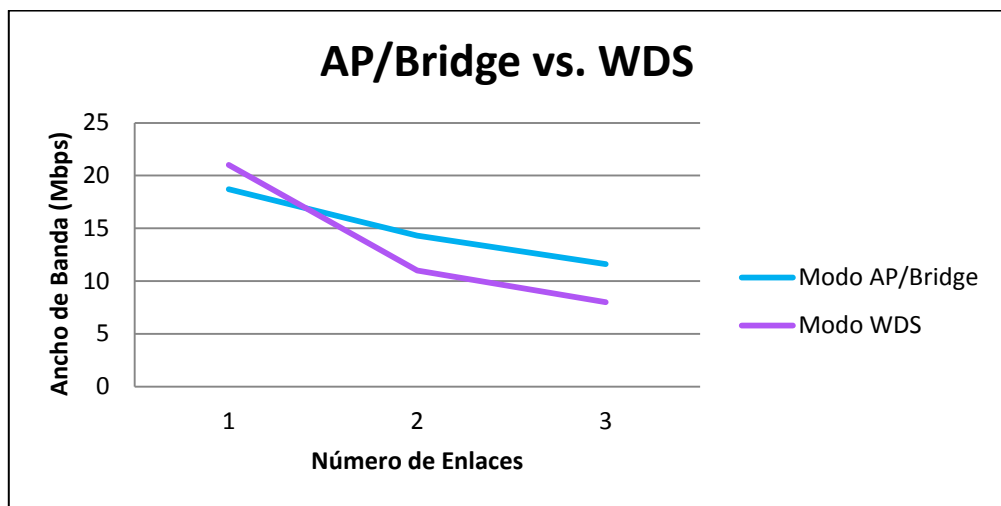
IV.2.3. Modo WDS vs. AP/Bridge

- ✓ Con el modo AP/Bridge se obtuvo una mejora en el rendimiento, de aproximadamente un 30% en comparación con el modo WDS; con el inconveniente que en cada intersección semaforizada se necesitará una radio por cada enlace, en lugar de tener una única radio configurada con el modo WDS.

La principal razón de tal mejora radica en que con el modo AP/Bridge se puede establecer un enlace punto a punto entre una radio configurada como *Access Point* y otra como cliente *Bridge*, en el cual influye que la capacidad

de procesamiento de cada tarjeta de red se dedique a una función en específico, mejorando así el desempeño del enlace. En cambio, en modo WDS la tarjeta de red de la radio asume los roles tanto de *Access Point* como de *Client Bridge* y, adicionalmente, todas las transmisiones que llegan a este enlace deben ser retransmitidas (funcionando como un repetidor), reduciendo el ancho de banda a la mitad.

- ✓ Asimismo, se pudo observar que para el modo *AP/Bridge*, el ancho de banda cae cerca de un 20% al primer salto, ya para el segundo se disminuye el rendimiento en un 15%. Mientras que con el modo WDS se pudo apreciar que la pérdida del ancho de banda en el primer salto se sitúa alrededor del 50%; el rendimiento va disminuyendo paulatinamente, siendo más notable la caída en los dos primeros enlaces (entre un 40% y un 50%). (Ver Gráfica 3).



Gráfica 3: Modo AP/Bridge vs. Modo WDS.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.2.4. Pruebas con UDP

- ✓ Por último se estudiaron resultados arrojados por pruebas realizadas utilizando el protocolo de transporte UDP. Estos resultados, como era de esperarse,

fueron satisfactorios y el tiempo de respuesta a los comandos era menor. Esto se debe a que el protocolo TCP es orientado a conexión y tiene más bits de control en su cabecera lo cual requiere un mayor procesamiento; mientras que el protocolo UDP no es orientado a conexión, por ende el procesamiento que exige es mucho menor, ofreciendo una mejora en la comunicación en tiempo real.

En definitiva, se puede observar que el ancho de banda decae a medida que aumenta la cantidad de enlaces consecutivos, utilizando este tipo de topología. Se obtiene una mejora al utilizar una configuración en modo *AP/Bridge* sobre la configuración en modo WDS ya que cada tarjeta de red está dedicada a una actividad en específico; sin embargo, se requieren dos radios por nodo. Estos resultados podrían presentar una mejora significativa utilizando otro tipo de topología híbrida y el protocolo de transporte UDP. Estas conclusiones fueron base fundamental en los diseños de las redes de transporte de datos para cada uno de los productos de la empresa.

IV.3. Diseño Conceptual de Redes

Para cada uno de los casos de estudio, de los cuatro productos de la empresa, se determinaron las características, requerimientos técnicos y las posibles tecnologías de comunicación. Dependiendo del caso, se elaboró un diseño de red de transporte de datos utilizando los servicios ofrecidos por los proveedores y un diseño de red de transporte con infraestructura propia.

IV.3.1. Producto 1. Sistema Centralizado de Gestión de Semáforos

Sistema para el control y monitoreo remoto de semáforos desde una sala central. Cada intersección semaforizada es manejada por un controlador de semáforos. Este sistema permite manejar los controladores de semáforos de manera remota y centralizada.

Entre cada controlador de semáforos y la sala central debe existir una conexión de datos de al menos 64 kbps (garantizado). La interfaz física del controlador de semáforos y la computadora en la sala central es Ethernet 100BaseTX.

El caso de estudio se basó en el despliegue del sistema en nueve intersecciones semaforizadas en la urbanización Las Mercedes. Por razones de confidencialidad no se mencionará en detalle la ubicación de las intersecciones y la sala central.



Figura 8: Ubicación de las intersecciones semaforizadas del Producto 1 en Google Earth.

Fuente: Elaborado por las autoras.



Figura 9: Ubicación en Google Earth del Producto 1.

Fuente: Elaborado por las autoras.

En este producto, para la red de acceso se propuso utilizar una topología tipo estrella, en donde las intersecciones semafóricas se conectarán de manera inalámbrica a un punto de acceso central, ubicado a una distancia promedio de los nodos extremos (nodo uno y nodo nueve). El enlace principal será punto a punto, en un extremo se tendrá el punto de acceso central y en el otro la sala central. Se propusieron dos escenarios para dicho enlace:

- ✓ Escenario 1: utilizando una infraestructura propia con tecnología inalámbrica. La cantidad de repetidores necesarios estará sujeta a la ubicación y a la distancia de separación entre el punto de acceso central y la sala central. (Ver Figura 10)
- ✓ Escenario 2: utilizando los servicios ofrecidos por los proveedores. (Ver Figura 11)

Cada nodo requiere una tasa mínima de transmisión de 64 kbps. Al ser nueve nodos, el ancho de banda total demandado en el enlace punto a punto (Punto de acceso central-Sala Central) sería:

$$BW = 9 * 64kbps = 576kbps$$

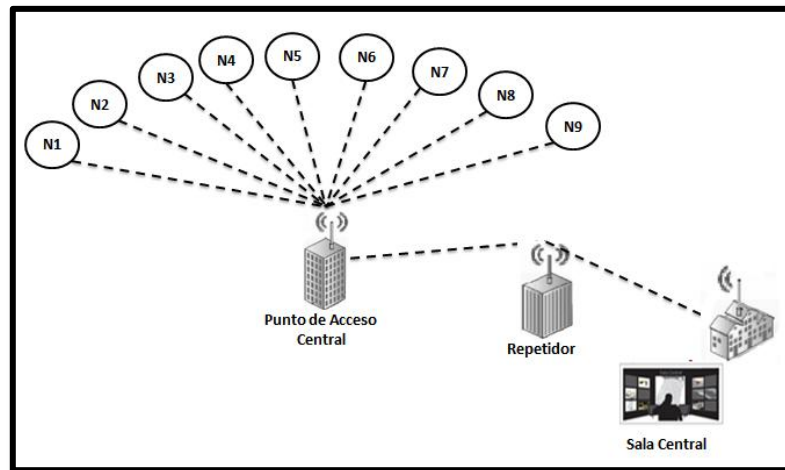


Figura 10: Escenario 1 del Producto 1.

Fuente: Elaborado por las autoras.

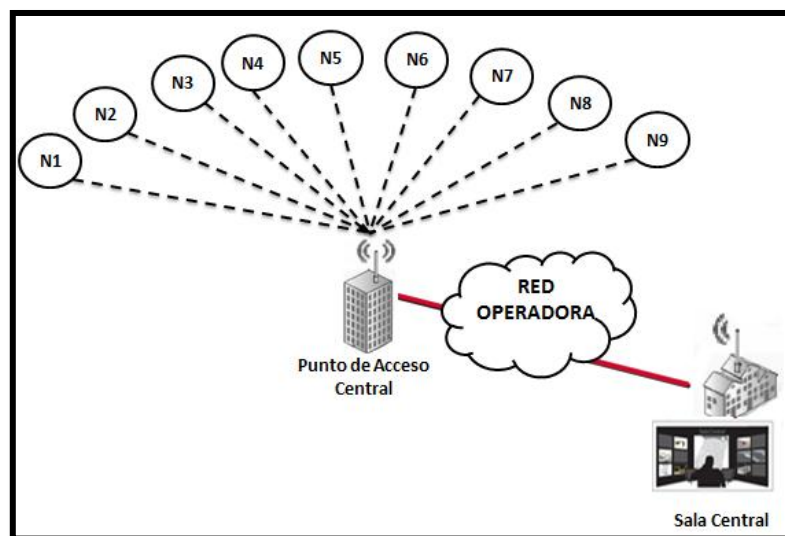


Figura 11: Escenario 2 del Producto 1.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.3.2. Producto 2. Sistema de Información de Tráfico

Sistema telemétrico para la recolección remota de datos de tráfico. En cada punto de recolección existe un dispositivo de red que reporta los datos a una sala central.

Entre cada dispositivo de red y la sala central debe existir una conexión de datos de al menos 64 kbps (garantizado). La interfaz física del dispositivo de red en cada punto de recolección y la computadora en la sala central es Ethernet 100BaseTX.

Este caso de estudio consistió en la recolección de datos de tráfico en tres distribuidores de la Autopista Regional del Centro. Los distribuidores son:

1. Distribuidor Tejerías.
2. Distribuidor La Encrucijada.
3. Distribuidor San Joaquín.
4. Sala Central: Sede del INTT en la California, Caracas.

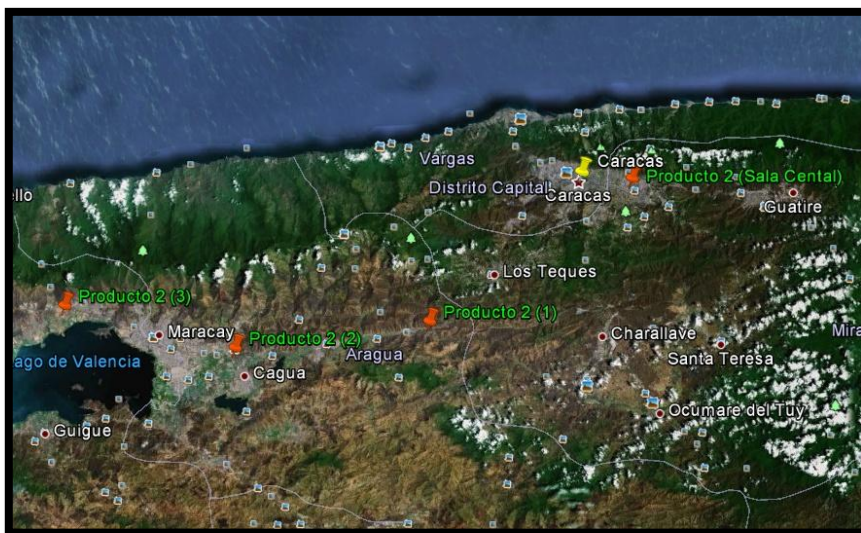


Figura 12: Ubicación en Google Earth del Producto 2.

Fuente: Elaborado por las autoras.

Los nodos están compuestos por sensores que se encargan de traducir las imágenes en datos, los cuales serán enviados en tiempo real a la sala central para que

sean analizados. Por la naturaleza del tráfico se debe cumplir un compromiso en el tiempo de entrega de la información. Debido a las grandes distancias que separan a los nodos y estos, a su vez, de la sala central, se propuso una única solución. La misma consistió en utilizar un enlace contratado a una tasa de bits constante (CBR) o variable (VBR). (Ver Figura 13)

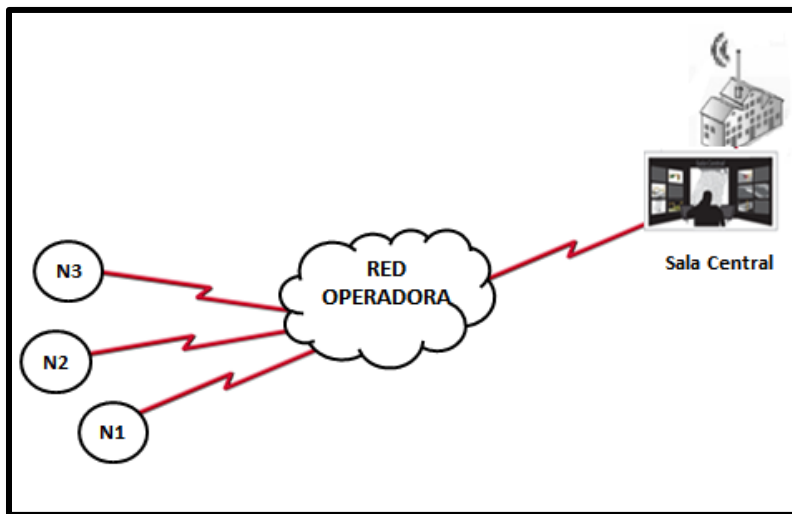


Figura 13: Escenario propuesto del Producto 2.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.3.3. Producto 3. Circuito Cerrado de Visualización de Tráfico

Visualización de imágenes de tráfico desde una sala central. Involucra el despliegue de cámaras en los puntos a monitorear y el transporte de sus imágenes a la sala central.

Entre cada cámara y la sala central debe existir una conexión de datos de al menos 1 Mbps. La interfaz física de las cámaras y la computadora en la sala central es Ethernet 100BaseTX.

El caso de estudio fue el despliegue del sistema en cinco intersecciones semaforizadas de la Av. Libertador en el municipio Chacao. Cada intersección tendrá una cámara. Las intersecciones son:

1. Av. Libertador con Av. Principal de Bello Campo.
2. Av. Libertador con cruce peatonal del CC Sambil.
3. Av. Libertador con Calle Élice.
4. Av. Libertador con calle La Joya.
5. Av. Libertador con Av. El Retiro.
6. Sala Central: Distribuidor Veracruz de la Autopista Francisco Fajardo.



Figura 14: Ubicación en Google Earth del Producto 3.

Fuente: Elaborado por las autoras.

El tipo de tráfico requiere que se cumpla con un compromiso en la entrega de la información y que la tasa de bits sea constante (CBR), ya que se trata de una secuencia de imágenes transmitida en tiempo real.

Para la red de acceso se propuso una topología tipo estrella. La conexión entre los nodos y el punto de acceso central será de forma inalámbrica. El punto de acceso central también se conectará de forma inalámbrica con la sala central. No se tomaron

en cuenta los enlaces contratados debido a la cercanía de las intersecciones semaforicas. (Ver Figura 15)

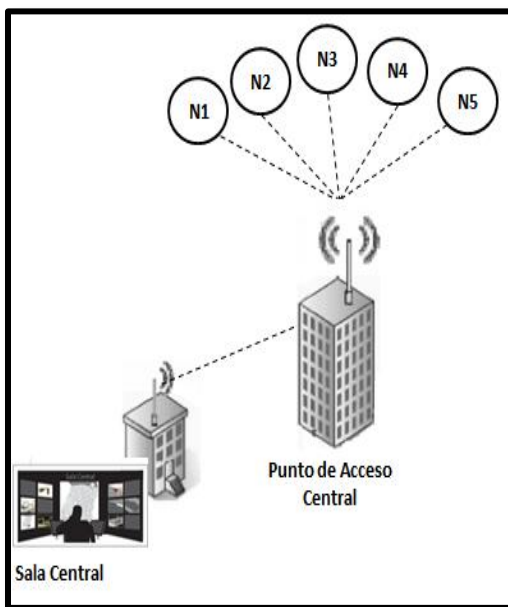


Figura 15: Solución propuesta del Producto 3.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.3.4. Producto 4. In Traffic In-Situ

Consiste en la publicación del tiempo de viaje de un tramo vial determinado. El destino de la información son los conductores en las vías, de forma que la publicación se realiza mediante una pantalla electrónica ubicada en el sitio. La pantalla es controlada remotamente desde una sala central.

La entrada y salida del tramo vial contienen equipos de red que deben estar comunicados con una sala central. Estos dispositivos son centralizados, en la entrada y salida, por un conmutador Ethernet. Entre cada conmutador Ethernet y la sala central, debe existir una conexión de datos de al menos 64 kbps (garantizados). La interfaz física del conmutador Ethernet y la computadora en la sala central es Ethernet 100BaseTX.

El caso de estudio consiste en el despliegue del sistema en el VAO de la Autopista Prados del Este en Caracas. El punto de entrada del sistema es la entrada del VAO a la altura de Los Campitos. El punto de salida del sistema (salida VAO) y la sala central se encuentran el distribuidor Ciempiés de la Autopista Prados del Este.

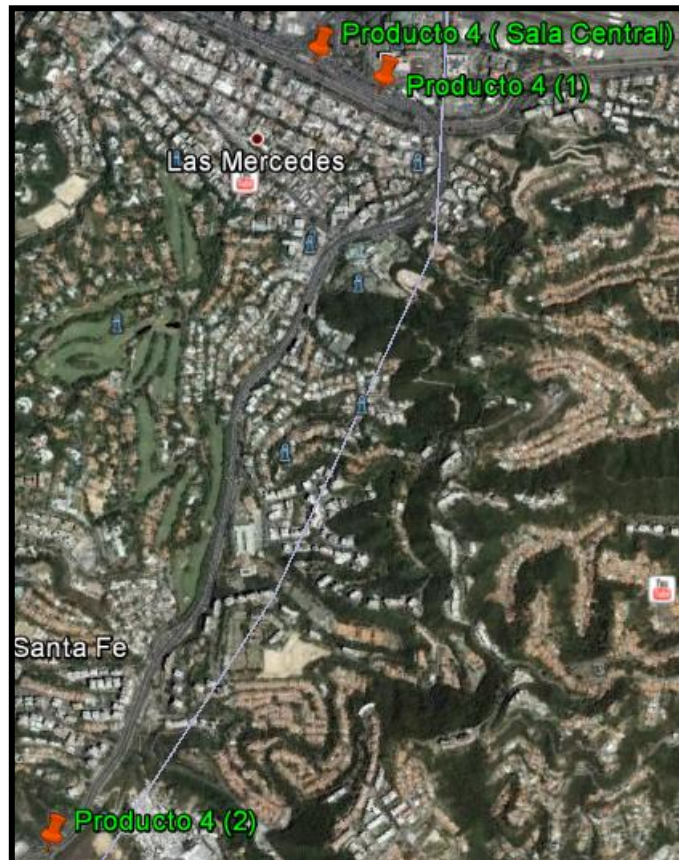


Figura 16: Ubicación en Google Earth del Producto 4.

Fuente: Elaborado por las autoras.

En este servicio, los sensores (que se encargan de traducir las imágenes en datos) enviarán constantemente datos a la sala central para que sean analizados; la información obtenida del análisis será retransmitida a los nodos de origen para su visualización en pantallas, en tiempo real.

- ✓ Escenario 1: para el transporte de los datos captados por los sensores se propuso como una opción de implementación, establecer enlaces punto a punto a una tasa de bits constante (CBR), desde cada nodo hacia la sala central mediante un enlace contratado; ya que el tipo de tráfico así lo requiere. (Ver Figura 17)
- ✓ Escenario 2: se propuso una red basada en infraestructura propia, específicamente una topología tipo bus. Tanto los nodos como la sala central se conectarán de forma inalámbrica. La cantidad de repetidores variará dependiendo de la distancia entre los nodos más distantes (nodo uno y nodo dos) y los obstáculos que se pudieran encontrar entre ellos. (Ver Figura 18)

Cada nodo requiere una tasa mínima de transmisión de 64 kbps. Al ser dos, el ancho de banda total demandado en el enlace Nodo Uno – Sala Central, sería:

$$BW = 2 * 64Kbps = 128Kbps$$

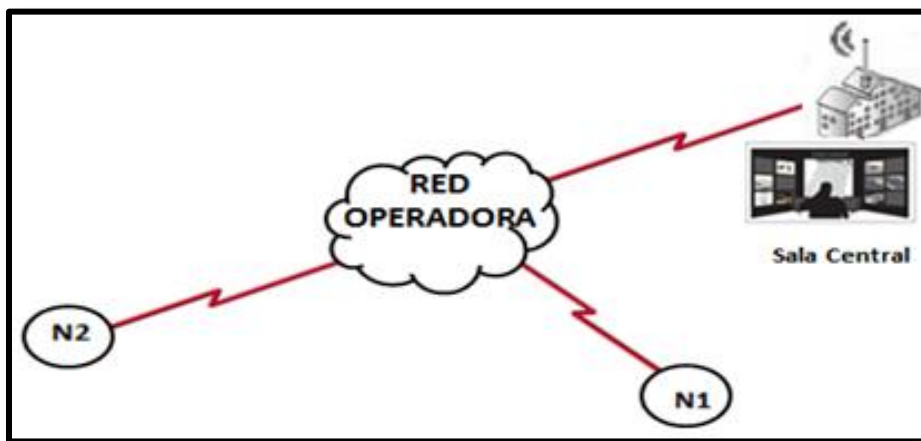


Figura 17: Escenario 1 del Producto 4.

Fuente: Elaborado por las autoras.

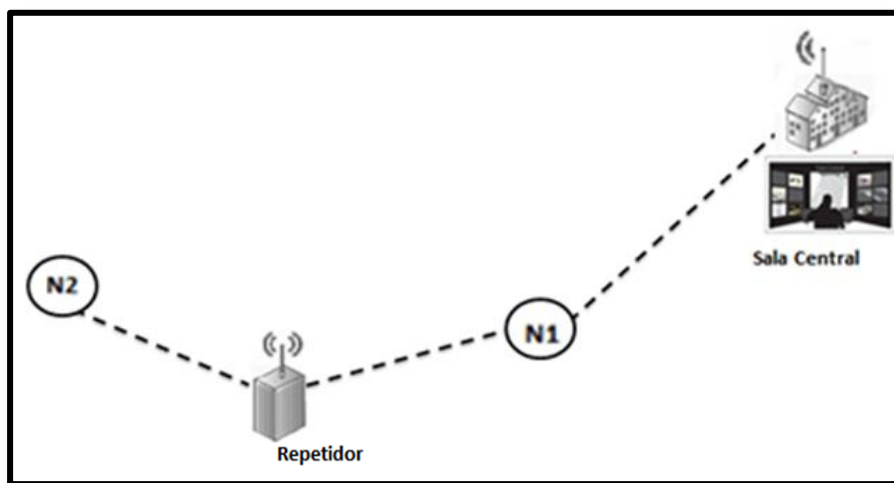


Figura 18: Escenario 2 del Producto 4.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.4. Estudio de Tecnologías y Proveedores

Conocidos los requerimientos técnicos de los cuatro productos de estudio, se procedió a investigar sobre los servicios ofrecidos por los diferentes proveedores de servicios existentes en el país, como lo son: Movistar, CANTV, Digitel, ITM Telecom, entre otros.

Se estudiaron las posibles tecnologías aplicables a los enlaces para cada producto. Se consideraron las ventajas, desventajas y los parámetros más importantes de las siguientes tecnologías: WiFi, WiMAX, 2G, 3G, Metro Ethernet y Frame Relay. Se realizaron cuadros comparativos, que permitieron respaldar la elección de la tecnología en la fase de diseño detallado, para cada uno de los casos. Estos resultados están reflejados en las tablas 4 y 5.

La elección de los servicios se basó en la tasa de transmisión requerida en cada uno de los casos de estudio, las cuales varían entre 64 kbps y 1 Mbps, siendo un factor determinante el costo asociado a cada uno. Esta investigación puede verse reflejada en el Anexo A.

Tabla 3: Comparación de tecnologías inalámbricas.

Tecnología	WiFi	WiMAX	2G	3G
Banda de Frecuencia	2,4 GHz 5 GHz	Licenciadas y no licenciadas desde 2 GHz hasta 11 GHz	800 MHz 1800 MHz 1900 MHz	1900 MHz 2100 MHz
Técnicas de Duplexación	<i>Half-Duplex</i>	TDD, FDD	FDD	FDD, TDD
AB del Canal	20 – 40 MHz	1 – 40 MHz	200 kHz	5 MHz
Tasa de Transmisión	54 Mbps	100 Mbps	114 kbps	2 Mbps
Throughput	36 Mbps	75 Mbps	22 kbps	1,8 Mbps
Encriptación	WPA, WEP	x.509 con DES en modo CBC	GEA	-
Modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	GMSK	QPSK – 16QAM
Tecnología de Radio	OFDM, DSSS, FHSS	OFDM	TDM/FDM	CDMA
Tecnología de Acceso	CSMA/CA	OFDMA	TDMA/FDMA	CDMA, WCDMA
Banda Licenciada	No	Sí/No	Sí	Sí

Fuente: Elaborado por las autoras.

Tabla 4: Ventajas y desventajas de Metro Ethernet y Frame Relay.

Tecnología	Características
Frame Relay	- Definido para velocidades de hasta 1,544/2,048 Mbps. - Bajo retardo de red y alta conectividad. - Puede manejar un gran flujo de información sin necesidad de incrementar la capacidad del canal que se utiliza. - Adecuado para datos a ráfagas. - Es menos costosa que las redes WAN tradicionales, mediante el uso de menos equipos, menos complejidad y una implementación más fácil. - No es adecuado para aplicaciones en tiempo real debido a la variación al retardo.

Metro Ethernet	• No garantiza la entrega de los datos.
	• Alcanza velocidades desde 10 Mbps hasta 10 Gbps.
	• Alta fiabilidad.
	• Permite modificar y manipular de una manera más dinámica, versátil y eficiente, el ancho de banda y la cantidad de usuarios en corto tiempo.
	• Bajo costo en la instalación, administración, operación y funcionamiento de la red.
	• Facilidad de uso e instalación.
	• Las tecnologías ópticas permiten transportar Ethernet a grandes distancias.

Fuente: Elaborado por las autoras.

Entre los proveedores de dispositivos estudiados para tecnología WiFi se encuentran: EnGenius, industria de comunicaciones inalámbricas y tecnología de radiofrecuencia, fundada en 1999; y Ubiquiti Networks, compañía de comunicaciones de próxima generación fundada en 2005 y ubicada en Estados Unidos, con una plataforma tecnológica constituida por AirMax, airFiber, Unifi, y airVision. Mientras que para WiMAX se estudiaron los dispositivos Alvarion, empresa fundada en Tel Aviv, Israel, en 1992, que provee soluciones, principalmente para el acceso de última milla, a proveedores de servicios de internet y operadores de redes privadas; algunos de los productos que ofrecen son: BreezeULTRA, BreezeMAX y BreezeACCESS. Los resultados de esta fase pueden verse en los Anexos A, B y C.

IV.5. Diseño Detallado de la Red de Transporte de Datos

El desarrollo de este capítulo tendrá la siguiente secuencia para cada uno de los productos:

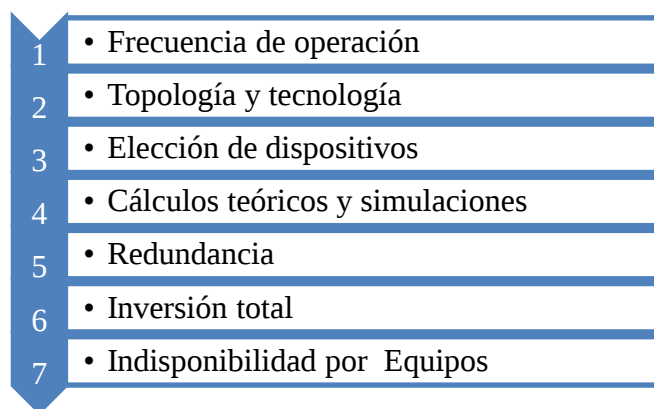


Figura 19: Esquema del diseño detallado de cada producto.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.5.1. Comparación de Tecnologías

WiFi es una tecnología muy conocida y utilizada masivamente, ya que opera en frecuencias de uso libre (2,4 GHz y 5 GHz), es implementada principalmente para acceder a internet y en otras ocasiones es utilizada como una tecnología de transporte de datos privados. La popularización de esta tecnología trajo como consecuencia la reducción del costo de los dispositivos WiFi.

Existen cuatro estándares y cada uno de ellos ofrece diversas tasas de transmisión, llegando a alcanzar los 600 Mbps. También proporciona calidad de servicio denominada WMM (Wi-Fi Multimedia), priorizando la transmisión de los diferentes tipos de servicios sin garantizar el ancho de banda. Esta tecnología se ve afectada por los efectos multitrayectos y, para poder establecer los enlaces, se debe garantizar la línea de vista entre los nodos.

El método de acceso al medio que utiliza la tecnología WiFi es CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access and Collision Avoidance*), que consiste en “escuchar”

el medio para saber si está ocupado y, de esta manera, evitar que dos nodos transmitan simultáneamente, ocasionando colisiones. Este método de acceso al medio trae consigo el problema del nodo oculto, que es ocasionado cuando los nodos de la red no se pueden “ver” entre sí y son incapaces de detectar la portadora. En un entorno *outdoor*, donde los nodos utilizan antenas altamente direccionales y están separados por cientos de metros entre sí, el problema del nodo oculto empeora; influyendo negativamente en el rendimiento de la red, ya que el retardo y el consumo innecesario de ancho de banda, producidos por las colisiones que pudieran ocurrir, afectarían el servicio que se esté ofreciendo. Se pueden utilizar protocolos de encriptación y autenticación para garantizar la integridad de los datos transmitidos.

La tecnología WiMAX opera en bandas licenciadas y no licenciadas. Ofrece mejoras en cuanto al trato de los datos, ya que los prioriza según su tipo (QoS) y garantiza el ancho de banda, caso contrario a WiFi. WiMAX es una tecnología relativamente nueva en este país, por lo tanto no es utilizada masivamente y los dispositivos requeridos son mucho más costosos. Una sola estación base de WiMAX puede prestar servicio a varios cientos de suscriptores, por lo tanto se recomienda que el uso de esta tecnología esté debidamente justificado, ya que la inversión requerida es muy grande y se podría estar sobredimensionando el sistema inútilmente.

Como técnica de multiplexación utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*); esta técnica consiste en dividir un canal de frecuencia en un número determinado de bandas de frecuencia y cada una de esas bandas transmite una subportadora, se puede llegar a transmitir hasta 256 subportadoras. Entre los beneficios más importantes que brinda esta técnica de multiplexación se encuentran: el uso eficiente del ancho de banda del canal, buena respuesta contra la distorsión multitrayecto, permite sistemas sin línea de vista (NLOS), aumento de la tasa de transmisión al dividir el canal en subportadoras y también, debido a esto, presenta un desvanecimiento selectivo en frecuencia casi plano, situación que no sucede con WiFi; entre otros. Se implementa el uso de la modulación adaptativa, que permite escoger el orden de modulación de acuerdo a las condiciones del canal. El método de acceso al medio, OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*),

combina la multiplexación por división de tiempo (TDMA) y la multiplexación por división de frecuencia (FDMA). La capa MAC de WiMAX no admite algoritmos aleatorios de acceso al medio, evitando que se presenten colisiones entre nodos que transmitan simultáneamente y aprovecha al máximo el medio físico, disminuyendo los intervalos de silencio. Los nodos no pueden transmitir sino hasta que la estación base lo permita, ya que es la encargada de controlar el acceso al medio. La transmisión es realizada en tramas de longitud constante perfectamente organizadas por la estación base, garantizando la ausencia de colisiones y silencios. WiMAX también garantiza la privacidad, autenticidad y confidencialidad de los datos, mediante el uso de protocolos de encriptación y de autenticación.

Con la tecnología WiMAX se tienen muchas ventajas en cuanto a la calidad de servicio y el método de acceso al medio, que evita el problema del nodo oculto; sin embargo, los dispositivos WiFi de Ubiquiti implementan AirMax, el cual es un protocolo de acceso al medio y priorización, desarrollado por Ubiquiti, que resuelve el problema del nodo oculto. A continuación se detallan algunas de las características más resaltantes de AirMax:

- El protocolo está basado en TDMA (*Time Division Multiple Access*), diseñado específicamente para aplicaciones en exteriores donde los clientes solo “ven” el punto de acceso. Previnendo el problema del “nodo oculto” y, de esta manera, evitando colisiones innecesarias.
- Ofrece prioridad a los paquetes de voz y video y “preferencia” a los clientes que están activos, frente a los inactivos. En una red a gran escala, esto se traduce en una menor latencia.
- Ofrece tasas de transmisión reales de hasta 150 Mbps para enlaces punto a punto y de hasta 100 Mbps para enlaces punto a multipunto. Esto se debe a que el protocolo está basado en la tecnología de radios MIMO (1x1 y 2x2).

En cuanto a la velocidad de transmisión, WiMAX puede llegar hasta los 100 Mbps; mientras que el estándar 802.11n, puede llegar hasta los 600 Mbps, y si se

utiliza una tasa de bits menor y una modulación de menor orden, se robustece el enlace de comunicación.

Para las soluciones de infraestructura propia, en donde se implemente la tecnología WiFi, se propone utilizar el estándar 802.11n ya que posee una mayor tasa de transmisión respecto a los otros estándares y ofrece un mayor ancho de banda de canal (40 MHz). En este estándar se implementa el uso de la tecnología MIMO, la cual permite operar con varios flujos de datos, ampliando el rango de recepción de la señal; ofreciendo más robustez frente a interferencias.

De acuerdo a la tasa de transmisión requerida por los enlaces, se seleccionó la sensibilidad del dispositivo receptor, según las especificaciones técnicas del equipo dadas por el fabricante. Esto permite tener enlaces más robustos. Este análisis permitió utilizar en la red de acceso dispositivos con menor ganancia, ya que la sensibilidad se incrementa al disminuir la tasa de transmisión, y disminuir los costos.

Es importante resaltar que queda por parte de la empresa, en caso de llegar a implementar una solución de conectividad de infraestructura propia donde se deba hacer instalación de antenas en edificios, casas o construcciones en general; solicitar los permisos pertinentes. Por ejemplo, según la ordenanza N° 003-95 del municipio Chacao, artículo 3, lo primero que se debe hacer es interponer dicha solicitud ante la Dirección de Ingeniería Municipal, la cual deberá indicar, todos los extremos legales que se mencionan en el Anexo D.

IV.5.2. Producto 1. Sistema Centralizado de Gestión de Semáforos

IV.5.2.1. Selección de frecuencia de operación

Es importante recordar que el espectro electromagnético se encuentra dividido en bandas de frecuencias de radioenlaces, de acuerdo a las normas de los organismos reguladores de las comunicaciones a nivel mundial, en Venezuela es CONATEL.

De acuerdo al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF), se seleccionó la banda no licenciada de 5,8 GHz, comprendida entre 5.725 – 5.850 MHz, para realizar dichos enlaces, ya que esta banda no requiere la

solicitud de atribución de licencia lo que reduce el tiempo y el costo de instalación de la red.

Esta banda, al ser comparada con la banda de 2,4 GHz, posee un espectro menos congestionado ya que menos dispositivos operan a esta frecuencia; utilizando antenas direccionales y de mayor ganancia se mejora la calidad de la señal ante interferencias externas; posee un radio de Fresnel menor y un mayor ancho de banda. Sin embargo, es más intolerante a obstáculos dependiendo de la tecnología inalámbrica que se emplee, siendo estas WiFi o WiMAX.

IV.5.2.2. *Topología y tecnología*

Este producto posee una topología punto multipunto desde las estaciones semaforizadas hasta un punto de acceso central, de forma inalámbrica utilizando tecnología WiFi. Para el enlace principal, ante la posibilidad de tener una infraestructura propia o un enlace contratado, se optó por utilizar la primera opción; específicamente utilizando la tecnología inalámbrica WiFi, para no depender de ningún proveedor de servicios. Esta decisión se fundamenta principalmente en:

- Que se requiere una baja tasa de transmisión de datos desde los equipos terminales hasta el punto de acceso central (64 kbps) y desde éste hasta la sala central (576 kbps).
- La corta distancia de separación de los nodos con el punto de acceso central y la sala central.
- Las ventajas que ofrecen las redes inalámbricas utilizando esta tecnología con dispositivos adecuados.
- Las diferentes propuestas que hicieron llegar los proveedores de servicios, cuya cotización resultó ser más costosa que hacer la inversión en la compra de los dispositivos.

La ubicación del punto de acceso central fue muy importante. Al ser esta una zona con muchos edificios, lo primordial fue ubicar una estructura lo suficientemente alta para que existiera línea de vista con todos los nodos, característica de suma importancia al trabajar con WiFi. Es por ello que se escogió el Edificio Torreón,

ubicado en la avenida Veracruz de las Mercedes con una altura de 74 metros, el cual cumple con las características antes mencionadas.

Conocidas las limitaciones de alcance que posee la tecnología de elección, se propuso utilizar radios con antenas direccionales de alta ganancia, de manera tal que permitan alcanzar mayores distancias.

Debido a que la distancia de separación del punto de acceso central (AC) con la sala central es bastante larga, sin línea de vista, se ubicó un repetidor entre ambos extremos (AC-SC). Se plantea utilizar un punto de repetición en Baruta, el cual es utilizado actualmente en uno de los servicios de la empresa.

IV.5.2.2.1. Modo: Client Bridge / Access Point

Debido a que el nodo uno no posee línea de vista con el punto de acceso central, se estableció, como parte de la solución, la colocación de dos radios en un poste. Este poste se ubicará a 110 metros del nodo uno y a 1,22 kilómetros del punto de acceso central, en la avenida principal de las Mercedes. Se configurará una de las radios en modo *Access Point* (en dirección al nodo uno) y la otra en modo *Client Bridge* (en dirección al AC). Estas radios se conectarán vía Ethernet. Las demás radios de la red de acceso funcionarán en modo *Client Bridge*.

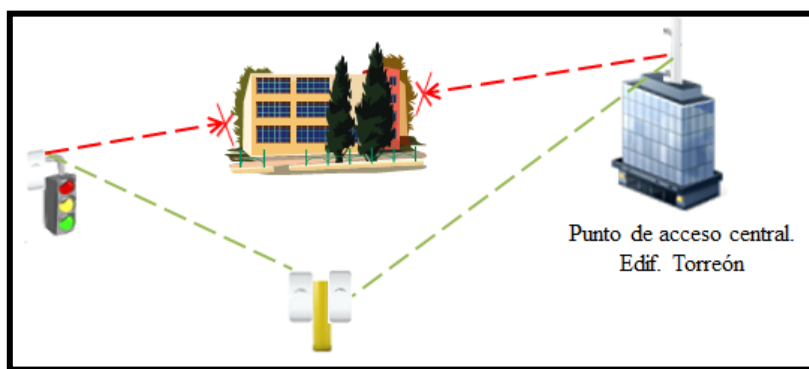


Figura 20: Solución al inconveniente de línea de vista del Nodo 1.

Fuente: Elaborado por las autoras.

En la siguiente tabla se muestra la distancia de separación de los enlaces:

Tabla 5: Distancia de los enlaces del Producto 1.

Enlace	Distancia (Km)
N1-Poste	0,11
Poste-AC	1,22
N2-AC	1,13
N3-AC	0,94
N4-AC	0,75
N5-AC	0,56
N6-AC	0,49
N7-AC	0,39
N8-AC	0,21
N9-AC	0,09
AC-RBa	4,68
RBa-SC	0,6

Fuente: Elaborado por las autoras.

Donde:

N: Nodo; AC: Punto de Acceso Central; SC: Sala Central; RBa: Punto de Repetición en Baruta.

IV.5.2.3. Elección de dispositivos

Una de las características más importantes en la selección de los dispositivos representó la banda de operación seleccionada anteriormente. Otro factor importante, específicamente en el caso de los radios, fue la potencia máxima de transmisión, la cual, de acuerdo a CONATEL, no debe ser mayor a 1W (30 dBm). Estas condiciones adicionalmente aplican para los demás productos que requieran la instalación de radios y antenas de infraestructura propia.

Se estudiaron varias soluciones en las que se consideraron algunos dispositivos Ubiquiti. Para los enlaces punto a punto se tomaron en cuenta los equipos Rocket M5 GPS con una antena RocketDish 5G-30; los dispositivos AirGrid M5, PowerBridge M5 y los NanoBridge M5-22. Para los enlaces punto a multipunto,

específicamente del lado del cliente, se plantearon los dispositivos NanoStation M5 y NanoStation Loco M5. En el Punto de Acceso Central, equipos Rocket M5 GPS con una antena sectorial 5G-16 y una antena sectorial 5G-19. Todos estos dispositivos utilizan como técnica de acceso al medio TDMA, ya que poseen la tecnología AirMax. Entre las combinaciones de dispositivos propuestas se destacan:

Tabla 6: Soluciones Producto 1.

	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2
NS1-Poste	NanoStation Loco M5	NanoStation Loco M5
NS	NanoStation Loco M5	NanoStation M5
Punto de Acceso Central (Rx)	RM5-GPS con sectorial 16 dBi 120°	RM5-GPS con sectorial 19 dBi 120°
Punto de Acceso Central (Tx)	PowerBridge M5	RM5-GPS con parabólica 30 dBi
Punto de Repetición Baruta (Rx)	NanoBridge M5-22	RM5-GPS con parabólica 30 dBi
Punto de Repetición Baruta (Tx)	NanoBridge M5-22	AirGrid M5 HP 23dBi
SC	NanoBridge M5-22	AirGrid M5 HP 23dBi
Costo total de los equipos	\$1498	\$2129

Fuente: Elaborado por las autoras.

En ambas soluciones, para el enlace entre el nodo uno y el poste, se utilizarán radios NanoStation Loco M5, estos dispositivos tienen una antena integrada de 13 dBi de ganancia y una potencia de transmisión de hasta 23 dBm. En la red de acceso, para la primera solución, los demás nodos utilizarán también las radios NanoStation Loco M5; mientras que para la segunda solución, en los nodos se utilizarán dispositivos NanoStation M5, los cuales poseen una ganancia de 14,6 dBi y una potencia de transmisión de hasta 27 dBm. En el otro extremo del enlace, para ambas soluciones, se tendrá una radio Rocket M5 GPS, con una antena sectorial externa de 16 dBi para la solución 1 y de 19 dBi para la solución 2; con una potencia de transmisión de 27 dBm. Ambas antenas tienen un ancho de haz de 120°.

Para el enlace entre el punto de acceso central y el punto de repetición, se utilizará, para la solución 1, un PowerBridge M5, dispositivo que posee una potencia de transmisión de 27 dBm y una ganancia de 24,8 dBi; y un NanoBridge M5-22, dispositivo que posee una potencia de transmisión de 23 dBm y una ganancia de 22 dBi. Para la solución 2, en ambos extremos del enlace, se tendrá una radio Rocket M5 GPS con una antena parabólica RocketDish 5G-30 (30 dBi de ganancia).

La retransmisión de los datos, desde Baruta hacia la sala central, se hará por medio de un NanoBridge M5-22 en ambos extremos, para la solución 1. Para la solución 2, se utilizará en Baruta un AirGrid M5 HP y los datos serán recibidos por el mismo dispositivo en el otro extremo. Estos equipos tienen una ganancia de 23 dBi y una potencia de hasta 25 dBm. La conexión de las radios transmisoras y receptoras, ubicadas en el punto de acceso central y en el repetidor, se realizará vía Ethernet.

Las alturas aproximadas a la que se encontrarán los dispositivos son: 6 metros en los nodos, 78 metros en el punto de acceso central, 5 metros en el punto de repetición en Baruta y 19 metros en la sala central.



Figura 21: NanoStation/Loco M5 (derecha) y NanoBridge M5 (izquierda).

Fuente: (Ubiquiti Networks, Inc.).



Figura 22: RM5-GPS (izquierda), Antenas sectoriales (centro) y PowerBridge M5 (derecha).

Fuente: (Ubiquiti Networks, Inc.).

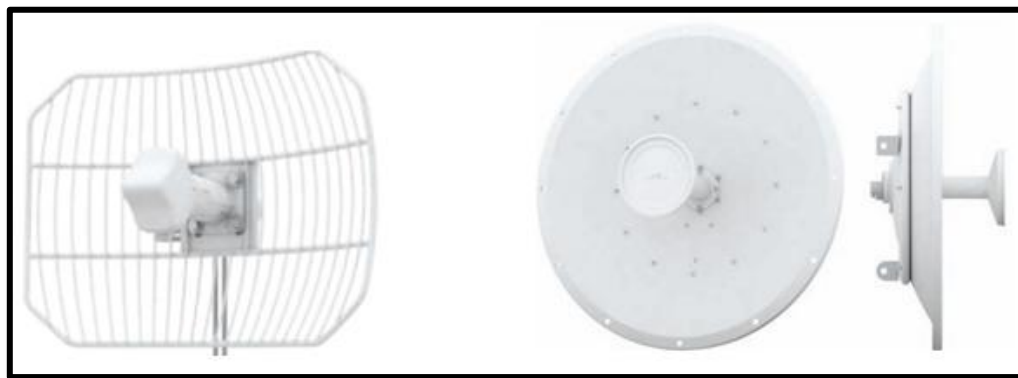


Figura 23: AirGrid M5 HP 23dBi (izquierda) y Antena parabólica (derecha).

Fuente: (Ubiquiti Networks, Inc.).

IV.5.2.4. Cálculos teóricos y simulaciones

Se realizaron los cálculos teóricos necesarios para verificar el funcionamiento del diseño, tomando en cuenta los parámetros de los equipos seleccionados y las características físicas de los enlaces. Para describir la metodología empleada en los cálculos teóricos, se tomará como ejemplo el enlace RBaruta-Sala Central de la primera solución planteada en la sección anterior. Este procedimiento se realizó para todos los enlaces y los resultados se pueden apreciar en la Tabla 9. Los datos preliminares del mismo son los siguientes:

Tabla 7: Datos Producto 1.

Datos	
Frecuencia: f (GHz)	5,8
Distancia: d (km)	0,6
Potencia de transmisión: P_{TX} (dBm)	23
Ganancia de transmisión: G_{TX} (dBi)	22
Ganancia de recepción: G_{RX} (dBi)	22
Sensibilidad del receptor: S_{RX} (dBm)	-96
Pérdidas por cable: A_{Cables+conectores} (dB)	0
Tolerancia del sistema: Tol (dB)	3

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.5.2.4.1. Cálculo pérdidas en el espacio libre

Fueron calculadas a partir de la ecuación 2:

$$PEL(dB) = 92,4 + 20 \cdot \log(5,8) + 20 \cdot \log(0,6) = 103,23 \text{ dB}$$

IV.5.2.4.2. Cálculos de pérdidas

IV.5.2.4.2.1. Pérdidas por cable y conectores

Tanto las pérdidas por cable como por conector dependen del tipo y la frecuencia de operación. Independientemente del cable, siempre se tendrán pérdidas. Estas varían entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. Las pérdidas por conector se estiman aproximadamente en 0,25 dB. Es importante resaltar que en los casos que se utilicen radios con antenas integradas, la atenuación por cable y conectores será nula.

Se utilizarán aproximadamente 60 centímetros de cable coaxial, con una atenuación de 0,86 dB/m, a una frecuencia de 5,8 GHz.

A partir de la ecuación 3, se obtiene:

$$A_F = 0,86 \frac{dB}{m} \cdot 0,6m = 0,516 dB$$

IV.5.2.4.3. Potencia de recepción

A partir de la ecuación número 4, se obtiene:

$$P_{Rx}(dBm) = 23dBm + 22dB - 103,23dB + 22dB - 3dB$$

$$P_{Rx}(dBm) = -39,23 dBm$$

Como se indicó anteriormente, la tasa de transmisión de cada nodo es de 64 kbps, razón por la cual se utiliza, para los enlaces de acceso, una tasa de transmisión MCS0, la cual llega hasta los 15 Mbps, para canales de 40 MHz. Esta tasa de transmisión define la sensibilidad del dispositivo receptor en el punto de acceso central, la cual es de -96 dBm, según las especificaciones del equipo.

En la siguiente tabla se muestran los cálculos teóricos, de potencia de recepción, obtenidos para todos los enlaces de radio de ambas soluciones y que permitieron determinar la solución final:

Tabla 8: Cálculos teóricos de las soluciones 1 y 2 del Producto 1.

Solución 1				Solución 2		
Enlace	P _{TX} (dBm)	S _{RX} (dBm)	P _{RX} (dBm)	P _{TX} (dBm)	S _{RX} (dBm)	P _{RX} (dBm)
N1-Poste	23	-96@MCS0	-42,496	23	-96@MCS0	-42,496
Poste-AC	23	-96@MCS0	-61,412	27	-96@MCS0	-52,312
N2-AC	23	-96@MCS0	-60,746	27	-96@MCS0	-51,646
N3-AC	23	-96@MCS0	-59,147	27	-96@MCS0	-50,047
N4-AC	23	-96@MCS0	-57,186	27	-96@MCS0	-48,086
N5-AC	23	-96@MCS0	-54,648	27	-96@MCS0	-45,548
N6-AC	23	-96@MCS0	-53,488	27	-96@MCS0	-44,388
N7-AC	23	-96@MCS0	-51,506	27	-96@MCS0	-42,406
N8-AC	23	-96@MCS0	-46,129	27	-96@MCS0	-37,029

N9-AC	23	-96@MCS0	-38,769	27	-96@MCS0	-29,669
AC- RBar	27	-96@MCS0	-50,273	27	-96@MCS0	-37,589
RBar- AC	23	-96@MCS0	-39,232	25	-97@MCS0	-35,232

Fuente: Elaborado por las autoras.

Con estos dispositivos se obtienen potencias de recepción muy buenas respecto a la sensibilidad del equipo receptor, en todos los enlaces, para ambas soluciones. Sin embargo, esto no es suficiente, se requiere un margen de desvanecimiento del sistema que garantice la confiabilidad del enlace. Este margen representa la diferencia entre la potencia de recepción y la sensibilidad del equipo receptor. Para un margen de desvanecimiento mayor a 22 dB, se considera un excelente enlace; un margen de desvanecimiento entre 14 y 22 dB, un buen enlace y menor a 14 dB un enlace inestable.

En la primera solución, se observa que la diferencia entre la sensibilidad y la potencia recibida varía entre 34,59 y 57,23 dB. Para la segunda solución, la diferencia varía entre los 43,69 y 66,33 dB. Como ambas soluciones poseen un margen de desvanecimiento mayor a 22 dB, se garantiza la robustez de todos los enlaces y la fiabilidad de los mismos.

Las dos soluciones, teóricamente, son igual de buenas, pues cumplen con la condición de que la potencia de recepción debe ser mayor a la sensibilidad. Sin embargo, al hacer la comparación de los costos, teniendo presente que cualquiera de las dos soluciones es factible, se elige la solución 1. Esta decisión se debe a que el costo de inversión de los equipos es, aproximadamente, \$631 más económico que la solución 2.

A continuación se muestran los resultados de los cálculos teóricos obtenidos para todos los enlaces de radio:

Tabla 9: Cálculos teóricos de la solución final del Producto 1.

Enlace	G _{TX} (dBi)	G _{RX} (dBi)	P _{TX} (dBm)	PEL (dB)	A Ca/Con (dB)	Tol (dB)	P _{RX} (dBm)	S _{RX} (dBm)
N1-Poste	13	13	23	88,496	0	3	-42,496	-96
Poste-AC	13	16	23	109,396	1,016	3	-61,412	-96
N2-AC	13	16	23	108,730	1,016	3	-60,746	-96
N3-AC	13	16	23	107,131	1,016	3	-59,147	-96
N4-AC	13	16	23	105,170	1,016	3	-57,186	-96
N5-AC	13	16	23	102,632	1,016	3	-54,648	-96
N6-AC	13	16	23	101,472	1,016	3	-53,488	-96
N7-AC	13	16	23	99,490	1,016	3	-51,506	-96
N8-AC	13	16	23	94,113	1,016	3	-46,129	-96
N9-AC	13	16	23	86,753	1,016	3	-38,769	-96
AC-RBa	24,8	22	27	121,073	0	3	-50,273	-96
RBar-SC	22	22	23	103,232	0	3	-39,232	-96

Fuente: Elaborado por las autoras.

Para verificar los resultados teóricos y la existencia de línea de vista a partir de la zona de Fresnel de los enlaces, se realizaron simulaciones con el programa Radio Mobile. Estos resultados gráficos se encuentran en el Anexo E. A continuación se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos de las simulaciones:

Tabla 10: Cálculos prácticos de la solución final del Producto 1.

Enlace	Peor Fresnel	Campo E (dBuV/m)	Pérdidas (dB)	P _{RX} relativa (dB)	Nivel de Rx (dBm)	Ángulo de elevación (°)	Azimut (°)
N1-Poste	3,4*F1	96,8	88,1	53,3	-42,7	2,282	167,69
Poste-PC	8,1*F1	74,9	109,3	34	-62	3,481	127,76
N2-AC	6,6*F1	76	108,7	35	-61	4,04	127,48
N3-AC	6,5*F1	77,4	107,1	36,4	-59,6	4,93	126,12
N4-AC	7,1*F1	79,1	105,2	38,2	-57,8	6,258	124,9
N5-AC	8,5*F1	81,8	102,7	40,8	-55,2	8,395	120,98

N6-AC	9,7*F1	82,7	101,6	41,8	-54,2	8,954	93,85
N7-AC	9,8*F1	85,4	99,7	44,4	-51,6	11,427	115,25
N8-AC	13,9*F1	89,6	94,6	48,7	-47,3	20,169	96,07
N9-AC	21*F1	95,6	89,2	54,7	-41,3	39,659	88,21
AC-RBa	5,2*F1	79,4	121	45	-51	1,757	200,18
RBar-SC	0,9*F1	90,7	103,3	56,2	-39,8	-5,754	219,09

Fuente: Elaborado por las autoras.

En dichos resultados se puede apreciar que, para todos los enlaces, el valor de la peor zona de Fresnel fue mayor a $0,6*F1$, garantizando el 60% de despeje de la misma. La diferencia obtenida entre la potencia de recepción práctica y la teórica se debe en parte al algoritmo de cálculo de propagación utilizado por el simulador (modelo de terreno irregular, ITM), este algoritmo considera las características del terreno y del radioenlace para el cálculo de la potencia de recepción, tomando en cuenta diferentes fenómenos como lo son la reflexión, refracción y difracción. Estas diferencias también se deben a que para los cálculos teóricos se tomaron en cuenta la tolerancia del sistema y las pérdidas por conectores y cables, parámetros que no se consideraron en las simulaciones.

IV.5.2.5. Redundancia

Se plantea la utilización de un enlace de redundancia, exclusivamente para el enlace principal (Punto de Acceso Central – Sala Central). Esta decisión se debe a que este enlace comunica directamente los nodos con la Sala Central; si este enlace llegara a fallar, se perdería totalmente la comunicación de extremo a extremo. Además, la utilización de enlaces redundantes hace que la red sea más robusta.

Para la elección de la tecnología del enlace redundante se evaluaron diversas cotizaciones de enlaces contratados de los proveedores de servicio, así como también la posibilidad de establecer un enlace de redundancia con infraestructura propia. Entre las propuestas evaluadas para el enlace redundante se encuentran:

- Utilizar una VPN sobre Metro Ethernet. Con una VPN se comunican ambos extremos del enlace, mediante un túnel virtual. Es importante destacar que para mantener la confiabilidad de la comunicación, se utilizan métodos de autenticación y encriptación, con el fin de que los datos mantengan su integridad y confidencialidad, a pesar de que la información viaje a través de la red pública. Esto es posible mediante la implementación del conjunto de protocolos de seguridad denominado IPSec, que brinda la confidencialidad, integridad y autenticación de los datos, como características más importantes.

Para establecer la comunicación VPN entre los dos extremos, se debe contar con una conexión de internet, puesto que los datos se transmitirán por medio de una VPN sobre la red pública. La propuesta ofrece diversas tasas de transmisión disponibles, las cuales dependen del medio por el que los datos serán transmitidos (cobre o fibra óptica). También especifica los requisitos que debe cumplir el cliente para poder realizar la instalación y configuración del servicio de forma adecuada; entre ellos, el contar con un *router* que cumpla con ciertas especificaciones técnicas detalladas en la propuesta, que garantizarán un mejor rendimiento del servicio ofrecido por el proveedor. También se detallan los costos asociados al contrato del servicio y a la mensualidad correspondiente, dependiendo de la velocidad contratada.

El *router* seleccionado, si se llegase a implementar el servicio, sería el Cisco 1841, que cumple con las especificaciones detalladas en la propuesta LAN vía Metro Ethernet, que son las siguientes: soporte para protocolo IP, un mínimo de 64 MB de memoria RAM, para el caso de clientes con múltiples conexiones a internet; soporte de enrutamiento a través de rutas estáticas, para el caso de clientes con una sola conexión a internet y de BGPv4, para clientes con más de una conexión a internet y por último, es aconsejable el soporte NAT, (*Network Address Translation*) como mecanismo de traducción de direcciones IP.

Tabla 11: Costo total del servicio LAN vía Metro Ethernet.

Descripción del servicio	Cantidad	Ancho de Banda	Tarifa Unitaria (BsF.)	Tarifa Total (BsF.)
Puerto Cobre	1	1 Mbps	3.143,84	3.143,84
Acceso a Internet	1	1 Mbps	2.755,20	2.755,20
Router Cisco 1841	2	N/A	5.138,5	10.277
Total Primer Mes				BsF. 16.176,04
Total Recurrente				BsF. 5.899,04

Fuente: Elaborado por las autoras.

- Transmisión de datos sobre la red celular del operador a través de un APN privado. Está diseñada para la transmisión de datos desde puntos remotos a centros de recolección de los mismos a través de un túnel VPN sobre internet. Se caracteriza por tener una rápida y fácil instalación; seguridad (encriptación) y confiabilidad. En la computadora ubicada en la sala central, solo se debe tener un servidor VPN instalado y acceso a internet. Esta propuesta no incluye los dispositivos de red necesarios para la conexión, por lo que se propone utilizar el módem RB-24i del fabricante ELPROMA (Ver Figura 24). Estos dispositivos tienen un costo de BsF. 2.153,6 cada uno. Por su interfaz serial, utilizando un convertidor serial a Ethernet, se podrán conectar los equipos requeridos para transmitir la información.



Figura 24: Módem RB-24i.

Fuente: (ELPROMA)

El costo total de esta propuesta queda desglosado en la siguiente tabla:

Tabla 12: Costo Solución “Planes TDD”.

Característica	Cantidad	Pago	Tarifas BsF.
Cuota básica TDD	1	Recurrente	40
Enlace VPN	1	Recurrente	7.700
Módem RB-24i	1	Único	2.153,7
Total Primer Mes			BsF. 9.893,7
Total Recurrente			BsF. 7.740

Fuente: Elaborado por las autoras.

- Enlace de redundancia basado en infraestructura propia. Se propone establecer un enlace inalámbrico entre la sala central y el punto de acceso central, utilizando dispositivos Ubiquiti. Los dispositivos planteados para el enlace de redundancia son los mismos propuestos para el enlace principal, los cuales son el NanoBridge M5-22 y el PowerBridge M5. Estos dispositivos se encontrarán a la misma altura que los equipos utilizados para el enlace principal, pero separados por unos metros entre sí y configurados en otro canal de la banda de frecuencia de 5,8 GHz, con el fin de evitar las interferencias. El costo de esta solución se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13: Costo redundancia con infraestructura propia.

Dispositivo	Costo por unidad (BsF.)	Cantidad	Subtotal (BsF.)
NanoBridge M5	344	3	1.032
PowerBridge M5	1.118	1	1.118
TOTAL			BsF. 2.150

Fuente: Elaborado por las autoras.

Como se puede observar, los costos de las dos primeras soluciones de conectividad requieren una mayor inversión en comparación con la última propuesta.

Sin embargo, la elección de una solución u otra estuvo sujeta al cumplimiento de las características técnicas al menor costo posible.

Se consideró innecesario utilizar un enlace contratado como enlace de redundancia, habiendo obtenido tan buenos resultados, tanto teóricos como simulados, con los enlaces de infraestructura propia. Por esta razón se elige como enlace de redundancia la propuesta basada en infraestructura propia, que tiene como ventaja no tener que cancelar una mensualidad a un proveedor de servicios por un enlace contratado que solo será utilizado cuando el enlace principal falle, es decir, de forma esporádica. Como se propone utilizar los mismos dispositivos planteados para el enlace principal, los cálculos para este enlace, tanto teóricos como prácticos, son los mismos mostrados en las tablas 10 y 11.

IV.5.2.6. Inversión por equipos

El costo total de los equipos para esta solución viene desglosado de la siguiente manera:

Tabla 14: Costo detallado del Producto 1.

Dispositivo	Costo por unidad (BsF.)	Cantidad	Subtotal (BsF.)
PowerBridge M5	1.118	2	2.236
NanoStation Loco M5	288,1	10	2.881
RM5-GPS	1.027,7	1	1.027,7
Antena Sectorial 5G16 120	339,7	1	382,7
NanoBridge M5	344	6	2.064
TOTAL			BsF. 8.591,4

Fuente: Elaborado por las autoras.

Para la conversión de dólares a bolívares, se utilizó la actual tasa de cambio de BsF. 4,30 por dólar.

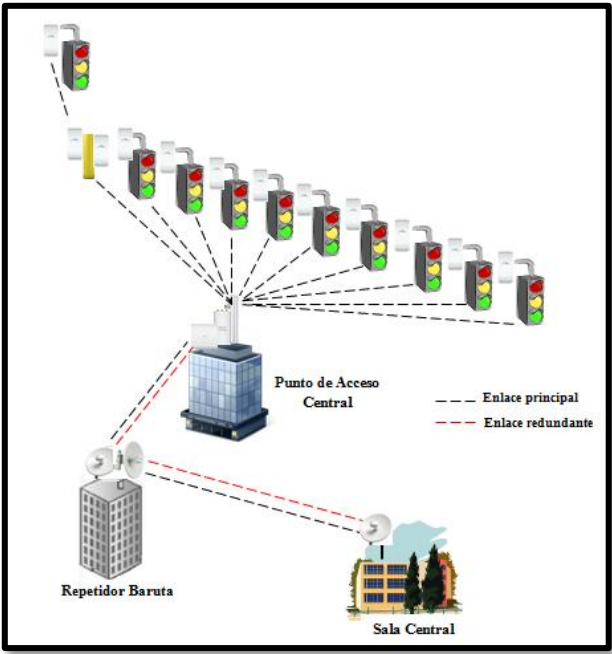


Figura 25: Diseño detallado Producto 1.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.5.2.7. Indisponibilidad por equipos

Debido a la distancia de los enlaces y a la frecuencia de operación seleccionada, la caída de los mismos solamente será posible si se presentase alguna falla en los equipos seleccionados anteriormente. Para los dispositivos Ubiquiti se tiene un MTBF de dos años y medio, aproximadamente; y se estima un MTTR de por lo menos 24 horas.

Tabla 15: MTTR y MTBF del Producto 1.

Descripción	MTTR	Horas	MTBF	Horas
Equipo Tx	MTTR _{TX}	24	MTBF _{TX}	21.900
Equipo Rx	MTTR _{RX}	24	MTBF _{RX}	21.900

Fuente: Elaborado por las autoras.

Tabla 16: Indisponibilidad por equipos del Producto 1.

Equipo Tx	Equipo Rx
$I_{TX} = \frac{MTTR_{TX}}{MTBF_{TX}} = \frac{24}{21.900} = 0,001096$	$I_{RX} = \frac{MTTR_{RX}}{MTBF_{RX}} = \frac{24}{21.900} = 0,001096$

Fuente: Elaborado por las autoras.

Con los valores obtenidos se puede determinar la indisponibilidad, originada por las fallas del equipo, de un radioenlace. Para todos los enlaces de la red de acceso de este producto se tendrá la misma indisponibilidad, ya que todos los dispositivos Ubiquiti utilizados tienen el mismo MTBF. El porcentaje de indisponibilidad obtenido es el siguiente:

$$I_{Radioenlace} \% = 100\% * (I_{TX} + I_{RX}) = 0,2192\%$$

Para el enlace principal, se tiene un enlace redundante en modo 1+1, por lo tanto el porcentaje de indisponibilidad para este enlace es el siguiente:

$$I_{Enlace Ppal.} = \frac{n+1}{2} * I_{Radioenlace}^2 = \frac{1+1}{2} * (0,002192)^2 = 4,804 \cdot 10^{-6}$$

$$I_{Enlace Ppal.} \% = 100\% * I_{Enlace Ppal.} = 4,804 \cdot 10^{-4}\%$$

IV.5.3. Producto 2. Sistema de Información de Tráfico

Para este caso, debido a las grandes distancias que separan a los nodos y al tipo de tráfico, se contactaron diferentes proveedores de servicios para la solicitud de enlaces contratados que cumplieran con los requisitos de dicho caso. Esta solicitud se realizó de acuerdo a los servicios con los que cada uno cuenta. (Ver Anexo A)

IV.5.3.1. Comparación de las propuestas de los proveedores

Es importante resaltar que las soluciones de conectividad analizadas fueron aquellas recibidas por parte de los proveedores. Se obtuvieron soluciones de parte de dos proveedores distintos, una propuesta de VPN sobre MPLS y otra relacionada a la

transmisión de datos sobre GSM/GPRS por medio de un enlace VPN a través de internet. Esta última propuesta se encuentra descrita en la redundancia del producto 1.

La propuesta de VPN sobre MPLS es un servicio que permite la interconexión de sedes de forma privada, de manera tal que pueda permitir la transferencia de información entre las redes de área local del cliente, geográficamente dispersas, ofreciendo convergencia, diferenciación y priorización del tráfico. Establece un esquema de conectividad WAN que permite la comunicación constante entre la sala central y sus nodos remotos, a través de la red del proveedor. Entre la sala central y las estaciones semaforizadas se plantea utilizar enlaces MPLS. Para el servicio de MPLS en la localidad Principal recomiendan un *Router* Cisco 2801 y para el servicio de MPLS en las localidades remotas un *Router* Cisco 1841. Las tarifas recurrentes para el escenario MPLS se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 17: Tarifa recurrente del servicio VPN IP MPLS.

Descripción del servicio	Cantidad	Ancho de banda	Tarifa Unitaria (BsF.)	Tarifa Total (BsF.)
Acceso Sede Principal (Sede INTT en la California)	1	3072 kbps	12.095	12.095
Accesos remotos (Distribuidores)	3	256 kbps	10.680	10.680
Arrendamiento <i>Router</i> Cisco 2801	1	N/A	2.056	2.056
Arrendamiento <i>Router</i> Cisco 1841 (Distribuidores)	3	N/A	1.390	4.170
El precio total para el servicio de datos, arrendamiento y gestión de los routers				29.000

Fuente: Elaborado por las autoras.

GPRS es una tecnología de radio que aprovecha la misma estructura de acceso en frecuencia y tiempo del sistema GSM. Las redes MPLS se caracterizan por el envío de paquetes en base a “etiquetas” y porque se pueden comunicar con redes IP, lo que hace el proceso sea más rápido que el encaminamiento basado en el análisis de cabeceras. Ambas ofrecen calidad de servicio, MPLS lo hace asignando diferentes

etiquetas para cada clase de servicio. MPLS permite la asignación dinámica de ancho de banda, mientras que GPRS admite la asignación de más de un intervalo de tiempo, de los ocho por portadora, para una misma comunicación.

A pesar de todas las ventajas que ofrece la tecnología MPLS, al necesitarse una tasa de transmisión de tan solo 64 kbps, caracterizada por el envío en tiempo real de un mismo tipo de datos en forma de ráfagas, podría considerarse como excesivo el uso de esta tecnología para este producto y además hay que considerar la diferencia en los costos entre ambas soluciones, la cual es bastante grande. Es por ello que se opta por utilizar la solución de conectividad relacionada a la transmisión de datos sobre GSM/GPRS, en donde se garantiza un 99,99% de funcionamiento de la solución planteada por parte del proveedor.

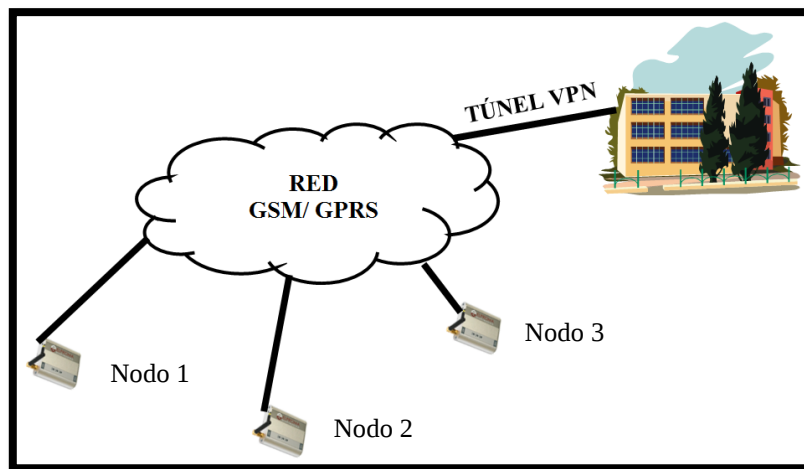


Figura 26: Diseño detallado Producto 2.

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.5.3.2. Costo de la solución de conectividad

Tabla 18: Costo detallado del Producto 2.

	Costo por unidad (BsF.)	Cantidad	Pago	Sub Total (BsF.)
Módem RB-24i	2.153,6	3	Único	6.460,8
Cuota básica TDD	40	3	Recurrente	120
Enlace VPN	7.700	1	Recurrente	7.700
Total Primer mes				BsF. 14.280,8
Total Recurrente enlace VPN				BsF. 7.820

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.5.4. Producto 3. Circuito Cerrado de Visualización de Tráfico

IV.5.4.1. Selección de frecuencia de operación

Se trabajará sobre la misma banda de frecuencia seleccionada en el primer producto.

IV.5.4.2. Topología y tecnología

En este producto, se plantea para la red de acceso una topología tipo estrella y una conexión punto a punto para el enlace principal, la interconexión será realizada mediante radioenlaces. Las tecnologías inalámbricas consideradas para los radioenlaces de la red de acceso fueron WiFi y WiMAX.

La implementación de este producto se desarrollará en la Avenida Libertador del Municipio Chacao. Para ubicar el Punto de Acceso Central se tomaron en cuenta dos opciones: el edificio de Seguros Mercantil (39 metros) y la Torre Parima (57 metros). Ambas estructuras tienen línea de vista con todas las intersecciones semafóricas, cada una con una altura de 6 metros, y con la sala central, que cuenta con 14 metros de alto. Sin embargo, se eligió la Torre Parima por ser mucho más alta y porque el trámite de los permisos, para instalar las antenas allí, es más sencillo y rápido en comparación con el edificio de Seguros Mercantil.

En la siguiente tabla se encuentran especificadas las coordenadas de las estaciones semafóricas, del punto de acceso central y de la sala central. También, la distancia de los enlaces.

Tabla 19: Ubicación de los nodos y distancia entre los enlaces del Producto 3.

Enlace	Latitud Tx (N)	Longitud Tx (O)	Latitud Rx (N)	Longitud Rx (O)	Distancia (Km)
N1-ACParim	10° 29'24,7"	66° 51'37"	10°29'27,7"	66°51'22,4"	0,58
N2-ACParim	10° 29'25,8"	66° 51'16"	10°29'27,7"	66°51'22,4"	0,2
N3-ACParim	10° 29'26,6"	66°51'20,4"	10°29'27,7"	66°51'22,4"	0,07
N4-ACParim	10° 29'27,3"	66°51'25,9"	10°29'27,7"	66°51'22,4"	0,11
N5-ACParim	10° 29'27,6"	66°51'32,6"	10°29'27,7"	66°51'22,4"	0,31
ACParim-SC	10°29'27,7"	66°51'22,4"	10° 29' 4,4"	66°51'28,2"	0,74

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.5.4.3. Elección de dispositivos

Se evaluaron distintas soluciones para este producto, realizando la combinación de dispositivos para WiFi y WiMAX, dependiendo del caso. Se seleccionaron las siguientes propuestas para comparar entre una solución basada netamente en WiFi y otra que combine ambas tecnologías, WiMAX y WiFi:

Tabla 20: Soluciones Producto 3.

	SOLUCIÓN 1 (WiFi/WiFi)	SOLUCIÓN 2 (WiMAX/WiFi)
NS	NanoStation M5	SU Brezee Access VL
Punto de Acceso Central (Rx)	RM5-GPS con sectorial 16 dBi 120°	AU Brezee Access VL con sectorial de 15 dBi 120°

Punto de Acceso Central (Tx)	PowerBridge M5	PowerBridge M5
SC	PowerBridge M5	PowerBridge M5
Costo total de equipos	\$1258	\$1820

Fuente: Elaborado por las autoras.

En la solución basada en WiFi, para los enlaces punto a multipunto se consideraron las radios NanoStation M5, en modo *client bridge*, estos estarán ubicados en cada una de las intersecciones semafóricas. Los datos provenientes de cada uno de estos nodos se concentrarán en el punto de acceso central, mediante una radio RM5-GPS y una antena sectorial de 120° y 16 dBi de ganancia. El enlace punto a punto, entre la sala central y el punto de acceso central, se realizará con los PowerBridge M5, cada extremo contará con uno de estos dispositivos. Estos equipos se caracterizan por tener una potencia de transmisión de hasta 27 dBm y una ganancia de 24,8 dBi.

En la solución de WiMAX, se plantea el uso de los dispositivos SU BreezeAccess VL para los nodos. Los nodos se comunicarán con el AU BreezeAccess VL, ubicado en la Torre Parima, este equipo servirá como punto de concentración de la red punto a multipunto; en este caso también se hará uso de una antena sectorial de 120° y 15 dBi de ganancia. Para el enlace principal, se utilizará la misma configuración de la solución 1.

Las alturas aproximadas a la que se encontrarán los dispositivos son: 6 metros en los nodos, 61 metros en el punto de acceso central y 14 metros en la sala central.

IV.5.4.4. Cálculos teóricos y simulaciones

Para verificar el funcionamiento de cada uno de los enlaces, se realizaron cálculos teóricos en los que se tomaron en cuenta las especificaciones encontradas en los *datasheets* de los dispositivos y las características físicas del medio de transmisión. El procedimiento realizado es el mismo descrito en el producto 1. En la

siguiente tabla se pueden apreciar los cálculos teóricos de potencia de recepción para cada uno de los radioenlaces del producto:

Tabla 21: Cálculos teóricos de las soluciones 1 y 2 del Producto 3.

Enlace	Solución 1 (WiFi/WiFi)			Solución 2 (WiMAX/WiFi)		
	P _{TX} (dBm)	S _{RX} (dBm)	P _{RX} (dBm)	P _{TX} (dBm)	S _{RX} (dBm)	P _{RX} (dBm)
N1-PAC Parima	27	-96@MCS0	-49,353	21	-71	-50,453
N2-PAC Parima	27	-96@MCS0	-40,105	21	-71	-41,205
N3-PAC Parima	27	-96@MCS0	-30,987	21	-71	-32,087
N4-PAC Parima	27	-96@MCS0	-34,912	21	-71	-36,012
N5-PAC Parima	27	-96@MCS0	-43,912	21	-71	-45,012
PAC Parima-SC	27	-96@MCS0	-31,453	27	-96@MCS0	-31,453

Fuente: Elaborado por las autoras.

Se puede observar que para todos los enlaces de ambas soluciones se obtienen muy buenos resultados de potencia de recepción, respecto a la sensibilidad del equipo receptor. Para la solución basada en WiFi se observa que la diferencia entre la sensibilidad y la potencia recibida varía entre 46,65 y 65,01 dB, cumpliendo con el margen de desvanecimiento y garantizando de esta manera, la fiabilidad de todos los enlaces. Para la solución WiMAX/WiFi la diferencia se encuentra entre 20,5 y 64,55 dB, obteniendo buenos enlaces. Sin embargo, la solución basada en WiFi/WiFi es \$562 más económica que la solución que combina ambas tecnologías, por lo que se elige la primera solución.

A continuación se muestran los resultados de los cálculos teóricos obtenidos para todos los enlaces de radio:

Tabla 22: Cálculos teóricos de la solución final del Producto 3.

Enlace	G _{TX} (dBi)	G _{RX} (dBi)	P _{TX} (dBm)	PEL (dB)	A Cab/Con (dB)	Tol (dB)	P _{RX} (dBm)	S _{RX} (dBm)
N1-PAC Parima	14,6	16	27	102,937	1,016	3	-49,353	-96
N2-PAC Parima	14,6	16	27	93,689	1,016	3	-40,105	-96
N3-PAC Parima	14,6	16	27	84,571	1,016	3	-30,987	-96
N4-PAC Parima	14,6	16	27	88,496	1,016	3	-34,912	-96
N5-PAC Parima	14,6	16	27	97,496	1,016	3	-43,912	-96
PAC Parima-SC	24,8	24,8	27	105,053	0	3	-31,453	-96

Fuente: Elaborado por las autoras.

Dependiendo de la tasa de transmisión de cada nodo, varió la potencia del equipo transmisor y la sensibilidad de recepción del dispositivo receptor. La tasa de transmisión requerida por nodo, para este producto, es de 1 Mbps; por lo tanto la tasa de transmisión seleccionada para las estaciones semafóricas fue MCS0. Se tiene que la sensibilidad de recepción a esta tasa de transmisión es de -96 dBm, de acuerdo a la hoja de especificaciones del dispositivo de recepción.

Para corroborar los resultados teóricos obtenidos y la existencia de línea de vista en los enlaces, se realizaron simulaciones con Radio Mobile. Las imágenes de los resultados se pueden observar en el Anexo F.

La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados obtenidos de las simulaciones:

Tabla 23: Cálculos prácticos de la solución final del Producto 3.

Enlace	Peor Fresnel	Campo E (dBuV/m)	Pérdidas (dB)	Prx relativa (dB)	Nivel de Rx (dBm)	Ángulo de elevación (°)	Azimut (°)
N1-PAC Parima	7,6*F1	87	102,9	46	-50	6,726	279,27
N2-PAC Parima	12,5*F1	95,8	94,1	54,8	-41,2	14,675	286,79
N3-PAC Parima	21,6*F1	103,2	86,9	62,2	-33,8	39,841	300,03
N4-PAC Parima	15,5*F1	100,7	89,2	59,7	-36,3	27,671	83,95
N5-PAC Parima	8,3*F1	92,7	97,6	51,8	-44,2	10,582	89,16
PAC Parima-SC	9*F1	95,6	105,1	64	-32	-5,557	193,85

Fuente: *Elaborado por las autoras.*

En estos resultados se puede observar que para todos los enlaces, el valor de la peor zona de Fresnel fue mayor a $0,6*F1$, garantizando el 60% de despeje del enlace.

Para los cálculos teóricos se consideraron la tolerancia del sistema y las pérdidas por cables y conectores, parámetros que no se tomaron en cuenta para las simulaciones, motivo de la diferencia que se obtuvo entre la potencia de recepción práctica y teórica. Estas diferencias también se deben al algoritmo de cálculo de propagación utilizado por el simulador (modelo de terreno irregular, ITM).

IV.5.4.5. Redundancia

Para este producto no se tomaron en cuenta las soluciones de conectividad recibidas por parte de los proveedores de servicio, pues su costo era muy elevado, incluso mucho mayor a la inversión realizada para la infraestructura propia y, tomando en cuenta que será un enlace que se utilizará en aquella situación donde el enlace principal falle, no tiene sentido hacer tal inversión. Al igual que en el producto

1, la redundancia solo se tomará en cuenta para el enlace principal, pues es por dicho enlace que se transmite toda la información de la red.

Se propone utilizar un enlace inalámbrico, utilizando dispositivos Ubiquiti, tanto en la sala central como en la torre Parima, a una misma altura y separados por unos cuantos metros de las radios utilizados para el enlace principal, configurados en un canal diferente de la misma banda (5,8 GHz), evitando así las interferencias.

Los dispositivos utilizados en ambos extremos serán AirGrid M5, menos direccionales que los PowerBridge M5 planteados para el enlace principal, pero un poco más económicos. Se caracterizan por tener una potencia de transmisión de 25 dBm, una ganancia entre 23 y 27 dBi y una sensibilidad de recepción de -97 a -75 dBm.

Para verificar el funcionamiento de este enlace se realizaron los cálculos teóricos correspondientes, siguiendo el procedimiento descrito en el producto 1. En la siguiente tabla se muestra los resultados para este radioenlace:

Tabla 24: Cálculos teóricos de la solución de redundancia del Producto 3.

Enlace	G _{TX} (dBi)	G _{RX} (dBi)	P _{TX} (dBm)	PEL (dB)	A Cab/Con (dB)	Tol (dB)	P _{RX} (dBm)	S _{RX} (dBm)
PAC Parima- SC	23	23	25	105,053	0	3	-37,05	-97

Fuente: *Elaborado por las autoras.*

Para verificar los resultados teóricos y la existencia de línea de vista a partir de la zona de Fresnel del enlace, se realizó la simulación con el programa Radio Mobile. Este resultado gráfico se encuentra también en el Anexo F. A continuación se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos de la simulación:

Tabla 25: Cálculos prácticos de la solución de redundancia del Producto 3.

Enlace	Peor Fresnel	Campo E (dBuV/m)	Pérdidas (dB)	Prx relativa (dB)	Nivel de Rx (dBm)	Ángulo de elevación (°)	Azimet (°)
PAC Parima-SC	9*F1	91,8	105,1	59,4	-37,6	-5,557	193,85

Fuente: Elaborado por las autoras.

IV.5.4.6. Inversión por equipos

El costo total por equipos, de la solución escogida, viene desglosado de la siguiente manera:

Tabla 26: Costo detallado del Producto 3.

Dispositivo	Costo por unidad (BsF.)	Cantidad	Subtotal (BsF.)
NanoStation M5	352,6	5	1.763
RM5-GPS	1.027,7	1	1.027,7
Antena Sectorial 5G-16-120	382,7	1	382,7
AirGrid M5 HP 23 dBi	301	2	602
PowerBridge M5	1.118	2	2.236
TOTAL			BsF. 6.011,4

Fuente: Elaborado por las autoras

Para la conversión de dólares a bolívares, se utilizó la actual tasa de cambio de BsF. 4,30 por dólar.

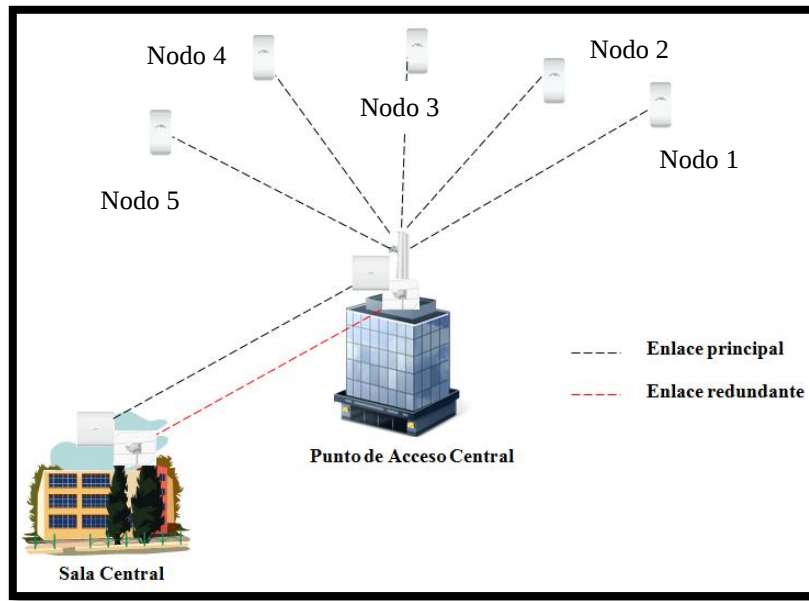


Figura 27: Diseño detallado Producto 3.

Fuente: Elaborado por las autoras

IV.5.4.7. Indisponibilidad por equipos

Para los dispositivos Ubiquiti se tiene un MTBF de dos años y medio, aproximadamente; y se estima un MTTR de por lo menos 24 horas, tanto para el equipo transmisor como para el equipo receptor (Ver Tabla 16). Como consecuencia, la indisponibilidad del equipo, transmisor y receptor, es igual a la obtenida para el Producto 1 (Ver Tabla 17).

Para todos los enlaces de este producto se tendrá la misma indisponibilidad, ya que todos los dispositivos Ubiquiti utilizados tienen igual MTBF. El porcentaje de indisponibilidad obtenido es el siguiente:

$$I_{Radioenlace} \% = 100\% * (I_{TX} + I_{RX}) = 0,2192\%$$

Para el enlace principal, Punto de Acceso Central – Sala Central, se tiene un enlace redundante en modo 1+1, por lo tanto el porcentaje de indisponibilidad para este enlace es el siguiente:

$$I_{Enlace Ppal.} \% = 100\% * I_{Enlace Ppal.} = 4,804 \cdot 10^{-4}\%$$

IV.5.5. Producto 4. In Traffic In-Situ

IV.5.5.1. Selección de frecuencia de operación

Se trabajará sobre la misma banda de frecuencia seleccionada en el producto uno y tres, debido a lo descrito anteriormente.

IV.5.5.2. Topología y tecnología

Para este producto se plantearon dos escenarios de conectividad en fase tres. En primera instancia, una infraestructura propia con una topología tipo bus, donde el nodo dos se conectaría a un punto de repetición, debido a la gran distancia que lo separa de la sala central; existiría un enlace desde este punto de repetición al nodo uno y este nodo, a su vez, se comunicaría con la sala central. También, el caso en donde se utilizarían enlaces contratados para realizar la interconexión de cada uno de los nodos con la sala central.

En la siguiente tabla se muestra la ubicación geográfica de cada uno de los nodos o estaciones semaforizadas (N) y de la sala central (SC).

Tabla 27: Ubicación de los nodos y distancia entre los enlaces del Producto 4.

Enlace	Latitud Tx (N)	Longitud Tx (O)	Latitud Rx (N)	Longitud Rx (O)	Distancia (Km)
SC-Nodo1	10°29'3,4"	66°51'29,9"	10°28'59,76"	66°51'21,6"	0,27
SC-Nodo2	10°29'3,4"	66°51'29,9"	10°27'25,9"	66°52'3,3"	3,18

Fuente: Elaborado por las autoras.

Debido a la distancia de separación que existe entre el nodo dos y la sala central, sin presencia de línea de vista y ante la dificultad de encontrar una zona y/o estructura viable lo suficientemente alta para que existiera línea de vista entre ambos nodos, se descarta completamente utilizar la tecnología WiFi para los enlaces. Utilizar WiMAX representó una opción, ya que tiene un mayor alcance que la tecnología WiFi y no requiere línea de vista, sin embargo los costos asociados a esta inversión son mucho más elevados y la empresa proveedora de WiMAX en el país no tiene cobertura en la zona donde se requiere establecer el enlace. Caso contrario al

enlace entre la sala central y el nodo uno, donde la distancia es bastante corta y con línea de vista, donde utilizar un enlace contratado representaría una inversión poco eficiente y mucho más costosa.

Por todo lo descrito anteriormente se propone utilizar una red mixta, que combine el uso de dos tecnologías diferentes. Se plantea la implementación de una infraestructura propia para el enlace Sala Central – Nodo Uno y un enlace contratado para el enlace Sala Central – Nodo Dos.

Para el caso de infraestructura propia se utilizará la tecnología WiFi, ya que posee una baja tasa de transmisión, se encuentra a pocos metros de distancia y el tipo de tráfico es únicamente datos. En este caso, utilizar la tecnología WiMAX es excesivo para este producto y, como se mencionó anteriormente, es mucho más costoso.

IV.5.5.3. Elección de dispositivos y solución de conectividad ofrecida por un proveedor de servicios.

Para el caso de infraestructura propia se evaluaron teóricamente varias combinaciones con los dispositivos Ubiquiti. El mejor resultado de todas las combinaciones de dispositivos realizadas fue utilizando, tanto en la sala central como en el nodo uno, dispositivos NanoStation Loco M5. Estos dispositivos poseen una ganancia de 13 dBi, una potencia de 23 dBm y una sensibilidad de recepción de -96 dBm, de acuerdo a la tasa de transmisión del nodo (MCS0).

En cuanto a los enlaces contratados, la propuesta recibida, de los diferentes proveedores consultados, que más se adecuaba en cuanto a costo y desempeño, es la solución de conectividad para la transmisión de datos sobre GSM/GPRS utilizada en el producto 2. Se utilizarán módems RB-24i del fabricante ELPROMA. Por su interfaz serial, utilizando un convertidor serial a Ethernet, se podrán conectar los equipos requeridos para transmitir la información.

Las alturas aproximadas a la que se encontrarán los dispositivos son de 6 metros en los nodos y 10 metros en la sala central.

IV.5.5.4. Cálculos teóricos y simulaciones

Se realizaron los cálculos teóricos necesarios para verificar el funcionamiento del diseño del enlace Nodo Uno – Sala Central, tomando en cuenta los parámetros de los equipos seleccionados y las características físicas de los enlaces. Se realizó la metodología descrita en el producto 1 para obtener los cálculos teóricos. En la siguiente tabla se muestran los cálculos teóricos obtenidos para este enlace de radio:

Tabla 28: Cálculos teóricos del enlace Nodo 1 – Sala Central del Producto 4.

Enlace	G _{TX} (dBi)	G _{RX} (dBi)	P _{TX} (dBm)	PEL (dB)	A Cable (dB)	Tol (dB)	P _{RX} (dBm)	S _{RX} (dBm)
SC- Nodo1	13	13	23	96,296	0	3	-50,296	-96

Fuente: Elaborado por las autoras.

Como era de esperarse, debido a la corta distancia de separación entre los nodos, el resultado que se obtiene es muy bueno, con una diferencia de 45,7 dB entre la sensibilidad de recepción y la potencia de recepción.

Para verificar los resultados teóricos y la existencia de línea de vista a partir de la zona de Fresnel del enlace, se realizó la simulación con el programa Radio Mobile. Este resultado gráfico se encuentra en el Anexo G. A continuación se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos de la simulación:

Tabla 29: Cálculos prácticos del enlace Nodo 1 – Sala Central del Producto 4.

Enlace	Peor Fresnel	Campo E (dBuV/m)	Pérdidas (dB)	Prx relativa (dB)	Nivel de Rx (dBm)	Ángulo de elevación (°)	Azimut (°)
SC- Nodo1	3*F1	88,7	96,3	45,3	-50,7	-0,455	114,71

Fuente: Elaborado por las autoras.

El valor de la peor zona de Fresnel obtenido fue mayor a $0,6 \cdot F1$, lo que permite confirmar que se garantiza el 60% de despeje de la misma. La diferencia obtenida entre la potencia de recepción práctica y la teórica se debe a que para los cálculos teóricos se consideró la tolerancia del sistema y las pérdidas de línea, parámetros que no se tomaron en cuenta para la simulación.

IV.5.5.5. Costo de la solución de conectividad y de los equipos

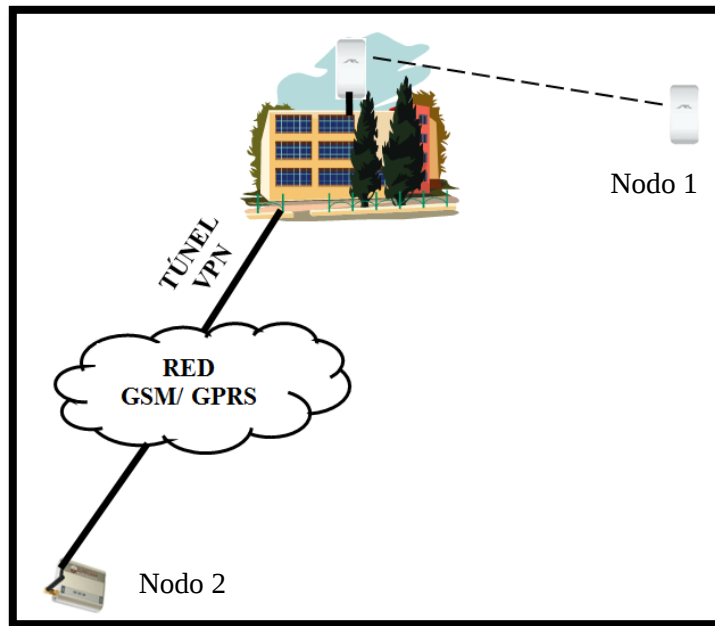
El costo viene desglosado de la siguiente manera:

Tabla 30: Costo detallado del Producto 4.

Dispositivo	Costo por unidad (BsF.)	Cantidad	Pago	Subtotal (BsF.)
NanoStation Loco M5	288,1	2	Único	576,2
Cuota básica TDD	40	1	Recurrente	40
Enlace VPN	7.700	1	Recurrente	7.700
Módem RB-24i	2.153,6	1	Único	2.153,6
Total Primer Mes				BsF. 10.469,6
Total Recurrente				BsF. 7.740

Fuente: Elaborado por las autoras

Para la conversión de dólares a bolívares, se utilizó la actual tasa de cambio de BsF. 4,30 por dólar.



*Figura 28: Diseño detallado Producto 4.
Fuente: Elaborado por las autoras*

IV.5.5.6. Indisponibilidad por equipos

Para los dispositivos Ubiquiti se tiene un MTBF de, aproximadamente, dos años y medio; y se estima un MTTR de por lo menos 24 horas, tanto para el equipo transmisor como para el equipo receptor (Ver Tabla 16). Como consecuencia, la indisponibilidad del equipo, transmisor y receptor, es igual a la obtenida para el Producto 1 (Ver Tabla 17).

Para todos los enlaces de este producto se tendrá la misma indisponibilidad, ya que todos los dispositivos Ubiquiti utilizados tienen el mismo MTBF. El porcentaje de indisponibilidad obtenido es el siguiente:

$$I_{Radioenlace}\% = 100\% * (I_{TX} + I_{RX}) = 0,2192\%$$

IV.5.6. Resumen

Tabla 31: Tabla Resumen

	Producto 1	Producto 2	Producto 3	Producto 4
Frecuencia	5,8 GHz	-	5,8 GHz	5,8 GHz
Topología	Acceso: Punto- Multipunto Enlace principal: Punto a punto	Punto a punto	Acceso: Punto- Multipunto Enlace principal: Punto a punto	Punto a punto
Dispositivos y/o enlaces contratados	- 10xNanoStation Loco M5. -3xNanoBridge M5. - 1xPowerBridge M5. -1xRM5-GPS con sectorial 16 dBi 120°	Transmisión de datos sobre GSM/GPRS	-5xNanoStation M5 -1xRM5-GPS con sectorial 16 dBi 120° - 2x.PowerBridge M5	-Transmisión de datos sobre GSM/GPRS - 2xNanoStation Loco M5
Redundancia	Infraestructura propia	No aplica	Infraestructura propia	No aplica
Costo de equipos + Enlace redundante (BsF.)	8.591,4	14.280,8	6.011,4	10.469,6

Fuente: *Elaborado por las autoras*

IV.5.7. Seguridad

Para mantener la seguridad de la comunicación entre los dispositivos en las redes de infraestructura propia, es necesario utilizar protocolos de encriptación y autenticación. Entre los protocolos de encriptación y autenticación que soportan los dispositivos Ubiquiti se encuentran:

✓ **WEP (*Wired Equivalent Privacy*)**

Para el cual se puede seleccionar el tipo de autenticación (*open y shared key*), la longitud de la llave (64 o 128 bits) y el tipo de llave (hexadecimal o ASCII).

✓ **WPA/WPA2 (*WiFi Protected Access*)**

Las variantes de este protocolo de encriptación son las siguientes:

- WPA: Habilita el modo de seguridad WPA.
- WPA-TKIP: Habilita el modo de seguridad WPA con soporte TKIP.
- WPA-AES: Habilita el modo de seguridad WPA con soporte AES.
- WPA2: Habilita el modo de seguridad WPA2.
- WPA-TKIP: Habilita el modo de seguridad WPA2 con soporte TKIP.
- WPA-AES: Habilita el modo de seguridad WPA2 con soporte AES.

Como método de autenticación se puede escoger entre:

- PSK (*Pre-Shared Key*): Puede ser utilizado tanto para WPA como para WPA2. Es seleccionado como por defecto.
- EAP (*Extensible Authentication Protocol*): Puede ser utilizado tanto para WPA como para WPA2. Este método de autenticación es utilizado principalmente para redes empresariales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1. Conclusiones

- El beneficio aportado a InTech Solutions con este trabajo es el de ofrecer mejoras en los diseños de topologías de red, respecto a los que son implementados actualmente; mejorando el rendimiento de la red y adecuando el diseño de las redes de acuerdo a los requerimientos técnicos de cada caso de estudio.
- Para el diseño de la red de interconexión de los cuatro productos evaluados, se realizó un estudio de las redes actuales, abarcando topologías, tecnologías y dispositivos utilizados actualmente por la empresa. Este análisis permitió comprender, más allá de los requerimientos de cada uno de los productos, el comportamiento de los servicios utilizando diferentes configuraciones y protocolos.
- Es importante recordar que todos los diseños y topologías presentan requerimientos técnicos distintos, en cuanto a calidad y costos, por lo que es importante realizar una adecuada planificación de los enlaces. Además no necesariamente las soluciones más costosas son las más eficientes. Es necesario estudiar la relación costo beneficio y evaluar si es necesaria dicha inversión.
- Para las soluciones basadas en WiFi se utilizó la banda no licenciada de 5,8 GHz. Una de las principales razones por las cuales se optó por seleccionar esta frecuencia, y no la 2,4 GHz, es porque el espectro de frecuencia en esta banda está mucho menos congestionada, respecto al de 2,4 GHz; se tienen

más canales y se pueden utilizar antenas directivas de alta ganancia, lo que permite mejorar la calidad de la transmisión ante interferencias. También porque posee muchos más canales.

- La selección de los dispositivos necesarios para las soluciones propuestas, se realizó de acuerdo a los requerimientos técnicos de cada uno de los productos, a la frecuencia seleccionada, a las especificaciones técnicas y el costo de los mismos.
- Como tecnología de comunicación, de tres de los productos, se escogió WiFi. Esta selección se debe a que proporciona ventajas como una fácil implementación, bajo costo de los dispositivos y altas tasas de transmisión, lo cual la hace atractiva para utilizarla en la solución final de los productos 1, 3 y 4. Para un funcionamiento eficiente de la red, implementando esta tecnología, es necesario utilizar los dispositivos adecuados. Es por esto que, para las soluciones basadas en WiFi, se eligió utilizar los dispositivos de marca Ubiquiti, ya que poseen el protocolo AirMax, el cual proporciona una ventaja respecto a los equipos de EnGenius, debido a que está basado en el método de acceso al medio TDMA.
- Las soluciones de conectividad ofrecidas por los proveedores de servicios se tomaron en cuenta para aquellos servicios donde, a pesar de no tener unos requerimientos técnicos exigentes, la distancia era muy extensa como para emplear una solución de infraestructura propia.
- La factibilidad económica de llevar las soluciones propuestas, de los cuatro productos evaluados, a la etapa de implementación, dependerá del presupuesto disponible por la empresa y a las prioridades que posean al momento de ser estudiadas.

- Este Trabajo Especial de Grado permitió poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera, representando la base para el estudio de las diferentes opciones de interconexión de los nodos extremos, con un criterio técnico y teórico objetivo. De esta manera se realizaron los diseños que se presentan, los cuales permitirán comunicar de manera eficiente cada uno de los nodos con la sala central correspondiente que los gestiona.

EnV.2. Recomendaciones

- Se recomienda el uso de los dispositivos Ubiquiti ya que implementan el protocolo de acceso al medio AirMax, el cual está basado en TDMA, que permite solucionar el problema del nodo oculto en las redes WiFi.
- No realizar diseños de red basándose en las topologías en cascada, ya que la disminución del ancho de banda está directamente relacionada con la cantidad de enlaces consecutivos que se tengan en la red. Por esto, se sugiere realizar diseños de red basándose en las topologías tipo estrella.
- Debido a la inestable situación económica en el país, se recomienda la compra de los dispositivos necesarios para cada producto de forma inmediata, a fin de cumplir con los presupuestos calculados.
- En caso de implementar los dispositivos propuestos, es importante realizar continuamente un mantenimiento de los mismos, a pesar de que son dispositivos que están contruidos para soportar las condiciones más extremas; garantizando de esta manera su eficiente y continuo funcionamiento.
- Todos los productos están diseñados con un cierto margen de escalabilidad. Sin embargo, en caso de querer implementar más de un servicio en una misma

red, se debe estudiar previamente el impacto que tendrán los nuevos requerimientos sobre esta, garantizando que ninguno de los servicios se vea afectado y que se sigan teniendo enlaces confiables.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, L. C. (Julio de 2008). Introducción a antenas inteligentes. Costa Rica.
- Ampudia, A. E. (Febrero de 2009). Estudio y diseño de una red virtual privada móvil (VPN Móvil) con tecnología WIMAX 802.16e-2005 (Wordwide interoperability for microwave access para un carrier local con cobertura en la zona norte de la ciudad de Quito. Quito.
- Andréu, J. (2011). *Redes locales*. Editex.
- Arenas, M., Bettancourt, R., Grote, A., Soto, M., & Grote, W. (2004). Análisis de Tasa Efectiva de Servicio y Retardo GRPS y EDGE. Chile.
- Baeza, F. A. (2009). *rua.ua.es*. Recuperado el 19 de 11 de 2011, de <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11606/1/Pr3-2009-10.pdf>
- Buettrich, S., & Pascual, A. E. (Octubre de 2007). Topología e Infraestructura Básica de Redes Inalámbricas.
- Carrero, L. d. (Julio de 2006). Análisis y rediseño del sistema de cobertura para televisión abierta de RCTV en la zona del litoral central de Venezuela. Caracas.
- Charcotsicas, E., & Gimenez, A. (Febrero de 2012). Estudio y diseño de una red de interconexión entre las sedes de Onlyticket Eventos Caracas, Puerto Ordaz y Panamá. Caracas, Venezuela.
- Cisco Systems. (2009). *CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking*. Prentice Hall.
- Cisco Systems. (2009). *CCNA Exploration Aspectos básicos de Networking*. Prentice Hall.
- Cruz, A. P. (29 de 10 de 2004). Evolución de los sistemas móviles celulares GSM. Colombia.
- eHow. (s.f.). *eHow*. Recuperado el Julio de 2012, de http://www.ehow.com/about_6495481_hybrid-networks_.html
- ELPROMA. (s.f.). *ELPROMA*. Recuperado el Junio de 2012, de http://www.m2mgsm.com/download/RB24i%20-%20NEW!/RB-24i_GPRS_EDGE_HSPA_.pdf

- Erazo, W. S. (06 de 2009). *bibdigital.epn.edu.ec*. Recuperado el 19 de 11 de 2011, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1814/1/CD-2280.pdf>
- Fernández, J. (2011). Diseño de un Enlace de Microndas y Estación Teledifusora Mecedores-Agua Fría-Caricuao para la C.A. Venezolana de Televisión. Caracas, Venezuela.
- Flickenger, R. (2006). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. Limehouse Book Sprint Team.
- Forouzan, B. (2002). *Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Grupo InTech Solutions. (2011). Caracas, Venezuela.
- Hermosa, D. M. (Enero de 2010). Estas pérdidas están relacionadas con la distancia del radio enlace y la frecuencia de operación. Quito.
- Herrera Quintero, L. F. (2011). *RUA*. Recuperado el 12 de 09 de 2011, de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18417/1/Tesis_Herrera.pdf
- Highway Technologies, S. (s.f.). *Wave*. Recuperado el 11 de 09 de 2011, de <http://www.highwaytech.com.mx/lineavista.htm>
- Huguet, M. C., Arqués, J. M., & Galindo, E. M. (2008). *Administración de sistemas operativos en red*. Barcelona: UOC.
- Lozano, J. S. (2009). *DIGITUM*. Recuperado el 12 de 09 de 2011, de <http://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/4411/1/SantaLozano.pdf>
- Marquéz, D., & Moure, J. (07 de 10 de 2007). Diseño para la digitalización de la red de microondas de C.A. venezolana de televisión. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- Oquendo, L. P. (2010). Análisis de la Tencología WDS y su Aplicación en el Diseño de Infraestructura de Red Inalámbrica en Ambiente Open Source. Ecuador.
- Páez, N. G. (Septiembre de 2011). DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL TRAMO FERROVIARIO LA ENCRUCIJADA – PUERTO CABELLO DEL INSTITUTO DE FERROCARRILES DEL ESTADO (IFE). Caracas, Venezuela.

- Parra, A. (2011). Análisis y Diseño de una WLAN. Ecuador. Recuperado el 19 de 11 de 2011, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/779/3/Capitulo1.pdf>
- Parziale, L. (2006). *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*. IBM.
- Pastor, J. M. (2006). *Sistema de telefonía*. Madrid: Thomson.
- Radioenlaces. (s.f.). Recuperado el 11 de 09 de 2011, de <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>
- Ramos, J. D. (15 de 05 de 2006). *catarina.udlap.mx*. Recuperado el 19 de 11 de 2011, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/de_l_j/capitulo2.pdf
- Thorvaldsen, P., & Henne, I. (1999). *Scribd*. Recuperado el Julio de 2012, de <http://www.scribd.com/doc/79480775/166/Indisponibilidad-de-un-modulo-del-equipo>
- Ubiquiti Networks, Inc. (s.f.). *Ubiquiti Networks, Inc.* Recuperado el 2011, de <http://www.ubnt.com/>
- Universidad Politécnica de Madrid. (s.f.). *UPM*. Recuperado el Julio de 2012, de <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/radioenlaces-07.pdf>
- WiFi Canarias. (s.f.). *WIFI Canarias*. Recuperado el 11 de 09 de 2011, de <http://www.wificanarias.com/web/index.php/ventajas-de-los-radioenlaces.html>

ANEXOS

Anexo A: Tabla de Proveedores de Servicios

Tabla 32: Tabla de proveedores de servicios.

Servicio	Velocidad min.	Velocidad máx.	Características
DIGITEL			
Enlace Datos 412		2048 kbps	♦ Enlaces Dedicados de Datos. ♦ Datos, Internet ó Voz. ♦ Pago un único monto mensual.
Planes TDD			♦ Conexión inalámbrica de datos. ♦ Combina Encriptación GSM y elementos de seguridad de las redes convencionales. ♦ Rápida y fácil instalación. ♦ Compatibilidad con puertos de datos para PC.
GLOBAL CROSSING			
EtherSphere	1 Mbps	2 Gbps	♦ Conectividad: – Punto a Punto – Punto a Multipunto – Multipunto a Multipunto ♦ Complemento de IP VPN Service

NETUNO			
MetrolanDatos	1 Mbps	100 Mbps	♦ Fibra Óptica de extremo a extremo. ♦ Redundancia (2 rutas de transporte).
Clear Channel	64 kbps	2 Mbps	♦ Conectividad: – Punto a Punto – Punto a Multipunto ♦ Fibra Óptica de extremo a extremo. ♦ Redundancia (2 rutas de transporte).
Frame Relay	64 kbps	2 Mbps	♦ Fibra Óptica de extremo a extremo. ♦ Redundancia (2 rutas de transporte). ♦ Transmisión de datos sobre red HDSL. ♦ Con un CIR mínimo de 32 kbps
CANTV			
Frame Relay	64 kbps	2 Mbps	♦ Posibilidad de integrar voz y datos. ♦ Tarifa plana.
Enlaces Digitales Dedicados	Datos: 9.6 kbps	Datos: 2 Mbps	♦ Interfaces físicas según la velocidad: – RS232 – V.35 – G.703 ♦ Tarifa Plana. ♦ Integración de

			voz, datos y video.
MOVISTAR			
VPN IP MPLS Internacional	64 kbps	1 Gbps	♦ Permite priorizar el transporte de los datos. ♦ Conectividad a través de MPLS. ♦ Direccionamiento IP público o privado. ♦ Voz, datos e imagen en la misma VPN IP.
Enlaces dedicados TDM	2 Mbps		♦ Voz, datos y videos. ♦ Tarifa plana. ♦ TDM
Frame Relay	64 kbps	2048 kbps	♦ Tarifa plana ♦ QoS
MOVILMAX			
Conexiones punto-multipunto	10 Mbps		♦ Redundancia ♦ Conexión de manera simétrica. ♦ Velocidad variable y constante.
ITM TELECOM			
Enlaces dedicados por fibra óptica	10 Mbps 4 Mbps 2 Mbps 1 Mbps		♦ Enlaces dedicados y simétricos (misma tasa de transferencia de bajada y subida). ♦ Si la fibra no llega al lugar, se usa enlace microondas.

Fuente: *Elaborado por las autoras*

Anexo B: Antenas Ubiquiti

Tabla 33: Características antenas Ubiquiti.

ANTENAS UBIQUITI				
Modelo	RD-5G-30	RD-5G-34	AM-5G16-120	AM-5G19-120
Frecuencia	5.1 - 5,8 GHz	5.1 - 5,8 GHz	5.1 - 5.9 GHz	5.1 - 5,8 GHz
Tipo	Parabólica	Parabólica	Sectorial	Sectorial
MIMO	Si	Si	Si	Si
Polarización	Dual Lineal	Dual Lineal	Dual Lineal	Dual Lineal
Ganancia	30 dBi	34 dBi	15-16 dBi	18.6-19 dBi
Modo de operación	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA
Costo	\$159	\$339	\$89.00	\$149.00

Fuente: (Ubiquiti Networks, Inc.).

Anexo C: Radios Ubiquiti

Tabla 34: Radios Ubiquiti

RADIO UBIQUITI										
Antena Interna										
Modelo	Frecuencia [GHz]	Velocidad [Mbps]	Potencia [dBm]	Sensibilidad [dBm]	Ganancia [dBi]	Polarización	MIMO	Interfaces	Modo Operación	Costo
NanoStation M5	5,475 - 5,825	150	27	.11a: -94/-75 .11n/AirMax: -96/-74	14.6 - 16.1	Dual	SI	2 x 10/100 BASE-TX Ethernet	TDMA	\$82
NanoStation Loco M5	5,47 - 5,825	150	23	.11a: -83/-75 .11n/AirMax: -96/-74	13	Dual	SI	2 x 10/100 BASE-TX Ethernet	TDMA	\$67
NanoBridge M5	5,47 - 5,825	100	23	AirMax: -96/-74	22 - 25	-	SI	1 x 10/100 BASE-TX Ethernet	TDMA	\$80
PowerBridge M5	5,47 - 5,825	150	27	.11a: -83/-75 .11n/AirMax: -96/-74	24.8-26.5	Dual	SI	1 x 10/100 BASE-TX Ethernet	TDMA	\$260
AirGrid M5 HP	5,47 - 5,825	100	25	.11a: -97/-84 .11n/AirMax: -97/-75	23-27	Dual	NO	1 x 10/100 BASE-TX Ethernet	TDMA	\$70
RM5	5,47 - 5,825	-	27	.11a: -94/-75 .11n/AirMax: -96/-74	-	-	SI	1 x 10/100 BASE-TX Ethernet y 2x Conector RP-SMA	TDMA	\$89
RM5-GPS	5,47 - 5,825	-	27	.11a: -94/-75 .11n/AirMax: -96/-74	-	-	SI	2 x 10/100 BASE-TX Ethernet, 2x Conector RP-SMA y 1xSMA	TDMA	\$239

Fuente: (Ubiquiti Networks, Inc.).

Anexo D: Permisos para la Instalación de Antenas en Edificios, Casas o Construcciones en General

- ✓ Las personas natural y/o jurídica de que se trate, anexando en este último caso, el Documento Constitutivo de la Empresa, debidamente registrado expresando el Representante Legal de la Firma. En ambos casos, deberá indicarse el domicilio y demás datos que permitan la plena identificación de la persona natural y/o jurídica.
- ✓ Plena descripción de las Antenas Parabólicas y Similares, Antenas emisoras y/o receptoras de radio o televisión, Antenas de microondas, conductores metálicos para emisión y/o recepción de ondas electro-magnéticas, con señalamiento expreso, de características, peso, altura dimensiones, datos técnicos atinentes a la instalación y fijación, que garanticen la plena seguridad de las Personas y Bienes, con expreso señalamiento, de los respectivos cálculos de la armazón y/o estructura del equipo de que se trate, debidamente firmado por un Ingeniero inscrito en el Colegio de Ingenieros de Venezuela.
- ✓ Documento de propiedad de arrendamiento, en caso de ser el inmueble donde se pretenda instalar el equipo, de propiedad privada.
- ✓ En caso de ser el inmueble de propiedad pública o municipal Autorización emanada por la Autoridad Competente del Ente y Organismo de que se trate.
- ✓ Croquis de ubicación, planos correspondientes del equipo y fotografías de los respectivos Catálogos.
- ✓ Autorización debidamente expedida por la Asociación de Vecinos correspondiente al Sector en el cual se pretenda instalar el equipo.
- ✓ Póliza de Responsabilidad Civil, cuya duración mínima sea de un año, para amparar los eventuales daños y perjuicios que puedan causarse a terceros. La permanencia periódica de esta póliza, deberá estar comprobada en la oportunidad de cancelarse los impuestos causados en aplicación de esta Ordenanza. Sendas copias de esta Póliza de Seguro de Responsabilidad Civil,

se archivarán, en la Dirección de Liquidación de Rentas Municipales y en la Dirección de Ingeniería Municipal. H) Constancia de cancelación de los impuestos atinentes a la instalación y fijación de los respectivos equipos, previa liquidación que al efecto realice la citada Dirección de Liquidación de Rentas Municipales, de acuerdo a la naturaleza y características de tales equipos.

- ✓ Cualquier otro dato que las Autoridades Competentes Municipales, conforme a la normativa que rige la materia, determinen pertinente.

Anexo E: Simulaciones del Producto 1 en Radio Mobile

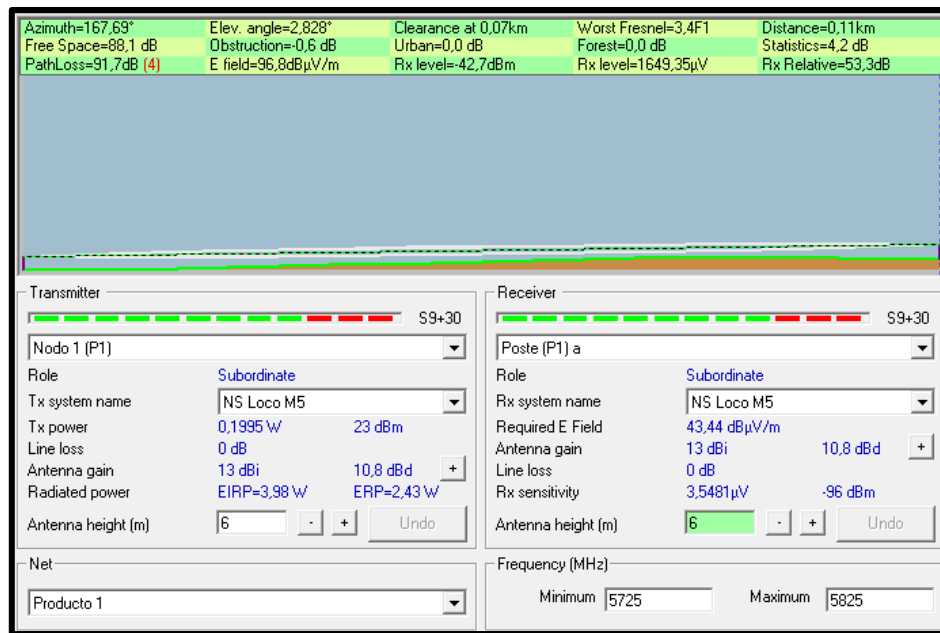


Figura 29: Enlace Nodo 1 - Poste (Producto 1)

Fuente: Elaborado por las autoras

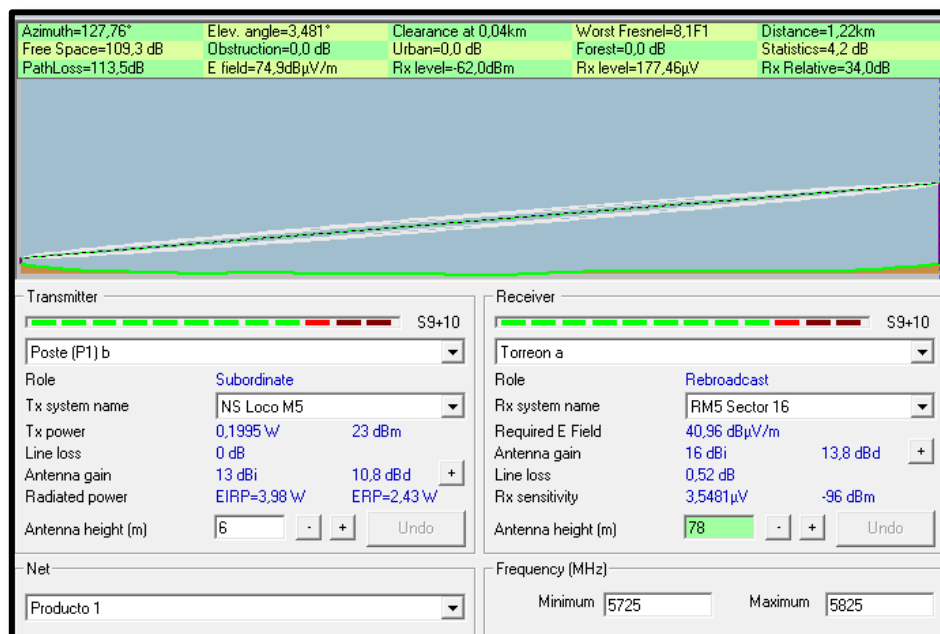


Figura 30: Poste - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)

Fuente: Elaborado por las autoras

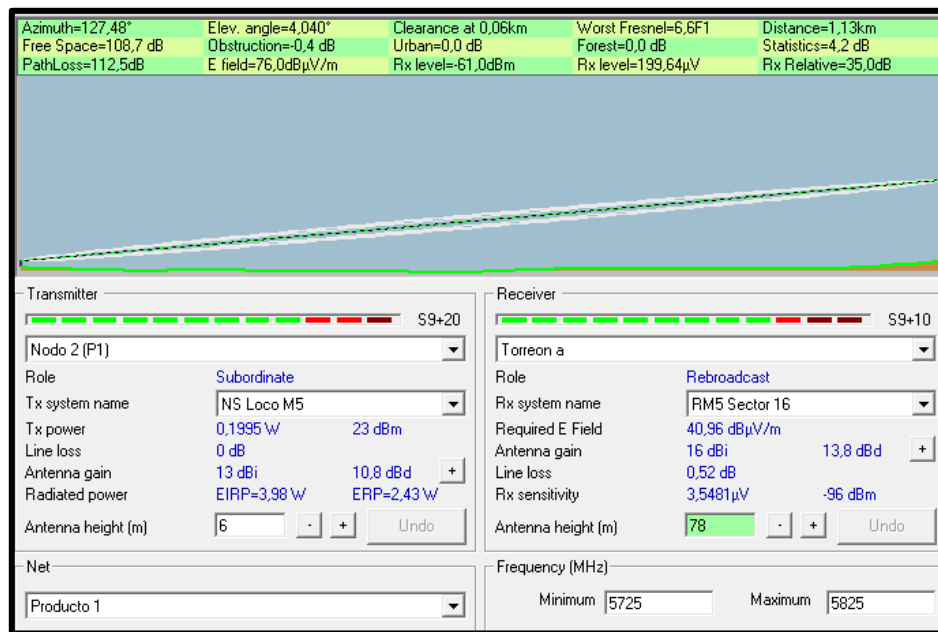


Figura 31: Enlace Nodo 2 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

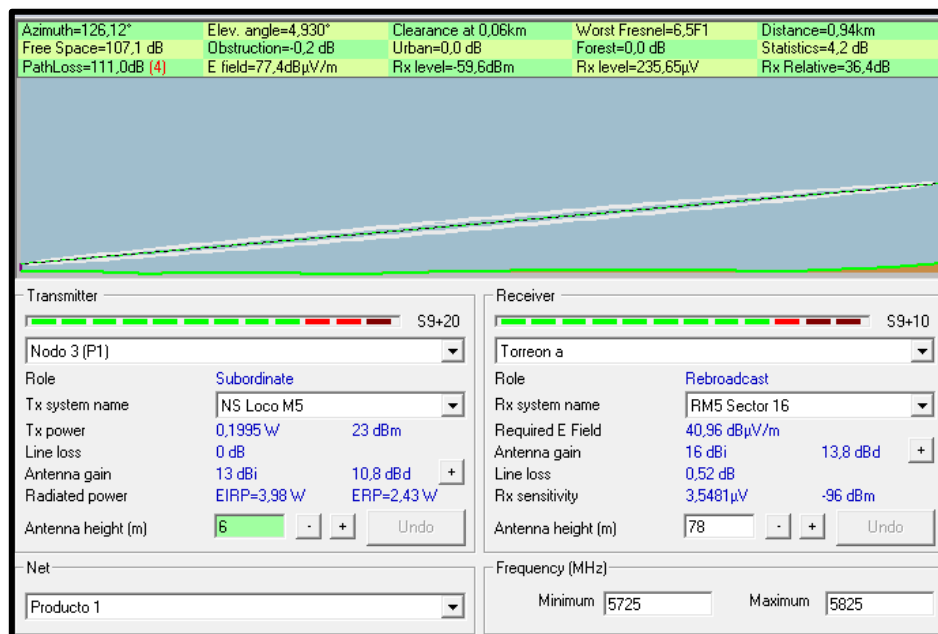


Figura 32: Enlace Nodo 3 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

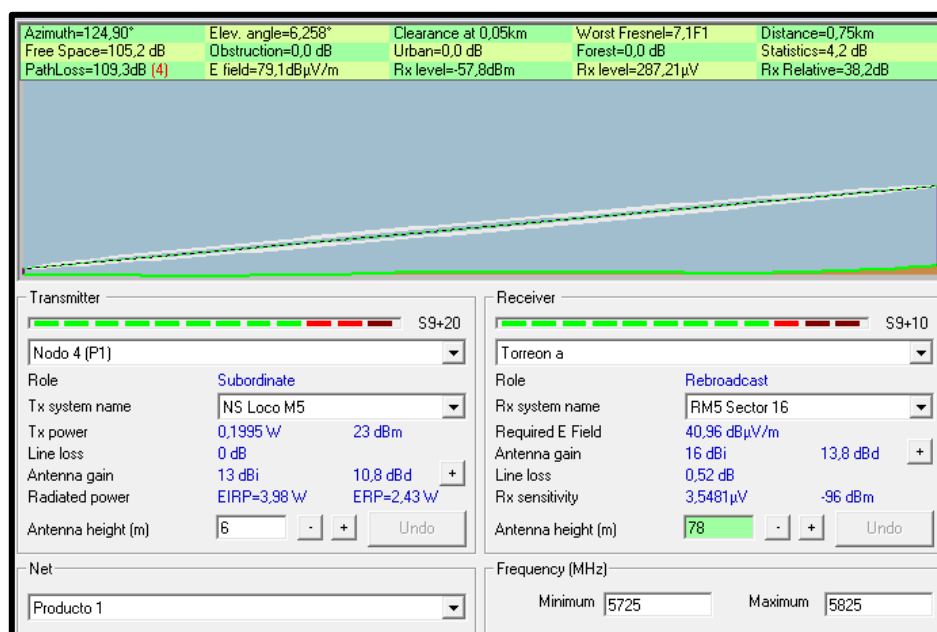


Figura 33: Enlace Nodo 4 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

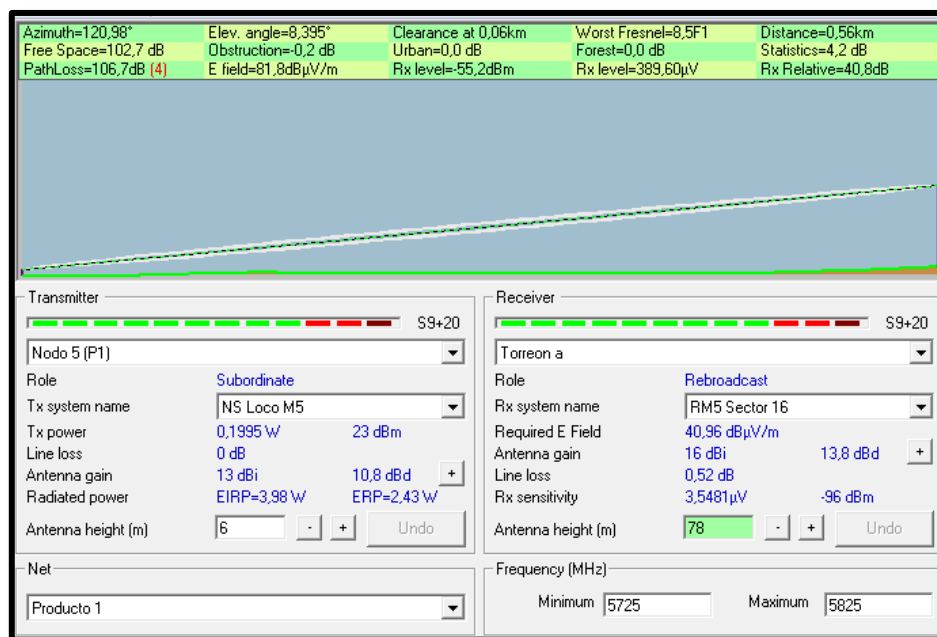


Figura 34: Enlace Nodo 5 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

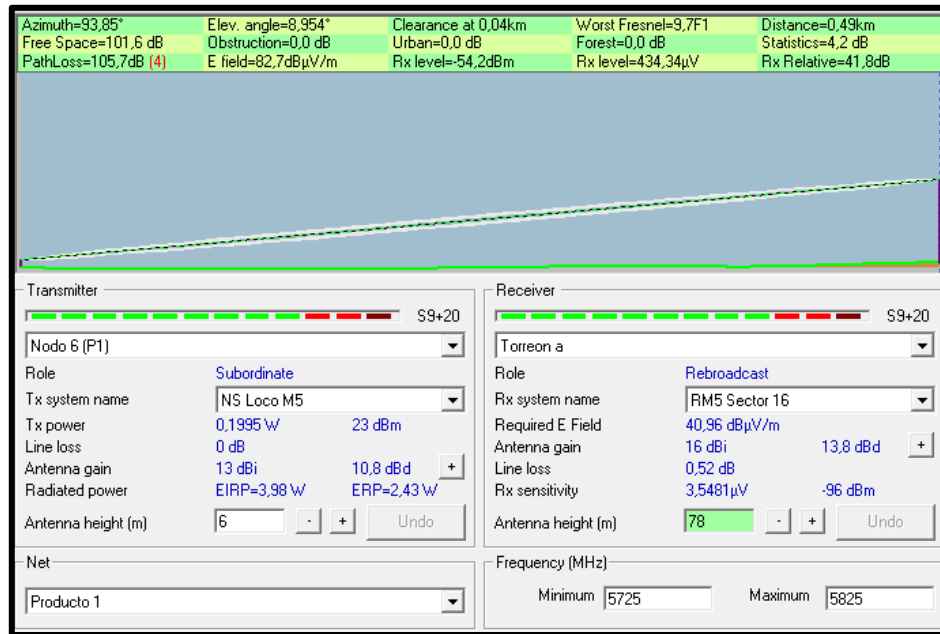


Figura 35: Enlace Nodo 6 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

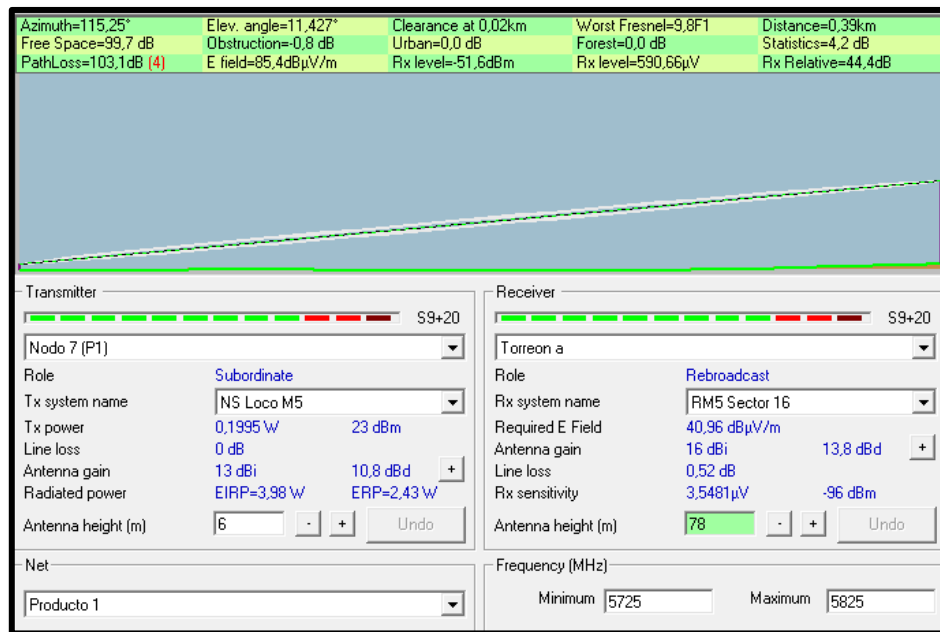


Figura 36: Enlace Nodo 7 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

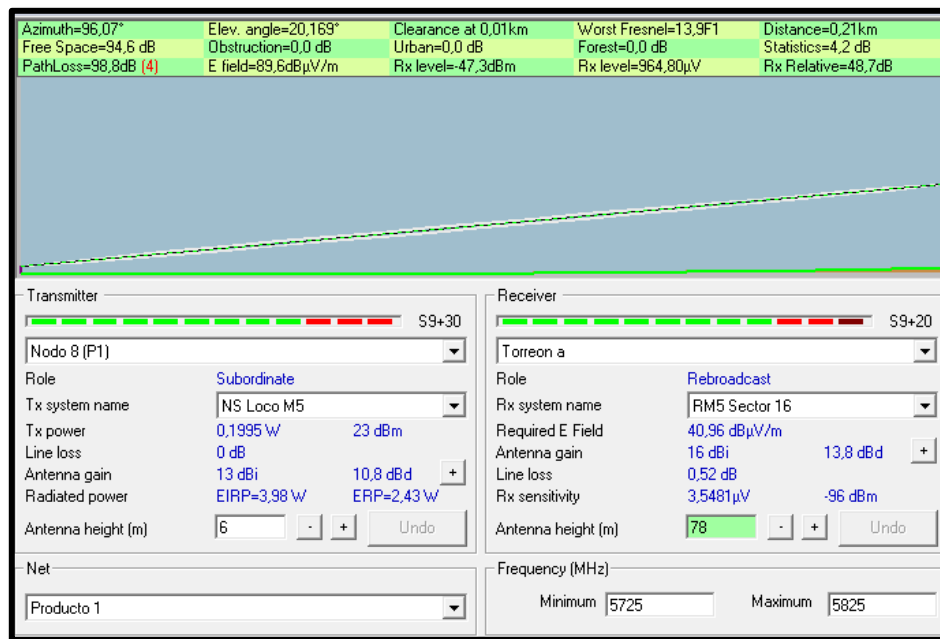


Figura 37: Enlace Nodo 8 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

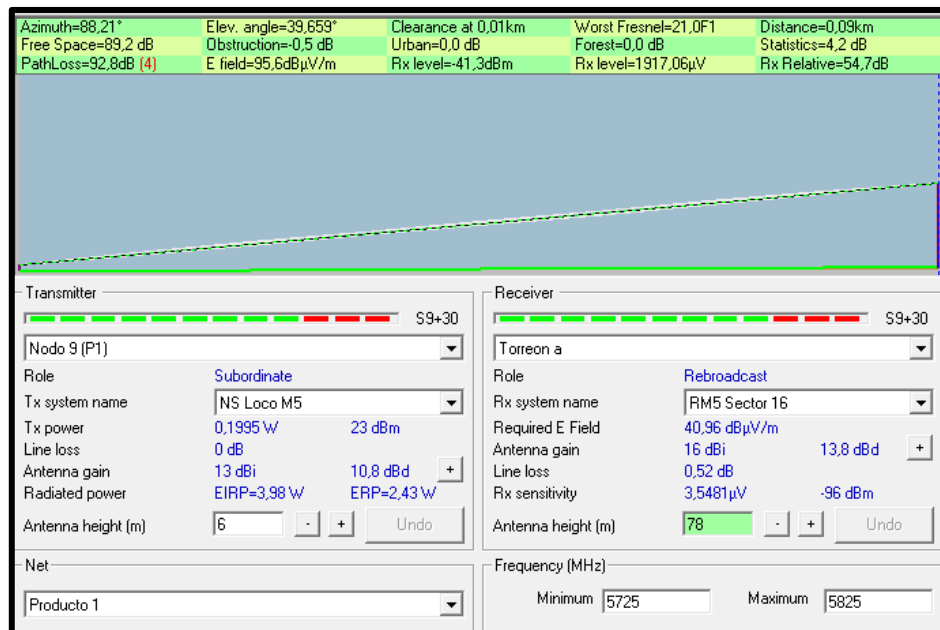


Figura 38: Enlace Nodo 9 - Punto de Acceso Central en Torreón (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

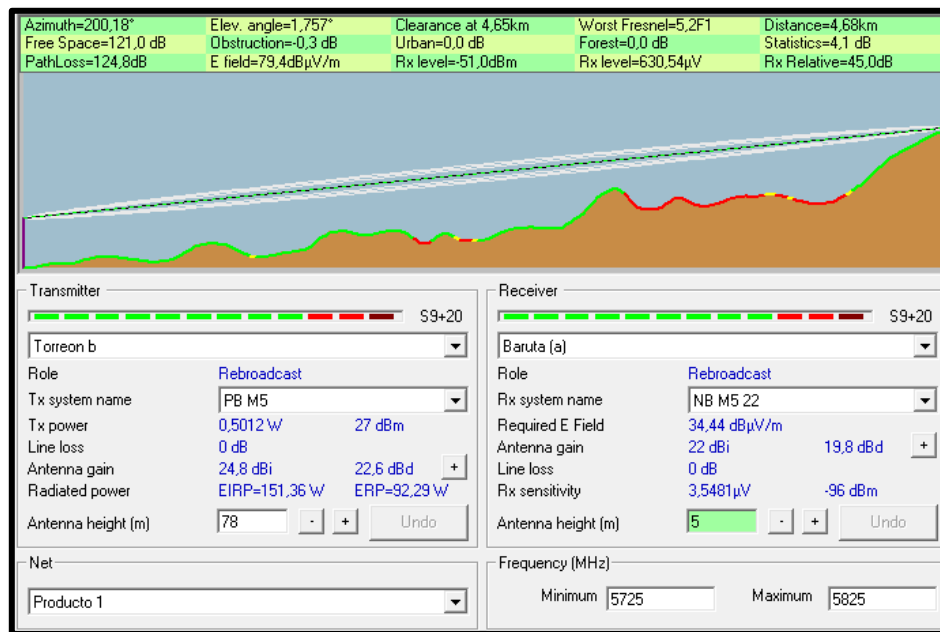


Figura 39: Enlace Torreón – Punto de Repetición en Baruta (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

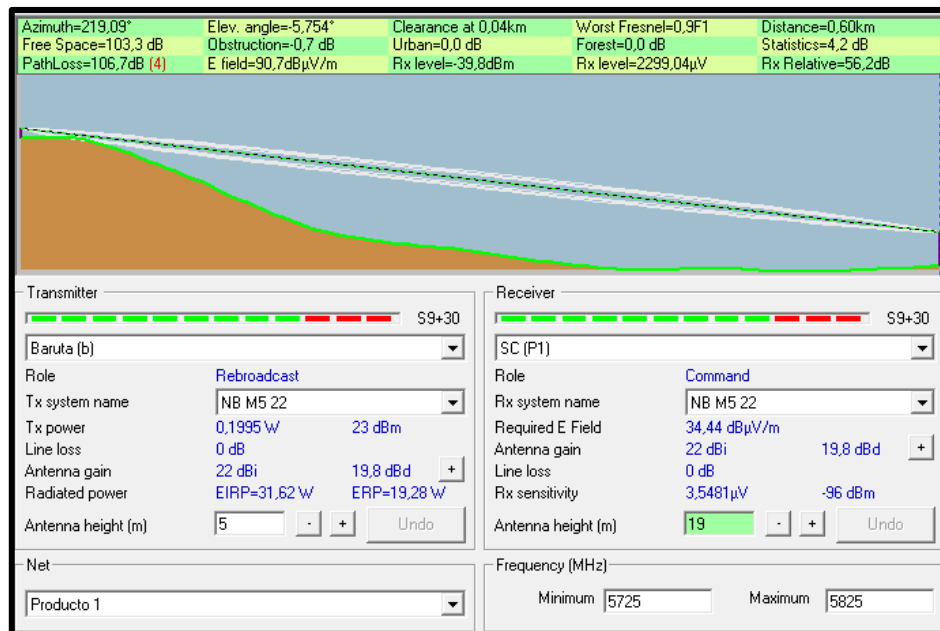


Figura 40: Enlace Punto de Repetición en Baruta – Sala Central (Producto 1)
Fuente: Elaborado por las autoras

Anexo F: Simulaciones del Producto 3 en Radio Mobile

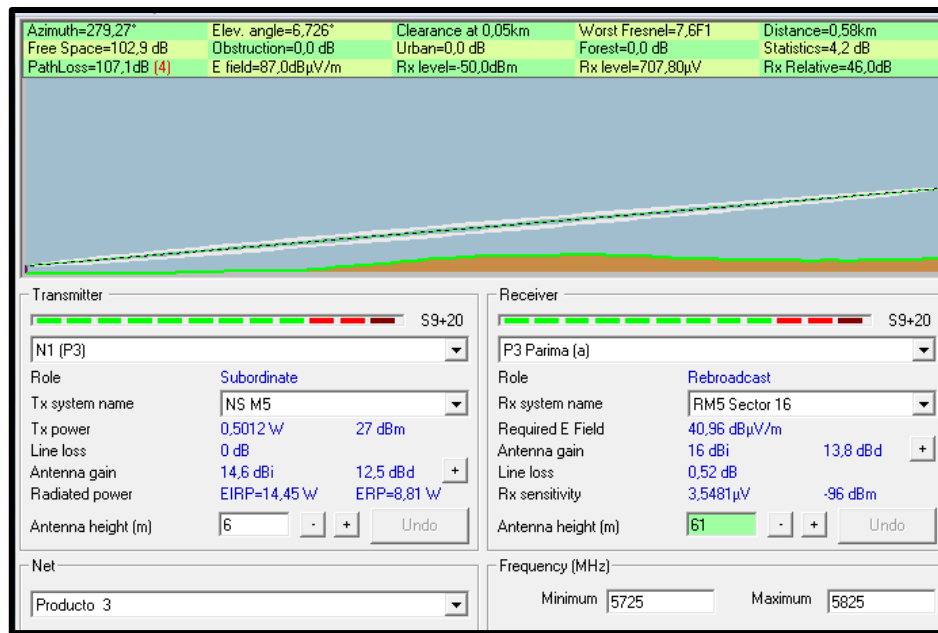


Figura 41: Enlace Nodo 1 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3)
Fuente: Elaborado por las autoras

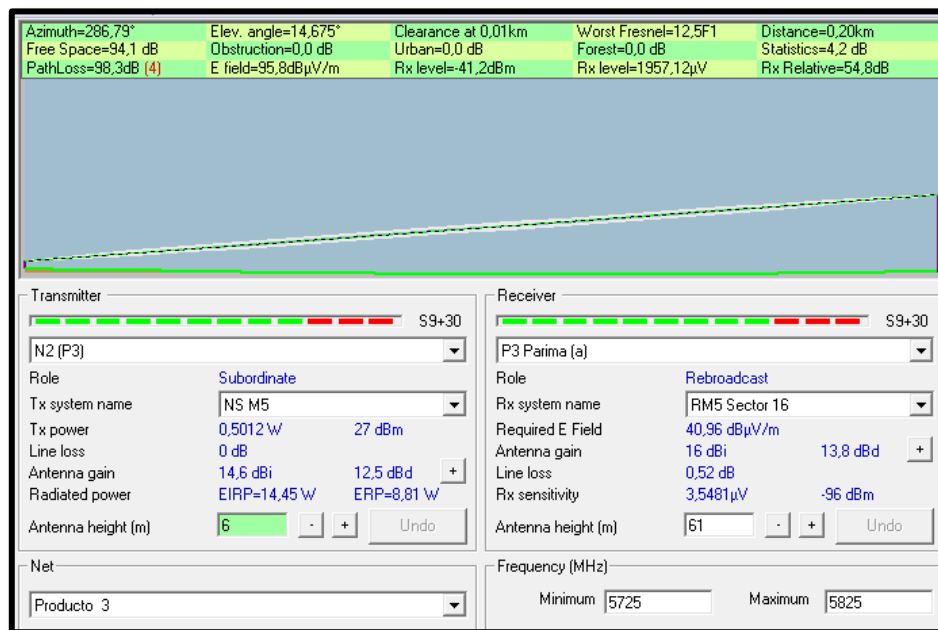


Figura 42: Enlace Nodo 2 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3)
Fuente: Elaborado por las autoras

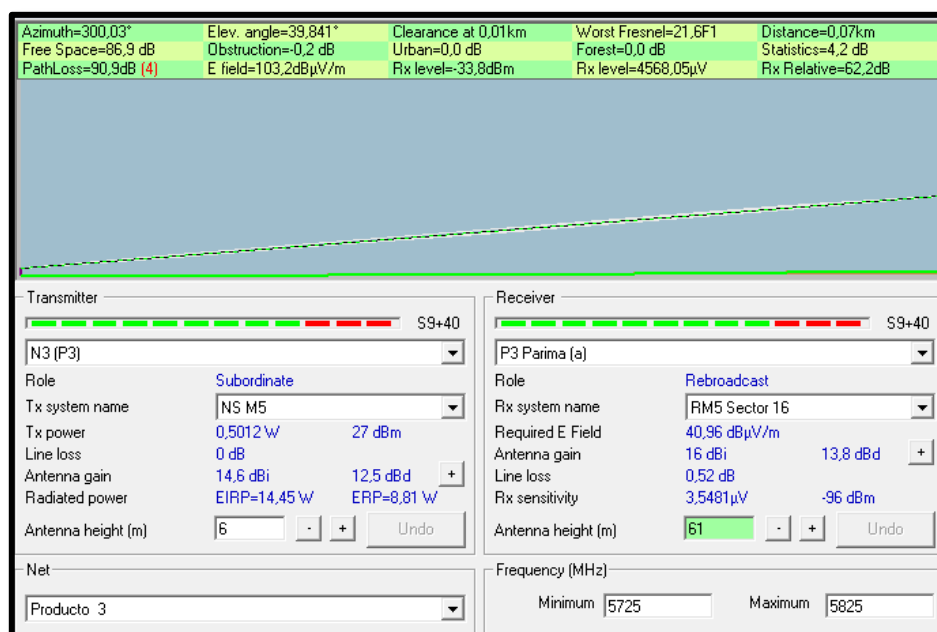


Figura 43: Enlace Nodo 3 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3)
Fuente: Elaborado por las autoras

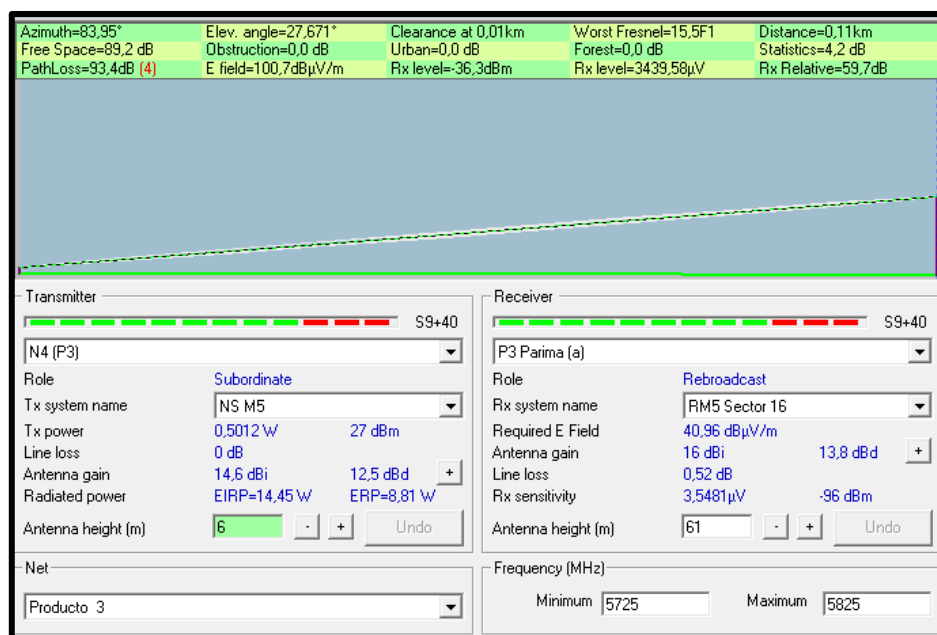


Figura 44: Enlace Nodo 4 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3)
Fuente: Elaborado por las autoras

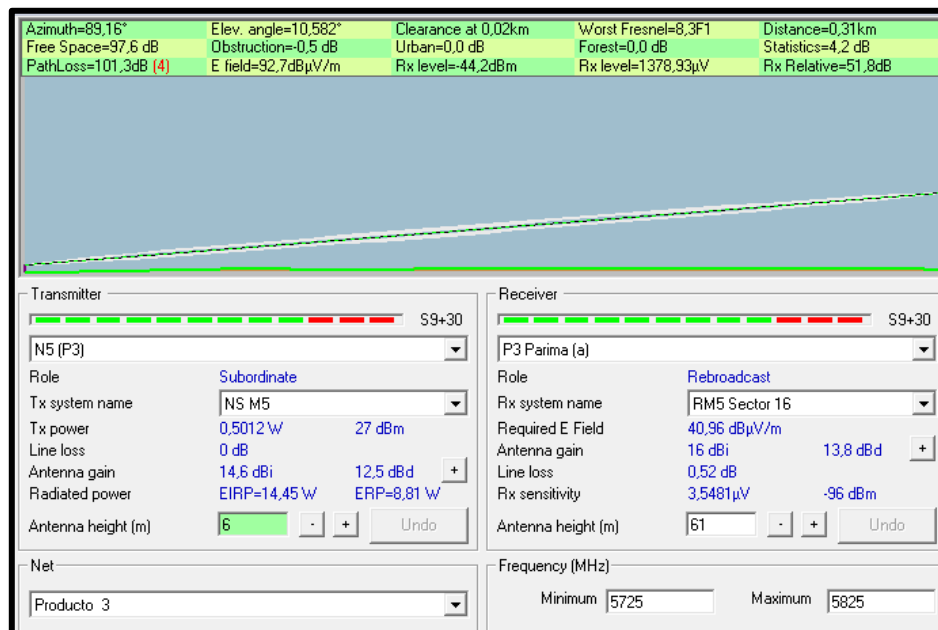


Figura 45: Enlace Nodo 5 – Punto de Acceso Central en Parima (Producto 3)
Fuente: Elaborado por las autoras

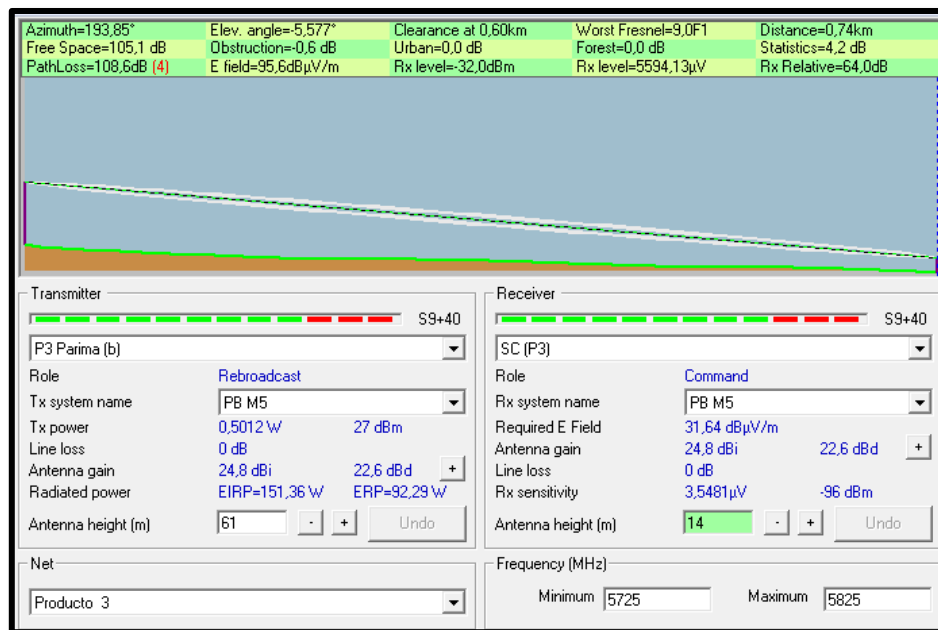


Figura 46: Enlace Principal del Producto 3.
Fuente: Elaborado por las autoras

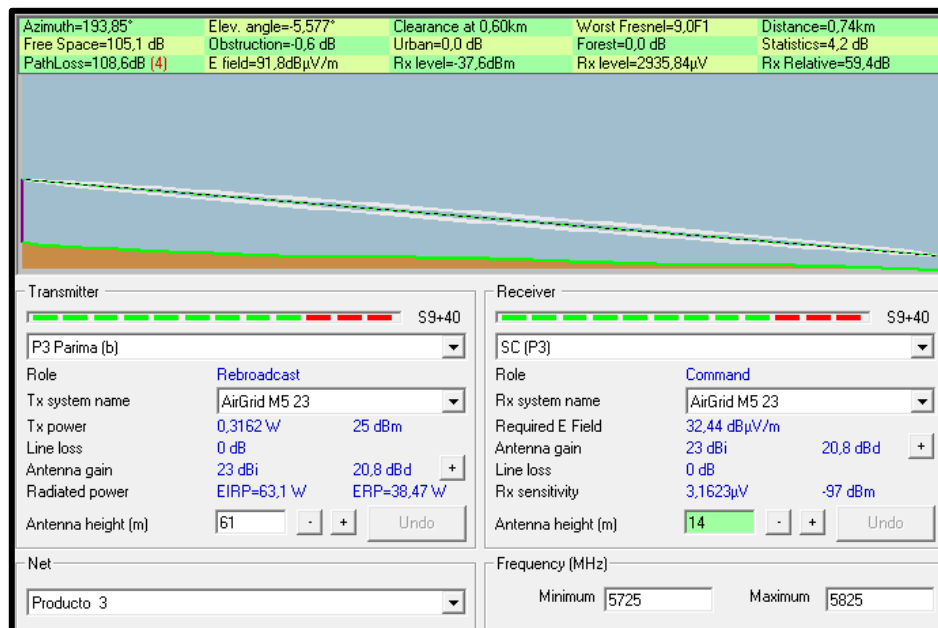


Figura 47: Enlace de Redundancia del Producto 3.
Fuente: Elaborado por las autoras

Anexo G: Simulaciones del Producto 4 en Radio Mobile

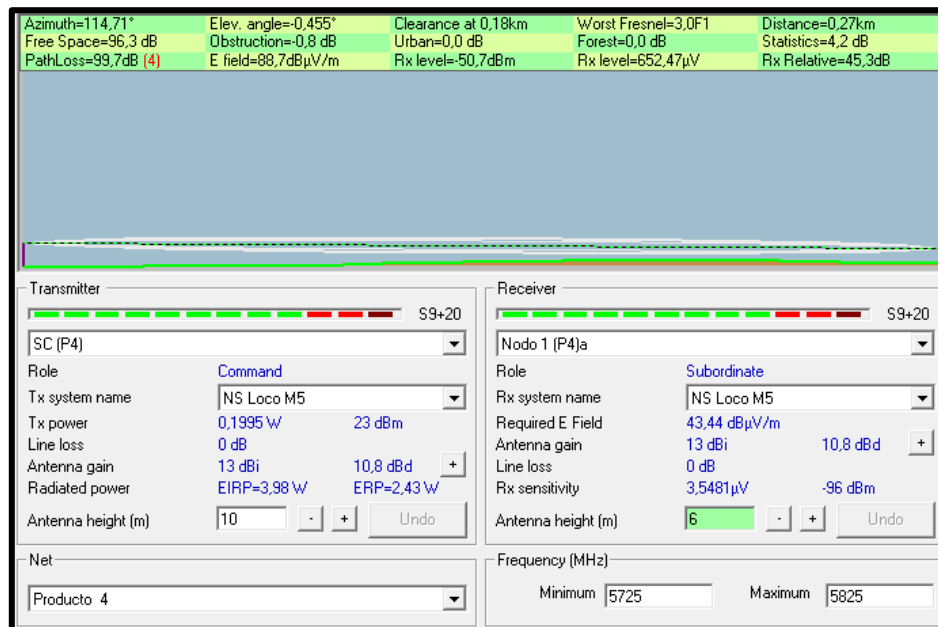


Figura 48: Enlace Sala Central – Nodo 2 (Producto 4)
Fuente: Elaborado por las autoras